



Hak cipta© 2020, Divisi Publikasi, Center of Technology (CoT)
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

p-ISSN 1411-6243

e-ISSN 2685-4104

Penggandaan atau Penerjemahan Sebagian/Seluruh Bagian
Dari Jurnal Ilmiah ini harus seijin Divisi Publikasi, Center of Technology (CoT)
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Alamat Sekretariat:

Redaksi Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE)
Lantai 1, Gedung Center of Technology (CoT)
Kampus Fakultas Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin (UNHAS)
Jl. Poros Malino, km. 6, Bontomarannu
Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia
E-mail : jpe@unhas.ac.id
Website : www.cot.unhas.ac.id/journals/index.php/jpe
Telp/Fax : (0411) 586015



Dewan Penilai Karya Ilmiah

Prof. David Victor Thiel	CWMA, Griffith University, Australia
Prof. Dr. Eko Tj. Rahardjo	UI, Indonesia
Prof. Dr. Adit Kurniawan	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Januarsyah Haroen	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Moch. Ashari	ITS, Indonesia
Prof. Dr. Mauridhi H Purnomo	ITS, Indonesia
Prof. Dr. Muhammad Asvial	UI, Indonesia
Dr. Amin Abbosh, M.Sc	University of Queensland, Australia
Dr. Fitri Yuli Zulkifli, M.Sc	UI, Indonesia
Dr. Ir. Purwanto, M.Eng	UI, Indonesia
Dr. Ir. Edi Lukito, M.Sc	UGM, Indonesia
Prof. Mazlina Esa	UTM, Malaysia
Ass. Prof. Anton S Prabuwono	UKM, Malaysia
Prof. Josaphat T. S. Sumantyo	Chiba University, Japan
Prof. Dr. Deo Prasad	UNSW, Australia
Prof. Stephen SY Lau	Univ. of Hong Kong, Hong Kong
Ass. Prof. Stephen K Wittkopf	NUS, Singapore
Ass. Prof. Dr-Ing. Eka Sediadi	UTM, Malaysia
Dr. Feng Yang	Tongji University, PR China
Dr. Agung Murti Nugroho	University of Brawidjaya, Indonesia
Dr. Rahmi Andarini	ITS, Indonesia
Prof. Dr. Abraham L. Kitaro	UPN, Indonesia
Dr. Arifudin Idrus	UGM, Indonesia
Prof. Akirai Imai, Ph.D	Akita University, Japan
Dr. Bambang Priadi	ITB, Indonesia
Prof. Prio Suprobo	ITS, Indonesia
Ir. Ekaputra, M.Eng., Ph.D	UGM, Indonesia
Prof. Gunawan Tjahyono, Ph.D	UI, Indonesia
Dr. Jumain Appe, M.Sc	BPPT, Indonesia
Prof. Sofia W. Alisyahbana	Universitas Bakrie, Indonesia
Prof. Dr. Daniel M. Rosyid	ITS, Indonesia
Prof. Dr. I Ketut B. Aryana	ITS, Indonesia
Prof. Dr. Adi Maimun	UTM, Malaysia
Prof. Dr. Soenaryo	UI, Indonesia
Prof. Dr.-Ing. Nandy S.J. Putra	UI, Indonesia
Prof. Dr. Imam Reksowardoyo	ITB, Indonesia
Prof. Dr. Keigo Watanabe	Okayama University, Japan
Prof. Dr. Okamura Mitsu	Ehime University, Japan
Prof. Satrio S. Brodjonegoro	ITB, Indonesia



Kata Pengantar Redaksi

Assalamu Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh
Salam Hormat,

Tim redaksi kembali mengungkapkan kesyukuran dan kegembiraan atas terbitnya Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE) Volume 24 Nomor 1 bulan Mei tahun 2020 ini. Tim redaksi juga bersyukur bahwa pandemi korona yang masih berlangsung cenderung tidak mengganggu penerbitan dan pengembangan jurnal ini. Pada edisi kali ini, tim redaksi JPE kembali membuat usaha terbaru untuk meningkatkan kualitas jurnal dengan mulai memformat semua referensi yang ada pada setiap makalah dengan menggunakan software Mendeley. Software Mendeley merupakan sebuah software tidak berbayar untuk pengelolaan sitasi dan referensi (reference manager) yang sangat mudah digunakan dengan hasil yang memuaskan. Dengan menggunakan software ini, format penulisan sitasi dan referensi yang ada pada semua makalah menjadi konsisten dan terstandar.

Edisi pertengahan tahun 2020 ini berisi 14 (empat belas) makalah yang menampilkan dan membahas berbagai macam hasil-hasil penelitian yang menarik dan mutakhir dalam bidang ilmu rekayasa. Makalah terbanyak berasal dari teknik sipil sebanyak 5 (lima) makalah yakni tentang pola kegagalan balok beton menggunakan GFRP bar, pola kegagalan balok sistem rangka dengan perkuatan, elastisitas dan rasio Poisson campuran tanah laterit dan kapur padam, distribusi sedimen untuk manajemen umur layanan waduk Ponre-Ponre, dan pemilihan tipe bangunan pelindung pantai di desa Sikeli. Sedangkan makalah terbanyak kedua berasal teknik transportasi sebanyak 3 (tiga) makalah yakni tentang keselamatan jalan pada ruas Bomberai-Purwata di kabupaten Fak-Fak, kinerja pelayanan angkutan perintis di kecamatan Liukang Tangaya kabupaten Pangkep, dan produktivitas bongkar muat pada pelabuhan Soekarno.

Selanjutnya masing-masing 2 (dua) makalah dari teknik geologi dan pertambangan, teknik perencanaan wilayah dan kota, dan teknik arsitektur. Makalah-makalah yang berasal dari teknik geologi dan pertambangan membahas tentang penurunan capaian target produksi bijih nikel di PT. Ifishdeco dan perbandingan kadar bijih nikel laterit antara data bor dan produksi penambangan. Sedangkan makalah-makalah yang berasal dari teknik arsitektur dan perencanaan wilayah dan kota membahas tentang pengelolaan air limbah di Kawasan Industri Makassar (KIMA) dan penilaian kawasan industri Kariangau menggunakan Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA). 2 (dua) makalah terakhir yang berasal dari teknik arsitektur membahas tentang jenis tumpuan jembatan penghubung (skybridge) dan hubungan antara ketebalan dan radius lengkung kayu jati putih.

Tim redaksi berharap agar hasil-hasil penelitian inovatif yang terbit di edisi kali ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Kami ucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah berkontribusi dan juga semua pihak yang telah membantu dalam penerbitan jurnal edisi ini.

Salam Hangat

TIM REDAKSI



DAFTAR ISI

Staf Redaksi	ii
Dewan Penilai Karya Ilmiah	iii
Kata Pengantar Redaksi	iv
Daftar Isi	v
Konsep Pengelolaan Air Limbah Kawasan Industri Makassar (KIMA) <i>Nurul Pratiwi, Muhammad Yamin Jinca, Yashinta K. D. Sutopo</i>	1-10
Analisa Pola Kegagalan Balok Beton Menggunakan GFRP Bar Tanpa Selimut Beton <i>Saddam Husein, Rudi Djamaluddin, Rita Irmawaty, Kusnadi</i>	11-16
Analisis Pola Kegagalan Balok Sistem Rangka dengan Perkuatan di Daerah Tumpuan <i>Mardis Darwis, Rudi Djamaluddin, Rita Irmawaty, Astiah Amir</i>	17-23
Elastisitas dan Rasio Poisson Campuran Tanah Laterit dan Kapur Padam (Ca(OH)₂) <i>Haris Tribowo, Muhammad Wihardi Tjaronge, Tri Harianto</i>	24-28
Studi Keselamatan Jalan pada Jalan Nasional Ruas Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak <i>Markus Rimba, Muhammad Isran Ramli, Sumarni Hamid Aly</i>	29-37
Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak <i>Maulana Nur Ikhsan, Nasruddin Junus, Imriyanti</i>	38-44
Analisis Penurunan Capaian Target Produksi Biji Nikel Menggunakan Metode Fault Tree Analysis di PT Ifishdeco Provinsi Sulawesi Tenggara <i>Yosytha P. Parissing, Aryanti Virtanti Anas, Irzal Nur, Sufriadin, Purwanto, Meinarni Thamrin, Agus Prasetyono</i>	45-50
Analisis Kinerja Pelayanan Angkutan Perintis di Wilayah Kecamatan Liukang Tangaya Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan <i>Glen Jimmy Latumahina, Misliah Idrus, Andi Chairunnisa</i>	51-57
Analisis Produktivitas Bongkar Muat pada Pelabuhan Soekarno <i>Yusrifah Indahsari Yusuf, Misliah Idrus, Andi Chairunnisa</i>	58-64
Hubungan antara Ketebalan dengan Radius Lengkung Kayu Jati Putih sebagai Dasar Pembuatan Ornamen Arsitektur Bentuk Bebas <i>Muhammad Ardli Santosa, Victor Sampebulu, Hartawan Madeali, Shirley Wunas, Idawarni J. Asmal, Nurul Nadjmi</i>	65-80
Distribusi Sedimen untuk Manajemen Umur Layanan Waduk Ponre-Ponre <i>Adi Rosyidi, Farouk Maricar, Bambang Bakri</i>	81-86



Penilaian Kawasan Industri Kariangau Menggunakan Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA) <i>Agus Fitrianto, Abdul Rachman Rasyid, Slamet Trisutomo</i>	87-92
Analisis Perbandingan Kadar Bijih Nikel Laterit antara Data Bor dan Produksi Penambangan: Implikasinya Terhadap Pengolahan Bijih Pada Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Sorowako <i>Mifta Achmad Faiz, Sufriadin, Sri Widodo</i>	93-99
Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai di Desa Sikeli Berbasis Bahan Lokal <i>Herawati, Muhammad Arsyad Thaha, Chairul Paotonan</i>	100-105



Konsep Pengelolaan Air Limbah Kawasan Industri Makassar (KIMA)

Nurul Pratiwi^{1*}, Muhammad Yamin Jinca¹, Yashinta K. D. Sutopo¹

¹Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km.6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: nurulpratiwi003@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.01

Abstrak

Permasalahan limbah menjadi salah satu faktor pemicu yang dapat menghambat pertumbuhan dan perkembangan Kota Makassar. Pemilihan lokasi pembuangan limbah ke Sungai Tallo dikarenakan lokasinya yang berdekatan dengan kawasan Industri Makassar dimana pipa pembangunan limbah yang telah diolah dari instalasi dari pengolahan limbah industri tersebut dialirkan ke Sungai Tallo. Kondisi kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) rata-rata Sungai Tallo sebesar 1,22 dimana termasuk dalam status pencemaran ringan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengelolaan air limbah industri eksisting di KIMA dan merencanakan konsep pengelolaan limbah industri ideal yang mencakup 3 komponen yaitu jaringan penyaluran, pengolahan dan pembuangan air limbah. Metode analisis yang digunakan adalah analisis komparatif, analisis spasial dan analisis deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan performa penilaian perbandingan eksisting dan ideal pengelolaan air limbah KIMA berada pada angka 49,36%, dengan kondisi jaringan penyaluran belum mencakup seluruh zona, tahapan atau proses pengolahan yang masih kurang dan tidak adanya pemanfaatan air hasil pengolahan. Selanjutnya, arahan konsep perencanaan yang dibutuhkan KIMA pada tahap awal yakni melengkapi jaringan penyaluran ke seluruh zona pelayanan dengan peningkatan ukuran pipa 300 mm, penambahan 3 tahapan pengolahan, pengadaan pemanfaatan air hasil pengolahan, dan penambahan kapasitas hingga 5.000 m³/hari dengan total luasan 10.500 m².

Abstract

Wastewater Management Concept of Kawasan Industri Makassar (KIMA). Waste problem is one of the triggering factors that can hamper the growth and development of Makassar City. The choice of waste disposal location to the Tallo River is due to its location adjacent to the Makassar Industrial area where the sewage construction pipeline that has been processed from the installation of the industrial waste treatment is channeled into the Tallo River. Water quality conditions based on the average Pollution Index (IP) of the Tallo River are 1.22 which are included in the status of minor pollution. This study aims to identify the management of industrial waste water in KIMA and to plan the concept of ideal industrial waste management which includes 3 components, namely the channeling, processing and disposal of wastewater. The analytical method used is comparative analysis, spatial analysis and qualitative and quantitative descriptive analysis. The results of the analysis show the performance comparison of the existing and ideal management of KIMA wastewater is 49.36%, with the condition of the distribution network not yet covering all zones, stages or processing processes that are still lacking and the absence of utilization of treated water. Furthermore, the direction of the planning concept needed by KIMA in the initial stage is to complete the distribution network to all service zones by increasing the pipe size to 300 mm, adding 3 stages of processing, procuring treated water, and adding capacity up to 5,000 m³/day with a total area of 10,500 m².

Kata Kunci: Infrastruktur, industri, limbah, Makassar, pengelolaan

1. Pendahuluan

Peraturan Pemerintah No. 20 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran menjelaskan bahwa air dapat bermanfaat secara berkelanjutan dengan tingkat mutu yang diinginkan, maka pengendalian pencemaran menjadi sangat penting dan merupakan salah satu segi upaya pengelolaan lingkungan hidup. Salah satu upaya yang dilakukan dalam pengendalian pencemaran adalah melalui pengolahan limbah cair [1].

Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia No 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup maka setiap industri maupun instansi/badan usaha harus bertanggung jawab terhadap pengelolaan limbah yang dihasilkan dari kegiatannya.

Limbah cair dari industri berbasis organik mempunyai potensi pencemaran yang sangat berat terhadap lingkungan, terutama pada



produk olahan/bahan baku industri makanan dan minuman. Bahan bawaan yang terkandung didalamnya merupakan bahan yang sangat kompleks baik yang terlarut maupun tidak terlarut.

Instalasi Pengelolaan Air Limbah (IPAL) pada kawasan industri Makassar perlu diperhatikan karena terletak dekat dengan Sungai Tallo dan perairan Makassar. Pengoperasian kegiatan PT KIMA masih menyisakan dampak berupa bau yang bersumber dari *coldstorage* udang dan drainase PT KIMA yang mengalir di sekitar pemukiman masyarakat Kelurahan Kapasa. Bau tersebut ada yang bersumber dari pabrik dalam kawasan yang menggunakan bahan baku udang dan ada pula yang berasal dari limbah cair yang keluar ke badan air melalui saluran pembuangan PT KIMA menuju anak sungai. Bau limbah tersebut berdampak kepada masyarakat yang bermukim di Kelurahan Kapasa karena aliran kanal PT KIMA melewati pemukiman tersebut. Oleh karena itu, perlu evakuasi lebih lanjut tentang limbah terutama konsep pengelolaan air limbah industri di Kota Makassar.

Peraturan Pemerintah No. 18/1999 Jo.PP 85/1999, mendefinisikan limbah sebagai sisa atau buangan dari suatu usaha dan/atau kegiatan, sedangkan air limbah industri yang mengandung konsentrasi zat organik yang relatif tinggi: misalnya industri makanan, industri kimia, industri minyak nabati atau hewan, industri obat-obatan, industri lem, atau perekat galatin, industri tekstil, industri pulp, industri kertas dan lain-lain. Selanjutnya, komponen sistem pengelolaan air limbah terpusat [2] mencakup antara lain:

1.1. Jaringan Penyaluran

Unit pengumpul dan unit penyaluran digabungkan menjadi jaringan penyaluran air limbah adalah suatu rangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi atau membuang air limbah dari suatu kawasan/lahan baik itu dari rumah tangga maupun kawasan industri. Sistem penyaluran biasanya menggunakan sistem saluran tertutup dengan menggunakan pipa yang berfungsi menyalurkan air limbah tersebut ke bak *interceptor* yang nantinya disalurkan ke saluran utama.

a) *Pre-Treatment*

Pre-treatment/tahap pendahuluan adalah pengolahan sederhana sebelum limbah dibawa menuju IPAL/Instalasi Pengelolaan Air Limbah Terpusat (IPLAT). Kriteria perencanaan bangunan pengumpul menurut petunjuk teknis pengolahan limbah industri perhotelan dengan lebar maksimum 1.5 m dan tinggi maksimum 2 m, dimensi ini dapat disesuaikan dengan ketersediaan lahan/ruang yang ada. Pada kawasan industri proses yang dilakukan oleh pengolahan sederhana ini minimal sedimentasi dan jika air limbah yang dihasilkan cukup banyak maka, sarana *on-site* dilengkapi pengolahan tambahan seperti kontak media dengan atau tanpa aerasi. Proses *pre-treatment* dilakukan pada industri-industri yang membutuhkan, industri yang mengandung tingkat pencemaran yang tinggi dan sedang atau mengandung *oil*/minyak toxid (beracun) yang sangat berbahaya bagi manusia dan lingkungan. Jadi, tidak semua wilayah cocok untuk sistem ini menyebabkan *pre-treatment* dalam bentuknya pun disesuaikan berdasarkan kebutuhan [3].

b) Penyaluran

Prinsip-prinsip penyaluran limbah adalah sebagai berikut [4]: mencakup seluruh kawasan pelayanan, jalur salurannya disesuaikan sedemikian rupa sehingga sedapat mungkin melalui daerah pelayanan (*service area*) sebanyak-banyaknya, sehingga jalur seluruhnya sambung-menyambung dari mulai saluran awal (*lateral*) menuju saluran cabang-cabangnya yang kemudian menuju kedalam saluran-saluran induknya, dari saluran-saluran induk tersebut, air limbah dibuang ke pembuangan akhir yang aman dengan atau diolah dalam bangunan pengolahan air limbah tertentu dengan tingkat pengolahan sesuai dengan karakteristik air limbahnya dan tempat pembuangan akhirnya sehingga badan air setelah bercampur dengan air limbah memenuhi persyaratan-persyaratan kualitas tertentu. Kemiringan tanah yang dinilai lebih baik jika mempunyai kemiringan 2%. Sistem pendistribusian IPALT dinilai baik jika perumahan atau sumber air terletak lebih rendah dari letak IPALnya (elevasi tanah yang baik apabila sistem distribusinya bisa dialirkan secara gravitasi).



c) Perpipaan

Sistem jaringan perpipaan diperlukan untuk mengumpulkan air limbah dari tiap bangunan di daerah pelayanan menuju instalasi pengolahan air limbah (IPAL) terpusat. Menurut pedoman perencanaan tata cara rancangan sistem jaringan perpipaan air limbah terpusat salah satu pipa yang digunakan pada sistem pengaliran limbah dinilai pipa beton, dengan diameter (300-3600) mm lebih ekonomis mengingat durabilitasnya jauh lebih baik dibandingkan dengan bahan saluran lainnya dan dengan pengaliran gravitasi (lebih umum) dan bertekanan.

1.2. Pengolahan Limbah

Unit pengolahan limbah adalah proses penghilangan kontaminano (bahan-bahan yang memiliki fungsi yang tidak bermanfaat) dari air limbah, Hal ini meliputi proses fisika, kimia, dan biologi untuk menghilangkan kontaminan fisik, kimia dan biologi. Tujuannya adalah untuk menghasilkan aliran limbah atau efluen yang telah diolah dan limbah padat atau lumpur yang cocok untuk pembuangan atau penggunaan kembali terhadap lingkungan. Teknis pemilihan lokasi IPAL meliputi jarak minimum antara IPAL dengan pusat kota dan pemukiman adalah 3 Km, lokasi dipilih pada lokasi yang bebas

banjir dan lokasi dengan jenis tanah kedap air seperti lempung (Kementrian PU tentang penyusunan perencanaan sistem pengelolaan air limbah).

1.3. Pembuangan

Unit pembuangan air limbah mencakup pembuangan akhir ke badan air dan pemanfaatan hasil pengolahan. Air limbah setelah diolah tentunya harus memenuhi mutu standar air baku yang telah ditetapkan pada masing-masing peraturan. Di Indonesia sendiri, peraturan ini diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 58 tahun 1995 tentang baku mutu limbah cair bagi kegiatan rumah sakit, dan Permen Lingkungan Hidup RI Nomor 5 tahun 2014 tentang baku mutu air limbah (per jenis industri). Air hasil pengolahan dimanfaatkan kembali lalu dibuang ke sungai dengan golongan D atau lebih rendah, sehingga tidak mencemari badan air tempat pembuangan dan juga tidak ada isu pencemaran yang terjadi akibat dari pembuangan air limbah yang telah dibuang. Sebelum dialirkan ke saluran akhir, sebagian air limbah olahan dialirkan ke kolam ikan, untuk menguji apakah air tersebut sudah layak untuk dibuang ke badan air serta tidak berbahaya bagi makhluk hidup di lingkungan sekitar.

Tabel 1. Studi banding di kota-kota pengolahan limbah [1], [5]

Indikator	Singapura	PT UNITEX Kota Bogor
Proses pengolahan	Proses pengolahan se-banyak 4 pengolahan yang terdiri dari 6 tahapan yaitu: 1. Proses primer: pre-sedimentasi 2. Proses kimia: koagulasi dan flokulasi 3. Proses biologi: proses filtrasi dan proses reservoir. Proses fisika: sedimentasi	Kapasitas 2.000 m ³ /hari Proses pengolahan se-banyak 4 pengolahan yang terdiri dari 8 tahapan yaitu: 1. Proses primer yang meliputi penyaringan kasar, penyaringan halus, pendinginan. 2. Proses kimia; peng-hilangan warna, ekualisasi 3. Proses biologi, yaitu bak aerasi Proses Fisika: Sedi-mentasi (3 kali)
Lokasi pembuangan	Air hasil pengelolaan ada yang dialirkan ke laut dan ada yang diolah kembali	Dimanfaatkan untuk kolam ikan dan setelah itu di buang ke Sungai Ciliwung
Pemanfaatan air hasil pengolahan	Air hasil pengelolaan di proses kembali (NEWater) untuk dijadikan air bersih di hotel, industri dan perkatoran, dimana sudah memenuhi hampir 30% kebutuhan air bersih Negara Singapur.	Pengaliran air untuk pembudidayaan ikan
Pemanfaatan lumpur hasil sedimentasi	-	Bahan bakar untuk pembuatan mesin pres batako dan kompos



2. Studi Banding

Studi Banding dilakukan di 2 tempat yaitu, Singapur dan Bogor. Lokasi studi banding dipilih dengan pertimbangan sebagai negara/kota dengan sistem pengelolaan limbah yang baik. Studi banding dilihat melalui 4 indikator yaitu, proses pengolahan, lokasi pembangunan, pemanfaatan air hasil pengolahan, dan pemanfaatan lumpur hasil sedimentasi. Hasil studi banding kemudian dijadikan acuan dalam mengusulkan arahan konsep pengelolaan air limbah.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Lokasi penelitian yaitu, Kawasan Industri Makassar (KIMA). Penelitian ini menekankan pada 4 aspek fisik pengelolaan air limbah yaitu, jaringan penyaluran, pengolahan, pemanfaatan air limbah dan kebutuhan ruang pengolahan.

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan metode studi pustaka, observasi, wawancara dan dokumentasi gambar. Sedangkan teknik analisis yang digunakan antara lain:

- 1) Sintesa kajian literatur digunakan untuk mengetahui indikator-indikator yang perlu diteliti atau yang harus di perhatikan dalam

melakukan penelitian atau perumusan arahan konsep.

- 2) Analisis perbandingan antara kondisi eksisting dan ideal, metode analisis digambarkan secara deskriptif untuk mengidentifikasi karakteristik dan nilai pencapaian sistem pengelolaan air limbah KIMA. Proses penilaian dimulai dari, perbandingan antara kondisi eksisting dan ideal yang kemudian dikalikan dengan bobot hasil wawancara terstruktur.
- 3) Analisis kebutuhan lahan dilakukan untuk mengetahui luas lahan yang dibutuhkan untuk arahan perencanaan pengelolaan air limbah industri KIMA.
- 4) Analisis spasial, analisis yang dilakukan berupa *overlay* untuk mengetahui jaringan penyaluran yang belum terlayani dan arahan konsep lokasi pengolahan air limbah.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Sintesa Kajian Literatur

Sintesa kajian literatur digunakan untuk mengetahui indikator-indikator yang perlu diteliti dalam melakukan penelitian atau merumuskan arahan konsep yang berasal dari berbagai sumber yang kemudian diolah melalui teknik irisan literatur

Tabel 2. Hasil sintesa kajian literatur

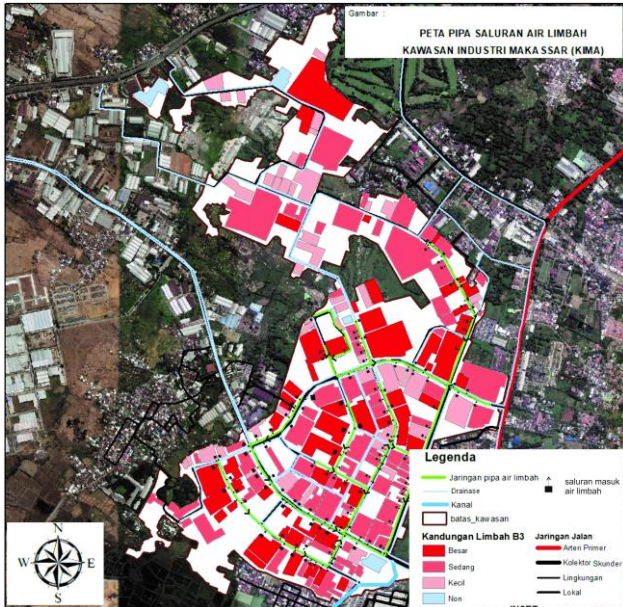
Variabel	Kriteria Penilaian	Indikator Studi	Sumber
Jaringan Penyaluran	Penyediaan <i>pre-treatment</i>	Penyediaan <i>pre-treatment</i> setiap industri yang mengandung limbah B3 tinggi dan sedang	Petunjuk Teknis Pengolahan Limbah Industri Perhotelan; Menurut pedoman perencanaan tata cara rancangan sistem jaringan perpipaan air limbah terpusat [3]
	Penyaluran	Kriteria saluran mencakup seluruh zona pelayanan menggunakan saluran terpusat yang saling terintegrasi satu dengan yang lainnya, dan terpisah dengan saluran drainase	
	Perpipaan	Standar ukuran pipa 300-3600 mm dengan memperhatikan kedalaman setiap pipa	
Pengolahan	Tahapan proses pengolahan	6 tahapan pengolahan	Pengolahan Air Limbah di Singapura [5]; Penyusunan Perencanaan Sistem Pengelolaan Air Limbah oleh kementerian PU
	Evaluasi jarak lokasi IPAL	Jarak minimum antara IPAL dengan pusat kota adalah 3 km. Jarak minimum antara IPAL dengan pemukiman adalah 3 km.	
Pembuangan	Pembuangan air limbah	Air hasil pengolahan dimanfaatkan kembali lalu di-buang ke sungai dengan golongan D dinilai terbaik dalam pembuangan air hasil akhir	Peraturan Menteri Pekerjaan dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia No 4 Tahun 2017; Suryani [1]
	Pemanfaatan air dan lumpur hasil pengolahan	Air dan lumpur hasil pengolahan dimanfaatkan terlebih dahulu	



4.2. Perbandingan Eksisting dan Ideal

1) Analisis Jaringan Penyaluran

Pada bagian ini akan dibahas aspek fisik terkait jaringan penyaluran, yaitu penyediaan *pre-treatment*, efisiensi sistem penyaluran, standar pipa skunder.



Gambar 1. Peta kawasan industri yang memiliki jaringan penyaluran

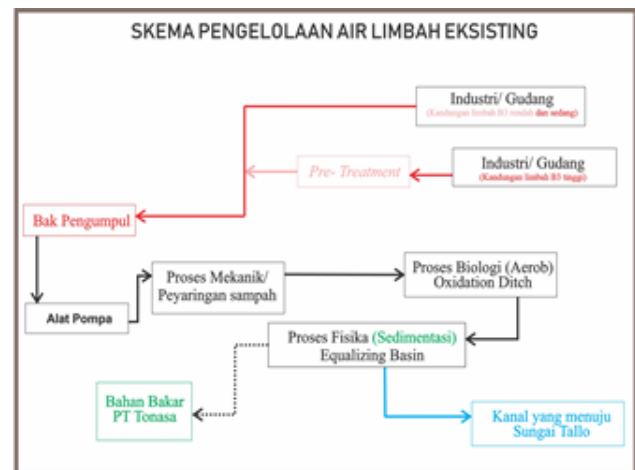
Jenis saluran yang digunakan oleh KIMA adalah saluran terpusat yang menghubungkan seluruh jaringan perpipaan ke pengolahan air limbah. Jenis saluran yang digunakan telah terpisah antara jaringan air limbah dan jaringan drainase. Sedangkan, untuk prinsip pengaliran yang digunakan juga telah menggunakan pengaliran gravitasi tanpa tekanan. Saluran air limbah yang tersedia hanya mencakup dan melayani sebagian kawasan, dimana bangunan terlayani sebanyak 143 bangunan dari total 206 bangunan di KIMA.



Gambar 2. Diagram bangunan yang telah terlayani

2) Analisis Pengolahan

Dalam pengelolaan air limbah, tahapan proses pengolahan berperan sangat penting karena pada tahapan pengolahan ini terjadi proses penghilangan kontaminasi atau bahan-bahan yang berbahaya untuk lingkungan. Berdasarkan hasil analisis deskriptif melalui studi komparatif atau studi banding, tahapan pengolahan secara umum yang harus ada dalam proses pengelolaan air limbah yaitu proses mekanik, proses kimia (koagulasi dan flokulasi), proses fisika (sedimentasi), dan proses biologi (proses aerasi).



Gambar 3. Skema tahapan pengolahan air limbah eksisting



Keterangan:

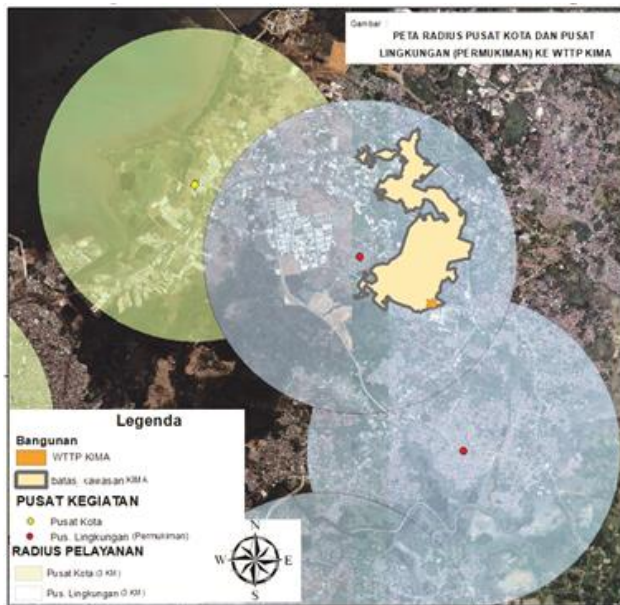
- (Red arrow) : Air limbah mengandung B3 tinggi
- (Pink arrow) : Air limbah hasil Pre-Treatment
- (Black arrow) : Air limbah hasil tahapan pengolahan
- (Blue arrow) : Air hasil pengolahan dibuang ke sungai
- (Dashed black arrow) : Lumpur hasil sedimentasi

Gambar 4. Skema tahapan pengolahan air limbah industri ideal

Dari skema diatas dapat dilihat terdapat beberapa proses atau tahapan pengolahan yang tidak dimiliki oleh Kawasan Industri Makassar (KIMA). Proses atau tahapan tersebut adalah proses kimia (koagulasi dan flokulasi) dan sedimentasi hasil proses kimia.

Jarak lokasi pengolahan harus berada pada standar jarak yang telah ditentukan, hal ini dikarenakan dampak pengolahan air limbah berupa bau yang kurang sedap dan dampak lain berupa kemungkinan saluran atau tahapan proses pengolahan yang bocor. Standar lokasi permukiman dengan jarak pengolahan air limbah adalah 3 km.

Saat ini, jarak antara pusat kota dan IPAL di KIMA telah melebihi standar yaitu >4 km, sedangkan untuk jarak lokasi permukiman dan IPAL di KIMA masih sangat dekat yaitu ±1 km.



Gambar 5. Peta analisis radius pusat kota dan permukiman ke WWTTP KIMA

3) Analisis Pembuangan Hasil Pengolahan Air Limbah Industri

Hasil dari pengolahan air limbah berupa lumpur hasil sedimentasi dan air hasil pengolahan, dimana lumpur dan air ini dapat langsung dibuang atau dapat juga diolah kembali menjadi bahan yang lebih bermanfaat dan bernilai ekonomis. Air hasil pengolahan yang dibuang ke sungai harus berada pada golongan D atau lebih rendah, sehingga tidak mencemari badan air tempat pembuangan dan juga tidak menimbulkan isu pencemaran lingkungan.

Kawasan Industri Makassar (KIMA) dalam proses pembuangan air limbah tidak memanfaatkan kembali air hasil pengolahan dan pembuangan air limbahnya yang telah dibuang ke badan air golongan rendah menyebabkan isu pencemaran lingkungan yang terjadi di kanal yang mengalir langsung ke sungai tallo.

Evaluasi penerapan secara keseluruhan meliputi 3 komponen penilaian yaitu jaringan penyaluran, pengolahan, dan pembuangan dapat dilihat pada tabel 3. Implementasi pengelolaan air limbah industri yang ideal di Kawasan Industri Makassar mencapai 49,36%, hal ini menunjukkan masih belum maksimalnya pencapaian yang dilakukan pada masing-masing indikator.

Tabel 3. Penilaian pencapaian pengelolaan air limbah kawasan industri

Variabel	Aspek Penilaian	Persentase Penilaian	Total Penilaian
Jaringan Penyaluran	Penyediaan <i>pre-treatment</i>	10%	49,36%
	Penyaluran	6,9%	
	Perpipaan	3,36%	
Proses Pengolahan	Tahapan proses pengolahan	12,5%	49,36%
	Evaluasi jarak lokasi IPAL dari permukiman	1,6%	
	Evaluasi jarak lokasi IPAL dari pusat kota	5%	
Pembuangan	Efisiensi pembuangan air limbah	4%	49,36%
	Pemanfaatan air hasil pengolahan	6%	



4.3. Analisis Kebutuhan

Analisis ini digunakan untuk mengetahui luas lahan yang dibutuhkan dalam perencanaan

pengadaan dan penambahan tahapan proses pengolahan air limbah di Kawasan Industri Makassar (KIMA).

Tabel 4. Analisis kebutuhan

Hasil analisis perbandingan	Kebutuhan
Zona Pelayanan Jaringan Penyaluran kurang lebih mencakup 70% dari total semua bangunan yang ada	Dilakukan penambahan jaringan penyaluran sebanyak 30%
Ukuran pipa penyaluran yang kecil	Peningkatan ukuran pipa menjadi 300 mm dengan menggunakan pipa beton
Kurangnya tahapan pengolahan	Pengadaan tahapan pengolahan Pengolahan kimia koagulasi Pengolahan kimia flokulasi Sedimentasi hasil pengolahan kimia
Telah dilakukan penambahan jaringan penyaluran sehingga maka kapasitas pengolahan juga ikut ditingkatkan	70% terlayani, kapasitas 3.000 m ³ / hari 30% belum terlayani, kapasitasnya = $\frac{30}{70} \times 3.000 = 1.285$ m ³ / hari Kapasitas keseluruhan yang akan dibutuhkan 4.285 m ³ / hari Dibulatkan menjadi 5.000 m ³ / hari agar mencakup hingga beberapa tahun kedepan.
Luasan lahan tiap pengolahan ditingkatkan sesuai kapasitas kebutuhan	Apabila tahapan pengolahan yang kurang memadai akan diperbesar atau ditambahkan sesuai kebutuhan yang akan dihitung pertahap pengolahan dan fasilitas yang ada di KIMA
Tidak adanya pemanfaatan air limbah hasil pengolahan	Dilakukan arahan pemanfaatan air limbah hasil pengolahan

Dari analisis tahapan atau proses pengolahan dapat dilihat bahwa terdapat 3 tahapan atau proses yang belum ada di KIMA. Sehingga, dalam upaya untuk menghasilkan air limbah hasil pengolahan yang tidak mencemari lingkungan akan dilakukan penambahan tahapan proses pengolahan.

Saat ini WTTP KIMA telah mengolah 3.000 m³/hari dengan luasan seluruh WTTP 27.202 m², dibandingkan dengan PT. UNITEX Bogor yang saat ini mengolah air limbah sebanyak 2.000 m³/hari.

Luas lahan yang dibutuhkan untuk proses kimia (koagulasi dan flokulasi) serta tahapan sedimentasi di dapatkan dari luasan lahan yang digunakan pada tahapan yang sama di PT. UNITEX Bogor yang kemudian dibandingkan dengan hasil perbandingan sebelumnya.

Dari hasil analisis diatas dapat diketahui luas lahan untuk proses kimia sebesar 108 m² dan sedimentasi sebesar 247 m². Sedangkan, untuk

mengetahui luas lahan yang dibutuhkan dalam tiap proses pengolahan, dilakukan perhitungan perbandingan antara kapasitas pengolahan KIMA saat ini dan kapasitas pengolahan yang direncanakan.

Tabel 5. Analisis kebutuhan lahan untuk proses kimia dan sedimentasi

No.	Nama Bangunan	Luas lahan bangunan di PT UNITEX Bogor	Luas hasil perbandingan (2:3)
1.	Tahapan proses kimia (koagulasi dan flokulasi)	72 m ²	108 m ²
2.	Sedimentasi	165 m ²	247,5 m ²
	Total	237 m ²	355,5 m ²

Total kebutuhan lahan tiap proses pengolahan yaitu, sebesar 10.143 m². Hasil ini kemudian dijumlahkan dengan lahan fasilitas yang ada seperti kantor dan gudang sehingga untuk keseluruhan lahan yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 7.



Tabel 6. Analisis kebutuhan lahan tiap pengolahan

No	Fasilitas/ tahapan pengolahan	Luas Lahan eksisting (Kapasitas 3.000 m ³ / hari)	Total luas lahan yang direncanakan (Kapasitas 5.000 m ³ / hari)
1	Tempat pembuangan lumpur sementara	114 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 114 = 190 \text{ m}^2$
2	Bak Pengumpul	773 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 773 = 1.285 \text{ m}^2$
3	Proses Mekanik	78 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 78 = 130 \text{ m}^2$
4	Oxidation Ditch	4.268 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 4.268 = 7.113 \text{ m}^2$
5	Equalizin Basin	500 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 500 = 833 \text{ m}^2$
6	Pengolahan Kimia (luas lahan yang telah dianalisis)	108 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 108 = 180 \text{ m}^2$
7	Sedimentasi hasil pengolahan kimia	247,5 m ²	$= \frac{5.000}{3.000} \times 247,5 = 412,5 \text{ m}^2$
Total kebutuhan lahan		6.088,5 m ²	10.143,5 m ²

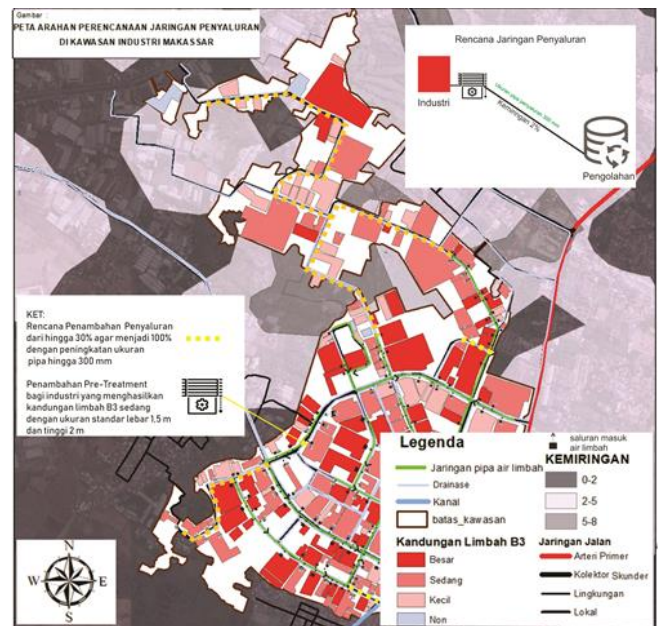
Tabel 7. Analisis total keseluruhan kebutuhan lahan

Nama Bangunan	Luas Lahan
Kantor WTPP	229 m ²
Gudang	80 m ²
Jumlah kebutuhan lahan pengolahan air limbah hasil analisis	10.143 m ²
Total keseluruhan	10.452 m ² ≈ 10.500 m ²

4.4. Arahan Konsep

1) Arahan Konsep Jaringan Penyaluran

Dari hasil analisis dilakukan pengadaan *pre-treatment* setiap industri yang mengandung limbah B3 tinggi dan limbah B3 sedang dengan ukuran standar yaitu lebar maksimum 1.5 m dan tinggi maksimum 2 m, dimensi ini dapat disesuaikan dengan ketersediaan lahan/ruang yang ada. Peningkatan zona penyaluran dengan penambahan pipa penyaluran yang masih belum terlayani yang sekarang hanya melayani 70% di tingkatkan hingga 100% sehingga melayani seluruh industri yang ada di Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan memisahkan saluran drainase dan air limbah, menggunakan prinsip pengaliran gravitasi dengan kemiringan 2%, dan jenis saluran terpusat seperti yang telah dilakukan di KIMA. Selain itu, juga dilakukan peningkatan ukuran pipa menjadi 300 m.



Gambar 6. Arahan perencanaan jaringan penyaluran air limbah di KIMA

2) Arahan Konsep Pengolahan Air Limbah

Bertambahnya jumlah jaringan penyaluran bertambah pula kapasitas limbah yang akan dikelola oleh KIMA, hasil analisis kebutuhan lahan luasan keseluruhan lahan yang dibutuhkan sebesar 10.500 m² dengan setiap pengolahan atau fasilitas ikut bertambah dimana tempat pembuangan lumpur sementara diperluas dengan luas 190 m² dan bak pengumpul



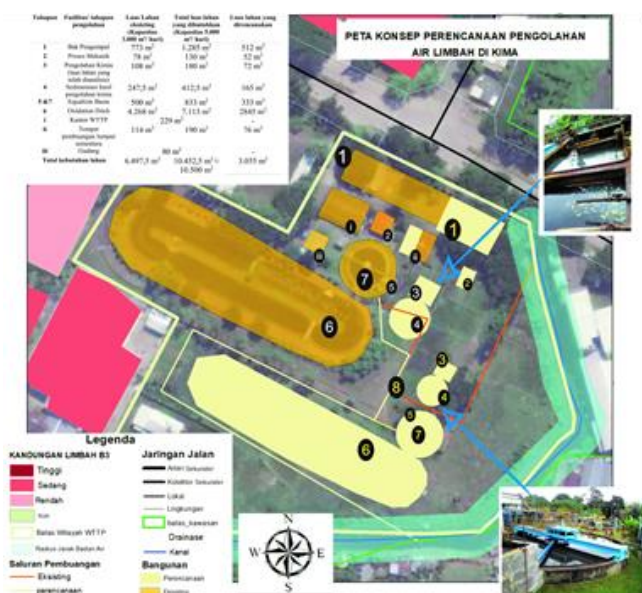
diperluas hingga 1.285 m². Proses mekanik juga diperluas hingga 130 m², pengolahan *oxidation ditch* di tambahkan 1 unit hingga luas keseluruhan proses *oxidation ditch* 7.113 m², dan pengolahan *equalizing basin* di tambahkan 1 unit hingga luas keseluruhan proses *equalizing basin* 833 m².



Keterangan:

- : Air limbah mengandung B3 tinggi
- : Air limbah hasil *Pre-Treatment*
- : Air limbah hasil tahapan pengolahan
- : Air hasil pengolahan dibuang ke sungai
- : Air hasil pengolahan Equalizin Basin dialirkan ke pengolahan *Oxidation Dieth*
- > : Lumpur hasil sedimentasi
- · · : Air limbah ke tahapan yang akan di tambahkan

Gambar 7. Konsep perencanaan skema pengelolaan air limbah di KIMA



Gambar 8. Arah konsep pengolahan air limbah industri di KIMA

Pengolahan kimia (koagulasi dan flokulasi) direncanakan dengan total luas bak hingga 180 m², dan pengolahan sedimentasi dengan membuat 2 bak sedimentasi yang luasan keseluruhan bak 412 m², serta fasilitas seperti kantor dan gudang yang tidak dipengaruhi oleh kapasitas dengan luasan masing-masing fasilitas yaitu 229 m² dan 80 m². Adapun konsep perencanaan secara spasial disajikan dalam peta arahan konsep pengolahan air limbah di KIMA.

3) Arah Pembuangan Hasil Pengolahan Air Limbah

Melakukan proses pemanfaatan air hasil pengolahan air limbah agar dapat bernilai efisien. Pemanfaatan air limbah dapat digunakan sebagai pengaliran air untuk pembudidayaan ikan atau bak ikan. Selain itu, perlu adanya peningkatan kualitas air hasil pengolahan hingga menjadi air bersih siap pakai yang kedepannya dapat digunakan sebagai sumber air industri yang berada di KIMA seperti yang saat ini dilakukan di Singapura.

5. Kesimpulan

Jaringan penyaluran, penyediaan *pre-treatment* (mengadakan tahapan *pre-treatment* di setiap industri yang memiliki kandungan B3 tinggi dan sedang), kriteria saluran mencakup seluruh zona pelayanan dengan menggunakan prinsip pengaliran gravitasi dengan besaran pipa 300-3600 mm. Tahapan pengolahan air limbah sebanyak 3 proses dan 6 tahapan yaitu, proses fisik (mekanik), proses biologi, dan proses kimia. Pembuangan limbah industri dimanfaatkan kembali dimana lumpur hasil pengolahan WWTP diolah menjadi bahan baku kompos sedangkan pemanfaatan air limbah digunakan sebagai pengaliran bak ikan.

Kondisi pengelolaan air limbah eksisting untuk jaringan penyaluran, dimulai dari tahapan *pre-treatment* di setiap industri yang hanya mengandung B3 tinggi saja dengan zona pelayanan mencapai 70%, menggunakan penyaluran terpisah dengan saluran drainase dan proses gravitasi dengan besaran pipa 101 mm. Selanjutnya, proses pengolahan terbagi menjadi 3 proses yaitu proses mekanik, biologi dan fisika. Terakhir, sistem pembuangan khususnya pemanfaatan air limbah hasil pengolahan tidak dilakukan di KIMA dimana, proses yang terjadi



adalah pembuangan langsung ke badan air. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa persentase hasil performa pencapaian pengelolaan air limbah industri Kawasan Industri Makassar (KIMA) berada pada angka 49,36% atau level C.

Arahan konsep pengelolaan dan kebutuhan ruang pengolahan air limbah KIMA mencakup Jaringan penyaluran yaitu, pengadaan *pre-treatment* untuk setiap industri yang mengandung limbah B3 tinggi dan limbah B3 sedang, peningkatan zona penyaluran dengan penambahan pipa penyaluran yang masih belum terlayani yaitu sebesar 30% dengan peningkatan ukuran pipa menjadi 300 mm. Selanjutnya, untuk sistem pengolahan dilakukan penambahan 3 tahapan atau proses pengolahan yaitu proses kimia koagulasi, flokulasi dan sedimentasi. Pemindahan lokasi IPAL juga tidak dilakukan dengan pertimbangan IPAL yang ada telah memenuhi kriteria jarak permukiman ke pengolahan di Kawasan Industri Makassar (KIMA). Terakhir, arahan untuk proses pembuangan limbah yaitu, melakukan proses pemanfaatan air sebagai pengaliran bak ikan. Total luas lahan yang dibutuhkan dalam pembangunan nantinya mencapai 10.500 m².

Saran

1. Memfokuskan pada proses pemanfaatan air limbah hasil pengolahan.
2. Penelitian terbatas pada komponen penyaluran, pengolahan dan pemanfaatan serta aspek teknis dan fisik sehingga tidak meneliti kandungan kimia atau pencemar dalam WTTP KIMA.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan meneliti zona kawasan industri dan mengeluarkan arahan perencanaan berupa zona industri sesuai kandungan limbah yang dihasilkan agar memudahkan dalam pengolahan air limbah.

Daftar Pustaka

- [1] N. Suryani, "Kajian Efisiensi Sistem Pengolahan Air Limbah PT. Unitex Serta Dampaknya Terhadap Perairan," Institut Pertanian Bogor, 2010.
- [2] J. Irman, *Komponen Sistem Pengelolaan Air Limbah Terpusat*. 2015.
- [3] Setiyono dan Heru, "Pengelolaan Limbah Kawasan industri Kecil di Kota Tegal," *J. Peneliti di Pus. Teknol. Lingkungan, BPPT JAI*, vol. 2, no. 2, 2006.
- [4] Anggi and Ariella, *Perencanaan Sistem Penyaluran Sistem Air Buangan dan Debit Air Limbah Di Perumahan Alam*. 2013.
- [5] C. Urip, "Pengolahan Air Limbah di Singapura," <http://cagakurip.com/pengolahan-air-di-singapura/>.



Analisa Pola Kegagalan Balok Beton Menggunakan GFRP Bar Tanpa Selimut Beton

Saddam Husein^{1*}, Rudi Djamaluddin¹, Rita Irmawaty¹, Kusnadi¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: shusein538@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.02

Abstrak

Struktur beton bertulang yang menggunakan tulangan baja pada daerah korosif, menjadi rawan terhadap kerusakan atau penurunan kekuatannya akibat korosi. Korosi pada tulangan baja merupakan salah satu faktor penyebab menurunnya kekuatan struktur beton bertulang. Salah satu material yang dikembangkan mengatasi korosi adalah penggunaan material tulangan GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kapasitas lentur dan pola kegagalan balok beton tanpa selimut dengan menggunakan material tulangan GFRP bar. Desain penelitian merupakan eksperimental laboratorium dengan rekapitulasi sebanyak 6 sampel yang terdiri dari 2 Balok beton menggunakan tulangan baja dengan selimut beton, 2 balok beton menggunakan tulangan GFRP bar dengan selimut beton, 2 balok beton menggunakan GFRP bar tanpa selimut beton. Metode pengujian dilakukan dengan dengan pengujian lentur statik monotonik dan Analisis data menggunakan uji kondisi retak awal dan kondisi ultimit. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas lentur pada balok dengan tulangan GFRP bar lebih besar dibandingkan dengan balok tulangan baja dan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok dalam menahan beban sebesar 39.76 %, pola kegagalan beton yang terjadi pada balok tulangan baja mengalami kegagalan lentur tekan ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi tertekan dan membentuk retakan tegak dengan sumbu netral beton yang tertekan, sedangkan pada balok beton tulangan GFRP tanpa selimut mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser dengan kondisi tulangan berdeformasi (bi-linear) dengan retak miring dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral beton yang tertekan sehingga terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba.

Abstract

Failure Mode Analysis of Concrete Beams using GFRP Rebar without Concrete Cover. Reinforced concrete that uses rebar steel in corrosive areas, are prone to damage or decreased strength due to corrosion. Corrosion in the steel reinforcement is one of the factors that decreasing strength of reinforced concrete. One of the materials developed to overcome corrosion is the use of GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) reinforcement material. This study aims to analyze the flexural capacity and failure mode of concrete beams without concrete cover using material GFRP bar as reinforcement. The research design was an experimental laboratory with a recapitulation of 6 samples consisting of 2 beams using steel reinforcement with concrete cover, 2 concrete beams using reinforcement GFRP bar with concrete cover, 2 beams using GFRP bars without concrete cover. The research method uses the monotonic static flexure and analyzing the data using the initial crack condition and ultimate condition test. The results of the research indicate the flexural capacity of the beams with GFRP bar reinforcement is higher than steel reinforcement beams and can increase 39.76% of the flexural capacity of the beams in holding loads, the failure mode analysis occurs in steel reinforcing beam experiences compressive failure. Failure was characterized by cracks that occur on the depressing side and form an upright crack with the neutral axis of the compressed concrete, whereas in GFRP reinforced concrete beams without concrete cover, failure of shear compression with conditions of deformed reinforcement (bi-linear) with sloping cracks and suddenly spread towards the neutral axis of the compressed concrete so that there was a sudden collapse.

Kata Kunci: GFRP bar, kapasitas lentur, balok beton tanpa selimut

1. Pendahuluan

Struktur beton bertulang yang menggunakan tulangan baja yang berada pada daerah lingkungan laut atau pantai dimana kontak dengan air laut tidak dapat dihindari, menjadi rawan terhadap kerusakan atau penurunan kekuatannya akibat korosi. Korosi pada tulangan baja merupakan salah satu

faktor utama penyebab menurunnya kekuatan struktur beton bertulang [1]. Penggunaan tulangan tahan korosi pada elemen struktur beton bertulang pada kondisi lingkungan sangat agresif untuk meningkatkan umur struktur dan mengurangi biaya perawatan selama masa layan. Salah satu material yang dikembangkan sebagai tulangan struktur beton bertulang adalah



material FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) dalam bentuk tulangan (bar) yang berbahan dasar gelas atau *GFRP bar*. Selain tahan korosi, GFRP bar juga memiliki kekuatan yang tinggi, tidak terpengaruh magnet, memiliki ketahanan fatik yang baik, ringan, rendah daya hantar panas dan listriknya [2].

Penggunaan GFRP bar untuk penulangan pondasi lebih menguntungkan karena memiliki kuat tarik dan daya tahan terhadap korosi yang lebih tinggi dibandingkan tulangan besi untuk diameter yang sama. Balok beton bertulang yang memikul beban lentur, penampang balok menerima tegangan lentur tekan dan tegangan lentur tarik [3].

terjadinya dua mode kegagalan struktur yaitu kegagalan getas dengan hancurnya beton pada sisi tertekan dan kegagalan tarik dengan putusnya tulangan FRP. Mode kegagalan beton pada sisi tertekan lebih disukai dibandingkan dengan mode kegagalan tarik karena sifat plastis beton yang dapat melebihi kondisi batas bisa menjadi pertanda kegagalan dan kegagalannya kurang cepat dibandingkan dengan kegagalan akibat putusnya tulangan FRP bar [4].

Balok beton bertulang tanpa selimut tentunya akan mengalami penurunan kapasitas lentur mengingat rekatan antara tulangan dan beton juga berkurang. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kekuatan rekatan tulangan FRP bar dengan beton lebih rendah dari tulangan besi dan berkurangnya tebal selimut beton juga menurunkan kekuatan rekatan tulangan dengan beton [5].

Pemasangan GFRP sheet selain sebagai geser juga diharapkan memberikan efek kekangan pada beton sehingga meningkatkan lekatan tulangan dengan beton. Berdasarkan model yang dibuat sebagai sebuah inovasi dalam konstruksi beton bertulang.

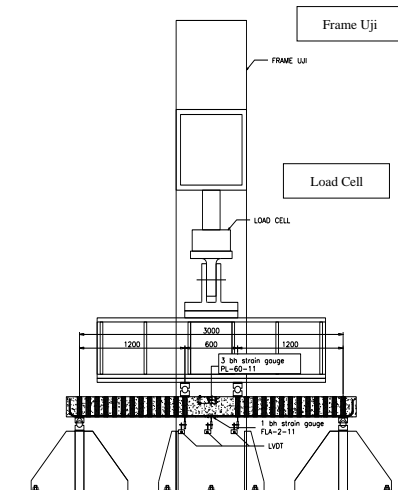
Berdasarkan permasalahan di atas, maka akan diidiskusikan analisa pola kegagalan balok beton menggunakan GFRP bar tanpa selimut beton.

2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

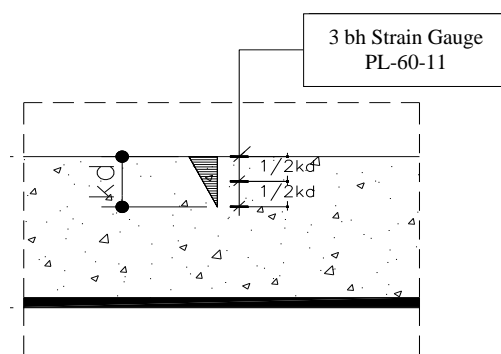
Balok beton bertulang diuji dengan empat titik pembebanan seperti pada gambar. Balok

ditumpu dengan dua buah perletakan sederhana (sendi-rol) dengan jarak tumpuan 3000 mm. Dua pembagi beban tak langsung dengan jarak 600 mm dari profil baja. Rasio bentang geser (a/d) adalah 5,6 mengindikasikan balok berada pada zona keruntuhan lentur. Pembebanan diberikan secara monotonik hingga hancur dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema pengujian balok

Pada sisi tekan balok dipasang tiga buah strain gauge PL-80-11 pada posisi serat terluar, pada jarak setengah blok tekan dan pada posisi peralihan blok tekan seperti pada gambar 2. Pada sisi bawah (tarik) dipasang tiga buah LVDT masing pada tengah bentang dan dibawah titik pembebanan.



Gambar 2. Posisi strain gauge beton

3. Hasil Penelitian

3.1. Karakteristik Tulangan Baja dan GFRP Bar

Pengujian tarik baja tulangan dilakukan sebelum pembuatan benda uji. Hal ini bertujuan untuk mengetahui mutu baja tulangan yang akan digunakan. Hasil pemeriksaan kuat tarik baja tulangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian tarik baja tulangan

Sample	Tegangan Leleh (Nmm ²)	Regangan Leleh (u)	Tegangan Ultimit (N mm ²)	Modulus Elastisitas (N/m ²)	Klasifikasi SNI-2052-2014
I	372.8	1823.81	534.59	202980	Bj TS 35
II	383.91	1983.81	561.66	194922	Bj TS 35
III	361.56	1743.81	547.79	212990	Bj TS 35
Rata-rata	372.76	1,850.5	548.0	203,631	

Uji tarik GRFRP bar tidak dapat dilakukan dilaboratorium disebabkan terjadinya selip antara *grip* tulangan untuk mencengkram GFRP bar pada saat beban tarik dilakukan. Namun

produsen GFRP bar (PT.Tyfo) telah mengeluarkan sifat mekanis dari GFRP bar dapat dilihat pada tabel 2.

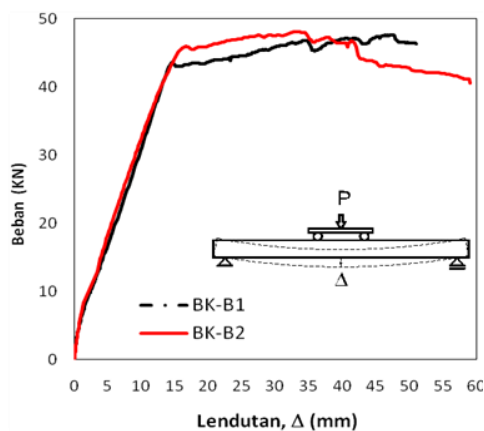
Tabel 2. Sifat mekanis GFRP bar

Diameter nominal (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Kuat tarik (Mpa)	Regangan putus (%)	Modulus Elastisitas (Mpa)
12.7	129	708	1.79	44800

3.2. Hasil Analisa Balok Beton Bertulang

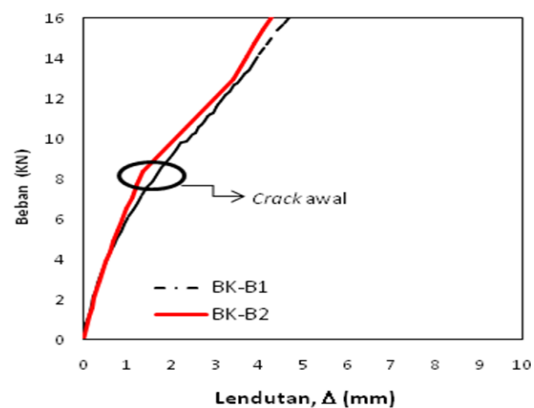
1) Hubungan Beban Lendutan Balok Kontrol Tulangan Baja (BK)

Grafik hubungan beban lendutan balok kontrol satu (BK-B1), memperlihatkan baja tulangan bersifat elastisitas penuh hingga balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 7.53 kN dengan nilai lendutan sebesar 1.455 mm. Setelah retak awal, balok kemudian memperlihatkan sifat elastoplastis baja hingga tulangan mengalami leleh dimana nilai beban sebesar 43.6492 kN dengan nilai lendutan 14.6 mm. Kurva hubungan menjadi jauh lebih datar dibanding sebelumnya, hal ini terjadi sampai balok mengalami keruntuhan (*failure*) pada beban ultimit sebesar 47.581 kN dengan nilai lendutan 47.04 mm.



Gambar 3. Hubungan beban dan lendutan Balok Kontrol (BK)

Pada balok kontrol dua (BK-B2) mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 8.33 kN dengan nilai lendutan sebesar 1.36 mm. Setelah retak awal, balok kemudian memperlihatkan sifat elastoplastis baja hingga tulangan mengalami leleh dimana nilai beban sebesar 45.91 kN dengan nilai lendutan 14.44 mm. Kurva hubungan menjadi jauh lebih datar dibanding sebelumnya, hal ini terjadi sampai balok mengalami keruntuhan (*failure*) pada beban ultimit sebesar 48.11 kN dengan nilai lendutan 33.65 mm.



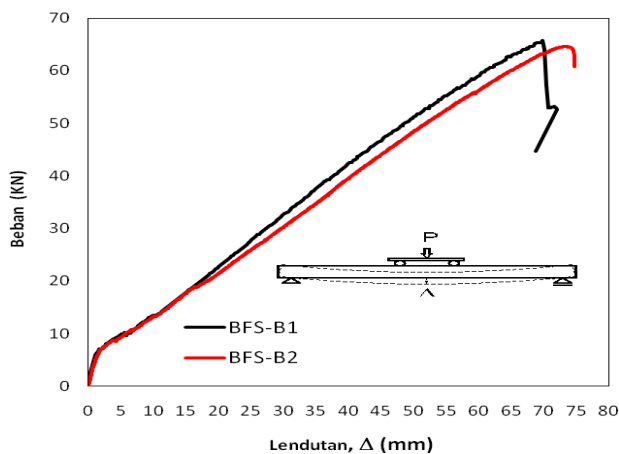
Gambar 4. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal balok BK (Balok Kontrol)

2) Hubungan Beban dan Lendutan Balok Tulangan GFRP Bar Selimut Beton (BFS)

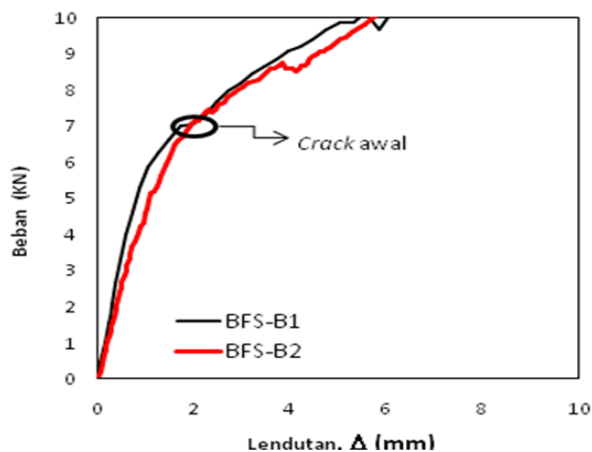
Grafik hubungan beban lendutan balok fiber selimut beton (BFS-B1), memperlihatkan balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 7.263 kN dengan nilai lendutan sebesar

2.22 mm. Pada kondisi *crack* awal pada BFS hampir sama dengan BK, namun tulangan GFRP memiliki perilaku *bi-linear* yang diteliti pada peneliti terdahulu, hal ini menyebabkan balok runtuh pada beban ultimit sebesar 65.70 kN dengan lendutan sebesar 69.75 mm.

Pada BFS-02 memperlihatkan balok mengalami *crack* awal pada beban sebesar 7.13 kN dengan lendutan sebesar 2.03 mm. Peningkatan beban secara terus menerus hingga balok mengalami kondisi runtuh pada beban 64.64 kN dengan lendutan sebesar 73.44 mm.



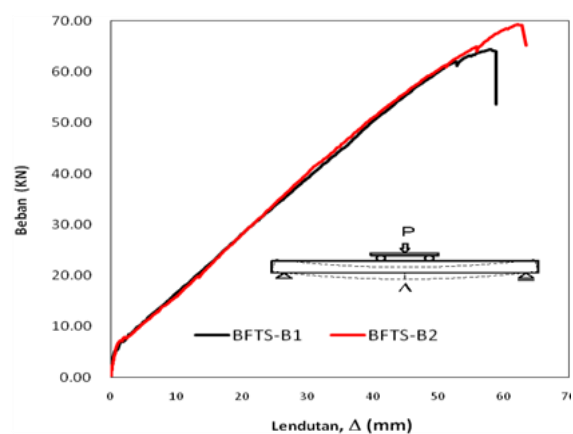
Gambar 5. Hubungan beban dan lendutan Balok Fiber Selimut Beton (BFS)



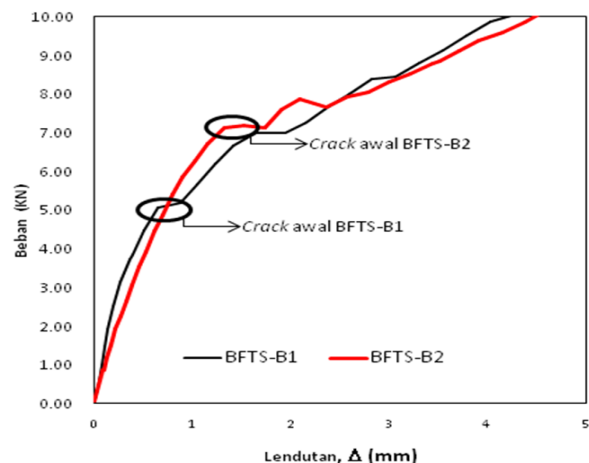
Gambar 6. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal balok BFS

awal pada BFTS hampir sama dengan BK, namun tulangan GFRP memiliki perilaku *bi-linear* yang diteliti pada peneliti terdahulu, hal ini menyebabkan balok runtuh pada beban ultimit sebesar 64.04 kN dengan lendutan sebesar 58.91 mm.

Pada BFTS-B2 memperlihatkan balok mengalami *crack* awal pada beban sebesar 7.13kN dengan lendutan sebesar 1.74 mm. Peningkatan beban secara terus menerus hingga balok mengalami kondisi runtuh pada beban 69.31kN dengan lendutan sebesar 62.16 mm.



Gambar 7. Hubungan beban dan lendutan Balok Fiber Selimut Tanpa Beton (BFTS)



Gambar 8. Hubungan beban dan lendutan pada kondisi *crack* awal

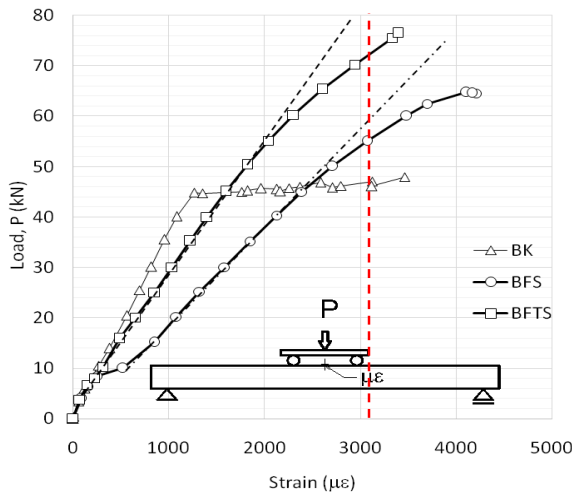
3) Hubungan Beban dan Lendutan Balok GFRP Bar Tanpa Selimut Beton (BFTS)

Grafik hubungan beban lendutan balok fiber tanpa selimut beton (BFTS-B1), memperlihatkan balok mengalami retak awal dimana nilai beban sebesar 5.06kN dengan nilai lendutan sebesar 0.66 mm. Pada kondisi *crack*

4) Hubungan Beban dan Regangan Beton

Kurva hubungan beban regangan beton mirip kurva beban lendutan. Pada balok normal BK kondisi leleh beban berada pada 13.99 kN dengan regangan sebesar 384.62 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 46.11 kN dengan regangan sebesar 3119.23 $\mu\epsilon$. Pada

balok dengan fiber selimut (BFS) kondisi leleh beban berada pada 13.99 kN dengan regangan sebesar 849.99 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 64.50 kN dengan regangan sebesar 4209.61 $\mu\epsilon$. Pada balok dengan fiber tanpa selimut (BFTS) kondisi leleh beban berada pada 20.058 kN dengan regangan sebesar 648.077 $\mu\epsilon$ hingga balok mengalami kegagalan pada beban 76.50 kN dengan regangan sebesar 3394.23 $\mu\epsilon$.



Gambar 9. Hubungan beban dan regangan Beton BK, BFS, BFTS

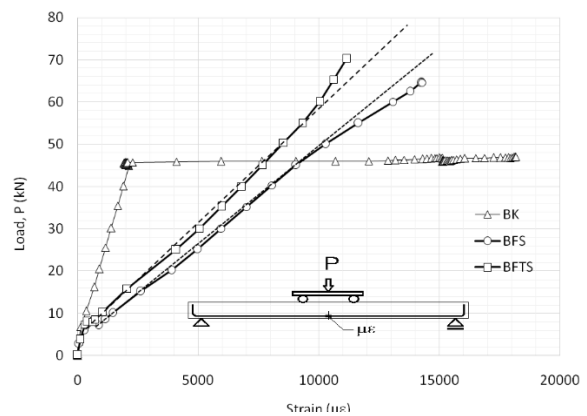
Dari hasil grafik hubungan beban – regangan beton. beton normal BK, beton fiber selimut (BFS), beton fiber tanpa selimut (BFTS) mampu berdeformasi lebih besar dari 3000 $\mu\epsilon$ sebelum mengalami beton hancur.

5) Hubungan Beban dan Regangan Baja

Untuk mengevaluasi beban dan regangan pada baja maka dibuat hubungan beban dan regangan baja. Besar regangan baja pada eksperimen ini diukur dengan menggunakan alat strain gauge tipe FLA-6-11-5L (gauge factor $2,12 \pm 1\%$). Kenaikan regangan direkam melalui data logger TDS 530 yang ditransfer ke computer software. Pencatatan data regangan baja pada benda uji dilakukan setiap perubahan beban oleh hydraulic pump yang terekam oleh load cell yang ditransfer ke benda uji. pada balok normal menggunakan baja tulangan sedangkan pada balok fiber selimut (BFS) dan balok fiber tanpa selimut (BFTS) menggunakan GFRP bar.

Hubungan beban-regangan Baja yang terjadi di tengah bentang pada balok dengan kondisi normal (BK), balok fiber selimut

(BFS), balok fiber tanpa selimut (BFTS), dimana pada balok normal BK beban maksimum sebesar 47.04 kN dengan regangan tulangan baja 18174.5 $\mu\epsilon$ pada Balok fiber selimut (BFS) beban maksimum sebesar 64.57 kN dengan regangan tulangan baja 14277.7 $\mu\epsilon$ Pada balok fiber tanpa selimut (BFTS) beban maksimum sebesar 70.2386 kN dengan regangan tulangan baja 11143.1 $\mu\epsilon$. Grafik pada gambar 20, menjelaskan Kondisi tulangan GFRP bar pada balok BFS dan BFTS yang belum mengalami putus akibat pemberian beban secara statis ditandai kurva yang linear, pada saat setelah balok mengalami *crack awal* ditandai dengan perubahan kekakuan pada balok dan tulangan.



Gambar 10. Hubungan beban dan regangan Baja BK, BFS, BFTS

6) Pola Retak dan Mode Kegagalan

Pola retak dan keruntuhan Balok Kontrol (BK), Balok Fiber Selimut (BFS), Balok Fiber Tanpa Selimut (BFTS) dari hasil pengujian tersebut menunjukkan bahwa pada balok BK-B1, BK-B2, BFS-B1, BFS-B2, BFTS-B2 mengalami kegagalan lentur. Kegagalan Retak lentur ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi bawah menjalar ke atas dan membentuk retakan tegak lurus sumbu balok. Retakan geser muncul dengan terbentuknya retak miring terjadi akhir pembebanan. Retak miring terbentuk dari retak lentur pada bentang geser. Retak miring terjadi pada bagian sisi tertekan pada bentang geser dan sisi tengah balok di dekat tumpuan.



Gambar 11. Mode keruntuhan Balok Kontrol (BK)



Gambar 12. Mode keruntuhan balok BFS

Pada balok BFS-B1 mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser, kegagalan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertical di tengah bentang, dan tidak terus menjalar karena terjadi kehilangan lekatan lembar U-Wrap GFRP-SHEET, setelah itu diikuti dengan retak miring yang lebih curam dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral.



Gambar 13. Mode keruntuhan balok BFTS

Tabel 3. Rekapitulasi mode keruntuhan semua sample balok

No.	Jenis balok	Mode keruntuhan
1	balok kontrol (bk-b1)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
2	balok kontrol (bk-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
3	balok fiber selimut (bfs-b1)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
4	balok fiber selimut (bfs-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)
5	balok fiber tanpa selimut (bfts-b1)	keruntuhan geser (delaminasi pada grfp sheet sebelum runtuh, beton pecah serta retak miring di daerah geser)
6	balok fiber tanpa selimut (bfts-b2)	keruntuhan lentur (sisi tekan beton retak dan pecah)

4. Kesimpulan

Kapasitas lentur pada balok dengan tulangan GFRP bar lebih besar dibandingkan dengan balok dengan tulangan baja dan mampu meningkatkan kapasitas lentur balok dalam menahan beban sebesar 39.76 %, pola kegagalan beton yang terjadi pada balok tulangan baja mengalami kegagalan lentur tekan ditandai dengan retakan yang terjadi pada sisi tertekan dan membentuk retakan tegak dengan sumbu netral beton yang tertekan, sedangkan pada balok beton tulangan GFRP tanpa selimut mengalami kegagalan keruntuhan tekan geser dengan kondisi tulangan berdeformasi (bi-linear) dengan retak miring dan secara tiba-tiba menjalar menuju sumbu netral beton yang tertekan sehingga terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba.

Referensi

- [1] L. Wang, X. Zhang, J. Zhang, Y. Ma, and Y. Liu, "Effects of Stirrup and Inclined Bar Corrosion on Shear Behavior of RC Beams," *Constr. Build. Mater.*, vol. 98, pp. 537–546, 2015.
- [2] ACI 440.1R-03, "Guide for the Design and Construction of Concrete Reinforced with FRP Bars," *ACI Comm.*, vol. 440, no. 88, pp. 1–6, 2003.
- [3] S. A. Jabbar and S. B. H. Farid, "Replacement of Steel Rebars by GFRP Rebars in the Concrete Structures," *Karbala Int. J. Mod. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 216–227, 2018.
- [4] C. Bywalski, M. Drzazga, M. Kamiński, and M. Kaźmierowski, "Analysis of Calculation Methods for Bending Concrete Elements Reinforced with FRP Bars," *Arch. Civ. Mech. Eng.*, 2016.
- [5] A. Veljkovic, V. Carvelli, M. M. Haffke, and M. Pahn, "Concrete Cover Effect on the Bond of GFRP Bar and Concrete Under Static Loading," *Compos. Part B Eng.*, vol. 12, pp. 40–53, 2017.

Analisis Pola Kegagalan Balok Sistem Rangka dengan Perkuatan di Daerah Tumpuan

Mardis Darwis^{*1}, Rudi Djamaluddin¹, Rita Irmawaty¹, Astiah Amir¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: mardisdarwis88@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.03

Abstrak

Pada penelitian sebelumnya Balok Terbuka Sistem Rangka (BTR) mengalami penurunan kapasitas lentur yang disebabkan oleh retak yang terjadi di daerah tumpuan. Oleh karena itu diperlukan penambahan perkuatan tarik di daerah tumpuan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa menganalisis kapasitas momen ultimit pada balok terbuka sistem rangka serta menganalisis pengaruh perkuatan tulangan tarik pada daerah tumpuan terhadap pola retak balok. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental. Benda uji beton bertulang dengan sistem tulangan rangka berdimensi 15 cm x 20 cm x 330 cm diberi perkuatan tarik pada daerah tumpuan dengan 3 variasi panjang tulangan perkuatan, yaitu BTRP 40D, BTRP 50D dan BTRP 60D. Pengujian benda uji dengan menggunakan beban statis. Hasil dari pengujian menunjukkan benda uji 40D tidak mencapai beban ultimit karena masih mengalami kegagalan prematur di daerah tumpuan sebagaimana balok BTR sebelumnya sementara benda uji BTRP 50 dan BTRP 60D mengalami peningkatan kapasitas ultimit dan tidak mengalami kegagalan prematur di daerah tumpuan. Panjang perkuatan tarik 60D lebih efektif karena memiliki kapasitas beban ultimit terbesar dan mengalami lebih sedikit retak akibat geser dan lentur dibandingkan benda uji lain.

Abstract

The previous research of using truss system reinforcement in the beam without concrete (BTR) in the tension zone causes a decrease in flexural capacity due to the failure in the area near the support. Therefore, it is necessary to add tensile reinforcement in the support zone. This study aims to analyze the ultimate capacity of the truss system concrete beam strengthened with tensile reinforcement and to analyze the effect of tensile reinforcement in support zone due to crack pattern. This study was conducted experimentally in the laboratory. The dimension of truss reinforced concrete specimens are 15 cm x 20 cm x 330 cm that added tensile reinforcement with three types of length, they are BTRP 40D, BTRP 50D, and BTRP 60D, where D (13 mm) is diameter of tensile reinforcement. The flexural test is carried out by monotonic static loading. The results showed that tensile reinforcement in BTRP 40D was not able to carry the ultimate capacity due to premature failure in the support zone. while BTRP 50D and BTRP 60D specimens can enhance the ultimate capacity without facing premature failure in the support zone. The tensile reinforcement of 60D has the highest ultimate capacity because it can carry the biggest loads and minimum crack pattern.

Kata Kunci: Kapasitas beban ultimit, kapasitas lentur, pola retak, tulangan sistem rangka

1. Pendahuluan

Dengan berkembangnya teknologi dan ilmu pengetahuan, berbagai inovasi telah diterapkan untuk meningkatkan kuat lentur balok bertulang, salah satunya adalah penggunaan tulangan sistem rangka balok beton bertulang dengan konfigurasi tulangan geser vertikal menjadi tulangan miring. Sistem rangka pada balok beton bertulang sebagai penguatan balok beton telah dipopulerkan di Italia. Balok tulangan sistem rangka dapat menahan beban yang lebih besar dan bentang yang miring dapat meningkatkan kuat geser dan lentur pada balok serta mengurangi besarnya lendutan. Hal ini

didasari pada hasil ekperimental oleh beberapa peneliti sebelumnya. Salah satu penerapan sistem rangka pada penelitian sebelumnya, Analogi rangka, yang didasarkan pada bukti eksperimental yang relevan, cenderung mengasumsikan bahwa retak yang terbentuk pada balok beton bertulang mengakibatkan kegagalan. Tegangan blok-blok beton antara retak-retak yang berdekatan akan membawa gaya tekan miring dan ditahan pada tulangan lebih panjang dari balok bertulang biasa. Perubahan geometrik tulangan geser vertikal menjadi kompresi diagonal. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan seperti rangka



dapat dicapai melalui tulangan longitudinal menahan batang tarik dari rangka sementara beton merupakan batang tekan kedua sisi balok, kemudian tulangan geser diagonal untuk menahan gaya tarik vertikal kemudian bergabung dengan dengan tulangan longitudinal yang berdekatan [1]–[3]. Hermanto pada tahun 2015 [4] menyajikan hasil studi tentang kapasitas lentur balok beton bertulang dengan atau tanpa *styrofoam* sebagai beton pengisi (SFC) pada daerah tarik menunjukkan bahwa hubungan beban dan lendutan pada balok dengan SFC-30 menggunakan sistem rangka beton bertulang menunjukkan daktilitas lebih baik baik dari pada balok beton normal serta kapasitas lentur balok beton komposit menghasilkan lendutan lebih besar dibandingkan beton normal. Adrija, dkk. [5] pada tahun 2017 melakukan penelitian tentang pengaruh tulangan sistem rangka (BTR) terhadap kapasitas lentur balok tanpa beton pada penampang tarik melalui pengujian eksperimental dan analisis teoritis. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh tulangan sistem rangka terhadap kapasitas lentur balok. Hasil pengujian dan analisis menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok BTR memiliki kemampuan menahan beban ultimit yang lebih besar dibandingkan dengan balok beton normal. Namun, pada balok BTR tanpa beton pada penampang tarik terjadi retak pada daerah tumpuan. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka diperlukan perkuatan pada daerah tumpuan tersebut dengan menggunakan batang tarik. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka akan

dilakukan penelitian dengan judul "Analisis Pola Kegagalan Balok Sistem Rangka Dengan Perkuatan Di Daerah Tumpuan".

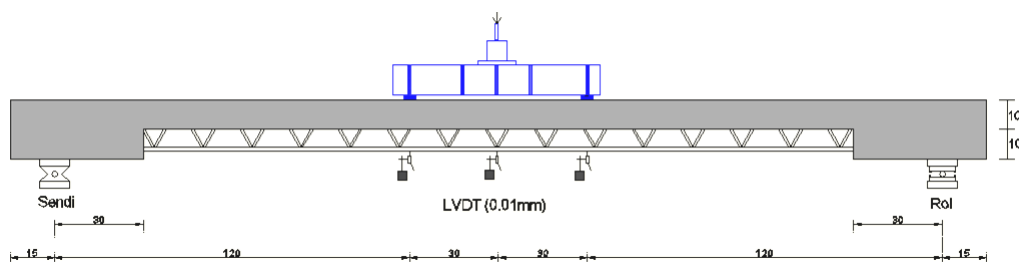
2. Metode Penelitian

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan waktu kurang lebih tiga bulan, dimulai dengan persiapan, pencampuran, pengujian karakteristik, perendaman, pengetesan, dan pengolahan data. Proses dan pelaksanaan pengujian akan dilaksanakan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Gowa. Persiapan, pencampuran, pengujian karakteristik, perendaman, pengetesan, dan pengolahan data. Proses dan pelaksanaan pengujian akan dilaksanakan pada Laboratorium Bahan dan Struktur Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin Gowa.

2.2. Pengujian Spesimen

Pembacaan *load cell* untuk pengujian balok dilaksanakan setiap pembebanan 1 kN. Untuk mencatat lendutan yang terjadi pada balok dipasang tiga buah LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) yang ditempatkan pada bagian bawah sebanyak 2 buah dan pada bagian atas sebanyak 1 buah pada tengah bentang. Nilai regangan diukur dengan menggunakan alat *strain gauge*. Kemudian direkam melalui *data logger* TDS 1100.



Gambar 1. Setup benda uji

Namun pada balok BTRP 40D moda keruntuhan berupa retak yang hampir patah pada daerah tumpuan, bagian atas balok sementara beton belum hancur dan tulangan utama belum leleh. Perkuatan batang tulangan tekan didaerah tumpuan dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok. Panjang penyaluran balok yang

efektif adalah 60D dengan panjang = 78 cm, yaitu balok BTRP 60D dimana beban ultimitnya lebih besar diantara semua benda uji

2.3. Desain Benda Uji

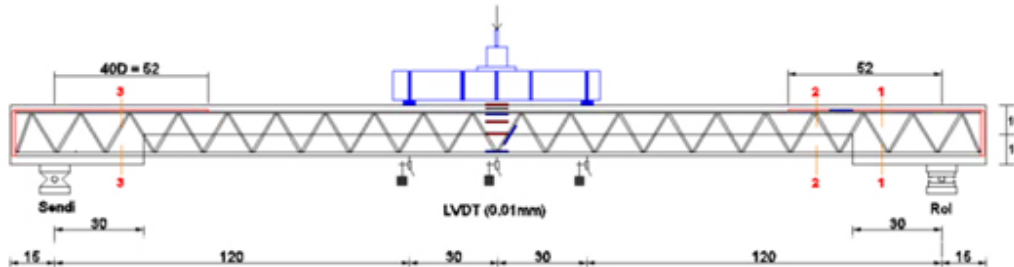
Variabel balok lentur (15 cm x 20 cm x 330 cm) yang akan diteliti pada penelitian ini terdiri



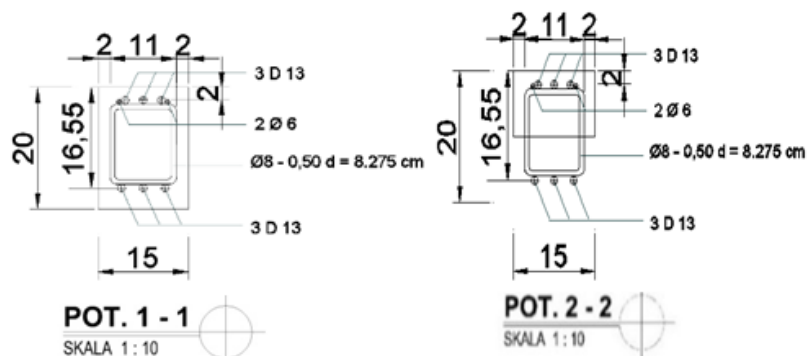
dari 6 jumlah sampel, di mana terdapat balok normal, dan balok perkuatan dengan variasi panjang pada daerah tumpuan. Variabel dan notasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Notasi dan jumlah sampel

No	Notasi benda uji	Jumlah Sampel	Panjang perkuatan	Ket.
1	BTRP 40D	2	520 mm	Perkuatan
2	BTRP 50D	2	650 mm	Perkuatan
3	BTRP 60D	2	780 mm	Perkuatan



Gambar 2. Tampak depan benda uji



Gambar 3. Potongan benda uji

3. Hasil Penelitian

3.1. Karakteristik Material

Balok beton bertulang sistem rangka dengan perkuatan (BTRP) merujuk pada standar uji ASTM C39 [6] dan baja tulang pada standard uji ASTM E8-04 [7], Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Material properties

Beton		Baja Tulangan	
Parameter		Parameter	
Kuat Tekan ($f'c$)	26.52 MPa	Tegangan leleh (f_y)	373.64 MPa
Kuat tarik (f_t)	3 MPa	Tegangan ultimit (F_{smax})	469.24 MPa
Tegangan lentur (f_r)	3.64 MPa	Regangan leleh (ϵ_s)	0,00199x 10^6
Modulus elastisitas (E)	24.450x 10^3	Modulus Elastisitas (E_s)	198870 MPa

3.2. Hubungan Beban dan Lentutan

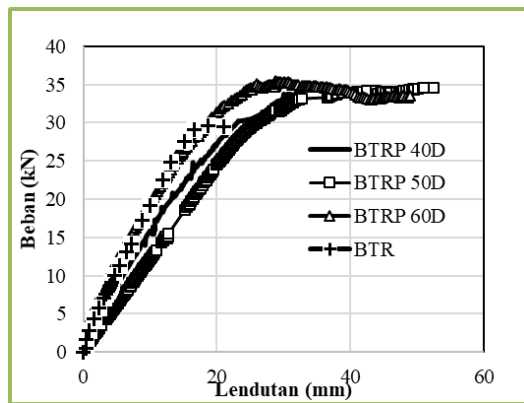
Pada Tabel 3 diuraikan rekapitulasi hasil pengujian pada kondisi retak awal, leleh dan ultimit yaitu beban awal retak (P_{cr}), momen retak (M_{cr}), beban leleh (P_y), momen leleh (M_y), beban ultimit (P_u), momen ultimit (M_u) dan lendutan maksimum.

Tabel 3. Rekapitulasi hasil pengujian balok

Uraian	Spesimen			
	BTR	BTRP 40D	BTRP 50D	BTRP 60D
P_{cr} (kN)	4,34	4,70	4,8	5,66
M_{cr} (kNm)	3,01	3,23	3,29	3,80
P_y (kN)	-	-	30,40	30,72
M_y (kNm)	-	-	17,00	18,84
P_u (kN)	29,64	34,39	34,58	35,45
M_u (kNm)	18,20	21,05	21,16	21,68
Lendutan(mm)	18,75	33,06	51,03	28,45

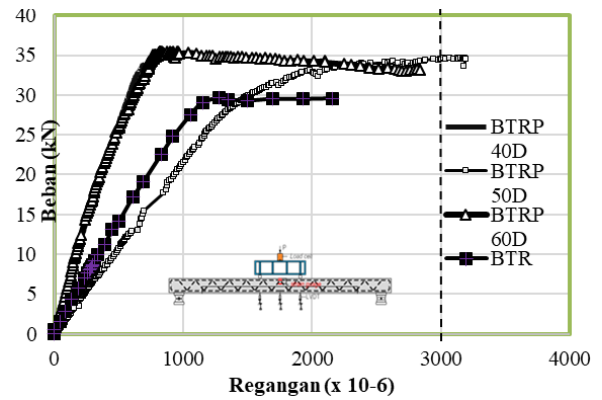


Pada Gambar 4, tulangan utama balok BTR tidak mengalami leleh sementara beton sudah mengalami retak lebar dan diikuti dengan kegagalan premature. Beban Retak awal dari BTR (P_{cr}) sebesar 4.34 kN dan momen retak sebesar 3.01 kNm dengan lendutan maksimal sebesar 18,75 mm dan beban ultimit 29,64 kN. Pada balok BTRP 40D, beban ultimitnya meningkat 16,02 % dari balok BTR, balok BTRP 50D meningkat 16,66 % dan pada balok BTRP 60D sebesar 19,6 % dari balok BTR. Ini menunjukkan kapasitas lentur rendah pada balok BTR diakibatkan oleh kegagalan premature pada daerah tumpuan.



Gambar 4. Grafik hubungan beban dan lendutan

3.3. Hubungan Beban dan Regangan Beton



Gambar 5. Grafik hubungan beban dan regangan beton

Berdasarkan Tabel 4, pada benda uji BTRP 50D, saat beban ultimit tercapai beton telah hancur, tetapi berbeda dengan balok BTRP 60D, pada saat beban ultimit, beton belum hancur akan tetapi tulangan utama sudah meleleh. Selanjutnya BTR dan BTRP 40D terjadi kegagalan dini sebelum tulangan utama leleh dan beton belum mencapai batas regangan hancur beton.

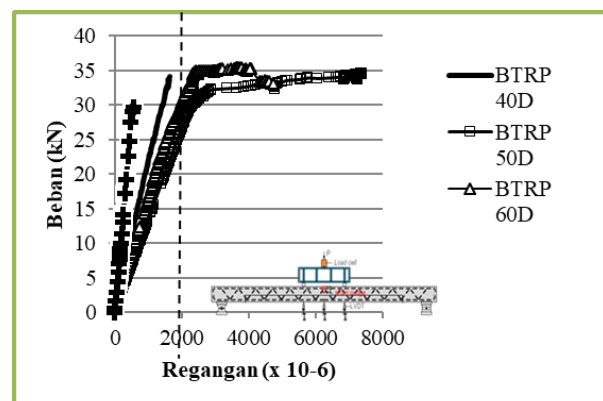
Tabel 4. Regangan beton pada beban P_{cr} , P_y dan P ultimit

Benda Uji	Beban (kN)			Regangan (μ)		
	P_{cr}	P_{yield}	$P_{ultimit}$	$\epsilon_{s\ crack}$	$\epsilon_{s\ yield}$	$\epsilon_{s\ ultimit}$
BTR	4,33	-	29,64	136	-	1277
BTRP 40D	4,70	-	34,39	84	-	738
BTRP 50D	4,80	26,74	34,58	223	1260	2372
BTRP 60D	5,66	30,72	35,45	96	631	831

3.4. Hubungan Beban dan Regangan Baja

1) Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Utama

Peningkatan beban-regangan baja pada balok BTRP50 dan BTRP 60D terhadap balok BTR disebabkan oleh pengaruh perkuatan tulangan tarik pada daerah tumpuan yang menjadi solusi untuk mencegah terjadinya retak dimana kondisi tersebut menjadi penyebab turunnya kapasitas lentur balok. Namun pada balok BTR dan BTRP 40D masih terjadi retak pada daerah tumpuan yang menyebabkan terjadi kegagalan dini, balok patah sebelum tulangan utama meleleh.

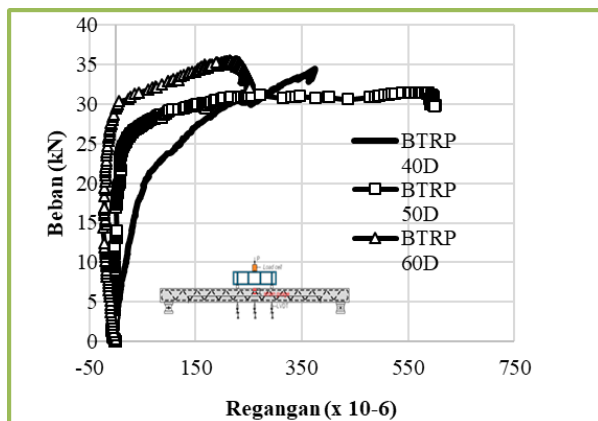


Gambar 6. Hubungan beban dan regangan tulangan utama



2) Hubungan Beban dan Regangan Tulangan Perkuatan

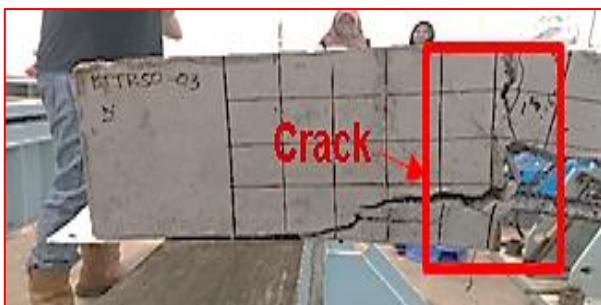
Tulangan perkuatan yang diletakkan pada sisi atas (tekan) balok dengan variasi panjang penulangan 40D, 50D, dan 60D, Secara natural tulangan ini berfungsi sebagai tulangan tekan sehingga pada awal pembebanan tulangan bersifat tekan yang ditunjukkan dengan nilai regangan negatif. Namun pada beban tertentu, perlakuannya berubah menjadi tarik sehingga regangan yang terukur adalah regangan yang bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa sisi atas balok yang diatas tumpuan mengalami tarik. Tulangan tarik ini berfungsi meningkatkan kapasitas lentur balok saat balok mengalami lendutan akibat beban, dan tulangan perkuatan ini berfungsi menjadi tulangan tarik. Hubungan beban regangan tulangan perkuatan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan beban dan regangan tulangan perkuatan

3.5. Pola Kegagalan

1) Balok BTR



Gambar 8. Pola keruntuhan balok BTR

Pada Gambar 8. Menunjukkan retak lebar (*wide crack*) pada daerah tumpuan. Beton pada balok BTR mengalami keruntuhan sebelum

tulangan utama mengalami leleh, ini disebabkan menurunnya kekuatan penampang pada tulangan yang terekspos. Perubahan inersia merupakan salah satu penyebab terjadinya penurunan kuat penampang pada balok. Jika dilihat dari pola retak awal merupakan retak akibat geser kemudian diikuti dengan retak lentur diakhir.

2) Balok BTRP 40D

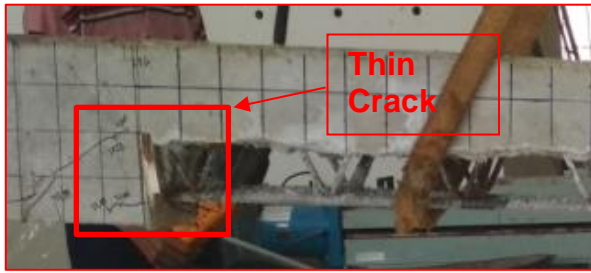
Pada Gambar 8 memperlihatkan benda uji BTR 40D mengalami retak awal saat beban sebesar 7.78 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 34.39 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTR 40D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *over-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan belum leleh tetapi beton sudah hancur. Perilaku berbeda pada balok BTRP 40 di daerah tumpuan, patahan yang semula tepat di daerah transisi perubahan penampang berpindah kearah tengah balok. Perubahan ini disebabkan oleh perkuatan tarik 40D di daerah tumpuan dimana perkuatan tarik menambah kekuatan penampang balok akibat pengurangan beton pada sisi tarik.



Gambar 9. Pola retak balok BTRP 40D

3) Balok BTRP 50D

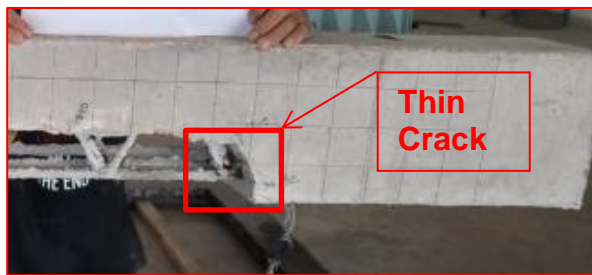
Pada Gambar 10 Menunjukkan benda uji BTRP 50D mengalami retak awal saat beban sebesar 4,8 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 34,58 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTR 50D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh sebelum beton hancur.



Gambar 10. Pola retak balok BTRP 50D

5.4. Balok BTRP 60D

Berdasarkan pengamatan pada Gambar 10 memperlihatkan benda uji BTRP 60D mengalami retak awal saat beban sebesar 3.07 kN. Seiring pembebanan yang terus berlanjut, retakan pada sisi tarik terus merambat sampai pada beban ultimit 33.45 kN dengan sebaran retakan yang merambat melebihi 3/4 bentang balok. Pada benda uji BTRP 60D mengalami kegagalan yang menyerupai perilaku *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh sebelum beton hancur.



Gambar 11. Pola retak balok BTRP 60D

4. Kesimpulan

Balok BTRP 50D-60D mengalami retak lentur (*flexural crack*) dan mengalami kegagalan *under-reinforced*, dimana balok gagal pada sisi tarik yang menunjukkan tulangan sudah leleh

sebelum beton hancur. Jumlah retak yang terjadi pada tengah bentang relatif lebih sedikit dibandingkan dengan balok BTR. Namun pada balok BTRP 40D moda keruntuhan berupa retak yang hampir patah pada daerah tumpuan, bagian atas balok sementara beton belum hancur dan tulangan utama belum leleh. Perkuatan batang tulangan tekan didaerah tumpuan dapat meningkatkan kapasitas lentur pada balok. Panjang penyaluran balok yang efektif adalah 60D dengan panjang = 78 cm, yaitu balok BTRP 60D dimana beban ultimitnya lebih besar diantara semua benda uji.

Referensi

- [1] R. Djamaluddin, "Flexural Behavior External Reinforced Concrete Beams," *Procedia Eng.* 54 Elsevier, pp. 252–260, 2013.
- [2] G. Campione and P. Colajanni, "Analytical Evaluation of Steel–concrete Composite Trussed Beam Shear Capacity," *Mater. Eng.*, 2016.
- [3] P. Colajanni, *Experimental Investigation of the Shear Response of Precast Steel–Concrete Trussed beams 10.1061/(ASCE) ST.1943-41X.0001642*. American Society of Civil Engineers, 2016.
- [4] J. Hermanto, "Pemodelan Balok Bertulangan Luar Dengan Sistem Rangka Berbasis Metode Elemen Hingga," Universitas Hasanuddin, 2015.
- [5] D. Adrija, I. Geevar, D. Menon, and A. M. Prasad, "Assessment of Strut-and-Tie Methods to Estimate Ultimate Strength of RC Deep Beams," in *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists (IMECS 2017)*, 2017.
- [6] ASTM C39-94, "Standard Test Method for Compressive Strength of Sylinder Specimens, Section 4," in *Annual Book of ASTM Standard*, 1996, pp. 17–21.
- [7] ASTM C469-94, "Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson Concrete in Compression Section 4," in *Annual Book Standards, US and Canada*, 1996, pp. 237–240.

Elastisitas dan Rasio Poisson Campuran Tanah Laterit dan Kapur Padam ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)

Haris Tribowo^{1*}, Muhammad Wihardi Tjaronge¹, Tri Harianto¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: haristribowo@ymail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.04

Abstrak

Kondisi infrastruktur jalan darat yang tidak memadai menjadikan jalur udara sebagai andalan untuk pengangkutan orang dan barang, termasuk berbagai kebutuhan pokok di Papua. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai modulus elastisitas dan poisson rasio yang telah distabilisasi dengan kapur menggunakan curing air dan udara selama 7 hari. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di laboratorium. Dimensi benda uji yang digunakan adalah silinder ukuran 53 x 106 mm. Sampel tanah yang digunakan dalam penelitian stabilisasi tanah ini diambil dari Tanah Merah Kabupaten Bovendigul. Campuran tanah lempung dan kapur dibuat dengan menggunakan kadar air sebesar 35%. Hasil pengujian kuat tekan menunjukkan bahwa rata-rata nilai modulus elastisitas (vertikal dan horizontal) pada curing air dan udara adalah masing-masing sebesar 122,82 MPa; 92,23 MPa dan 51,11 MPa; 424,43 MPa. Sedangkan rata-rata nilai poisson rasio adalah masing-masing sebesar 0,66 μ dan 0,06 μ .

Abstract

Elasticity and Poisson Ratio of the Mixture of Laterite and Hydrated Lime Soils ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Inadequate road infrastructure conditions make the airway a mainstay for the transportation of people and goods, including basic needs in Papua. This study aims to determine the value of elastic modulus and poisson ratio that has been stabilized with lime using curing water and air for 7 days. The method used in this research is experimental method in laboratory. The test object dimension used is cylinder size 53 x 106 mm. The soil samples used in this soil stabilization study were taken from Tanah Merah Bovendigul District. Clay and lime soil mixtures are prepared by using moisture content of 35%. The results of the compressive strength test show that the average value of elastic modulus (vertical and horizontal) on curing of water and air is 122.82 MPa each; 92.23 MPa and 51.11 MPa; 424.43 MPa. While the average value of poisson ratio is respectively of 0.66 μ and 0.06 μ .

Kata Kunci: Curing, kapur, modulus elastisitas, Poisson ratio, tanah laterit

1. Pendahuluan

Di Indonesia terdapat beberapa batuan yang mengandung senyawa karbonat, antara lain: batu kapur, batu kapur kerang dan batu kapur magnesia. Batu kapur merupakan salah satu bahan galian industri yang potensinya sangat besar dengan cadangan diperkirakan lebih dari 28 milyar ton yang tersebar di seluruh daerah di Indonesia. Menurut Data dan Informasi Pertambangan Propinsi Papua Tahun 2001 [1], Provinsi Papua sendiri memiliki potensi batu kapur, dan masih tersisa sekitar Kabupaten Keerom, Kabupaten Sarmi dan Kabupaten Fak-Fak Provinsi Papua.

Kondisi tanah dasar di kabupaten Tanah Merah (Bovendigul) didominasi oleh tanah lempung lunak (*soft clay*). Hal tersebut membuat masalah yang sering dijumpai apabila

harus membangun konstruksi sipil di atas tanah lempung lunak karena kemampuan mampatan yang tinggi. Untuk menanggulangi masalah tersebut, metode yang umum digunakan adalah perbaikan tanah.

Metode perbaikan tanah yang telah banyak dikenal dan dapat dikelompokkan dalam 2 (dua) kelompok, yaitu perbaikan cara mekanis dan cara kimia. Metode perbaikan tanah cara mekanis telah banyak dikembangkan adalah pemberian beban awal (*preloading*) dan pemasangan cerucuk (*micropile*), stone column, dan geotextile. Metode secara kimiawi adalah dengan kapur, semen, abu sekam, dan abu terbang (*fly ash*).

Batu kapur sebagai bahan stabilisasi (*stabilizing agent*) tanah dasar telah lama digunakan untuk pembuatan jalan raya seperti: di Roma, Yunani, India, Cina [2]. Oleh karena



batuan kapur dengan mudah diperoleh dan harganya yang relatif murah di daerah Papua sehingga besar kesempatan untuk memanfaatkan batuan kapur tersebut dalam perbaikan tanah dasar. Penggunaan batu kapur untuk keperluan struktur harus mempertimbangkan persyaratan teknis seperti daya dukung, keawetan, dan keausan. Menurut

Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan Raya, tes kekuatan tumbukan merupakan salah satu tes yang dapat memberi petunjuk tentang kekuatan relatif suatu agregat terhadap beban tekan yang akan digunakan untuk konstruksi jalan raya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis nilai modulus elastisitas dan poisson rasio campuran tanah laterit dan kapur padam.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi dan Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi eksperimental dan kajian pustaka. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Sipil Fakultas Teknik Gowa Universitas Hasanuddin. Adapun waktu penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 3 bulan.

2.2. Metode Penelitian dan Variasi Benda Uji

Penelitian yang dilakukan adalah uji eksperimental dan kajian pustaka tentang stabilisasi tanah lunak dengan menggunakan kapur sebagai bahan penstabilisasi. Material yang digunakan berupa tanah laterit yang berasal dari Kabupaten Bovendigoel, Provinsi Papua dan batu kapur (*limestone*) yang diperoleh dari PT Torea Kabupaten Fak-fak Provinsi Papua Barat. Penyiapan material tanah lempung dilakukan dengan cara tanah lempung dikeringkan pada kondisi kering permukaan atau dalam kondisi SSD. Sedangkan untuk batuan kapur terlebih dahulu dikalsinasi dengan cara dipanaskan pada suhu 900°C selama 4 sampai dengan 5 jam.

Kemudian dilakukan pengkajian dan pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) yang digunakan untuk menganalisis nilai modulus elastisitas setelah benda uji mengalami proses perendaman dalam air dan curing udara selama 7 hari.

Benda uji yang dibuat berjumlah 30 yang digunakan untuk menentukan kadar kapur optimum sedangkan benda uji yang digunakan untuk pengujian kuat tekan dengan variasi perendaman air dan untuk kuat tekan tanah asli adalah sebanyak 15 benda uji.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dimulai dengan pemeriksaan karakteristik material campuran dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, maka dibuat proporsi agregat gabungan dengan menggunakan metode coba-coba (*trial and error*). Setelah dilakukan "*Trial and Error*" terhadap campuran lempung dan kapur padam, diperoleh perbandingan komposisi campuran (lempung dan kapur lolos saringan No. 200) optimum yaitu 1 : 1 untuk 1 buah benda uji silinder diameter 5,3 cm dengan tinggi 10,6 cm dengan kadar air campuran 35%. Untuk memperoleh rancangan campuran kapur dan tanah lempung, maka ditentukan volume dan berat dari masing-masing material yang digunakan.

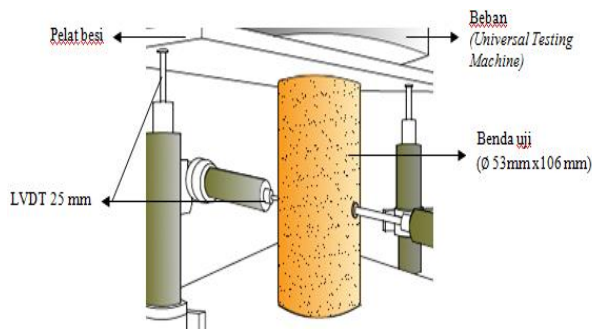
Setelah dibuat rancangan komposisi campuran, selanjutnya dilakukan pemeriksaan karakteristik campuran tanah lempung dan kapur berupa berat jenis dan analisa saringan. Benda uji dibuat dari tanah lempung dan kapur yang telah diuji sesuai dengan standar dicampur berdasarkan hasil perancangan campuran dengan perbandingan 1 : 1 dengan kadar air 35%. Benda uji yang telah dibuat selanjutnya dilakukan perawatan terhadap benda uji yaitu *curing* air dan udara selama 7 hari.

2.4. Metode Analisis Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dimulai dengan pengujian karakteristik material berupa karakteristik fisik dan karakteristik kimia yang terdiri dari tanah lempung dan batuan kapur. Pengujian karakteristik fisik dan kimia ini dilakukan dengan mengacu pada standar-standar spesifikasi yang ada seperti Standar Nasional Indonesia (SNI) dan ASTM (*American Standard Testing Material*). Selanjutnya dilakukan pembuatan rancangan campuran antara material tanah lempung dengan kapur dengan kadar air yang digunakan adalah 35%. Setelah benda uji telah dibuat, dilakukan pengujian karakteristik campuran berupa



pengujian modulus elastisitas dan poisson rasio dengan memberikan perlakuan terhadap benda uji yaitu *curing* air dan udara selama 7 hari. Ukuran benda uji yang dibuat adalah silinder ukuran 53 x 106 mm masing-masing 3 buah. Gambar 1 memperlihatkan setting pengujian kuat tekan, modulus elastisitas dan poisson rasio yang dilakukan di laboratorium.



Gambar 1. Pengujian kuat tekan, elastisitas dan Poisson rasio

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik Material

Pengujian yang dilaksanakan meliputi pengujian karakteristik fisik tanah lempung dan batuan kapur, dimana batuan kapur terdiri dari batuan kapur sebelum dikalsinasi dan batuan kapur setelah dikalsinasi. Tanah lempung yang digunakan berasal dari Quarry Waropko yang terletak di Distrik Waropko Kabupaten Bovendigoel Provinsi Papua dan Material kapur dari Quarry PT. Torea Kabupaten Fak-fak Provinsi Papua Barat.

3.2. Karakteristik Fisik Tanah Laterit

Tabel 1 memperlihatkan karakteristik fisik tanah laterit yang digunakan dalam penelitian ini. Pemeriksaan karakteristik fisik tanah lempung dilakukan untuk menentukan kelayakan tanah lempung digunakan dalam penelitian, mengingat tanah laterit merupakan material utama dalam penelitian ini. Hasil pengujian analisa saringan menunjukkan tanah yang lolos saringan No. 200 (0.075 mm) lebih besar dari 36%, maka tanah dapat diklasifikasikan kedalam kelompok A-4; A-5; A-6; A-7. Batas cair (LL) = 56,75%; > 41% maka tanah tersebut masuk ke dalam kelompok A-5. Indeks pastisitas (PI) = 21,19 % maka masuk ke dalam kelompok A-5 (PI<10%) dan A-7 (PI>11%). Tanah tersebut dapat

diklasifikasikan kedalam kelompok A-7-5 (PL>30%) dan A-7-6 (PL<30%). Dengan batas plastis (PL) = 35,56%; <30% maka tanah tersebut masuk kedalam kelompok A-7-5. Tanah lempung yang digunakan dalam penelitian ini berada pada kelompok A-7-5 dan termasuk klasifikasi tanah lempung dengan plastisitas tinggi. Berdasarkan buku 7 Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan (Lapis Pondasi Tanah Kapur) Dirjen Bina Marga Tahun 2006 [3] bahwa tanah yang digunakan untuk pondasi tanah yang distabilisasi dengan kapur adalah tanah yang tergolong sebagai tanah lempung dan termasuk tanah ekspansif. Dengan demikian tanah yang digunakan dalam penelitian ini harus distabilisasi dengan kapur.

Tabel 1. Karakteristik fisik tanah lempung

No	Karakteristik material	Interval	Hasil pemeriksaan
1	Klasifikasi tanah	A-1 – A-7	A-7
2	Analisa saringan	>36 % (No. 200)	39 %
	Batas-batas Atterberg		
	Batas cair (LL)	30-110 %	56,75 %
3	Batas plastis (PL)	25-40 %	35,56 %
	Batas susut (SL)	25-29 %	27,65 %
	Indeks plastisitas (PI)	>17	21,19 %
4	Berat jenis	2,58-2,75	2,607
			$\gamma_{dry} = 1508$
5	Kompaksi		gr/cm^3
			$W_{opt} = 25,24 \%$

3.3. Karakteristik Fisik Batuan Kapur

Batuan kapur digunakan dalam penelitian ini sebagai bahan penstabilisasi terhadap tanah lempung. Pengujian karakteristik fisik batuan kapur yang dilakukan dengan 2 tahap yaitu sebelum dikalsinasi dan setelah dikalsinasi. Tabel 2 memperlihatkan karakteristik fisik batuan kapur sebelum dan setelah dikalsinasi. Pada batuan kapur sebelum dikalsinasi, dengan menggunakan metode pengujian berat jenis yang sama dengan pengujian tanah lempung, maka diperoleh nilai berat jenis batu kapur yaitu sebesar 3,638 dan hasil analisa saringan menunjukkan 50% batu kapur yang lolos saringan No. 200. Berdasarkan buku 7 Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan (Lapis Pondasi Tanah Kapur) Dirjen Bina Marga Tahun 2006 [3] bahwa tidak

mensyaratkan kehalusan butir batu kapur dan batu kapur yang digunakan memenuhi spesifikasi Dirjen Bina Marga Tahun 2006. Namun demikian, pada batuan kapur setelah dikalsinasi, diperoleh berat jenis sebesar 2,308 dan hasil analisa saringan menunjukkan 30% lolos saringan No. 200. Selain itu, diperoleh hasil berupa kapur tohor (CaO) yang masih menyatu dengan agregat berbentuk kerikil. Selanjutnya dilakukan penyiraman (CaO + H₂O) dengan air sehingga diperoleh kapur padam (Ca(OH)₂) atau *portlandite* yang berbentuk halus sebesar 30% dari berat batu kapur semula dan agregat sebesar 65%. Hasil ini menunjukkan bahwa batuan kapur tersebut adalah dolomite (CaCO₃.CaMgO₃).

Tabel 2. Hasil pemeriksaan karakteristik fisik batuan kapur sebelum dan sesudah dikalsinasi

No.	Karakteristik Material	Hasil pemeriksaan	
		Sebelum dikalsinasi	Setelah dikalsinasi
1	Berat jenis	3,638	2,308
2	Analisa saringan	50% lolos saringan No. 200	30% lolos saringan No. 200

3.4. Rancangan Campuran Lempung dan Kapur

Rancang campuran lempung dan kapur yang dilakukan pada penelitian ini dilakukan dengan metode *trial and error*, hingga diperoleh komposisi campuran yang optimum digunakan. Rancang campuran lempung dan kapur dapat dilihat pada Tabel 3. Komposisi campuran yang digunakan adalah tanah yang lolos saringan No. 200 yang telah diketahui memiliki kadar air optimum sebesar 25,24%, selanjutnya akibat

penambahan kapur, maka kadar air total campuran adalah 35%. Rentang penambahan air ini dimaksudkan agar dapat terjadi reaksi pozolanik antar kandungan lempung dan kapur padam.

Tabel 3. Rancangan campuran lempung dan kapur

Bahan	Jumlah	Satuan
Tanah	182,7464	gram
Kapur	182,7726	gram
Air	127,9246	gram

Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Khusus Interim (2013) [4] tentang lapis pondasi semen komposit tanah, Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga.

3.5. Modulus Elastisitas dan Poisson Rasio Campuran Lempung dan Kapur

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian modulus elastisitas dan poisson rasio dengan curing air dan udara pada umur 7 hari. Terlihat bahwa pada *curing* air modulus elastisitas vertikal dan horizontal pada benda uji 1, 2 dan 3 adalah masing-masing sebesar 91,39 MPa; 88,49 MPa, 127,42 MPa; 94,89 MPa dan 149,66 MPa; 93,30 MPa. Sedangkan pada *curing* udara, modulus elastisitas vertikal dan horizontal pada benda uji 1, 2 dan 3 adalah masing-masing sebesar 41,00 MPa; 438,46 MPa, 55,33 MPa; 316,67 MPa dan 57,00 MPa; 518,18 MPa. Untuk hasil pengujian poisson rasio pada *curing* air dan udara benda uji 1, 2 dan 3 adalah masing-masing sebesar 0,51 μ ; 0,04 μ , 0,67 μ ; 0,08 μ dan 0,80 μ ; 0,05 μ .

Tabel 4. Hasil pengujian modulus elastisitas dan Poisson rasio

Curing	Benda uji	σ (MPa)			ϵ		E (MPa)		Poisson rasio (μ)
		V	H	V	H	V	H		
Air	1	1,11	2,23	0,02	0,02	91,39	88,49	0,51	
	2	1,11	2,23	0,01	0,02	127,42	94,89	0,67	
	3	1,11	2,23	0,01	0,02	149,66	93,30	0,80	
Udara	1	0,28	0,28	0,01	0,0013	41,00	438,46	0,04	
	2	0,28	0,28	0,01	0,0018	55,33	316,67	0,08	
	3	0,28	0,28	0,01	0,0011	57,00	518,18	0,05	

Ket.: V : Vertikal; H : Horizontal

Dalam penelitian ini terlihat bahwa ada beberapa aspek yang menyebabkan modulus elastisitas dan poisson rasio berbeda antara benda uji *curing* air dan udara. Hal ini disebabkan karena pada permukaan partikel lempung yang

bermuatan negatif mengikat molekul air yang bermuatan positif menyebabkan air pada lapisan permukaan lempung atau air serapan meningkat, air pada lapisan permukaan lempung yang meningkat menyebabkan jarak antar partikel



lempung semakin jauh dan hal ini membuat kekuatan campuran menurun. Selanjutnya seiring bertambahnya umur benda uji, nilai kuat tekan ikut meningkat hal ini disebabkan karena antara partikel lempung dan kapur mulai bereaksi membentuk fase yang keras CaCO_3 dan CSH. Merujuk penelitian yang telah dilakukan oleh Portelinha dkk., 2012 [5] yang melakukan uji kuat tekan bebas pada tanah laterit (*red yellow latosol*) dengan umur 7 hari adalah sebesar 0,3 MPa. Hal ini berarti tanah yang digunakan dalam penelitian ini memiliki nilai kuat tekan bebas yang lebih besar 210%.

Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa dengan penambahan kapur maupun penambahan semen ataupun penambahan kedua material penstabilisasi ini (kapur dan semen) mampu memperbaiki dan meningkatkan kinerja tanah yang distabilisasi sehingga tanah tersebut memiliki sifat atau daya dukung tanah yang lebih baik dari daya dukung tanah yang semula [5]–[14].

4. Kesimpulan dan Saran

Penggunaan kapur telah banyak digunakan sebagai bahan penstabilisasi pada tanah lunak dengan tujuan untuk memperbaiki kinerja dari tanah lunak tersebut. Campuran antara tanah lempung lokal Papua dengan penambahan kapur memenuhi parameter yang dipersyaratkan oleh standar Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah menurut spesifikasi khusus Interim Seksi 5.4 Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga dan memiliki potensi untuk diaplikasikan di lapangan. Pengaruh kapur terhadap kekakuan tanah adalah semakin banyak kapur yang dicampurkan kedalam tanah lempung maka kekakuan akan semakin besar sehingga siklus pembebanan semakin banyak, dimana jumlah siklus pembebanan (*cycle*) akan ekuivalen dengan umur lapis perkerasan jalan.

Ucapan Terimakasih

Penelitian ini adalah bagian dari serangkaian pengembangan penggunaan batu kapur sebagai bahan penstabilisasi yang dilaksanakan di Laboratorium riset Eco Material. Diantara yang terlibat adalah Dr. Akbar Caronge, Dr. Yohanis Tulak Todingrara', Paimin, ST., MT, Melyanto, ST., MT dan Miswar Tumpu, ST., MT.

Referensi

- [1] Dinas Pertambangan dan Energi Provinsi Papua, *Pemanfaatan dan Pendayagunaan Potensi Pertambangan*. 2001.
- [2] C. H. Oglesby and R. G. Hicks, *Highway Engineering*, Fourth. New York: John Wiley & Sons, 1982.
- [3] Direktorat Jenderal Bina Marga, *Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan Buku 7 Lapis Pondasi Tanah Kapur*. Departemen Pekerjaan Umum: Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006.
- [4] Spesifikasi Khusus Interim, *Lapis Pondasi Semen Komposit Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2013.
- [5] F. H. M. Portelinha, D. C. Lima, M. P. F. Fontes, and C. A. B. Carvalho, "Modification of a Lateritic Soil with Lime and Cement," *An Econ. Altern. Flex. Pavement Layers, Soils Rocks*, vol. 35, no. 1, pp. 51–63, 2012.
- [6] S. J. Dash and M. Hussain, "Lime Stabilization of Soils," *J. Mater. Civ. Eng. ASCE*, vol. 2, no. 6, pp. 707–714, 2012.
- [7] S. Horpibulsuk, N. Miura, and T. S. Nagaraj, "Clay–Water/Cement Ratio Identity for Cement Admixed Soft Clays," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 131, no. 2, pp. 187–192, 2005.
- [8] N. C. Consoli, P. Prietto, J. Carraro, and K. S. Heineck, "Behavior of Compacted Soil-Fly Ash-Carbide Lime Mixtures," *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, pp. 774–782, 2001.
- [9] Y. Yi, M. Liska, and A. Al-Tabbaa, "Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC," *J. Mater. Civ. Eng.*, vol. 26, no. 2, pp. 267–274, 2014.
- [10] N. Latifi, A. Marto, and A. Eisazadeh, "Analysis of Strength Development in Non-traditional Liquid Additive-stabilized Laterite Soil from Macro and Micro-structural Considerations," *Env. Earth Sci*, vol. 73, pp. 1133–1141, 2015.
- [11] C. Tang, B. Shi, W. Gao, F. Chen, and Y. Cai, "Strength and Mechanical Behavior of Short Polypropylene Fiber Reinforced and Cement Stabilized Clayey Soil," *Geotext. Geomembranes*, vol. 25, pp. 194–202, 2007.
- [12] D. K. Paul and C. T. Gnanendran, "Stress–strain Behaviour and Stiffness of Lightly Stabilised Granular Materials from UCS Testing and Their Predictability," *Int. J. Pavement Eng.*, vol. 14, no. 3, pp. 291–308, 2013.
- [13] Y. T. Todingrara', M. W. Tjaronge, T. Harianto, and M. Ramli, "Performance of Laterite Soil Stabilized with Lime and Cement as a Road Foundation," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 14, pp. 4699–4707, 2017.
- [14] Z. Saing, L. Samang, T. Harianto, and J. Patanduk, "Study on Characteristic of Laterite Soil with Lime Stabilization as a Road Foundation," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 14, pp. 4687–4693, 2017.



Studi Keselamatan Jalan pada Jalan Nasional Ruas Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak

Markus Rimba^{1*}, Muhammad Isran Ramli¹, Sumarni Hamid Aly¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: raul_mkw06@yahoo.co.id

DOI: 10.25042/jpe.052020.05

Abstrak

Jalan Nasional yaitu ruas Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak tepatnya di KM 138+500 sampai dengan KM 230+660 dimana dengan kondisi daerah datar. Angka kecelakaan yang terjadi pada lokasi penelitian ini cukup signifikan dari data Kepolisian Resort Kabupaten Fak-Fak sebanyak 50 kasus selama 6 tahun dari tahun 2012 sampai 2017. Dari tahun ke tahun angka kecelakaan yang terjadi cukup merata walaupun ditahun terakhir mengalami penurunan seiring dengan kesadaran/kehati-hatian mengendarai kendaraan dan juga dari tahun-ketahun geometrik jalan mengalami perbaikan dari pihak Ditjen Bina Marga. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik kecelakaan, lokasi rawan kecelakaan, dan audit keselamatan infrastruktur jalan tersebut. Tahapan awal dilakukan analisis karakteristik, selanjutnya dilakukan analisis tingkat kecelakaan untuk mengetahui lokasi rawan kecelakaan dengan berdasarkan banyaknya kejadian kecelakaan terhadap volume lalu lintas. Setelah itu akan dianalisis dengan pendekatan EAN. Dari analisis tersebut bertujuan untuk mengetahui *blackspot* pada ruas Jalan Bomberai-Purwata. Hasil audit keselamatan jalan dari aspek harmonisasi perlengkapan jalan dalam kategori sangat berbahaya. Variabel-variabel dari kondisi jalan dan lingkungan jalan yang berpengaruh/significant terhadap terjadinya kecelakaan di ruas jalan arteri (Non Tol) Nasional yaitu hubungan manusia dengan jalan dan lingkungan, hubungan manusia dengan kendaraan dan hubungan kendaraan dengan jalan dan lingkungan.

Abstract

Road Safety Study on the National Road of the Bomberai - Purwata Section in Fak-Fak Regency. The National Road is the Bomberai-Purwata section in Fak-Fak Regency, precisely at KM 138 + 500 up to KM 230 + 660 where the conditions are flat. The number of accidents that occurred at this research location is quite significant from the data of the Police Resort District Fak-Fak as many as 50 cases for 6 years from 2012 to 2017. From year to year the number of accidents that occurred was fairly even though in the last year it declined in line with awareness/care - careful driving a vehicle and also from year to year geometric roads have improved from the Directorate General of Highways. Therefore, this study aims to determine the characteristics of accidents, accident prone locations, and road safety infrastructure audits. The initial stage is to analyze the characteristics, then the level of accident analysis is carried out to determine the location of accident prone based on the number of accident events on the traffic volume. After that it will be analyzed with the EAN approach. This analysis aims to determine the blackspot on Jalan Bomberai-Purwata. Road safety audit results from the aspect of harmonizing road equipment in the very dangerous category. The variables of road conditions and the road environment that influence/significant to the occurrence of accidents on arterial (Non-Toll) roads are human relationships with roads and the environment, human relations with vehicles and the relationship of vehicles with roads and the environment.

Kata Kunci: EAN, jalan nasional, kecelakaan, keselamatan jalan, ruas Bomberai – Purwata

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan dapat mendukung perkembangan dan pertumbuhan ekonomi Nasional. Beberapa permasalahan yang berkaitan dengan pengelolaan infrastruktur jalan, antara lain kecelakaan lalu lintas kendaraan akibat defisiensi keselamatan infrastruktur jalan. Penanganannya dilakukan oleh 2 lembaga pemerintahan, yaitu Ditjen Bina Marga dan Ditjen Perhubungan Darat. Kedua

lembaga pemerintah tersebut dalam prakteknya di lapangan belum terintegrasi secara optimal, misalnya sering dijumpai tidak adanya rambu batas kecepatan pada tikungan jalan yang disesuaikan dengan fungsi jalan. Maka ada tiga aspek penting yang harus dipenuhi, yaitu *forgiving road environment, self explaining road, self regulating road* [1]–[4].

Angka kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Indonesia semakin memprihatinkan. Dari data

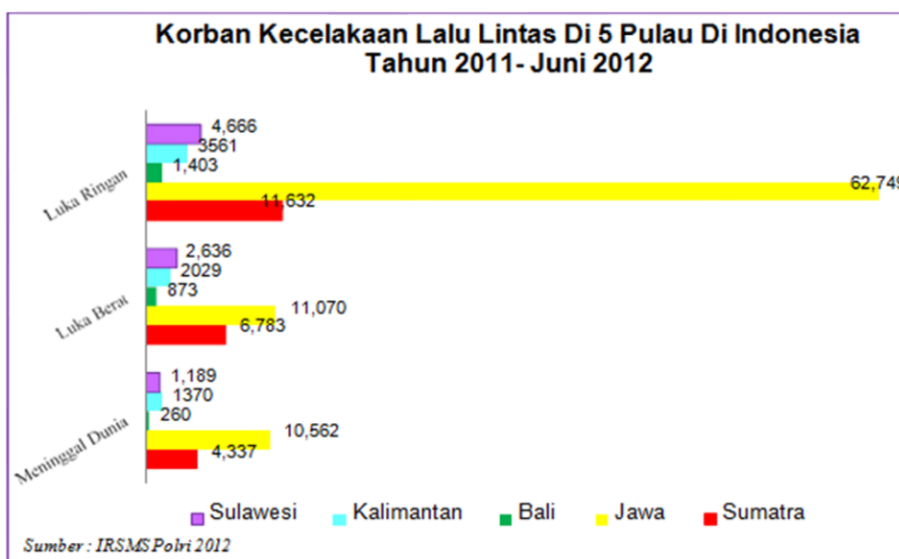


Korlantas Polri, sepanjang tahun 2011 sampai Juni 2012 tercatat 78.717 kejadian kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Indonesia dengan korban meninggal dunia sebanyak 18.014 jiwa; luka berat sebanyak 24.127 jiwa dan luka ringan sebanyak 84.793 jiwa. Beberapa pulau besar di Indonesia seperti Sumatra, Jawa, Bali, Kalimantan dan Sulawesi termasuk pulau dengan kejadian kecelakaan yang tinggi seperti yang terlihat pada Gambar 1. Tercatat kecelakaan yang terjadi di Sumatra sebanyak 11.995 kasus, di Jawa sebanyak 54.810 kasus, di Bali sebanyak 1.442 kasus, di Kalimantan sebanyak 4.011 kasus dan di Sulawesi sebanyak 5.277 kasus.

Dari jumlah kejadian kecelakaan tersebut juga diperoleh informasi jumlah korban kecelakaan di pulau-pulau tersebut yang diperlihatkan pada Gambar 2. Dari Gambar 1 dan Gambar 2 dapat terlihat bahwa pulau Jawa memiliki tingkat kejadian kecelakaan dan korban yang tertinggi dibandingkan dengan pulau lainnya. Salah satu penyebabnya antara lain adalah karena besarnya jumlah penduduk Indonesia yang menetap di pulau Jawa. Oleh karena itu tidak menutup kemungkinan tingginya angka kecelakaan ini dapat pula terjadi di Pulau Papua.



Gambar 1. Persentase total kejadian kecelakaan lalu lintas di 5 Pulau di Indonesia



Gambar 2. Korban kecelakaan lalu lintas di 5 Pulau di Indonesia

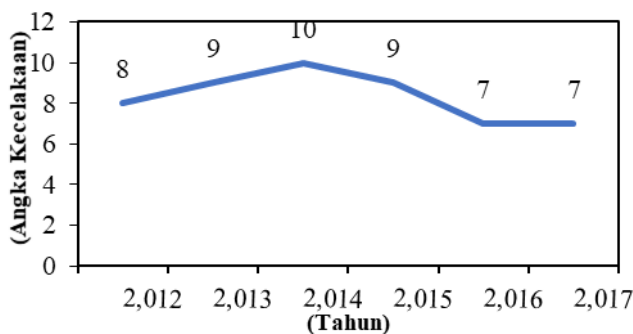
Dalam penelitian ini, akan ditinjau salah satu ruas jalan Nasional yaitu ruas Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak tepatnya di KM

138+500 sampai dengan KM 230+660 dimana eksisting jalan adalah Aspal Lataston (HRS-WC) dengan kondisi daerah datar seperti yang

diperlihatkan pada Gambar 3. Angka kecelakaan yang terjadi pada lokasi penelitian ini cukup signifikan dari data Kepolisian Resort Kabupaten Fak-Fak sebanyak 50 kasus selama 6 tahun dari tahun 2012 sampai 2017. Dari tahun ke tahun angka kecelakaan yang terjadi cukup merata walaupun ditahun terakhir mengalami penurunan seiring dengan kesadaran/kehati-hatian mengendarai kendaraan dan juga dari tahun-ketahun geometrik jalan mengalami perbaikan dari pihak Ditjen Bina Marga. Grafik Angka kecelakaan di lokasi penelitian seperti Gambar 4.



Gambar 3. Foto kondisi eksisting jalan ruas Bomberai-Purwata



Gambar 4. Grafik angka kecelakaan di Distrik Bomberai

Pada umumnya di Indonesia banyak usaha telah dilakukan untuk mengurangi tingkat kecelakaan lalu lintas di jalan raya, tetapi angka kecelakaan tetap meningkat. Selain dari Faktor Primer (Geometrik Jalan), faktor sekunder yang dominan pada angka kecelakaan yaitu pada dasarnya ada tiga faktor yang sering menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas. Faktor pertama adalah hubungan manusia dengan jalan dan lingkungan yang merupakan pemahaman faktor manusia (*human factor*). Faktor kedua adalah hubungan antara manusia dengan kendaraan (*Human Machine Interface*) yang merupakan pemahaman terhadap faktor ergonomik. Dan

faktor ke tiga adalah hubungan antara kendaraan dengan jalan dan lingkungan yang merupakan pemahaman faktor fisik dan rekayasa jalan. Intervensi terhadap ketiga faktor tersebut akan mengurangi jumlah kecelakaan maupun fatalitas akibat kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan penelitian yang dilakukan beberapa negara, faktor manusia merupakan faktor dominan penyebab kecelakaan. Meskipun faktor jalan dan lingkungan memiliki porsi yang kecil sebagai faktor penyebab kecelakaan, penanganan terhadap faktor ini merupakan jenis penanganan yang berdaya paling efektif.

Bukan rahasia lagi kalau Indonesia memiliki banyak sekali kasus kecelakaan, salah satunya adalah ruas jalan Nasional Pantura. Untuk dapat mengurangi frekuensi terjadinya kecelakaan perlu ditinjau faktor-faktor penyebab kecelakaan seperti hubungan manusia dengan jalan dan lingkungan, hubungan manusia dengan kendaraan, dan hubungan kendaraan dengan jalan dan lingkungan. Selain dari itu suatu ruas jalan yang aman dan dapat membantu mengurangi tingkat kecelakaan harus memperhatikan banyak hal seperti salah satunya adalah dalam perencanaan jalan seperti desain geometrik jalan (meliputi alinyemen jalan baik horisontal maupun vertikal, perkerasan, kelandaian jalan dan radius tikungan), lebar lajur jalan, kecepatan rencana, ketersediaan median jalan sampai kelengkapan rambu dan marka jalan. Karena faktor-faktor tersebut sangat berkaitan dengan terciptanya jalan yang aman dan meningkatkan keselamatan dalam berlalu lintas. Kemudian faktor lain untuk mengurangi tingkat kecelakaan harus memperhatikan dari segi manusia dan kendaraan, dimana pengemudi memegang peran penting dalam berkeselamatan berlalu lintas.

Sebagai contoh desain atau kondisi geometrik jalan dan lingkungan berpengaruh terhadap terjadinya kecelakaan antara lain adalah:

- Kondisi permukaan perkerasan jalan yang kurang baik (berlubang atau retak) dapat menjadi penyebab kecelakaan tunggal.
- Ketersediaan *clear zone* yang tidak memadai atau bahkan tidak memiliki *clear zone* pada ruas jalan tersebut dapat menjadi penyebab kecelakaan karena gangguan yang datang dari samping jalan (*Roadside Hazard*).
- Kondisi marka jalan yang sudah tidak jelas

atau bahkan tidak ada, terdapat beda tinggi antara bahu jalan dengan jalur lalu lintas atau keberadaan median jalan dapat menjadi penyebab kecelakaan tabrak depan.

- d) Penerangan pada malam hari yang tidak memadai, banyak fasilitas pejalan kaki, kurangnya jarak pandang henti atau kurangnya peringatan bagi pengendara jalan dapat menjadi penyebab kecelakaan yang melibatkan penyeberang jalan atau pejalan kaki.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kecelakaan Lalu Lintas

Kecelakaan lalu lintas adalah kegagalan kinerja satu atau lebih komponen pengendara, yang mengakibatkan kematian, luka badan, dan/atau kerusakan harta benda. Kecelakaan jalan raya dan jalan biasa dapat dikategorikan sedikitnya ke dalam empat kategori antara lain: kecelakaan beruntun, kecelakaan tunggal, kecelakaan pedestrian dan kecelakaan benda diam [5]. Tabel 1 memperlihatkan peluang defisiensi keselamatan infrastruktur jalan terhadap kejadian kecelakaan berkendara di jalan raya berdasarkan data ukur lapangan.

Pelaksanaan audit keselamatan jalan dilakukan dengan inspeksi langsung ke lapangan menggunakan format pengisian form checking list dengan parameter yang diperlihatkan pada Tabel 1 pengisian form daftar periksa berdasarkan persepsi dari auditor dengan dasar literatur/peraturan yang ada. Cara pengisiannya dengan memberikan skor dari tipikal persoalan yang ada guna mengetahui seberapa besar potensi terhadap kecelakaan lalu lintas, dan bila perlu diberi penambahan keterangan untuk memperjelas dari persoalan tersebut. Persoalan di setiap segmen yang telah ditentukan diberi nilai skor. Kecelakaan lalu lintas dapat disebabkan oleh berbagai faktor, diantaranya faktor pengemudi (*human factor*), faktor kendaraan (*vehicle factor*), faktor jalan (*road factor*), dan faktor lingkungan (*environmental factor*).

Tabel 1. Peluang defisiensi keselamatan infrastruktur jalan terhadap kejadian kecelakaan berkendara di jalan raya berdasarkan data ukur lapangan

No.	Hasil ukur dimensi dan tata letak bagian infrastruktur jalan	Nilai kualitatif	Nilai Kuantitatif
1	Perbedaan yang terukur di lapangan lebih kecil dari 10% terhadap standar teknisnya	Tidak pernah terjadi kecelakaan, Terjadi kecelakaan sampai 5 kali pertahun	1
2	Perbedaan yang terukur di lapangan antara 10%-40% terhadap standar teknis	Terjadi kecelakaan 5-10 kali pertahun	2
3	Perbedaan yang terukur di lapangan antara 40%-70% terhadap standar teknis	Terjadi kecelakaan 10-15 kali pertahun	3
5	Perbedaan yang terukur di lapangan lebih besar dari 100% terhadap standar teknis		5

2.2. Keselamatan Lalu Lintas

Keselamatan (*safety*) menurut Lowrance dalam Gunnarson, 1996 [6] adalah merupakan *acceptability of risk*, dimana sesuatu dipandang aman bila tingkat resikonya dianggap “dapat diterima”. Sedangkan Hauer (1999) [7] mendefinisikan keselamatan suatu jalan sebagai frekuensi dan tingkat keparahan kecelakaan yang diramalkan terjadi pada jalan tersebut. Menurut Undang-undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan [8] keselamatan lalu lintas dan angkutan jalan adalah suatu keadaan terhindarnya setiap orang dari resiko kecelakaan selama berlalu lintas yang disebabkan oleh manusia, kendaraan, jalan, dan/atau lingkungan.

Dalam rekayasa dikenal istilah keselamatan aktif (*active safety*) dan keselamatan pasif (*passive safety*). Keselamatan aktif adalah kualitas dan kelengkapan yang dapat membantu pengguna jalan untuk menghindari kecelakaan. Misalnya simpang susun, penerangan jalan, dan rem ABS (*Automatic Braking System*). Sedangkan keselamatan pasif adalah kualitas dan perlengkapan yang dapat mengurangi cedera dan kerugian pada suatu kecelakaan. Misalnya,



tiang *break-away*, konstruksi kendaraan yang menyerap benturan, kantong udara, dan sabuk keselamatan [6].

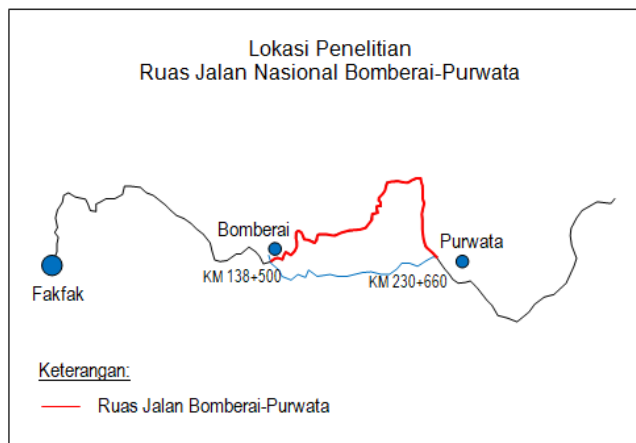
3. Metode Penelitian

3.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di ruas jalan Nasional Bomberai-Purwata di Kabupaten Fak-Fak distrik Bomberai Provinsi Papua Barat. Daerah ini terletak tepat di KM 138+500 sampai dengan 230+660 dari kota Fak-Fak dengan daerah geografisnya yang datar, dimana Kota Fak-Fak sendiri memiliki geografis yang pegunungan dan berbukit-bukit.



Gambar 5. Ruas jalan nasional Bomberai-Purwata



Gambar 6. Lokasi penelitian

Selain itu, daerah ini merupakan daerah transmigrasi, daerah perkebunan kelapa sawit, daerah pertanian dan daerah peternakan sapi. Ruas jalan ini rencana menghubungkan Kabupaten Kaimana dan Kabupaten Teluk Wondama (Kota Wasior). Kabupaten Fak-Fak mempunyai luas wilayah 14,320 km², Terletak di antara 13°30'-138040'BT dan 2°25'-4° 00'LS. Distrik Karas Merupakan daerah yang terluas

Kabupaten Fak-Fak. Sedangkan Distrik Fak-Fak Tengah merupakan daerah yang terkecil yaitu 705 km² atau 4,92% dari total luas Kabupaten Fak-Fak. Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan lokasi penelitian ini pada ruas jalan Nasional Bomberai-Purwata.

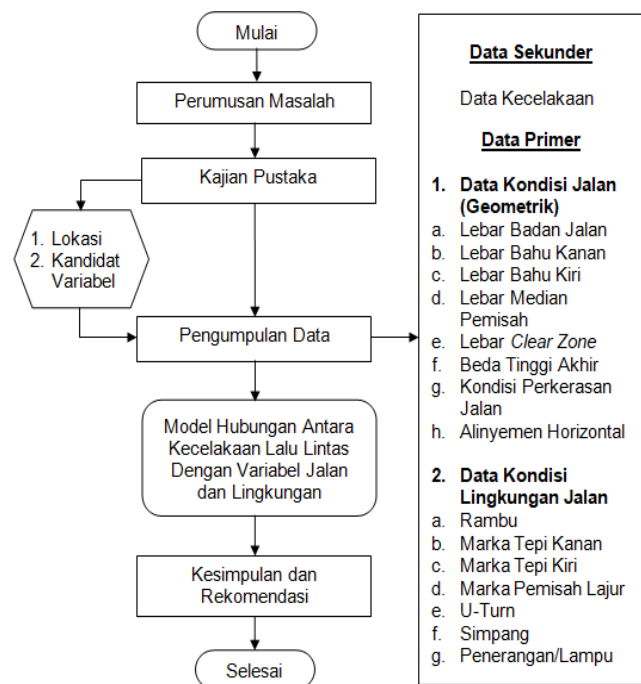
3.2. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data sebagai bahan utama dalam penelitian ini, maka digunakan dua metode pengumpulan data yaitu:

- a) Studi Pustaka
- b) Pelaksanaan Survey. Pengumpulan data primer meliputi kegiatan: survey geometrik jalan dan fasilitas lalu lintas, spot speed, checklist audit keselamatan jalan,

3.3. Bagan Alir Penelitian

Untuk memudahkan penelitian yang akan dilakukan, maka perlu direncanakan tahapan-tahapan yang akan menjadi pedoman bagi penelitian ini, tahapan proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Bagan alir penelitian

3.4. Tahap Analisis

Metode analisis yang dilakukan adalah dengan mengumpulkan data dan informasi dan menginventarisir data yang ada kemudian dilakukan penelitian terhadap data. Fokus utama dalam penelitian ini adalah melakukan



identifikasi terhadap komponen jalan dan lingkungan yang berpotensi menyebabkan kecelakaan. Data yang diperoleh di lapangan yang berupa data geometrik jalan dan kondisi lingkungan jalan, dipresentasikan dalam bentuk gambar, tabel dan grafik untuk kemudian dievaluasi.

3.5. Variabel Penelitian

Variabel didefinisikan sebagai simbol atau konsep yang diasumsikan sebagai seperangkat nilai-nilai. Tipe variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari dua yaitu variabel bebas (*independent variable*) dan variabel terikat (*dependent variable*). Variabel bebas merupakan variabel stimulus atau variabel yang mempengaruhi yang lain. Variabel bebas merupakan faktor yang dapat diukur, atau dipilih oleh peneliti untuk menentukan hubungannya dengan suatu jalan yang diobservasi. Variabel terikat adalah variabel yang memberikan reaksi atau respon jika dihubungkan dengan variabel bebas. Variabel terikat adalah variabel yang faktornya dapat diamati dan diukur untuk menentukan pengaruh yang disebabkan variabel bebas.

Hasil yang diharapkan dari penelitian ini berupa model persamaan matematis yang menyatakan hubungan antara jumlah kecelakaan dengan faktor jalan dan lingkungan yang ada pada daerah objek penelitian. Pada penelitian ini, yang menjadi variabel terikat adalah jumlah kecelakaan yang terjadi di lokasi penelitian. Sedangkan untuk variabel bebas dikelompokkan menjadi empat bagian yaitu: manusia sebagai pengemudi, kesiapan kendaraan, ruang lingkup jalan (geometrik), dan ruang lingkup lingkungan jalan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Kondisi Lalu Lintas Kabupaten Fak-Fak

Kota Fak-Fak merupakan ibu kota dari Kabupaten Fak-Fak dan merupakan kota perbukitan yang mempunyai ketinggian dari 0 sampai dengan 100 m dari permukaan laut, dengan jumlah penduduk kurang lebih 84.692 jiwa. Kabupaten Fak-Fak mempunyai Kecamatan 17 Distrik, yang salah satunya Distrik Bomberai.

Salah satu ruas jalan Nasional yang menghubungkan kota Fak-Fak dengan

Kabupaten Teluk Wondama akan melewati beberapa distrik, diantaranya Distrik Bomberai. Distrik Bomberai adalah salah satu daerah pertanian, perkebunan dan peternakan di Kabupaten Fak-Fak yang sehari-hari menyuplai kebutuhan pokok ke kota Fak-Fak. Pertumbuhan lalu lintas di Distrik Bomberai setiap tahun mengalami peningkatan seiring dengan adanya pertumbuhan ekonomi yang semakin maju dan dengan adanya pembangunan jalan Nasional yang melalui Distrik Bomberai, maka terjadinya kecelakaan akan semakin meningkat apabila kesadaran berlalu lintas tidak dijaga dengan baik.

4.2. Kecelakaan yang Terjadi di Distrik Bomberai

Sesuai dengan data kecelakaan dari Laka Lalu Lintas Polres Fak-Fak dari tahun 2012 sampai dengan 2017, jumlah kecelakaan 50 kasus kecelakaan baik murni maupun non murni dengan prosentase setiap tahun mengalami penurunan seiring dengan adanya kesadaran pengguna lalu lintas jalan raya, seperti Tabel 3. Kecelakaan yang terjadi di Bomberai dengan rincian per tahun dapat dilihat seperti pada Tabel 2 dan diperlihatkan dengan Grafik pada Gambar 8 cenderung mengalami penurunan seiring adanya kecenderungan kesadaran masyarakat dalam berlalu lintas. Terdapat beragam kecelakaan yang terjadi antara lain; kecekaan tunggal, dan tabrakan yang melibatkan satu kendaraan dengan kendaraan yang lainnya.

Tabel 2. Data kecelakaan distrik Bomberai tahun 2012 – 2017

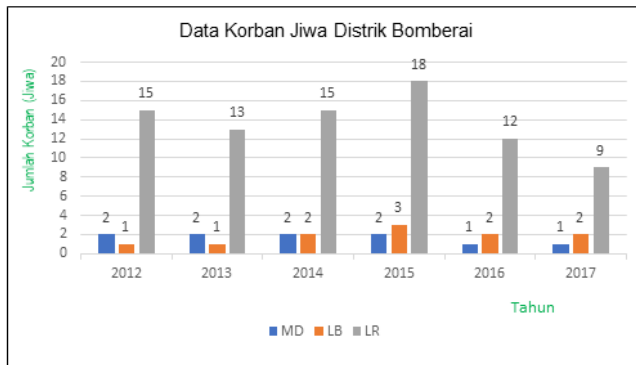
No	Tahun	Jumlah Kecelakaan	Korban Jiwa		
			MD	LB	LR
1.	2012	8	2	1	15
2.	2013	9	2	1	13
3.	2014	10	2	2	15
4.	2015	9	2	3	18
5.	2016	7	1	2	12
6.	2017	7	1	2	9

Secara menyeluruh kecelakaan lalu lintas yang terjadi antara lain adalah faktor manusia sebagai pengemudi (lengah, mabuk, tidak terampil, Lelah, tidak tertib, dan ngantuk), kendaraan (rem, ban, kemudi, dan lampu), Jalan (lubang, bergelombang, lubang), dan Lingkungan (rambu, lampu penerangan, dan alam).



Tabel 3. Prosentase kecelakaan tahun 2012 – 2017

Tahun	Jumlah Kecelakaan		Jumlah Meninggal
	Jiwa	Persentase (%)	
2012	8	16	2
2013	9	18	2
2014	10	20	2
2015	9	18	2
2016	7	14	1
2017	7	14	1
Jumlah	50	100	10



Gambar 8. Data korban jiwa tahun 2012 - 2017

4.3. Lokasi Rawan Kecelakaan

Penelitian yang dilakukan di ruas jalan Nasional Bomberai ke Purwata dan berdasarkan data dari Kepolisian Resort Lalu Lintas Fak-Fak, lokasi yang sering mengalami kecelakaan berada pada KM 144+300 sampai dengan KM 146+500 diakibatkan terdapat jalan lurus dan tiba-tiba terdapat tikungan tajam sehingga pengemudi kurang hati-hati dan mengerem kendaraan secara tiba-tiba sehingga laju kendaraan tidak terkontrol sehingga terjadi kecelakaan. Lokasi ini terdapat dua arah baik dari arah Bomberai maupun dari arah Purwata. Sesuai data kecelakaan lalu lintas sedikitnya setiap tahun terdapat kecelakaan dengan total 16 kejadian di lokasi tersebut.

4.4. Langkah-Langkah Pencegahan Kecelakaan

Bedasarkan analisis terhadap factor penyebab kecelakaan lalu lintas, diperlukan suatu langkah-langkah pencegahan agar kejadian kecelakaan dapat dikurangi. Langkah-langkah tersebut harus saling terintegrasi secara komprehensif antara pihak-pihak terkait seperti; pihak Kepolisian, pihak Kementerian Pekerjaan

Umum dan Perumahan Rakyat dalam hal ini Balai Pelaksanaan Jalan Nasional XVII Manokwari cq Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah Fak-Fak, pihak Dinas Perhubungan Kabupaten Fak-Fak, dan pihak Perusahaan Listrik Negara sehingga bisa dilaksanakan tepat sasaran. Langkah-langkah pencegahan yang dimaksud adalah suatu langkah yang bersifat intervensi, seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Intervensi berdasarkan faktor-faktor penyebab kecelakaan

Pengemudi	Kendaraan	Jalan	Lingkungan
Safety Riding	Daytime Running Light	Perbaikan dan Pelebaran Jalan	Perbaikan Drainase
Kampanye Road Safety	Pembatasan Kecepatan	Pembuatan Zebra Cross	Pemasangan Rambu-rambu
Penegakan Hukum yang Jelas	Pembelakuan Pajak Progresif	Penyediaan Trotoar Bagi Pejalan Kaki	Pemasangan Lampu Jalan

Faktor-faktor intervensi tersebut diharapkan dapat menurunkan terjadinya kecelakaan di Distrik Bomberai kedepannya, terutama pada lokasi seringnya terjadi kecelakaan terutama pada KM 144+300 sampai dengan KM 146+500.

4.5. Audit Keselamatan Jalan Terhadap Operasional Jalan

Analisis untuk mengetahui lokasi daerah rawan kecelakaan (*Black Spot*) menggunakan pendekatan *Equivalent Accident Number* (EAN), suatu daerah dinyatakan rawan kecelakaan jika mempunyai nilai EAN melebihi nilai EAN kritis seperti kejadian pada daerah penelitian ruas jalan Nasional Bomberai-Purwata seperti Tabel 5. Adapun persamaan *Aquivalen Accident Number* (EAN) adalah:

$$EAN = 12MD + 3LB + LR \quad (1)$$

dimana:

- MD = Korban Meninggal Dunia (jiwa)
- LB = Jumlah korban luka berat (orang)
- LR = Jumlah korban luka ringan (orang)



Tabel 5. Data rawan kecelakaan dengan persamaan EAN

No	Tahun	Jumlah kecelakaan	Korban			Bobot			EAN
			MD	LB	LR	12 x MD	3 x LB	1 x LR	
1	2012	8	2	1	15	24	3	15	42
2	2013	9	2	1	13	24	3	13	40
3	2014	10	2	2	15	24	6	15	45
4	2015	9	2	3	18	24	9	18	51
5	2016	7	1	2	12	12	6	12	30
6	2017	7	1	2	9	12	6	9	27
Jumlah		50							235

Nilai peluang kejadian kecelakaan dari aspek kondisi jalan memberikan kontribusi peluang sebesar 2 karena hasil ukur di lapangan terjadi perbedaan 40% terhadap standar teknis. Contoh analisis potensi kejadian kecelakaan yang disebabkan oleh ketidak adanya median jalan, dalam catatan anatomi kecelakaannya terjadi 1 orang meninggal dunia ditempat, dan 2 orang luka ringan, maka nilai dampak keparahan korban adalah 40 karena ada korban yang meninggal dunia ditempat kejadian. Analisis nilai resiko kecelakaan, nilai peluang sebesar 2, nilai dampak keparahan sebesar 40, maka nilai resikonya sebesar 80. Nilai resiko 80 dikategorikan “sangat berbahaya (SB)” sehingga memerlukan penanganan teknis secara total atau membuat median jalan, maksimal dua minggu sejak hasil audit keselamatan jalan disetujui. Nilai peluang kejadian kecelakaan dari aspek kondisi harmonisasi perlengkapan jalan. Rambu batas kecepatan memberikan kontribusi peluang sebesar 2 karena hasil ukur di lapangan terjadi perbedaan 10% sampai 40% terhadap standar teknis. Demikian juga nilai peluang kecelakaan dari aspek lampu penerangan yang memiliki nilai peluang sebesar 2. Masing-masing memiliki nilai dampak keparahan korban sebesar 40, selanjutnya nilai resiko yang terjadi dari kedua aspek tersebut masing-masing $2 \times 40 = 80$, yang dikategorikan “sangat berbahaya (SB)”. Dengan demikian hasil audit keselamatan jalan dari aspek harmonisasi perlengkapan jalan dalam kategori sangat berbahaya dan penanganannya adalah:

1) Tidak ada rambu batas kecepatan ketika kendaraan melintasi tikungan, sehingga perlu memasang rambu baru “batas kecepatan” sesuai kebutuhan dilokasi maksimal 2 (dua) minggu sejak hasil analisis audit disetujui. Dari hasil analisis nilai peluang sebesar 2, nilai dampak sebesar 40, sehingga nilai resiko sebesar 80.

2) Jarak antar lampu penerangan lebih dari 60 meter dan jumlahnya masih sangat kurang, sehingga penerangan kurang memadai yang dapat memicu terjadinya kecelakaan di tikungan dan pada ruas jalan yang ada persimpangannya terutama pada malam hari, sehingga perlu memasang lampu penerangan di lokasi sesuai kebutuhan maksimal 2 minggu sejak hasil audit disetujui.

Dari hasil audit keselamatan pada ruas jalan Nasional Bomberai-Purwata KM 144+300 – KM 146+500, secara komprehensif dapat dijelaskan bahwa tingkat fatalitas korban kecelakaan yang paling parah terjadi pada sisi kondisi umum jalan, alinyemen jalan, misalnya pada ketajaman radius tikungan dan kurangnya jarak pandang menyiap, yang didukung dengan tidak adanya rambu batas kecepatan. Kondisi lapangan tersebut memicu pengguna jalan untuk mengemudi kendaraannya dengan kecepatan yang tinggi tanpa informasi yang jelas, serta didukung kurang memudahinya lampu penerangan dan tidak adanya sinyal ketika mau masuk tikungan.

Selain aspek harmonisasi, potensi kejadian kecelakaan juga dipicu oleh kondisi perkerasan yang sedikit berlubang. Kondisi ketidak-harmonisasian rambu, sinyal, dan lampu penerangan terhadap fungsi jalan mengindikasikan jalan tidak *self explaining road*, yang artinya jalan tidak mampu menjelaskan informasi keselamatan kepada pengguna secara benar dan tepat, sehingga pengguna kurang hati-hati ketika melintasi tikungan dengan geometrik yang substandar. Kondisi perbedaan elevasi bahu terhadap elevasi tepi perkerasan yang cukup besar, jarak pandang menyiap yang kurang memadai, dan geometrik jalan mengindikasikan jalan tidak *forgiving road*, yang artinya jalan tidak sayang terhadap nyawa pengguna jalan ketika melakukan



kelalaian, misalnya berbuat kesalahan melintasi tepi perkerasan yang selanjutnya tergelincir ditikungan ke luar bahu jalan.

5. Kesimpulan

- a) Variabel-variabel dari kondisi jalan dan lingkungan jalan yang berpengaruh/significant terhadap terjadinya kecelakaan di ruas jalan arteri (Non Tol) Nasional yaitu hubungan manusia dengan jalan dan lingkungan, hubungan manusia dengan kendaraan dan hubungan kendaraan dengan jalan dan lingkungan.
- b) Dampak pengaruh dari variabel-variabel tersebut terhadap kecelakaan yang terjadi di ruas jalan arteri (Non Tol) Nasional adalah berdasarkan analisis terhadap factor penyebab kecelakaan lalu lintas, diperlukan suatu langkah-langkah pencegahan agar kejadian kecelakaan dapat dikurangi. Langkah-langkah tersebut harus saling terintegrasi secara komprehensif antara pihak-pihak terkait seperti; pihak Kepolisian, pihak Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dalam hal ini Balai Pelaksanaan Jalan Nasional XVII Manokwari cq Satuan Kerja Pelaksanaan Jalan Nasional Wilayah Fak-Fak, pihak Dinas Perhubungan Kabupaten Fak-Fak, dan pihak Perusahaan Listrik Negara sehingga bisa dilaksanakan tepat sasaran.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih diucapkan kepada Polres Kabupaten Fak-Fak atas data-data yang diberikan untuk menunjang tulisan mengenai kecelakaan lalu lintas di lokasi studi.

Referensi

- [1] Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, *Audit Keselamatan Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2006.
- [2] Ditjen Bina Marga, *Penyusunan Sistem Manajemen dan Pedoman Keselamatan Jalan dalam Kegiatan Pembangunan Jalan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, 2007.
- [3] A. T. Mulyono, *Audit Keselamatan Infrastruktur Jalan (Studi Kasus Jalan Nasional KM 78-KM 79 Jalur Pantura Jawa Kabupaten Batang)*. Yogyakarta: LPPM UGM, 2008.
- [4] A. T. Mulyono, K. Berlian, and H. E. Gunawan, "Penyusunan Model Audit Defisiensi Keselamatan Infrastruktur Jalan untuk Mengurangi Potensi Terjadinya Kecelakaan Berkendaraan," LPPM UGM, Jakarta, 2009.
- [5] C. J. Khisty and B. Kent Lall, *Dasar-Dasar Rekayasa Transportasi*. Jakarta: Erlangga, 2005.
- [6] S. O. Gunnarsson, "Traffic Accident Prevention & Reduction Review of Strategies," *IATSS Res.*, vol. 20, no. 2, pp. 6–14, 1996.
- [7] E. Hauer, *Safety in Geometric Design Standards*. Department of Civil Engineering University of Toronto, 1999.
- [8] *Undang-undang No. 22 Tahun 2009 tentang Lalu Lintas dan Angkutan Jalan*.



Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak

Maulana Nur Ikhsan^{1*}, Nasruddin Junus¹, Imriyanti¹

¹Departemen Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: maulanurikhsaan@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.06

Abstrak

Kestabilan suatu gedung akan meningkat terhadap suatu guncangan (gempa) jika terhubung oleh gedung lainnya dibandingkan jika hanya berdiri sendiri. Dalam perencanaan struktur jembatan penghubung (skybridge), diperlukan studi mengenai pemilihan jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung tersebut. Namun saat ini, studi mengenai jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung masih sangat kurang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan nilai kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (skybridge) dengan variasi jenis tumpuan rol, sendi, dan kaku. Struktur bangunan terdiri dari dua bangunan identik 50 lantai dengan material utama beton bertulang. Struktur bangunan dianalisis dengan program ETABS. Analisis yang digunakan adalah analisis dinamik *Time linear History*, menggunakan 3 data gempa yaitu Gempa Kobe (Jepang), Gempa Tabas (Iran), dan Gempa Chi-chi (Taiwan). Hasil penelitian menunjukkan nilai *displacement* terkecil adalah 89,955 mm yang terdapat pada variasi tumpuan T8 yaitu tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku. Dengan nilai *displacement* yaitu 91,467 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Kaku, Kaku-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, A-A. Dengan nilai *displacement* yaitu 95,361 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, A-B. Dengan nilai *displacement* yaitu 89,955 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, B-A. Dengan nilai *displacement* yaitu 90,831 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, B-B.

Abstract

Effect of the Type of Connecting Bridge (Skybridge) on the Stability of the Multi-Story Building Structure. The stability of a building will increase to a shock (earthquake) if it is connected by another building compared to if it only stands alone. In planning the bridge structure (skybridge), it is necessary to study the selection of effective pedestal types on the connecting bridge. But at present, studies on the types of effective pedestals on connecting bridges are still lacking. This study aims to determine the comparison of the stability value of many multi-storey building structures that are connected by bridges (skybridge) with variations in the type of pedestal rollers, joints, and rigid. The building structure consists of two 50-storey identical buildings with the main material reinforced concrete. The structure of the building was analyzed with the ETABS program. The analysis used is a dynamic analysis of Time linear History, using 3 earthquake data, namely the Kobe Earthquake (Japan), the Tabas Earthquake (Iran), and the Chi-Chi Earthquake (Taiwan). The results showed the smallest displacement value was 89.955 mm found in variations of the T8 pedestal, namely the Stiff-Joint, Stiff-Joint. With a displacement value of 91,467 mm, the combination of the Stiff-Stiff, Stiff-Stiff is the most effective in stabilizing the building on the combination of A-A, A-A. With a displacement value of 95,361 mm, a combination of Rigid Joints, Rigid Joints is the most effective in stabilizing buildings in a combination of A-B, A-B. With a displacement value of 89,955 mm, the combination of Rigid Joints, Rigid Joints is the most effective in stabilizing buildings on A-B, B-A pedestal combinations. With a displacement value of 90,831 mm, a combination of Rigid Joints, Rigid Joints is the most effective in stabilizing buildings in a combination of A-A, B-B.

Kata Kunci: Bangunan berlantai banyak, jembatan penghubung, kestabilan struktur, tumpuan

1. Pendahuluan

Makassar adalah ibu kota Sulawesi Selatan sekaligus kota terbesar di Indonesia Timur. Posisi Makassar yang strategis menjadikan banyak investor tertarik membangun gedung tinggi. Makassar kini memiliki 40 gedung tinggi diatas 12 lantai dan 35 gedung tinggi berkisar antara 7-

11 lantai. Selain itu, terdapat 17 gedung tinggi (12-35 lantai) yang berada dalam tahap pembangunan serta 28 gedung tinggi yang masih dalam tahap proposal [1].

Untuk mempermudah aksesibilitas antar gedung-gedung tinggi, diperlukan sarana penghubung berupa Jembatan penghubung



(*skybridge*). Jembatan penghubung (*Skybridge*) adalah salah satu jenis jembatan pejalan kaki tertutup yang menghubungkan antara dua bangunan atau lebih di area padat penduduk. Jembatan penghubung (*skybridge*) dibuat tertutup agar melindungi pejalan dari cuaca yang tidak mendukung. Tujuan pembangunan jembatan penghubung (*skybridge*) adalah untuk efektivitas waktu dan kenyamanan pejalan kaki untuk berpindah dari gedung satu ke gedung lainnya.

Menurut Kaharuddin [2] lokasi-lokasi atau titik gempa pada umumnya bergenerasi pada daerah persinggungan dan perpotongan patahan atau daerah tumbukan lempeng, dimana pada daerah ini lempeng-lempeng bumi saling berinteraksi dan saling menghalang-halangi laju pergerakannya, sehingga dapat menampung dan melepaskan energi dalam bentuk gempa bumi. Berdasarkan hal tersebut, daerah yang berpotensi terjadi gempa salah satunya adalah kota Makassar. Adapun kestabilan suatu gedung akan meningkat terhadap suatu guncangan (gempa) jika terhubung oleh gedung lainnya dibandingkan jika hanya berdiri sendiri [3].

Dalam perencanaan struktur jembatan penghubung (*skybridge*), diperlukan studi mengenai pemilihan jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung tersebut. Hal ini juga disebutkan McCall [4], perlu dilakukan analisis bangunan tinggi dengan jembatan penghubung (*skybridge*) bertumpuan sendi dan membandingkan hasilnya jika jembatan tersebut bertumpuan rol serta bangunan tinggi yang tidak dihubungkan oleh jembatan penghubung (*skybridge*).

Semakin banyaknya bangunan berlantai banyak di Makassar serta masih kurangnya penelitian mengenai jenis tumpuan yang efektif pada jembatan penghubung adalah yang melatarbelakangi penelitian yang berjudul “*Pengaruh Jenis Tumpuan Jembatan Penghubung (Skybridge) Terhadap Kestabilan Struktur Bangunan Berlantai Banyak*”. Kestabilan struktur meliputi nilai *displacement* bangunan.

Penelitian ini bertujuan mengetahui perbandingan nilai kestabilan struktur bangunan berlantai banyak yang dihubungkan jembatan penghubung (*skybridge*) dengan variasi jenis tumpuan rol, sendi, dan kaku. Penelitian ini diharapkan mampu berkontribusi dalam proses

perencanaan serta perancangan Jembatan Penghubung (*Skybridge*) pada bangunan berlantai banyak.

2. Metodologi

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian kuantitatif. Metode penelitian kuantitatif merupakan salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya. Metode penelitian kuantitatif, sebagaimana dikemukakan oleh Sugiyono [5] yaitu: “Metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, pengumpulan data menggunakan instrumen penelitian, analisis data bersifat kuantitatif/statistik, dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan”. Penelitian bersifat simulasi yang dilakukan dengan memodelkan jenis-jenis tumpuan yang berbeda pada jembatan penghubung (*skybridge*) dengan software ETABS.

Adapun instrumen yang digunakan dalam penelitian ini adalah software ETABS. Dalam penelitian ini yang menjadi variabel bebas (*independent variable*) adalah jenis-jenis tumpuan pada jembatan penghubung (*skybridge*) dan yang menjadi variabel terikat (*dependent variable*) adalah *displacement* pada bangunan.

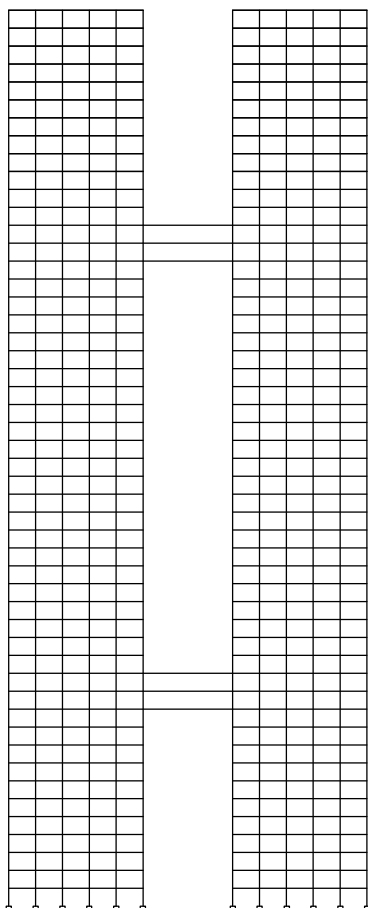
2.1. Tahap Pengumpulan Data

Bangunan dimodelkan dengan data sebagai berikut:

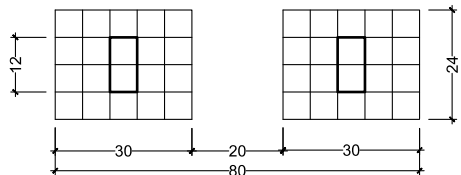
- 1) Fungsi bangunan : Perkantoran
- 2) Jumlah Lantai : 50 Lantai
- 3) Jarak Antar Lantai : 4 m
- 4) Luas Lantai : 72960 m²
- 5) Jarak Antar Tower : 20 m
- 6) Lokasi : Kota Makassar

Gambar berikut merupakan tampak depan dan denah dari bangunan yang akan dimodelkan pada program ETABS.





Gambar 1. Tampak potongan model bangunan



Gambar 2. Denah model bangunan

Untuk mengetahui pengaruh jenis tumpuan jembatan penghubung terhadap kestabilan bangunan berlantai banyak, maka dibuat 15 variasi tumpuan seperti yang ada di Tabel 1.

Tabel 1. Kombinasi tumpuan A-A, A-A

T1	T2	T3
Rol-Rol, Rol-Rol	Kaku-Kaku, Kaku-Kaku	Sendi-Sendi, Sendi-Sendi

Tabel 2. Kombinasi tumpuan A-B, A-B

T4	T5	T6
Sendi-Rol, Sendi-Rol	Kaku-Sendi, Kaku Sendi	Rol-Kaku, Rol-Kaku

Tabel 3. Kombinasi tumpuan A-B, B-A

T7	T8	T9
Rol-Sendi, Sendi-Rol	Kaku-Sendi, Sendi-Kaku	Rol-Kaku, Kaku-Rol

Tabel 4. kombinasi tumpuan A-A, B-B

T10	T11	T12
Sendi-Sendi, Rol-Rol	Kaku-Kaku, Rol-Rol	Kaku-Kaku, Sendi-Sendi
T13	T14	T15
Rol-Rol, Sendi-Sendi	Rol-Rol, Kaku-Kaku	Sendi-Sendi, Kaku-Kaku

Model bangunan dimodelkan menggunakan Software ETABS dengan dimensi ukuran kolom, balok, plat lantai, dan *skybridge* yang sama, namun dibedakan dari jenis tumpuannya. Material bangunan yang digunakan adalah beton bertulang dengan inti berupa *shear wall*. Berikut merupakan tabel dimensi elemen struktur:

Tabel 5. Dimensi elemen struktur

Elemen Bangunan	Lantai				
	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50
Kolom (Panjang x lebar)	180 x 110	160 x 100	140 x 80	120 x 70	100 x 60
Balok (lebar x tinggi)	120 x 50	30 x 70	30 x 70	20 x 50	20 x 50
Shear Wall (Tebal)	55	45	40	35	30
Plat Lantai (Tebal)	12	12	12	12	12

2.2. Tahap Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur diinput pada Software ETABS berupa beban mati, beban hidup, beban angin, beban gempa serta kombinasi pembebanan.

1) Beban Mati [6]

Beban mati dihitung secara otomatis pada Software ETABS bergantung pada volume struktur dengan nilai berat jenis material beton adalah 23.5631 kN/m³ dan baja 78,49 kN/m³.

2) Beban Hidup [6]

Beban hidup yang diberikan adalah beban terbagi rata sebesar 2.5 kN/m².

3) Beban Angin [7]

Beban angin dihitung berdasarkan data berikut:

- a. Faktor Arah Angin, Kd, dipilih nilai dengan tipe bangunan gedung yaitu sebesar 0.85
- b. Kategori Eksposur, termasuk kedalam kategori B yaitu daerah perkotaan dengan penghalang berjarak dekat yang banyak memiliki ukuran seperti tempat tinggal keluarga-tunggal atau lebih besar.
- c. Faktor Efek Tiupan Angin, G, untuk suatu bangunan gedung dan struktur lain yang kaku boleh diambil sebesar 0.85.
- d. Koefisien Tekanan Internal, Cpi, Untuk bangunan gedung tertutup, nilai koefisien internal yang digunakan adalah 0.18
- e. Koefisien Tekanan Eksternal, Cpe, yang digunakan untuk angin arah depan adalah 0.8, arah samping adalah -0.7, dan arah belakang adalah -0.5.

4) Beban Gempa [8]

Beban gempa dihitung berdasarkan data berikut:

- a. Faktor Keutamaan, Ie, gedung perkantoran termasuk kategori risiko III dengan nilai faktor keutamaan 1.
- b. Nilai Spektral Percepatan, S_s dan S₁, untuk makassar memiliki nilai S_s sebesar 0.2 dan S₁ sebesar 0.05.
- c. Klasifikasi Situs, dipilih kelas situs SC (Tanah Keras).
- d. Koefisien Situs, Fa dan Fv, untuk nilai S_s dan S₁ pada kelas situs SC (Tanah Keras) maka nilai Fa sebesar dan Fv sebesar.
- e. Parameter Percepatan Spektral Desain, S_{DS} dan S_{D1}, untuk nilai Fa, Fv, S_s dan S₁ maka nilai S_{DS} dan S_{D1}
- f. Kategori Desain Seismik,
- g. Kombinasi Sistem Perangkai, nilai R, Ω₀, dan Cd untuk sistem penahan-gaya seismik berturut-turut adalah 7, 2.5 dan 5.5

5) Kombinasi Pembebanan [8]

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. 1,4D
- b. 1,2D + 1,6L
- c. 1,2D + 0,5W
- d. 1,2D + 1,0W + L
- e. 1,2D + 1,0E + L
- f. 0,9D + 1,0W
- g. 0,9D + 1,0E

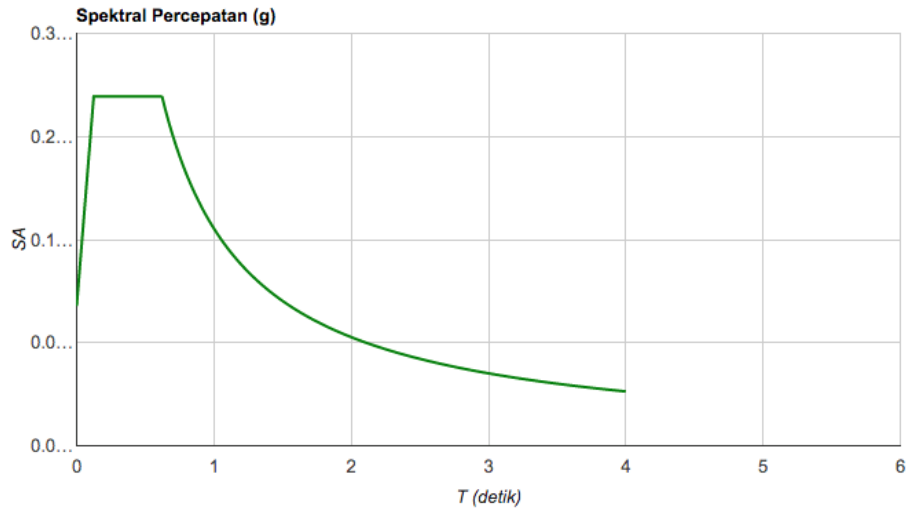
keterangan:

- D : Beban Mati (*Dead*)
- L : Beban Hidup (*Live*)
- W : Beban Angin (*Wind*)
- E : Beban Gempa (*Earthquake*)

2.3. Tahap Analisis

Analisis yang digunakan adalah analisis linear dinamis ragam riwayat waktu (*time history*) yang menggunakan rekaman gempa asli yang telah terjadi sebelumnya. Data gempa yang digunakan diambil dari PEER (*Pasific Earthquake Engineering Research Center*) [9]. Data *ground motion* tersebut kemudian diskalakan sesuai kurva spektrum gempa di Makassar. Berdasarkan nilai S_s dan S₁ pada 3.6 pada jenis tanah keras didapatkan kurva spektrum gempa di Makassar adalah sebagai berikut:



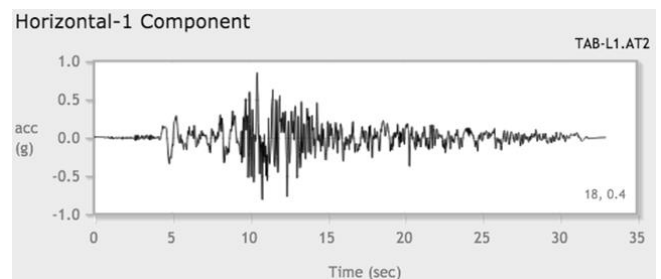


Gambar 3. Kurva spektrum gempa di Makassar [10]

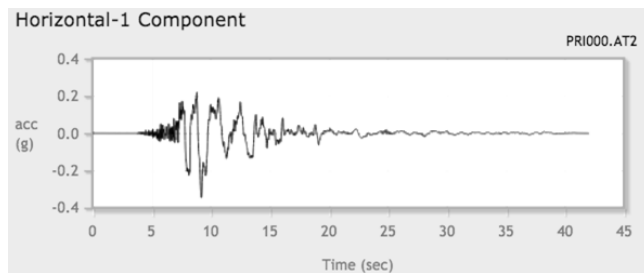
Adapun data *ground motion* yang digunakan adalah gempa Kobe (Jepang), Gempa Tabas (Iran), dan Gempa Chi-Chi (Taiwan).

Tabel 6. Data *Ground Motion* [9]

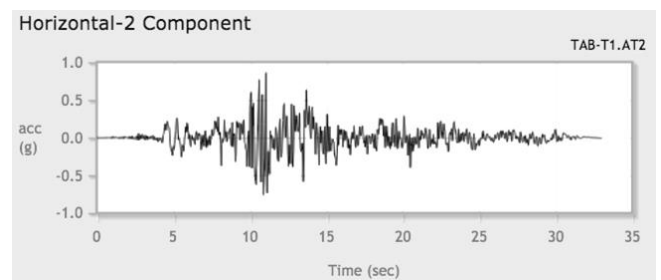
No	Gempa	Tahun	Stasiun	M
1	Kobe (Jepang)	1995	Port Island	6.9
2	Tabas (Iran)	1978	Tabas	7.4
3	Chi-Chi (Taiwan)	1999	CHY006	7.6



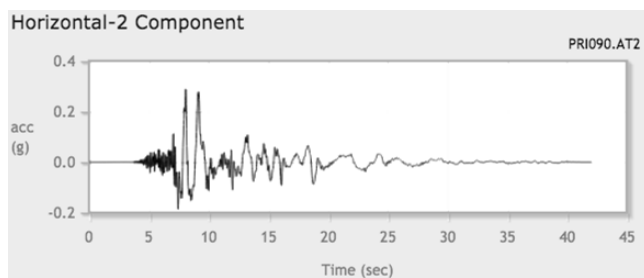
Gambar 6. Rekam Gempa Tabas (Arah X)



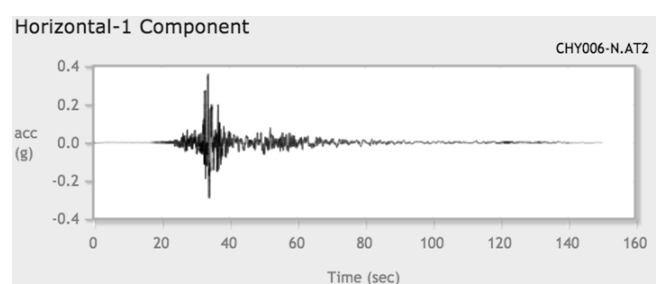
Gambar 4. Rekam Gempa Kobe (Arah X)



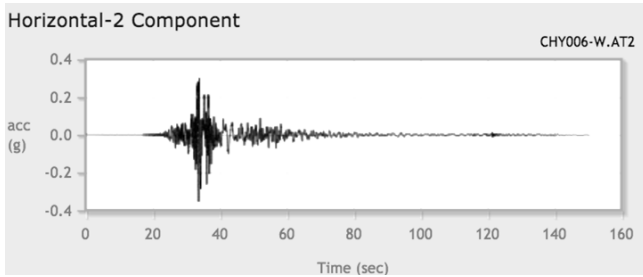
Gambar 7. Rekam Gempa Tabas (Arah Y)



Gambar 5. Rekam Gempa Kobe (Arah Y)



Gambar 8. Rekam Gempa Chi-Chi (Arah X)



Gambar 9. Rekam Gempa Chi-Chi (Arah Y)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kombinasi Tumpuan A-A, A-A

Berdasarkan perbandingan pada variasi tumpuan T1, T2, dan T3 pada kedua variasi posisi, didapatkan bahwa pada variasi T2 memiliki nilai *displacement* terendah yaitu 91,467 mm. Sehingga kombinasi tumpuan Kaku-Kaku, Kaku-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, A-A.

Tabel 7. Kombinasi efektif tumpuan A-A, A-A

Variasi Tumpuan	Displacement (mm)
T1	1,159,864
T2	91,467
T3	92,026

3.2. Kombinasi Tumpuan A-B, A-B

Berdasarkan perbandingan pada variasi tumpuan T4, T5, dan T6 pada kedua variasi posisi, didapatkan bahwa pada variasi T5 memiliki nilai *displacement* terendah yaitu 95,361 mm. Sehingga kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, A-B.

Tabel 8. Kombinasi efektif tumpuan A-B, A-B

Variasi Tumpuan	Displacement (mm)
T4	221,858
T5	95,361
T6	218,090

3.3. Kombinasi Tumpuan A-B, B-A

Berdasarkan perbandingan pada variasi tumpuan T7, T8, dan T9 pada kedua variasi posisi, didapatkan bahwa pada variasi T8 memiliki nilai *displacement* terendah yaitu 89,955 mm.

Sehingga kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, B-A.

Tabel 9. Kombinasi efektif tumpuan A-B, B-A

Variasi Tumpuan	Displacement (mm)
T7	164,310
T8	89,955
T9	164,320

3.4. Kombinasi Tumpuan A-A, B-B

Berdasarkan perbandingan pada variasi tumpuan T10, T11, T12, T13, T14, dan T15 pada kedua variasi posisi, didapatkan bahwa pada variasi T12 memiliki nilai *displacement* terendah yaitu 90,831 mm. Sehingga kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, B-B.

Tabel 10. Kombinasi efektif tumpuan A-A, B-B

Variasi Tumpuan	Displacement (mm)
T10	186,361
T11	183,961
T12	90,831
T13	282,690
T14	282,895
T15	91,467

3.5. Perbandingan Kombinasi Tumpuan A-B, A-B dan A-B, B-A

Berdasarkan perbandingan pada variasi tumpuan T7 dan T4, T8 dan T5, serta T9 dan T6 pada kedua variasi posisi, didapatkan bahwa pada tumpuan T7 (164,310 mm) memiliki nilai *displacement* yang lebih rendah dibandingkan T4 (221,858 mm). Pada kombinasi T8 (89,955 mm) juga memiliki nilai *displacement* yang lebih rendah dibandingkan T5 (95,361 mm). Begitu pula pada tumpuan T9 (164,320 mm) memiliki nilai *displacement* yang lebih rendah dibandingkan T6 (218,090 mm). Maka kombinasi tumpuan A-B, B-A lebih efektif dalam menstabilkan bangunan dibandingkan kombinasi tumpuan A-B, A-B.



Tabel 11. Perbandingan kombinasi tumpuan A-B, A-B dan A-B, B-A

Variasi Tumpuan	Displacement (mm)
T4	221,858
T7	164,310
T5	95,361
T8	89,955
T6	218,090
T9	164,320

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini diperoleh kesimpulan, antara lain:

- 1) Nilai displacement terkecil adalah 89,955 mm yang terdapat pada variasi tumpuan T8 yaitu tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku.
- 2) Dengan nilai displacement yaitu 91,467 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Kaku, Kaku-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, A-A.
- 3) Dengan nilai displacement yaitu 95,361 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, A-B.
- 4) Dengan nilai displacement yaitu 89,955 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Sendi-Kaku merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-B, B-A.
- 5) Dengan nilai displacement yaitu 90,831 mm, kombinasi tumpuan Kaku-Sendi, Kaku-Sendi merupakan yang paling efektif dalam menstabilkan bangunan pada kombinasi tumpuan A-A, B-B.

- 6) Pada ketiga variasi tumpuan pada masing-masing kombinasi tumpuan, kombinasi tumpuan A-B, B-A lebih efektif dalam menstabilkan bangunan dibandingkan kombinasi tumpuan A-B, A-B.

Referensi

- [1] VerticalScope.Inc, "Skyscraper City," 2020. [Online]. Available: <https://www.skyscrapercity.com/forums/makassar.3303/>. [Accessed: 06-May-2020].
- [2] Kaharuddin, R. Hutagalung, and Nurhamdan, "Perkembangan Tektonik dan Implikasinya terhadap Potensi Gempa dan Tsunami di Kawasan Pulau Sulawesi," *JCM Makassar*, 2011.
- [3] T. Kimura, "Osaka Info," 1994. [Online]. Available: <https://osaka-info.jp/en/page/umeda-sky-building>. [Accessed: 10-Nov-2019].
- [4] A. J. T. McCall, "Structural Analysis and Optimization of Skyscrapers Connected with Skybridges and Atria," 2013. [Online]. Available: <https://scholarsarchive.byu.edu/etd>. [Accessed: 03-Nov-2019].
- [5] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif*. Bandung: CV. Alfabeta, 2017.
- [6] Departemen Pekerjaan Umum, *SKBI-1.3.53.1987 Pedoman Perencanaan Pembebanan Untuk Rumah dan Gedung*. Jakarta, 1987.
- [7] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 1727-2013*. Jakarta, 2013.
- [8] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-1726-2012*. Jakarta, 2012.
- [9] "Pacific Earthquake Engineering Research Center," 2020. [Online]. Available: <https://peer.berkeley.edu/peer-nga-west2-online-ground-motion-database-updated-and-expanded>. [Accessed: 12-May-2020].
- [10] PPMB-ITB, "Desain Spektra Indonesia," 2011. [Online]. Available: http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/. [Accessed: 20-Apr-2020].



Analisis Penurunan Capaian Target Produksi Bijih Nikel Menggunakan Metode *Fault Tree Analysis* di PT Ifishdeco Provinsi Sulawesi Tenggara

Yosytha P. Parissing¹, Aryanti Virtanti Anas^{1*}, Irzal Nur¹, Sufriadin¹,
Purwanto¹, Meinarni Thamrin¹, Agus Prasetyono²

¹Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

²PT. Ifishdeco Site Tinanggea, Konawe Selatan
Wadonggo, Tinanggea, Kabupaten Konawe Selatan, Sulawesi Tenggara 93885

*Email: aryantiv@g.unhas.ac.id

DOI: 10.25042/jpe.052020.07

Abstrak

Proses produksi berarti menghasilkan suatu produk yang bernilai guna. Dalam suatu perusahaan pertambangan, produksi merupakan hal yang sangat penting, sehingga diperlukan perencanaan yang matang. Perusahaan menargetkan jumlah bahan galian yang akan diproduksi baik dalam jangka panjang, menengah maupun jangka pendek. Operasi produksi PT. Ifishdeco menggunakan bantuan alat gali muat *excavator* Komatsu PC 300 dimana terjadi penurunan produksi bijih nikel sebesar 19,94%. Target produksi sebesar 149.934 mt, namun capaian produksi hanya sebesar 116.603mt. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui faktor utama dan nilai probabilitas penyebab turunnya capaian produksi. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis faktor utama penyebab penurunan capaian produksi adalah menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). Persamaan logika top down dari *Fault Tree Analysis* disubstitusikan ke dalam aljabar Boolean hingga diperoleh *minimal cut set*. *Minimal cut set* merupakan persamaan akhir yang merincikan *top down*. *Top event* penurunan capaian target produksi memiliki empat *top down*, yaitu faktor pengisian, kesiapan fisik alat, efektivitas kerja, dan waktu edar alat gali muat. Berdasarkan nilai probabilitas *basic event* tertinggi yang bernilai 1, maka faktor utama penyebab penurunan capaian produksi adalah dari faktor umur pakai alat tua, penjadwalan perawatan tidak teratur, kualitas alat buruk, dan proses *selective mining*.

Abstract

Analysis of Decrease in Nickel Ore Production Targets Using the Fault Tree Analysis Method in PT Ifishdeco, Southeast Sulawesi Province. Production process meant produce product with beneficial value. At the mining company, production was very important, so it needed to be well-planned. Company was making target amount of digging material to be produced in long term, middle term, and short term. Production operation at PT Ifishdeco utilized digger loader equipment namely excavator Komatsu PC 300. There was decreasing in nickel ore production of 19,94%. Production target was 149,934 mt, but the company was only able to meet 116,603 mt. Objective of this study was to know main factor and probability value which caused the low production performance. One of methods to be used to analyze the main factor was Fault Tree Analysis (FTA). Top down logical equations of Fault Tree Analysis was substituted into Boolean algebra to get minimal cut set. Minimal cut set was a formula of the top down and used to calculate probability. Top event of the decreasing of the production target had four top downs which were filling factor, mechanical availability, effectivity of use, and cycle time of digger loader. Based on the highest probability of basic event which value was equal to 1, the main factor caused the decreasing of productivity were lifetime of equipment, unscheduled of maintenance, low quality of equipment, and selective mining.

Kata Kunci: Boolean, cut set, excavator, probability, work effectivity

1. Pendahuluan

Proses produksi berarti menghasilkan suatu produk yang bernilai guna. Dalam suatu perusahaan pertambangan, produksi merupakan hal yang sangat penting, sehingga diperlukan perencanaan yang matang sebelum melakukannya. Perusahaan menargetkan jumlah

bahan galian yang akan diproduksi baik dalam jangka panjang, menengah maupun jangka pendek, dan target itu pula yang menjadi acuan dalam bekerja [1].

PT. Ifishdeco sebagai salah satu perusahaan pertambangan nikel melakukan produksi bijih nikel berdasarkan target bulanan dan tahunan. Operasi produksi menggunakan bantuan alat gali



muat *excavator* Komatsu PC 300 dimana terjadi penurunan produksi sebesar 19,94%. Target produksi sebesar 149.934 mt, namun capaian produksi hanya sebesar 116.603mt [2].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis faktor utama penyebab penurunan capaian produksi adalah menggunakan *Fault Tree Analysis* (FTA). FTA ini berguna untuk menggambarkan kejadian dalam suatu sistem yang mungkin bisa menyebabkan kegagalan. Setiap faktor yang memengaruhi kemudian ditentukan probabilitas kesalahannya untuk diketahui seberapa besar pengaruhnya terhadap faktor utama penyebab terjadinya penurunan produksi [3], [4]. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui akar permasalahan penyebab turunnya capaian produksi. Rumusan masalah dalam penelitian adalah berapa nilai probabilitas faktor penyebab penurunan capaian target produksi dan apa faktor utama penyebab terjadinya penurunan capaian target produksi alat gali muat. Tujuan dalam penelitian ini adalah menentukan nilai probabilitas faktor penyebab penurunan capaian target produksi dan menganalisis faktor utama penyebab penurunan capaian target produksi.

Manfaat yang dapat diperoleh setelah melakukan penelitian ini adalah mengetahui faktor-faktor penyebab terjadinya penurunan capaian target produksi sehingga dapat dilakukan antisipasi terjadinya kegagalan akibat faktor yang sama. Selain itu penerapan metode *Fault Tree Analysis* dapat dikembangkan pada setiap kejadian yang tidak diharapkan disemua bidang.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari pengumpulan dan pengolahan data. Pengumpulan data dilakukan dengan mengumpulkan data primer dan sekunder. Pengolahan dan analisis data dilakukan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* untuk mencari akar permasalahan yang menyebabkan terjadinya penurunan capaian produksi bijih nikel.

2.1. Pengambilan Data

Pengumpulan data yang dibutuhkan dalam penelitian diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara langsung dengan pekerja, dan perolehan data dari pihak perusahaan. Data yang

berasal dari pihak perusahaan merupakan data sekunder sedangkan data yang diperoleh sendiri dari hasil observasi, pengukuran dan wawancara merupakan data primer. Sampel data yang diambil adalah sampel pada tahun/bulan tertentu saat terjadi penurunan capaian target produksi bijih nikel.

Data yang diambil dalam penelitian ini adalah data yang berkaitan dengan produksi tambang baik dari segi peralatan maupun sumber daya manusia yang terbatas pada proses penambangan, yaitu:

a) Target Produksi

Target produksi merupakan suatu hal yang diharapkan dicapai oleh perusahaan baik secara kualitas maupun kuantitas [1]. Berdasarkan hasil perencanaan produksi perusahaan menargetkan produksi kuantitatif bijih nikel sebesar 149.934 mt bijih nikel dengan kualitas kadar bijih nikel 2,05% Ni sesuai dengan permintaan pasar.

b) Capaian Produksi

Capaian produksi merupakan hasil akhir yang diperoleh perusahaan setelah melakukan produksi berdasarkan perencanaan dan target yang telah disiapkan. Capaian produksi sebanyak 116.603 mt bijih nikel dengan kualitas kadar 2,05% Ni [2].

c) Jenis Alat

Penggunaan alat pada proses penambangan yang sangat berpengaruh pada produksi adalah penggunaan alat gali muat. Pada proses pengambilan bijih PT.Ifishdeco menggunakan jenis *excavator* Komatsu PC 300 dengan kapasitas *bucket* standar sebesar 2,88 mt dan kapasitas *bucket* aktual 2,4 mt.

d) Waktu Kerja

Waktu kerja merupakan waktu yang ditetapkan untuk melaksanakan pekerjaan berdasarkan target yang telah direncanakan.

e) Waktu Edar

Data waktu edar yang diamati adalah data waktu edar alat gali muat *excavator* Komatsu PC 300.

f) Probabilitas

Data probabilitas diperoleh berdasarkan hasil wawancara dengan pekerja..

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Riset Perencanaan dan Valuasi Tambang. Data



yang telah diperoleh dari perusahaan merupakan data yang berhubungan dengan faktor penyebab penurunan produksi. Berdasarkan data tersebut dilakukan analisis kesalahan lalu dibuat dalam bentuk konstruksi *Fault Tree Analysis*, yaitu:

- a) Menentukan kejadian puncak (*top event*)
Menentukan kejadian puncak (*top event*), yaitu penurunan capaian target produksi. *Top event* merupakan masalah pokok yang dibahas dan diuraikan faktor penyebab dasar terjadinya (*basic event*). Penentuan *top event* berdasarkan data yang telah diperoleh sebelumnya [3], [4].
- b) Membuat gambar konstruksi FTA
Membuat gambar konstruksi FTA berdasarkan kejadian turunan (*top down*) dari kejadian puncak (*top event*) yang telah ditentukan klasifikasi penyebab-penyebab penurunan target produksi (*intermediate event*) dan penyebab dasar (*basic event*). *Top event* penurunan capaian target produksi memiliki empat *top down*, yaitu:
 - Faktor Pengisian (Fp)
Faktor pengisian mangkuk merupakan perbandingan antara kapasitas nyata material yang masuk ke dalam mangkuk dengan kapasitas teoritis dari alat muat tersebut yang dinyatakan dalam persen. Faktor isian mangkuk ini menunjukkan bahwa semakin besar faktor isian maka semakin besar produktivitas alat muat tersebut.
 - Kesiapan Fisik Alat (Ma)
Kesiapan alat adalah penilaian terhadap suatu pelaksanaan pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu tersedia yang dinyatakan dalam persen (%).
 - Efisiensi Kerja (Eu)
Efisiensi kerja adalah penilaian terhadap suatu pelaksanaan pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu tersedia yang dinyatakan dalam persen (%). Efisiensi kerja ini akan memengaruhi kemampuan alat. Faktor manusia, mesin, cuaca, dan kondisi kerja secara keseluruhan akan menentukan besarnya efisiensi kerja.

- *Cycle Time (Ct)*

Cycle time (waktu edar) merupakan waktu yang digunakan oleh alat mekanis untuk melakukan satu siklus kegiatan. Lamanya waktu edar dari alat-alat mekanis akan berbeda antara material yang satu dengan yang lainnya. Hal ini tergantung dari jenis alat dan jenis serta sifat dari material yang ditangani. Waktu edar alat muat merupakan penjumlahan dari waktu menggali, waktu ayunan bermuatan, waktu menumpahkan material, dan waktu ayunan kosong.

- c) Pembagian FTA *Top Down*

FTA *top down* terbagi ke dalam dua bagian pokok, yaitu akibat dari *equipment error* dan *human error*. Kesalahan yang diakibatkan oleh peralatan disebut *equipment error*, sedangkan kesalahan akibat kelalaian manusia disebut *human error*. Faktor-faktor yang memengaruhi penurunan produktivitas kemudian diuraikan hingga kejadian dasar (*basic event*).

- d) Melakukan Substitusi Aljabar Boolean

Setelah kesalahan diuraikan, tahapan selanjutnya adalah melakukan substitusi Aljabar Boolean. Persamaan logika *top down* dari *Fault Tree Analysis* disubstitusi ke dalam aljabar Boolean hingga diperoleh *minimal cut set*. *Minimal cut set* merupakan persamaan akhir yang merincikan *top down*. Pada tahap ini *Fault Tree Analysis* yang telah dibentuk akan diubah ke dalam bentuk persamaan dengan ketentuan:

- OR *gate* menjadi tanda kali (x)
- AND *gate* menjadi tanda tambah (+)

Tahapan akhir adalah menentukan nilai numerik probabilitas setiap kesalahan dan nilai probabilitas *top down* berdasarkan *minimal cut set*. Data probabilitas yang diperoleh merupakan estimasi nilai berdasarkan pengalaman kerja karyawan di lapangan dengan menggunakan pendekatan klasik dan subjektif. Nilai probabilitas setiap kesalahan berkisar antara 0-1. Nilai 0 berarti tidak mungkin terjadi, sedangkan nilai 1 berarti selalu terjadi pada setiap kesalahan. Nilai probabilitas tertinggi merupakan faktor utama penyebab terjadinya penurunan produksi [3], [4].



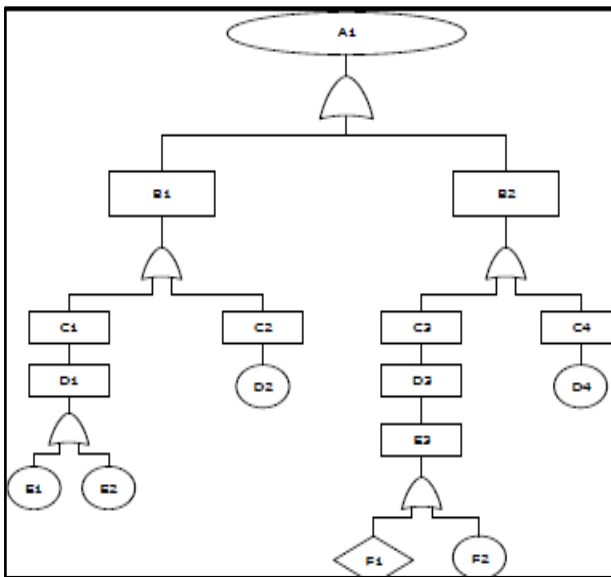
3. Hasil Penelitian

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kejadian potensial yang menyebabkan kegagalan dari suatu sistem dan probabilitas kejadian tersebut dapat ditentukan dengan *Fault Tree Analysis*. Kejadian potensial atau yang menjadi *top event* pada analisis ini adalah penurunan produksi bijih nikel perusahaan. Terdapat empat *top down* dari *top event* penurunan capaian target produksi bijih nikel, yaitu:

- a) Faktor pengisian alat gali muat (Fp)
- b) Faktor kesiapan fisik alat gali muat (Ma)
- c) Efektivitas kerja alat gali muat (Eu)
- d) Waktu edar alat gali muat (Ct)

3.1. Faktor Pengisian Alat Gali Muat (Fp)

Faktor pengisian ditentukan dengan membandingkan kapasitas *bucket* standar perusahaan dengan kapasitas *bucket* aktual di lapangan. Kapasitas *bucket* aktual sebesar 2,4 mt sedangkan kapasitas *bucket* standar adalah 2,88 mt. Faktor pengisian alat gali muat Komatsu PC 300 yang diperoleh adalah 83,33%. *Fault Tree Analysis* dari faktor pengisian alat gali muat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Fault tree analysis* faktor pengisian alat gali muat komatsu PC 300

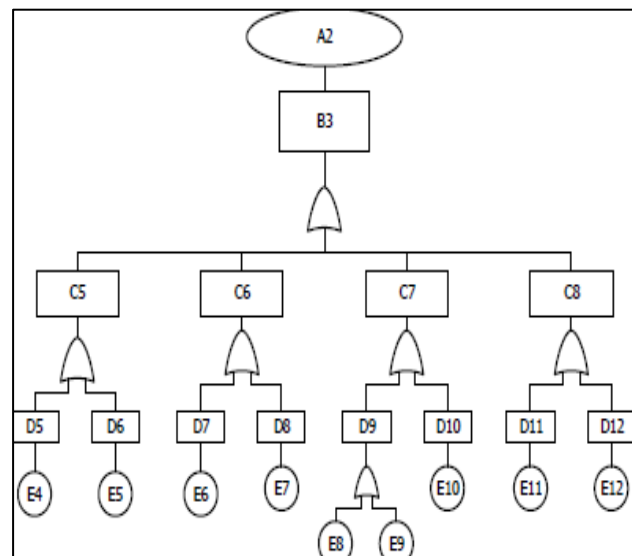
Nilai probabilitas dari *basic event* faktor pengisian dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Probabilitas *basic event* faktor pengisian alat gali muat

Symbol	Deskripsi	Probabilitas
E1	Material keras susah digali	0,003
E2	Umur pakai alat tua	1
D2	Operator <i>digging</i> tidak maksimal	0,001
F1	Hujan	0,038
F2	Kelembaban material	0,01
D4	Operator <i>loading</i> tidak maksimal	0,001

3.2. Kesiapan Fisik Alat Gali Muat (Ma)

Kesiapan fisik alat (Ma) merupakan kondisi alat saat berada di lapangan. Parameter ini digunakan untuk mengetahui kondisi mekanis yang sesungguhnya dari alat yang sedang dipergunakan dengan memperhitungkan kehilangan waktu yang digunakan untuk perbaikan mesin, perawatan, dan al as mekanis lainnya. Semakin banyak waktu yang dibutuhkan alat untuk perawatan dan perbaikan maka kesiapan fisiknya semakin rendah. Nilai kesiapan fisik alat gali muat Komatsu PC 300 adalah 81,6%. *Fault Tree Analysis* dari kesiapan fisik alat dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Fault tree analysis* kesiapan fisik alat gali muat komatsu PC 300

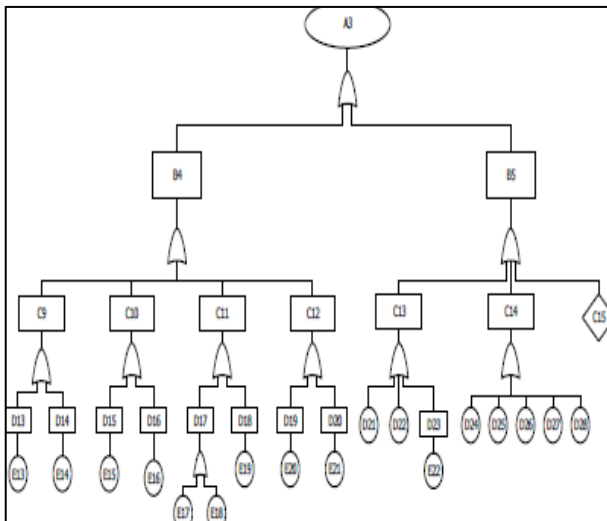
Nilai probabilitas dari *basic event* kesiapan fisik alat yang kurang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Probabilitas *basic event* kesiapan fisik alat gali muat

Simbol	Deskripsi	Probabilitas
E4	Umur pakai alat kesalahan	1
E5	Pemakaian alat (tidak sesuai Prosedur)	0,01
F6	Alat rusak pada bagian tak biasa	0,01
F7	Tidak ada persiapan suku cadang	0,05
F8	Ukuran unit besar pada lahan sempit	0,150
F9	Bagian unit yang rumit susah dibersihkan	0,01
F10	Penjadwalan perawatan tidak teratur	1
F11	Kualitas alat buruk	1
F12	Otomotif lamban (kurang terampil) saat perbaikan	0,02

3.3. Efektivitas Kerja Alat Gali Muat (Eu)

Efektivitas kerja adalah penilaian terhadap pelaksanaan suatu pekerjaan atau merupakan perbandingan antara waktu yang dipakai untuk bekerja dengan waktu yang tersedia. Jadi nilai efektivitas kerja Komatsu PC 300 adalah 63,45%. *Fault Tree Analysis* dari efektivitas kerja dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. *Fault tree analysis* efektifitas kerja alat gali muat komatsu PC 300

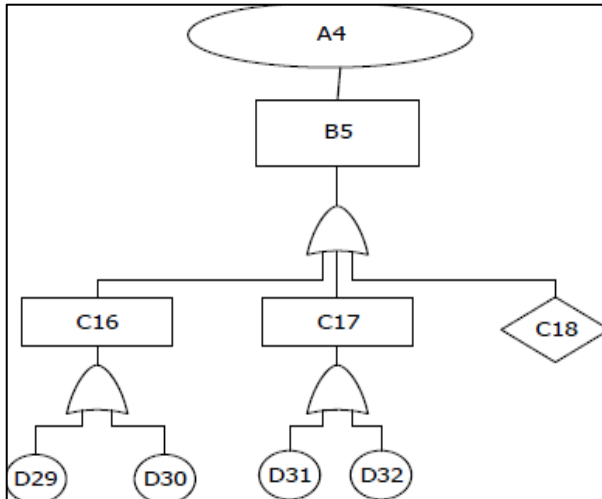
Nilai probabilitas dari *basic event* efektivitas kerja alat yang kurang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Probabilitas *basic event* efektivitas kerja alat gali muat

Simbol	Deskripsi	Probabilitas
E13	Umur pakai alat kesalahan	1
E14	Pemakaian alat (tidak sesuai Prosedur)	0,01
F15	Alat rusak pada bagian tak biasa	0,01
F16	Tidak ada persiapan suku cadang	0,05
F17	Ukuran unit besar pada lahan sempit	0,150
F18	Bagian unit yang rumit susah dibersihkan	0,01
F19	Penjadwalan perawatan tidak teratur	1
F20	Kualitas alat buruk	1
F21	Otomotif lamban (kurang terampil) saat perbaikan	0,02
D21	Alat tidak mampu membenahi lokasi	0,03
D22	Alat lamban bergerak, oli tidak bagus/oli kurang	0,03
D25	Operator cepat pulang	0,001
D26	Antri pengisian BBM	0,776
D27	Lokasi kerja belum siap	0,01
D28	Tidak ada operator	0,001

3.4. Waktu Edar Alat Gali Muat (Ct)

Waktu edar adalah waktu yang diperlukan oleh suatu alat untuk melakukan satu siklus kegiatan produksi dari awal sampai akhir dan siap untuk memulai lagi. Pada setiap kegiatan pemindahan tanah mekanis, ala-alat mekanis bekerja menurut pola tertentu yang pada prinsipnya terdiri dari beberapa komponen waktu. Jadi waktu edar alat gali muat Komatsu PC 300 adalah 0,3 menit. *Fault tree analysis* dari peningkatan waktu edar dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Fault tree analysis waktu edar alat gali muat komatsu PC 300

Nilai probabilitas dari *basic event* waktu edar yang tinggi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Probabilitas *basic event* waktu edar alat gali muat

Simbol	Deskripsi	Probabilitas
C18	Gangguan dari luar (tamu/demo)	0,00001
D29	Alat gali muat lamban bergerak	0,001
D30	Lahan sempit	0,333
D31	Operator kurang profesional/digantikan helper	1,66
E25	Keadaan kadar di lapangan tidak merata	1

Top event penurunan capaian target produksi memiliki empat *top down*, yaitu faktor pengisian, kesiapan fisik alat, efektivitas kerja, dan waktu edar alat gali dan muat. Faktor pengisian alat gali muat bernilai 83,3%, kesiapan fisik alat gali muat bernilai 81,6%. efektivitas kerja alat gali muat berada pada angka 63,45% dan waktu edar alat gali muat Komatsu PC 300 adalah 0,3 menit. Probabilitas *top down* masing-masing bernilai 1. Berdasarkan nilai probabilitas *basic event* tertinggi yang bernilai 1, maka faktor utama

penyebab penurunan capaian produksi adalah faktor umur pakai alat tua, penjadwalan perawatan tidak teratur, kualitas alat buruk, dan proses *selective mining*.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian penurunan produksi bijih nikel menggunakan metode *Fault Tree Analysis* adalah:

- Top down* faktor pengisian (Fp), kesiapan fisik alat (Ma), efektivitas kerja (Eu), dan waktu edar (Ct) memiliki total nilai probabilitas sebesar 1 yang berarti keempat *top down* tersebut memiliki pengaruh sangat besar terhadap penurunan capaian target produksi bijih nikel.
- Faktor utama penyebab penurunan capaian target produksi bijih nikel adalah faktor dengan nilai probabilitas *basic event* tertinggi yang bernilai 1, yaitu faktor umur pakai alat tua, penjadwalan perawatan tidak teratur, kualitas alat buruk, dan *selective mining* karena keadaan kadar di lapangan tidak merata.

Ucapan Terima Kasih

Tim penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Ifishdeco atas kesempatan untuk melakukan penelitian di perusahaan.

Referensi

- [1] H. Cameron, *Financial Reporting in The Mining Industry*. Melbourne: Price Water House Coopers, 2007.
- [2] Divisi Produksi PT. Ifishdeco, “Resume Laporan Produksi,” Konawe Selatan, 2016.
- [3] Baig, “Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis,” *Int. J. Chem. Eng. Appl.*, vol. 4, pp. 169–173, 2013.
- [4] B. S. Dillon, *Mining Equipment Reliability, Maintainability, and Safety*. Springer-Verlag London Limited, 2008.



Analisis Kinerja Pelayanan Angkutan Perintis di Wilayah Kecamatan Liukang Tangaya Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan

Glen Jimmy Latumahina^{1*}, Misliah Idrus¹, Andi Chairunnisa¹

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km.6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: glenn.latumahina@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.08

Abstrak

Kinerja Pelayanan Angkutan Perintis di Wilayah Kecamatan Liukang Tangaya Kabupaten Pangkajene dan Kepulauan sangat penting untuk dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi kinerja angkutan perintis di wilayah kajian dan variabel yang mempengaruhinya, serta merumuskan strategi pengembangan kedepannya. Penelitian ini bersifat analisis deskriptif kuantitatif. Pengumpulan data dilakukan dengan pengamatan langsung. Data jumlah muatan diolah untuk mendapatkan *loadfactor* sebagai tolak ukur menentukan tingkat efisiensi dan dilanjutkan dengan menganalisis variabel – variabel yang berpengaruh dan merumuskan strategi pengembangan dengan menggunakan analisis SWOT. Hasil penelitian menunjukkan angkutan perintis trayek R-44 tidak efisien, dimana *loadfactor* muatan penumpang untuk lintasan liukang Tangaya – maccini Baji lebih dari 100% dan muatan barang dibawah 6%. Variabel – variabel yang berpengaruh adalah jumlah muatan barang yang jumlahnya sedikit dan muatan penumpang yang melebihi kapasitas angkutan. Frekuensi yang terealisasi yaitu 34,61% dari yang direncanakan. Ini disebabkan karena kerusakan angkutan dan kondisi cuaca yang buruk. Strategi pengembangan yang diusulkan yaitu meningkatkan kualitas pelayanan penumpang diatas kapal maupun saat di pelabuhan, menggenarkan sosialisasi terkait informasi jadwal keberangkatan kapal baik media cetak maupun situs - situs milik pemerintah demi menarik muatan yang lebih banyak, dilakukan penggantian armada kapal dengan kapasitas penumpang yang lebih besar dan kapasitas muatan barang yang lebih kecil, dan meningkatkan jumlah frekuensi pelayaran sehingga tidak terjadi penumpukan penumpang.

Abstract

Performance Analysis of Pioneer Transport Services in the Liukang Tangaya Area of Pangkajene and Kepulauan Regency. Analyze Service Performance of Pioneer Transportation in Liukang Tangaya Sub-district Area, Pangkajene and Islands District. The aim of this study was to find out efficiency of the pioneer transportation performance in Liukang Tangaya Sub-district Area and the variables that affect to it, and to formulate the development strategies in the future also. The approach of this study was quantitative. Data collection performed by direct observation. Total load data processed to obtain load factor as benchmark to determine efficiency and continued by analyzing the influence variables to formulate the development strategies by using SWOT analysis. The result showed that pioneer transportation route R-44 inefficient, where passenger load factor for line Liukang Tangaya – Maccini Baji more than 100% and cargo below 6%. The affecting variables are the less amount of cargo quantity and the overcapacity of passengers' load. The realized frequency are 34,61% than planned. It caused by damaged transportation dan bad weather condition. The development strategies that suggested are: (i) Increase the quality of passenger's service on board as well as when in harbor, (ii) Intensify socialization related to schedule information departure of the ship either by print media or by government web sites to stimulate more cargo quantity, (iii) fleet regenerate with more greater passenger's capacity and less cargo capacity, (iv) increase shipping frequency numbers so that passenger buildup would never happen.

Kata Kunci: Efisiensi, frekuensi, *loadfactor*, Strategi, SWOT

1. Pendahuluan

Angkutan perintis adalah transportasi yang digunakan untuk kegiatan angkutan laut yang menghubungkan daerah - daerah terpencil serta daerah yang potensial namun belum berkembang serta belum menguntungkan untuk dilayani secara komersial ke daerah-daerah yang

telah berkembang. Kegiatan pelayaran-perintis dilakukan untuk menghubungkan daerah yang masih tertinggal dan/atau wilayah terpencil yang belum berkembang dengan daerah yang sudah berkembang atau maju, Menghubungkan daerah yang moda transportasi lainnya belum memadai, dan menghubungkan daerah yang secara



komersial belum menguntungkan untuk dilayani oleh pelaksana kegiatan angkutan laut, angkutan sungai dan danau, atau angkutan penyeberangan. Kegiatan pelayaran-perintis yang dilakukan di daerah yang masih tertinggal dan/atau wilayah terpencil ditentukan berdasarkan kriteria belum dilayani oleh pelaksana kegiatan angkutan laut, angkutan sungai dan danau atau angkutan penyeberangan yang beroperasi secara tetap dan teratur, secara komersial belum menguntungkan, atau tingkat pendapatan perkapita penduduknya masih rendah [1].

Fungsi angkutan perintis sebagai bentuk pelayanan transportasi pemerintah untuk masyarakat adalah sebagai pendorong (*promoting*) yang menyediakan jasa transportasi yang efisien untuk menghubungkan daerah terisolasi dengan daerah berkembang yang berada di luar wilayahnya dan/atau luar negeri, sehingga terjadi pertumbuhan perekonomian yang sinergis. Di daerah-daerah tertinggal, sektor swasta tidak dapat memberikan jasa layanan transportasi karena lemahnya daya beli masyarakat.

Untuk angkutan perintis, walaupun tarif ditetapkan sangat rendah, namun angkutan tersebut masih tidak mampu untuk memicu kenaikan permintaan [2]. Kapal perintis yang melayani pulau-pulau di daerah tertinggal tersebut umumnya tipe *general cargo* dengan dispensasi jumlah penumpang. Kapal-kapal tersebut umumnya berumur rata-rata lebih dari 25 tahun. Rute trayek kapal perintis nasional pada umumnya sangat panjang, dengan rata-rata panjang rute adalah 1.660 mil, dengan waktu tempuh 17,9 hari per trip, dan menyinggahi 13 pelabuhan. Akibatnya, aksesibilitas dan ketersediaan sarana rendah [3]. Gejala yang teramati adalah bahwa tingkat perekonomian dan produktivitas masyarakat daerah tertinggal tidak banyak mengalami peningkatan dengan adanya layanan perintis. Terbukti dengan sensus tahun 2005, dengan parameter PDRB, serta ketersediaan prasarana transportasi dan

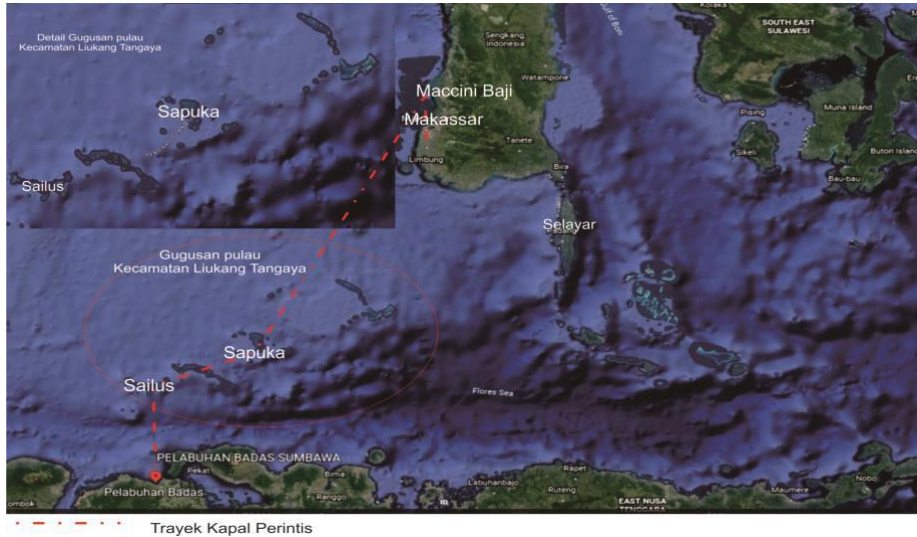
komunikasi, terlihat bahwa daerah-daerah tersebut masih saja tergolong tertinggal.

Angkutan laut perintis masih sangat dibutuhkan, khususnya di kawasan gugus kepulauan dalam rangka membuka keterisolasian, mendorong pembangunan daerah, meningkatkan perdagangan daerah, mobilitas penduduk, kelancaran administrasi pemerintahan, pemerataan pembangunan daerah dan menciptakan stabilitas regional. Konsep pengelolaan transportasi perintis tidak dapat lagi menggunakan kriteria tunggal, misalnya profit, karena perusahaan transportasi bersifat kontinyu dan tidak dikotomis (untung-rugi) [4]. Apalagi sebagian besar wilayah yang dilalui angkutan perintis mempunyai kondisi sosial ekonomi yang rendah, angka pengangguran terbuka dan jumlah orang miskin tinggi [5].

Salah satu pendekatan untuk mengoptimisasi sistem jaringan transportasi adalah dengan membentuk jaringan berhirarki [6]. Dalam hal ini bisa disesuaikan dengan jaringan pelabuhan lokal dan pelabuhan wilayah. Beberapa keuntungan model berhirarki ini adalah skala ekonomi pada rute-rute dengan menawarkan frekuensi tinggi, misalnya rute tertentu dapat dilayani lebih dari satu kali per minggu. Kemudian skala ekonomi di pelabuhan di pusat kegiatan wilayah (PKW) memungkinkan pengembangan potensi PKW sebagai distribusi yang efisien karena jumlah muatan cukup banyak. Serta fasilitas lebih ekonomis karena digunakan secara bersama dalam proses alih muat.

Salah satu wilayah yang menjadi kajian pelayanan angkutan perintis di Sulawesi Selatan adalah gugus kepulauan di wilayah Kabupaten Pangkep termasuk Kecamatan Liukang Tangngaya. Daerah tersebut merupakan pulau-pulau kecil yang memiliki delapan desa dan satu kelurahan dengan ibu kota kelurahan Sapuka mempunyai luas wilayah 12.000 HA. Jarak tempuh ke ibu kota kecamatan dari Makassar dengan kondisi cuaca normal dapat ditempuh (\pm 25 jam). Letak kecamatan Liukang Tangngaya dapat dilihat pada Gambar 1.



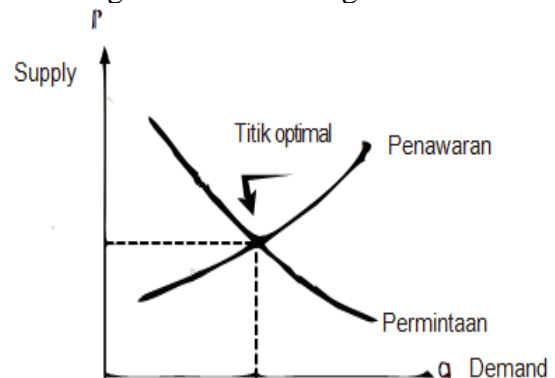


Gambar 1. Peta lokasi Kecamatan Liukang Tangaya dan trayek kapal perintis

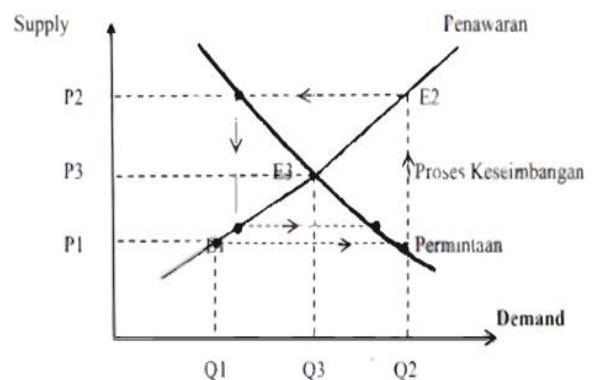
Kepulauan Pangkep, yang merupakan gugusan pulau di Indonesia bagian timur memang mempunyai peranan yang strategis dalam proses perdagangan di Indonesia, letaknya yang sangat strategis menyebabkan Makassar mau tidak mau harus mengembangkan bidang transportasi laut dan sarana terminal peti kemas untuk menunjang perkembangan perdagangan di wilayah Pangkep dan sekitarnya. Makassar dapat menjadi tujuan perdagangan langsung dari Negara lain, mengingat potensinya yang cukup bagus. Saat ini proses perdagangan dari luar masih tersentral di pulau Jawa terutama di wilayah Jakarta dan Surabaya. Dengan berkembangnya pelabuhan Makassar akan memudahkan proses perdagangan dari luar negeri. Jalur yang biasanya harus melewati pelabuhan di Jawa dapat langsung diarahkan ke Makassar, hal ini tentu juga akan meningkatkan efisiensi dan efisiensi biaya serta waktu.

Kondisi dan struktur pasar tertentu dapat digambarkan melalui sebuah model yang memuat fungsi penawaran maupun permintaan sesuai pada Gambar 2. Pada harga tertentu, misalnya P_1 (Gambar 2, sejumlah Q_1 tersedia dengan besarnya permintaan dengan Q_2 , terhadap permintaan lebih ($Q_2 - Q_1$). Fungsi permintaan menunjukkan bahwa hanya sebagian konsumen yang bersedia membayar lebih tinggi. Jika harga naik maka permintaan berkurang hingga penawaran bertambah. Proses ini berlaku hingga dicapai suatu keseimbangan pada P_3 , dan Q_3 merupakan jumlah yang diminta dan berpengaruh terhadap permintaan (*demand*) dan faktor yang menentukan jumlah

dari penawaran (*supply*) menghasilkan jumlah yang sama secara statis atau berkonvergensi terhadap kesamaan secara dinamis. Gambar 3 menggambarkan ilustrasi mengenai perubahan keseimbangan kearah konvergensi.



Gambar 2. Kondisi keseimbangan (*equilibrium*) supply-demand



Gambar 3. Proses keseimbangan supply-demand

Pada Gambar 2 dan 3 memberikan ilustrasi mengenai perubahan keseimbangan akibat perubahan parameter tertentu. Gambar 2 menunjukkan perubahan yang terjadi terhadap kurva permintaan dari D menjadi D_1 , akibat

naiknya tingkat pendapatan masyarakat. Kenaikan permintaan akibat pendapatan ini dialami oleh kelompok konsumen yang sebelumnya tidak menikmati barang/jasa yang ditawarkan karena kemampuan membayarnya dibawah harga yang ditawarkan. Sedangkan pada Gambar 3 menggambarkan pengaruh perbaikan sistem transportasi terhadap kurva penyediaan. Pengaruh yang terjadi berupa turunnya kurva penyediaan. Pengaruh yang terjadi berupa turunnya kurva S menjadi S1 yang berarti turunnya tingkat harga, dan pengaruh naiknya kurva D yang berarti naiknya tingkat permintaan.

Strategi pengembangan dapat dirumuskan menggunakan analisis SWOT. Analisis SWOT adalah identifikasi berbagai faktor secara sistematis untuk merumuskan strategi perusahaan. Analisis ini di dasarkan pada logika yang dapat memaksimalkan kekuatan (*Strength*) dan peluang (*Opportunities*), namun secara bersamaan dapat meminimalkan kelemahan (*Weaknesses*) dan ancaman (*Threats*). Analisis SWOT membandingkan antara faktor-faktor eksternal yang merupakan peluang dan ancaman dengan faktor-faktor internal yang merupakan kekuatan dan kelemahan

2. Metode

Penelitian ini berbentuk analisis deskriptif kuantitatif, yaitu jenis penelitian survei yang bertujuan menjelaskan efisiensi sistem transportasi laut antar gugus pulau di wilayah Liukang Tanggaiya Kabupaten Pangkep melalui analisa *loadfactor* dan frekuensi angkutan transportasi laut. tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui efisiensi pelayanan angkutan perintis di wilayah Kecamatan Liukang Tangaya sehingga perlu dilakukan perhitungan *loadfactor*. Proses analisis yang dilakukan adalah:

- 1) Analisa kapasitas dan muatan tersedia berdasarkan data jumlah arus barang dan penumpang angkutan.
- 2) Perhitungan *loadfactor* angkutan dan analisis efisiensi.
- 3) Analisa variabel – variabel pendukung menggunakan metode korelasi.
- 4) Menentukan strategi pengembangan atau optimasi menggunakan analisa SWOT.

3. Pembahasan

Efisiensi angkutan laut perintis berhubungan dengan tingkat *loadfactor* armada. Besarnya *loadfactor* menandakan keberhasilan dalam membuka keterisoliran suatu wilayah dan menjadikan angkutan laut berperan penting terhadap pergerakan masyarakat dalam suatu wilayah. Kecamatan Liukang Tangaya yang daerahnya terdiri dari beberapa pulau kecil menjadikan angkutan laut satu - satunya sarana transportasi untuk melakukan perjalanan ke daerah yang lebih berkembang. Pada tahun 2019, Jumlah voyage yang terlaksana yaitu sebanyak 9 voyage dari target 26 voyage. Penyebab sedikitnya jumlah voyage yang terealisasi pada tahun 2019 disebabkan karena kerusakan pada armada KM. Papua Dua. Jumlah voyage yang terealisasi dan yang ditargetkan pada tahun 2016 – 2019 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah voyage terealisasi trayek R-44 tahun 2016 – 2019

Tahun	Voyage	
	Target	Realisasi
2016		26
2017	30	24
2018	30	26
2019	26	9

Dari data pada Tabel 1 dapat dilihat untuk voyage tahun anggaran 2019 yang terealisasi hanya sebanyak 9 voyage dari rencana 26 voyage. Tingkat voyage yang terealisasi untuk tahun 2019 sebesar 34,61%. Sedangkan untuk tahun 2017 sebesar 80% dan 2018 sebesar 86,67%.

Kegiatan bongkar muat di wilayah Kecamatan Liukang Tangaya pada tahun 2019 yaitu pada pelabuhan Balobaloang, Pelabuhan Sapuka, Pelabuhan Tumpaang, dan Pelabuhan Sailus. Penumpang dan barang yang dibongkar dan dimuat wilayah Liukang tangaya sebagian besar berasal dari pelabuhan makassar dan maccini baji. Adapun jumlah penumpang dan barang angkutan tiap lintasan yaitu:

- a. Maccini Baji – Liukang Tangaya
 - Penumpang = 1131 orang
 - Barang = 52 ton
- b. Liukang Tangaya – Maccini Baji
 - Penumpang = 1170 orang



- Barang = 11 ton
- c. Liukang Tangaya – Badas
 Penumpang = 586 orang
 Barang = 17 ton
- d. Badas – Liukang Tangaya
 Penumpang = 16 orang
 Barang = 0

Load factor armada angkutan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$LF (\%) = \frac{\text{muatan tersedia}}{\text{kapasitas kapal}} \times 100\%$$

Dengan jumlah voyage terealisasi yaitu 9 voyage dan kapasitas kapal KM. Sabuk Nusantara 46 yaitu 114 penumpang dan barang 100 ton, maka kapasitas kapal selama satu tahun untuk penumpang yaitu 1026 orang dan barang yaitu 900 ton. *Loadfactor* untuk tiap lintasan trayek R-44 yaitu:

- a) Maccini Baji – Liukang Tangaya
 Penumpang,

$$LF = \frac{1131}{1026} \times 100\% = 110,23\%$$

Barang, $LF = \frac{52}{900} \times 100\% = 5,78\%$

- b) Liukang Tangaya – Maccini Baji
 Penumpang,

$$LF = \frac{1169}{1026} \times 100\% = 114,03\%$$

Barang, $LF = \frac{11}{900} \times 100\% = 1,22\%$

- c) Liukang Tangaya – Badas

Penumpang, $LF = \frac{586}{1026} \times 100\% = 57,11\%$

Barang, $LF = \frac{17}{900} \times 100\% = 1,89\%$

- d) Badas – Liukang Tangaya

Penumpang, $LF = \frac{16}{1026} \times 100\% = 1,55\%$

Barang, $LF = \frac{0}{900} \times 100\% = 0\%$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas *loadfactor* angkutan pada lintasan Liukang

Tangaya – Maccini Baji dan sebaliknya untuk muatan penumpang berada diatas 100% dan muatan barang *loadfactor* jauh dibawah 60% yaitu 5,78% dan 1,22%. Sedangkan untuk lintasan Liukang Tangaya – Badas *loadfactor* muatan penumpang dan barang berada dibawah 60%. Ini menunjukkan trayek perintis R-44 tidak efisien.

Tingkat efisiensi armada angkutan laut sangat dipengaruhi oleh *loadfactor*. *Loadfactor* menunjukkan perbandingan antara muatan yang tersedia atau muatan yang diangkut dengan jumlah muatan yang dapat diangkut. Semakin besarnya *loadfactor* memandakan semakin efisien angkutan. Suatu angkutan pada umumnya dikatakan efisien apabila *loadfactor* sudah berada diatas 60%.

Pada kasus Trayek R-44 di kecamatan Liukang Tangaya *loadfactor* angkutan untuk muatan penumpang lintasan Maccini Baji - Liukang Tangaya dan sebaliknya berada diatas 100%. Ini menandakan jumlah penumpang yang diangkut melebihi kapasitas yang tersedia. jumlah penumpang yang besar menunjukkan tingginya pergerakan masyarakat baik menuju Maccini Baji sebagai pintu masuk menuju pusat Kabupaten Pangkep maupun ke Kota Makassar. Sedangkan lintasan Badas – Liukang Tangaya *loadfactor* untuk muatan penumpang rata – rata masih sangat rendah yaitu 1,55%. rendahnya *loadfactor* untuk litanas ini karena kurangnya penumpang yang berasal dari Badas.

Loadfactor muatan barang untuk trayek R-44 ini masih sangat rendah yaitu dibawah 6%. Total muatan barang yang diangkut pada tahun 2019 hanya sebanyak 68 ton. Jumlah muatan yang kecil ini tidak sebanding dengan kapasitas kapal yang mempunyai kapasitas 100 ton. Kurangnya muatan seringkali membuat kapal berlayar tanpa ada muatan barang. Muatan yang diangkut pada umumnya adalah bahan makanan dan barang pokok lainnya.

Tahun anggaran 2019, pemerintah merencanakan trayek perintis R-44 melakukan pelayaran sebanyak 26 voyage. Namun pada pelaksanaannya jumlah yang terealisasi hanya 9 voyage. Penyebab sedikitnya jumlah voyage yang terealisasi karena kerusakan pada armada kapal. Kapal KM. Papua Dua yang ditugaskan untuk melayani trayek ini mengalami masalah teknis yang menyebabkan kapal tidak dapat berlayar. PT. Pelni pun menugaskan kapal KM.



Sabuk Nusantara 46 sebagai armada pengganti dan melayani trayek ini pertama kali pada tanggal 27 juni 2019. Selain disebabkan kerusakan armada angkutan, cuaca juga menjadi penyebab tidak tercapainya target voyage. Cuaca yang buruk akan menyebabkan penundaan maupun pembatalan pelayaran dan berdampak pada penyelesaian satu voyage pelayaran.

Analisis strategi pengembangan dilakukan dengan mengklasifikasikan variabel – variabel yang dianggap mempengaruhi kinerja angkutan perintis trayek R-44. Analisa SWOT digunakan untuk merumuskan strategi pengembangan maupun model kebijakan dengan analisa yang memaksimalkan kekuatan (*strength*) dan peluang (*opportunities*), serta dapat meminimalkan kelemahan (*weakness*) dan ancaman (*threat*). Setelah melakukan penelitian dan pengamatan langsung di lapangan, diperoleh variabel – variabel yang berpengaruh pada kinerja trayek ini yaitu:

1) Kekuatan (*strength*)

- Kondisi armada kapal yang layak, dimana kapal yang saat ini beroperasi yaitu KM. Sabuk Nusantara 46 dibuat pada tahun 2012 dengan fasilitas-fasilitas yang lengkap mulai dari peralatan navigasi hingga peralatan keselamatan.
- Kualitas SDM yang sudah mumpuni, PT. Pelni sebagai pengelola trayek perintis R-44 memiliki SDM yang mumpuni baik ABK maupun petugas – petugas pendukung yang ada di darat.
- Fasilitas untuk bongkar muat baik pada kapal maupun di pelabuhan persinggahan dalam kondisi yang baik. Kapal KM. Sabuk Nusantara 46 dapat melakukan kegiatan bongkar muat dengan crane sendiri yang berada diatas kapal, selain itu setiap pulau persinggahan sudah memiliki pelabuhan laut yang layak.

2) Kelemahan (*weakness*)

- Lemahnya pemeliharaan armada kapal
- Kapasitas kapal untuk muatan penumpang lebih kecil dari penumpang yang tersedia. hal ini ditandai dengan tingka *loadfactor* terutama untuk lintasan Maccini baji – Liukang Tangayya dan

sebaliknya yang sudah berada diatas 100%.

- Frekuensi pelayaran yang terealisasi sangat sedikit. Jumlah voyage yang teralisasi tahun 2019 hanya 9 voyage atau hanya 34,61% dari target.

3) Peluang (*opportunities*)

- Jumlah penumpang yang terus bertambah setiap tahunnya. Meningkatnya jumlah penumpang tiap tahunnya dikarenakan pergerakan masyarakat Kecamatan liukang Tangayya ke wilayah lain tang tinggi terutama ke wilayah pusat Kabupaten Pangkep dan Makassar.
- Tidak ada alternatif transportasi selain angkutan laut. Wilayah Kecamatan liukang tangayya yang berupa gugusan pulau menjadikan transportasi laut satu – satunya pilihan untuk melakukan pergerakan ke pulau lainnya.

4) Ancaman (*threat*)

- Kapal – kapal tradisional yang memiliki frekuensi perjalanan yang lebih banyak. Kapal pelayaran rakyat menjadi alternatif bagi masyarakat di Kecamatan Liukang Tangayya untuk melakukan perjalanan keluar pulau. kapal – kapal tradisional yang dimiliki oleh masyarakat jumlahnya banyak dan jadwal keberangkatan yang rutin.
- Cuaca yang tidak menentu. Cuaca buruk menyebabkan penundaan ataupun pembatalan pelayaran sehingga tidak tercapainya jumlah voyage yang semula direncanakan.
- Setelah dilakukan identifikasi variabel - variabel baik variabel internal maupun eksternal, dilakukan analisis untuk mengetahui strategi – strategi yang dibutuhkan. Strategi yang dimunculkan antara lain: strategi S-O, strategi S-T, strategi W-O, dan strategi W-T.

Berdasarkan hasil analisis alternatif strategi yang disarankan menggunakan analisa SWOT yaitu:

- Strategi S-O adalah meningkatkan kualitas pelayanan penumpang diatas kapal maupun saat di pelabuhan.



- Strategi S-T adalah mengencarkan sosialisasi terkait informasi jadwal keberangkatan kapal baik media cetak maupun situs - situs milik pemerintah demi menarik muatan yang lebih banyak
 - Strategi W-O adalah (i) menambah kapasitas kapal untuk muatan penumpang sehingga mampu melayani semua penumpang kapal yang terus bertumbuh; (ii) memperbaiki prosedur pemeliharaan kapal agar tidak terjadi kekosongan armada trayek; (iii) meningkatkan jumlah frekuensi pelayaran sehingga tidak terjadi penumpukan penumpang.
 - Strategi W-T adalah (i) meningkatkan sistem navigasi kapal yang mampu mengidentifikasi kondisi cuaca; (ii) dilakukan penggantian armada kapal dengan kapasitas penumpang yang lebih besar dan kapasitas muatan barang yang lebih kecil; (iii) meningkatkan frekuensi pelayaran.
- penumpang yang diangkut melebihi kapasitas angkutan. Untuk frekuensi yang tidak memenuhi target disebabkan oleh kerusakan pada armada dan kondisi cuaca yang buruk.
- 3) Strategi pengembangan atau optimasi yang diusulkan antara lain:
- Meningkatkan kualitas pelayanan penumpang diatas kapal maupun saat di pelabuhan.
 - Mengencarkan sosialisasi terkait informasi jadwal keberangkatan kapal baik media cetak maupun situs - situs milik pemerintah demi menarik muatan yang lebih banyak
 - Dilakukan penggantian armada kapal dengan kapasitas penumpang yang lebih besar dan kapasitas muatan barang yang lebih kecil
 - Meningkatkan jumlah frekuensi pelayaran sehingga tidak terjadi penumpukan penumpang.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

- 1) *Loadfactor* angkutan perintis R-44 pada lintasan Liukang tangaya – Maccini baji dan sebaliknya untuk muatan penumpang berada diatas 100% dan muatan barang berada dibawah 6%. Sedangkan pada lintasan Liukang Tangaya – Badas untuk muatan penumpang *loadfactor* sebesar 57,11% dan muatan barang 1,89%. Frekuensi pelayaran yang terealisasi pada tahun anggaran 2019 yaitu 9 voyage atau 34,61% dari target yang direncanakan. Ini menunjukkan angkutan perintis trayek R-44 tidak efisien.
- 2) Variabel yang menyebabkan tidak efisiennya angkutan perintis trayek R-44 jumlah muatan barang yang sangat kecil. Sedangkan untuk muatan penumpang jumlah

Referensi

- [1] *Undang-Undang Nomor 10 Tahun 2010 tentang Angkutan di Perairan*. 2010.
- [2] S. Dikun, "Percepatan Pembangunan KTI dalam Kerangka Perencanaan Pembangunan Nasional," in *Seminar Nasional Perencanaan Transportasi Terpadu untuk KTI, Jakarta*, 2004.
- [3] Balitbang Departemen Perhubungan and Unit Penelitian Transportasi dan Logistik Universitas Hasanuddin, "Studi Manfaat Pelayanan Angkutan Laut Perintis di Kawasan Timur Indonesia," Jakarta, 2003.
- [4] Balitbang Departemen Perhubungan and ITS, "Studi Pedoman Pengelolaan dan Penilaian Keberhasilan Angkutan Perintis," Jakarta, 2003.
- [5] N. Crissot, "Perencanaan Transportasi antar Pulau Teradu untuk Kawasan Timur Indonesia," *Semin. Nas. Perenc. Transp. Terpadu untuk KTI, Jakarta*, 2004.
- [6] M. Y. Jinca, *Transportasi Laut. Analisis System dan Studi Kasus*. Surabaya: Brillian Internasional, 2011.



Analisis Produktivitas Bongkar Muat pada Pelabuhan Soekarno

Yusrifah Indahsari Yusuf^{1*}, Mislih Idrus¹, Andi Chairunnisa¹

¹Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: indahsariengineering@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.09

Abstrak

Jumlah arus bongkar muat di pelabuhan Makassar mengalami kecenderungan peningkatan volume setiap tahunnya. Dari data arus bongkar muat barang di pelabuhan Soekarno (2007 – 2015) berkembang secara fluktuatif (tidak Stabil) dari tahun 2011 hingga 2013 terjadi peningkatan pesat hingga mencapai 1.631.895 namun tidak di dukung oleh fasilitas bongkar muat sehingga kemacetan truk di sekitar dermaga baik dalam maupun luar dermaga. Penelitian ini bertujuan menentukan produktivitas dan kebutuhan alat bongkar muat dimasa yang akan datang dengan menggunakan metode efektivitas dan time series. Analisis kenaikan/penurunan produktivitas bongkar dalam tiga tahun terakhir pada pelabuhan Soekarno dengan data ditahun 2017 sebesar 30287,46 ton, 2018 mengalami kenaikan barang yang dibongkar sebesar 61662,59 ton dan 2020 barang yang dibongkar mengalami penurunan sebesar 45686,57 ton. Dari data di atas dapat dilihat bahwa produktivitas bongkar di pelabuhan Soekarno tahun 2017, 2018, 2020 berurut-turut yaitu sebesar 4,509 TGJ, 15,241 TGJ, 14,642 TGJ. Sedangkan produktivitas muat pada tiga tahun terakhir sebesar 32603 ton ditahun 2017, 2018 terjadi peningkatan muatan sebesar 61485,4 ton dan 2020 jumlah muatan sebesar 87133,6 ton. Dari data diatas dapat dilihat bahwa produktivitas muat di Pelabuhan Soekarno tahun 2017, 2018, 2020 berturut-turut adalah 32,860 TGJ, 61,980 TGJ, 84,560 TGJ. Metode peramalan untuk Arus barang dari tahun 2020 – 2035 (Jangka pendek, jangka menengah dan jangka Panjang), dari hasil peramalan arus barang didapatkan pada tahun 2025 arus barang di pelabuhan Soekarno sebesar 404368 Ton, tahun 2030 sebesar 657098 Ton, dan tahun 2035 sebesar 909828 Ton. Berdasarkan hasil peramalan jumlah arus barang yang dibongkar dan dimuat di Pelabuhan Soekarno, mengalami kenaikan setiap tahunnya. Kebutuhan bongkar muat di pelabuhan Soekarno menunjukkan bahwa 1 Unit Crane Kapasitas 25 Ton masih mencukupi untuk melayani barang umum sampai pada Tahun 2035, dengan arus barang sebesar 758190 Ton, Akan tetapi pada tahun 2033,2034,2035 kapasitas bongkar muat sudah tidak mencukupi yaitu lebih besar dari 804000 Ton. Oleh karena itu disarankan untuk melakukan penambahan alat bongkar muat pada tahun 2035.

Abstract

Analysis of Loading and Unloading Productivity at Soekarno Port. The number of loading and unloading currents at the port of Makassar experiences a tendency to increase in volume each year. From the data of the loading and unloading of goods at the port of Soekarno (2007-2015) developed fluctuatively (unstable) from 2011 to 2013 there was a rapid increase up to 1,631,895 but was not supported by loading and unloading facilities so that the truck congestion around the dock, both inside and outside the dock. This study aims to determine the productivity and the need for loading and unloading equipment in the future by using the effectiveness and time series methods. Analysis of increase or decrease in unloading productivity in the last three years at Soekarno port with data in 2017 unloaded cargo amounting to 30287,46 tons, 2018 there was an increase in unloaded goods amounting to 61662,59 tons and 2020 the goods unloaded decreased by 45686,57 tons. From the above data it can be seen that the productivity of loading and unloading at Soekarno port in 2017, 2018, 2020 in a row is 4,509 TGJ, 15,241 TGJ, 14,642 TGJ. Whereas the productivity of loading in the last three years was 32603 in 2017, in 2018 there was an increase in loading of 61485.4 tons, and in 2020 there was 87133,6 tons. From the above data it can be seen that the productivity of loading at Soekarno Port in 2017, 2018, 2020 in a row 32,860 TGJ, 61,980 TGJ, 84,560 TGJ. Forecasting method for the flow of good from 2020 - 2035 (short term, medium term and long term) from the results of forecasting the flow of goods obtained in 2025 the flow of goods in the port of Soekarno amounted to 404368 tons, in 2030 amounted to 657098 tons and in 2035 amounted to 909828 tons. Based on the results of forecasting the flow of goods unloaded and loaded at the Port of Sukarno, has increased every year. Demand for loading and unloading at Soekarno Port shows that 1 Unit of 25 Ton Crane Capacity is still sufficient to serve general goods until 2035, with a flow of goods of 758190 tons. However, in 2033, 2034, 2035 the loading and unloading capacity is already insufficient which is greater than 804000 tons. Therefore it is recommended to add loading and unloading equipment in 2035.

Kata Kunci: Bongkar muat, fasilitas, kapasitas, produktivitas



1. Pendahuluan

Pelabuhan sebagai tempat untuk melaksanakan kegiatan pemindahan barang dari satu tempat ke tempat lainnya yang diangkut melalui jalur transportasi laut, dimana prosesnya berawal di Pelabuhan muat dan berakhir di Pelabuhan tujuan. Secara umum fungsi pelabuhan dapat disebutkan sebagai tempat pertemuan (*interface*), pintu gerbang (*gate way*), entitas industri (*industry entity*) dan tempat bertemunya berbagai bentuk moda transportasi [1]. Kelancaran operasional Pelabuhan laut merupakan salah satu faktor pendukung berkembangnya suatu daerah yang secara langsung juga akan berdampak kepada berkembangnya kegiatan perekonomian daerah/wilayah setempat [2].

Pelabuhan adalah daerah perairan yang terlindung terhadap gelombang, yang dilengkapi dengan fasilitas laut meliputi dermaga dimana kapal dapat merambat untuk bongkar muat barang, kran-kran untuk bongkar muat barang, gudang laut (*transito*) dan tempat-tempat

penyimpanan dimana kapal membongkar muatannya, dan gudang - gudang dimana barang-barang dapat disimpan dalam waktu yang lebih lama selama menunggu pengiriman ke daerah tujuan atau pengapalan. Terminal ini dilengkapi dengan jalan kereta api, jalan raya atau saluran pelayaran darat [3].

Pelabuhan biasanya memiliki alat-alat yang dirancang khusus untuk memuat dan membongkar muatan kapal-kapal yang berlabuh. Crane dan gudang berpendingin juga disediakan oleh pihak pengelola maupun pihak swasta yang berkepentingan. Sering pula di sekitarnya dibangun fasilitas penunjang seperti pengalengan dan pengepakan barang. Pelabuhan juga merupakan suatu pintu gerbang untuk masuk ke suatu daerah tertentu dan sebagai prasarana penghubung antar daerah, antar pulau, bahkan antar negara [1].

Fungsi utama pelabuhan adalah pendistribusian barang dari angkutan laut ke angkutan darat atau sebaliknya secepat dan seefisien mungkin. Alur pendistribusian barang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur pendistribusian barang

Peran Pelabuhan merupakan kegiatan ekonomi dasar yang cukup penting sehingga banyak kota di dunia dimana kegiatan ekonomi berpusat sekitar pelabuhan seperti Jakarta, Surabaya, dan Makassar. Pelabuhan dapat mempengaruhi ekonomi dan sebaliknya

pembangunan ekonomi dapat mempengaruhi kegiatan pelabuhan. Antara lain faktor utama yang mempengaruhi pertumbuhan pelabuhan adalah peningkatan jumlah penduduk dunia, dan sumber – sumber bahan baku.

Menurut Peraturan Pemerintah Tentang

Kepelabuhanan [4], peran pelabuhan yaitu:

- 1) Simpul dalam jaringan transportasi sesuai dengan hirarkinya
- 2) Pintu gerbang kegiatan perekonomian
- 3) Tempat kegiatan alih moda transportasi
- 4) Penunjang kegiatan industri dan perdagangan
- 5) Tempat distribusi, produksim konsolidasi muatan atau barang
- 6) Mewujudkan wawasan nusantara dan kedaulatan negara

Kinerja pelabuhan dapat digunakan untuk mengetahui tingkat pelayanan kepada pengguna (kapal dan barang), yang tergantung pada waktu pelayanan kapal selama berada di palabuhan. Kinerja pelabuhan yang tinggi menunjukkan bahwa pelabuhan dapat memberikan pelayanan yang baik [1].

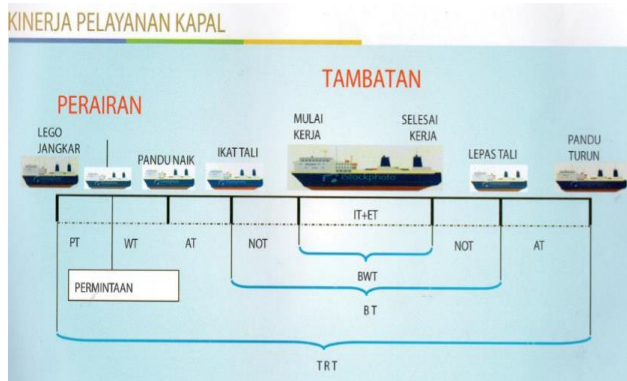
Makassar sebagai salah satu pintu gerbang pelabuhan yang merupakan pusat pelayaran intersulair dan menjadi pusat kolektor dan distributor barang ke Kawasan Timur Indonesia, khususnya untuk provinsi Sulawesi Selatan. Karena letaknya yang strategis dan didukung oleh daerah hinterland, dan sumber daya manusia yang terampil sehingga memungkinkan kawasan ini berkembang setara dengan provinsi-provinsi lain di Indonesia. Guna mendukung terwujudnya hal tersebut maka produktivitas dan percepatan penanganan dalam perpindahan muatan khususnya pada muatan konvensional dimana dalam proses bongkar muatnya seringkali ditemukan kendala yang disebabkan oleh barang-barang yg ditangani sangat variatif baik dari segi kemasan, ukuran, berat serta sifat muatan yang berbeda-beda maka harus didukung dengan sumber daya manusia yang terampil dan berpengalaman dibidangannya, pelaksanaan pengoprasian yang baik, pengawasan yang ketat dan manajemen yang tanggap terhadap situasi lapangan, fasilitas gudang, lapangan penumpukan serta berbagai macam stevedoor equipment sesuai dengan kebutuhan barang muatan yang akan ditangani.

Berdasarkan Keputusan Dirjen Perhubungan [5], kinerja pelayanan adalah hasil kerja terstruktur yang dicapai di pelabuhan dalam melaksanakan pelayanan kapal, barang, utilitas fasilitas dan alat dalam periode waktu dan satuan tertentu Indikator kinerja pelayanan yang terkait dengan jasa pelabuhan terdiri dari:

- 1) Waktu Tunggu Kapal (*waiting time*/WT) merupakan jumlah waktu sejak pengajuan permohonan tambat setelah kapal tiba di lokasi labih sampai kapal digerakan menuju tambatan.
- 2) Waktu Pelayanan Pemanduan (*Approach Time*/AT) merupakan jumlah waktu terpakai untuk kapal bergerak dari lokasi labuhnsampai ikat tali di tambatan atau sebaliknya.
- 3) Waktu Efektif (*Effective Time*/ET) merupakan jumlah jam bagi suatu kapal yang benar – benar digunakan untuk bongkar muat selama kapal di tambatan.
- 4) Berth Time (BT) merupakan jumlah waktu setiap operasioanl tambatan untuk melayani kapal.
- 5) *Receiving/Delivery* peti kemas merupakan kecepatan pelayanan penyerahan/penerimaan di terminal peti kemas yang dihiutng sejak alat angkut masuk hingga keluar yang dicatat di pintu keluar/masuk.
- 6) Tingkat Penggunaan Dermaga (*Berth Occupancy Ratio*/BOR) merupakan perbandingan antara waktu penggunaan dermaga dengan waktu yang tersedia (dermaga siap operasi) dalam periode waktu tertentu yang dinyatakan dalam persentase.
- 7) Tingkat Penggunaan Gudang (*Shed Occupancy Ratio*/SOR) merupakan perbandingan antara jumlah pengguna ruang penumpukan dengan ruang penumpukan yang tersedia yang dihiutng dalam satuan ton per hari atau satuan M^3 hari.
- 8) Tingkat Penggunaan Lapangan Penumpukan (*Yard Occupancy Ratio*/YOR) merupakan perbandingan antar jumlah penggunaan ruang penumpukan dengan ruang penumpukan yang tersedia (siap operasi) yang dihitung dalam satuan ton hari atau M^3 hari.
- 9) Kesiapan operasi peralatan

Adapun kinerja pelayanan kapal dapat dilihat pada Gambar 2. Transportasi diartikan sebagai perpindahan barang dan manusia dari tempat asal ke tempat tujuan, dan tranportasi atau perangkutan adalah bagian kegiatan ekonomi yang bersangkutan paut dengan pemenuhan kebutuhan manusia dengan caramengubah letak geografis barang atau orang. Transportasi merupakan kegiatan pemindahan barang (muatan) dan penumpang dari suatu tempat ke tempat lain [6].





Gambar 2. Kinerja pelayanan kapal

Akan tetapi, pemodelan transportasi hanya merupakan salah satu unsur dalam perencanaan transportasi. Lembaga, departemen, pengambil keputusan, masyarakat, administrator, peraturan, dan penegakan hukum adalah beberapa unsur lainnya yang harus direncanakan dengan baik untuk mendapatkan sistem perencanaan transportasi yang baik. Perencanaan dan pemodelan transportasi serta pengambil keputusan dapat dikombinasikan dengan cara yang berbeda-beda; tergantung pada pengalaman lokal, tradisi, dan pengalaman. Sebelum kita mendiskusikan cara memilih model yang baik, sebaiknya diterangkan dahulu beberapa ciri utama permasalahan transportasi dan hal apa saja yang terkait di dalamnya.

Peramalan adalah suatu kegiatan memprediksi masa depan menggunakan kondisi ataupun data dimasa lalu. Peramalan merupakan kegiatan dalam memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa yang akan datang, atau lebih tepatnya peramalan adalah kegiatan mencoba menduga perubahan yang akan terjadi. Hasil ramalan adalah situasi/kondisi yang diperkirakan akan terjadi pada masa yang akan datang. Ramalan dapat diperoleh dengan bermacam-macam cara yang dikenal dengan metode peramalan [7].

Teknik peramalan merupakan cara memperkirakan apa yang akan terjadi pada masa mendatang secara sistematis dan pragmatis atas dasar data yang relevan pada masa yang lalu, sehingga dengan demikian teknik peramalan diharapkan dapat memberikan objectivitas yang lebih besar. Metode/teknik peramalan memberikan cara pengerjaan yang teratur dan terarah, dengan demikian dapat dimungkinkan pengguna teknik-teknik pengaalisisan yang lebih maju, yang dapat diharapkan memberikan tingkat

kepercayaan atau keyakinan yang lebih besar, karena dapat diuji dan dibuktikan penyimpangan atau deviasi yang terjadi secara ilmiah.

Metode time series adalah metode peramalan dengan menggunakan analisa pola hubungan antara variabel yang akan dipekirakan dengan variabel waktu. Peramalan suatu data time series perlu memperhatikan tipe atau pola data [8]. Secara umum terdapat empat macam pola data time series, yaitu horizontal, trend, musiman, dan siklis. Pola horizontal merupakan kejadian yang tidak terduga dan bersifat acak, tetapi kemunculannya dapat memengaruhi fluktuasi data time series. Pola trend merupakan kecenderungan arah data dalam jangka panjang, dapat berupa kenaikan maupun penurunan. Pola musiman merupakan fluktuasi dari data yang terjadi secara periodik dalam kurun waktu satu tahun, seperti triwulan, kuartalan, bulanan, mingguan, atau harian. Sedangkan pola siklis merupakan fluktuasi dari data untuk waktu yang lebih dari satu tahun.

2. Metode

Penelitian ini berbentuk penelitian kuantitatif yang bertujuan untuk menghitung produktivitas pelabuhan Soekarna-Hatta di masa sekarang dan pelabuhan pada jangka panjang. Adapun proses analisis yang dilakukan adalah:

- 1) Menghitung produktivitas bongkar muat eksisting 2019 di pelabuhan Soekarno pada terminal cargo.
 - Pekerjaan membongkar barang dari kapal ke dermaga atau memuat barang dari dermaga ke dalam kapal sampai dengan tersusun dalam palka kapal.
 - Memindahkan barang dari cargo hook kapal ke dermaga dan dari dermaga ke gudang/lapangan penumpukan, selanjutnya menyusun di gudang/lapangan atau sebaliknya.
 - Pekerjaan penerimaan barang di gudang /lapangan penumpukan dan menyerahkan ke atas truk penerima hingga keluar pelabuhan.
- 2) Produktivitas di masa akan datang pada tahun 2035
 - Menghitung jumlah barang yang dibongkar muat di tahun 2035.
 - Menghitung jumlah fasilitas yang digunakan pada saat bongkar muat.

3) Menganalisis faktor-faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas bongkar muat.

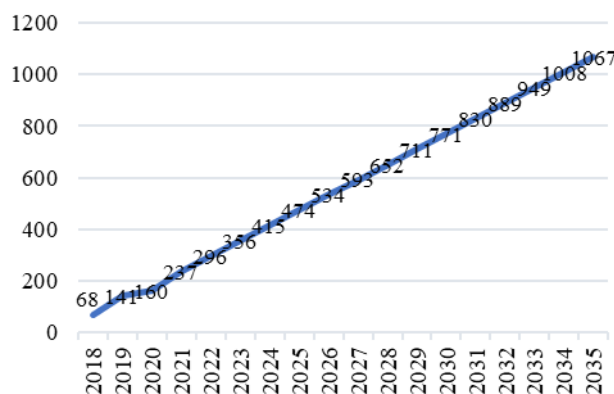
3. Pembahasan

Pelabuhan Makassar merupakan salah satu pelabuhan terbesar di kawasan Timur Indonesia (KTI) yang dikelola PT Pelindo IV (Persero). Pelabuhan Makassar juga menjadi pintu gerbang di kawasan ini. Bahkan bukan saja di KTI, pelabuhan Makassar juga menjadi pelabuhan terbesar di Indonesia setelah Tanjung Priok di Jakarta, Tanjung Perak di Surabaya dan Tanjung Emas di Semarang. Posisi titik koordinat Pelabuhan Makassar berada di tengah bentangan Nusantara pada posisi 050 08' 8" BT dan 1190 24' 02" LS. Kondisi pantai di sekitar pelabuhan pada umumnya landau, dasar laut terdiri dari lumpur dan pasir. Alur pelayaran sepanjang 25 mil (Bouy terluar) dengan lebar ± 1 mil, kedalaman rata-rata -16m. Alur masuk pelayaran (access channel) lebar ± 200 m dengan panjang 2 mil, kedalaman rata-rata -10 s/d -14 m.

Secara efektif keberadaan PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero) mulai sejak penandatanganan anggaran dasar perubahan oleh Sekjen Dephub berdasarkan akta notaris Imas Fatimah, SH. No 7 tanggal 1 Desember 1992. Dilandasi oleh pertimbangan peningkatan efisiensi dan efektifitas perusahaan serta dengan melihat perkembangan yang dicapai oleh perum pelabuhan IV, pemerintah menetapkan melalui PP 59/1991 bahwa pengelolaan pelabuhan di wilayah perum pelabuhan IV beralih menjadi PT Pelabuhan Indonesia IV (Persero). Sebagai Persero, pemilikan saham PT Pelabuhan Indonesia IV yang berkantor pusat di jalan Soekarno No 1 Makassar sepenuhnya di kuasai oleh pemerintah dalam hal ini Menteri keuangan Republik Indonesia dan pada saat ini telah dialihkan ke Menteri Negara Badan Usaha Milik Negara (BUMN).

Peramalan *call* kapal dilakukan berdasarkan nilai masa lalu yang bertujuan untuk menemukan pola dalam deret data historis dan mengesktrapolasikan pola dalam deret dan historis dan mengeksrapolasikan pola tersebut ke masa depan

Call Kapal



Gambar 3. Grafik peramalan call kapal pelabuhan Soekarno tahun 2020-2035

Metode yang digunakan untuk meramalkan call kapal dari tahun 2020-2035 saya memilih metode time series karena data yang dihasilkan dari perhitungan tersebut lebih relevan. Dari data hasil peramalan didapatkan pada tahun 2025 kunjungan kapal di Terminal Soekarno sebesar 474 kapal, tahun 2030 sebesar 771 kunjungan kapal, dan tahun 2035 sebesar 1067 kunjungan kapal seperti yang kita lihat pada Gambar 3.

Metode yang sama digunakan untuk meramalkan arus barang dari tahun 2020-2035. Dari data hasil peramalan didapatkan pada tahun 2025 arus barang di Terminal Soekarno sebesar 404368 Ton, tahun 2030 sebesar 657098 Ton, dan tahun 2035 sebesar 909828 Ton.

Berdasarkan hasil peramalan jumlah arus barang yang dibongkar dan dimuat di Terminal Soekarno. Arus barang di Terminal Soekarno mengalami kenaikan setiap tahunnya. Untuk mengetahui kesesuaian antara kebutuhan alat bongkar muat dan yang tersedia di Terminal Soekarno

- Kapasitas crane (1 unit) = 25 Ton = setiap 15 menit = 100 Ton/jam
- Waktu rata-rata kerja/tahun = 335 hari
- Sheet yang tersedia = 3 sheet = 24 jam
- Waktu tersedia = 335 x 24 jam = 8040 jam/tahun
- Kapasitas Alat Bongkar Muat = 100 Ton/jam x 8040 jam/tahun = 804000 Ton/tahun

Hitungan kapasitas peralatan menunjukkan bahwa jumlah 1 unit crane kapasitas 25 Ton masih mencukupi untuk melayani barang umum sampai pada tahun 2032 dengan arus barang sebesar 758190 Ton. Akan tetapi pada tahun 2033, 2034, 2035 kapasitas alat bongkar muat yang tersedia sudah tidak mencukupi yaitu lebih



besar dari 804000 Ton. Oleh karena itu, disarankan untuk melakukan penambahan alat bongkar muat untuk pada tahun 2033.

Berdasarkan hasil peramalan jumlah arus barang yang dibongkar dan dimuat di Terminal Soekarno. Dapat dianalisis kesesuaian antara kebutuhan jumlah Gang dengan kondisi arus barang yang di bongkar muat di terminal Soekarno setiap tahunnya. Adapun hasil analisis dapat kita lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kebutuhan jumlah gang sesuai muatan kapal

No	Tahun	Arus Barang (Ton)	Waktu yang tersedia pertahun (Jam)	Rata-rata jumlah Gang
1	2018	62890	8040	0,31
2	2019	123147	8040	0,61
3	2020	132820	8040	0,66
4	2021	202184	8040	1,01
5	2022	252730	8040	1,26
6	2023	303276	8040	1,51
7	2024	353822	8040	1,76
8	2025	404368	8040	2,01
9	2026	454914	8040	2,26
10	2027	505460	8040	2,51
11	2028	556006	8040	2,77
12	2029	606552	8040	3,02
13	2030	657098	8040	3,27
14	2031	707644	8040	3,52
15	2032	758190	8040	3,77
16	2033	808736	8040	4,02
17	2034	859282	8040	4,28
18	2035	909828	8040	4,53

Dari data diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah kebutuhan Gang setiap tahunnya meningkat, akan tetapi peningkatan kebutuhan gang tidak terlalu signifikan apabila produktivitas bongkar muat di terminal Soekarno dimaksimalkan sesuai dengan standar kinerja pelabuhan. Namun kenyataan yang ada di lapangan tidak seperti itu, terkadang hanya 3 jam ataupun 5 jam. Terkadang juga shift 3 sma sekali tidak beroperasi. Padahal jika shift 3 beroperasi sesuai jam efektifnya maka bisa mencegah hal hal yang bisa menyebabkan kerugian di pihak pelabuhan maupun di pihak penyewa kapal. Seharusnya pihak pelabuhan dapat memperhatikan jam para pekerja ini selama

bongkar muat. Karena hal ini bisa menyebabkan munculnya *dwelling time* dan juga biaya sandar kapal.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan permasalahan yang telah dikemukakan, maka peneliti dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Kondisi Eksisting terminal Soekarno
 - Kunjungan kapal di Terminal Soekarno
 - Untuk Tahun 2017 = 68 Unit
 - Untuk Tahun 2018 = 141 Unit
 - Untuk Tahun 2020 = 160 Unit
 - Arus Barang di Terminal Soekarno
 - Untuk Tahun 2017 = 62890 Ton
 - Untuk Tahun 2018 = 123147,2 Ton
 - Untuk Tahun 2020 = 132820,17 Ton

Berdasarkan data kunjungan kapal dan arus barang di Terminal Soekarno tiga tahun terakhir mengalami kenaikan.

- b. Kebutuhan Bongkar Muat

Hitungan kapasitas peralatan menunjukkan bahwa jumlah 1 unit crane kapasitas 25 Ton masih mencukupi untuk melayani barang umum sampai pada tahun 2035 dengan arus barang sebesar 758190 Ton. Akan tetapi pada tahun 2033, 2034, 2035 kapasitas alat bongkar muat yang tersedia sudah tidak mencukupi yaitu lebih besar dari 804000 Ton. Oleh karena itu disarankan untuk melakukan penambahan alat bongkar muat untuk pada tahun 2035.

- c. Kebutuhan Jumlah Gang

- Untuk tahun 2021 = 1,01 Gang
- Untuk tahun 2030 = 3,27 Gang
- Untuk tahun 2035 = 4,53 Gang

Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan bahwa jumlah kebutuhan Gang setiap tahunnya meningkat, akan tetapi peningkatan kebutuhan Gang tidak terlalu signifikan apabila produktivitas bongkar muat di terminal Soekarno dimaksimalkan sesuai dengan standar kinerja pelabuhan yaitu 25 Ton/Gang/Jam.

Referensi

- [1] B. Triatmodjo, *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset, 2010.
- [2] B. S. Siregar, *Studi Lama Penumpukan Continer (Dwelling Time) pada Terminal Peti Kemas Makassar*. Jurusan Teknik Perkapalan, Universitas Hasanuddin, 2016.
- [3] J. G. K. Kastanya, *Perencanaan Pengembangan*



- Pelabuhan Serui di Kota Serui, Papua*. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi, 2013.
- [4] *Peraturan Pemerintah Nomor: 61 Tahun 2009, Tentang Kepelabuhanan*. 2009.
- [5] Dirjen Perhubungan Laut, *Keputusan Dirjen Perhubungan Laut Nomor: UM.002/38/18/DJPL-11 Tahun 2011, Tentang Standar Kinerja Pelayanan Operasional Pelabuhan*. 2011.
- [6] O. Z. Tamin, *Perencanaan dan Permodelan Transportasi*. ITB, 2000.
- [7] S. Assauri, *Teknik dan Metode Peramalan*. Jakarta: Fakultas Ekonomi, Universitas Indonesia, 1984.
- [8] J. E. Hanke and D. W. Wichers, *Business Forecasting Eight Edition*. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2005.



Hubungan antara Ketebalan dengan Radius Lengkung Kayu Jati Putih sebagai Dasar Pembuatan Ornamen Arsitektur Bentuk Bebas

Muhammad Ardli Santosa^{1*}, Victor Sampebulu¹, Hartawan Madeali¹,
Shirly Wunas¹, Idawarni J. Asmal¹, Nurul Nadjmi¹

¹Departemen Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: ardlitemoemartoe@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.10

Abstrak

Metode pelengkungan kayu solid merupakan salah satu metode pelengkungan kayu yang saat ini masih terus dikembangkan untuk mendapatkan metode pelengkungan kayu yang lebih efisien. Namun, metode ini memerlukan peralatan dan teknik yang khusus. Pemilihan benda uji dari jenis kayu yang banyak digunakan untuk pembuatan furniture dan bahan konstruksi di kota Makassar, salah satunya adalah kayu jati putih. Penelitian ini ingin menemukan hubungan dimensi dan karakter lengkungan kayu yang ideal tanpa perlakuan awal, maka rumusan masalahnya adalah berapa jarak radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan 0,5 cm, 0,7 cm dan 1 cm yang dapat dipakai sebagai ornamen arsitektur bentuk bebas. Lalu, adakah hubungan radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan kayu, lebar kayu dan waktu saat kayu dilengkungkan. Tujuan penelitian adalah menganalisis radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan 0,5 cm, 0,7 cm dan 1 cm yang dapat dipakai sebagai ornamen arsitektur bentuk bebas dan mengungkapkan hubungan radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan kayu, lebar kayu dan waktu saat kayu dilengkungkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk menganalisis datanya dan metode skala 1 : 1 atau *Performance Based* untuk metode pengujian sampelnya. Hasil penelitiannya adalah nilai radius terbesar dari tebal 0,5 cm adalah 35,47 cm, tebal 0,7 cm adalah 65,42 cm dan tebal 1 cm adalah 91,73 cm. Untuk waktu lengkung yang dapat bertahan lebih lama juga dengan ketebalan 0,5 cm yaitu selama 1 hari. Maka hubungan radius lengkung dengan ketebalan kayu jati putih sangat erat, dimana semakin tebal kayu maka semakin besar radius lengkung kayu jati putih.

Abstract

Relationship Between Thickness with Radius Arc White Teak Wood as the Basis for the Making of Free Architectural Ornaments. The method of curvature of solid wood is one of the methods of curvature of wood which is still being developed to get a more efficient method of wood curvature. However, this method requires special tools and techniques. The Selection of test specimens of wood types that are widely used for the manufacture of furniture and construction materials in the city of Makassar, one of that is white teak wood. This study wanted to find the ideal dimensions and arch characteristics of wood without pre-treatment, so the problem formulation was the distance of the curved radius of white teak wood with a thickness of 0.5 cm, 0.7 cm and 1 cm that could be used as a free-form architectural ornament. Then, is there a relationship between the radius of the curved white teak wood with the thickness of the wood, the width of the wood and the time when the wood is bent. The purpose of this study is to analyze the curved radius of white teak wood with a thickness of 0.5 cm, 0.7 cm and 1 cm which can be used as a free form architectural ornament and reveal the relationship of the curved radius of white teak wood with the thickness, width of the wood and the time when the wood is bent. This research uses experimental methods to analyze the data and 1: 1 scale or Performance Based methods for the sample testing method. The results of the study are the largest radius value of 0.5 cm thick is 35.47 cm, 0.7 cm thick is 65.42 cm and 1 cm thick is 91.73 cm. For arch time which can last longer also with a thickness of 0.5 cm, namely for 1 day. So the relationship of the radius of the curve with the thickness of the white teak wood is very close, where the thicker the wood, the greater the radius of the curve of white teak wood.

Kata Kunci: Ketebalan kayu, least square method, ornamen, radius lengkung

1. Pendahuluan

Kayu di Indonesia sangat potensial untuk dipakai sebagai bahan bangunan. Penggunaan kayu sebagai bahan bangunan harus memperhatikan kelebihan dan kelemahan dari

bahan kayu sebelum menggunakannya untuk konstruksi maupun non konstruksi pada bangunan. Pada bangunan sederhana, kayu biasanya dipakai sebagai kusen, kuda-kuda atap, penyekat dinding ruangan, furnitur, serta ornamen-ornamen arsitektur. Untuk



pemanfaatan kayu sebagai bahan konstruksi dan ornamen arsitektur telah lama berkembang. Tetapi untuk di Indonesia, khususnya di kota Makassar, teknologi pengolahan kayu belum dioptimalkan penggunaannya. Salah satu cara penerapan teknologi kayu adalah dengan cara pelengkungan kayu.

Kayu berbentuk lengkung telah lama digunakan untuk diaplikasikan pada produk-produk furniture maupun pada komponen bangunan rumah. Pelengkungan kayu merupakan bagian dari proses pengerjaan kayu untuk produk yang menghendaki bentuk lengkung [1]. Ada dua cara yang bisa dilakukan untuk melengkungkan kayu, yaitu secara konvensional dengan memotong balok kayu menjadi bentuk lengkung dan disambung sehingga didapatkan bentuk lengkung yang diinginkan, lalu kedua dengan pelengkungan kayu solid [2].

Kedua cara pelengkungan kayu tersebut masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Dilihat dari prosesnya, cara konvensional paling mudah dilakukan, karena hanya menggunakan peralatan dan teknik pemotongan kayu yang sederhana. Namun proses ini sangat banyak membuang sisa bahan kayu dan saat di potong tidak searah serat kayu atau tidak mengikuti arah kelengkungan. Namun untuk pelengkungan kayu solid hingga saat ini masih terus dikembangkan untuk mendapatkan metode pelengkungan kayu solid yang lebih efisien, mengingat dalam pelengkungan kayu solid memerlukan peralatan dan teknik yang khusus, serta banyak yang perlu dipertimbangkan seperti memilih jenis kayu dan lainnya. Cara ini juga masih mempunyai keterbatasan, yaitu ketebalan kayu dan radius yang dapat dilengkungkan. Kelebihan dari kayu lengkung solid adalah memiliki kekhasan alami, karena tekstur seratnya tidak terpotong. Maka dari itu, yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah radius lengkung kayu berdasarkan dari ketebalan kayu dan tanpa perlakuan awal seperti diuap dan metode lengkung kayu lainnya sebagai percobaan lengkung kayu yang efisien, ketebalan yang digunakan juga tipis sehingga masih dapat dilengkungkan jika tanpa perlakuan awal.

Jenis kayu yang ada di masyarakat kota Makassar salah satunya kayu jati putih. Kayu jati putih memiliki nilai Modulus Elastisitas

Lentur (Mpa) dan ada pada kode mutu E10 yaitu 9137 Mpa [3], dimana nilainya berada ditengah antara kayu yang beredar di Makassar yang memiliki nilai lentur lebih besar dan lebih kecil dari kayu jati putih. Maka dari itu, kayu jati putih dipilih sebagai objek penelitian karena nilai Modulus Elastisitas Lentur (Mpa) yang bisa dipertimbangkan untuk dilengkungkan serta harganya yang terjangkau di masyarakat. Untuk ukuran ketebalan kayu yang akan diuji adalah dengan ukuran yang paling tipis yang bisa dibuat peneliti yaitu 0,5 cm, 0,7 cm, dan 1 cm. Sedangkan untuk lebar kayu dibuat dengan ukuran terkecil 0,5 cm dan panjang 100 cm dimana merupakan standar ukuran panjang nominal kayu bangunan [4].

Pelengkungan kayu dilakukan dengan menggunakan alat ukur yang dibuat sendiri berdasarkan contoh alat yang pernah digunakan untuk melengkungkan kayu kapal [5]. Alat ukur lengkung tersebut nantinya akan menjadi landasan benda uji untuk dilengkungan yang ukuran maksimal alat adalah setengah lingkaran dengan alat penarik (*hand wich*) secara perlahan hingga kayu berada pada kondisi lengkung maksimalnya. Pengujian lengkung kayu bertujuan untuk mengetahui radius lengkung kayu yang dihitung menggunakan aplikasi *AUTOCAD*, waktu lengkung kayu, dan kerusakan kayu saat dilengkungkan yang nantinya bisa menjadi acuan pembuatan ornamen arsitektur bentuk bebas.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan dengan bertahap dan terstruktur kemudian hasil dari penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk metode pengujiannya adalah metode skala 1 : 1 atau *Performance Based*.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Struktur Teknik Arsitektur Universitas Hasanuddin. Penelitian ini dilaksanakan mulai dari bulan September 2019 hingga bulan Februari 2020.

2.1. Waktu Penelitian

Waktu dalam penelitian dibagi menjadi dua :

a) Waktu Pengeringan Kayu.

Waktu pengeringan kayu setelah dipotong selama kurang lebih 3 bulan.



b) Waktu Pengujian Kayu

Berdasarkan jumlah sampel benda uji adalah 300 batang kayu, setiap batang kayu yang dilengkungkan dideiamkan selama minimal 10 menit dan maksimal 1 hari. Maka perkiraan waktu penelitian adalah kurang lebih 3 bulan.

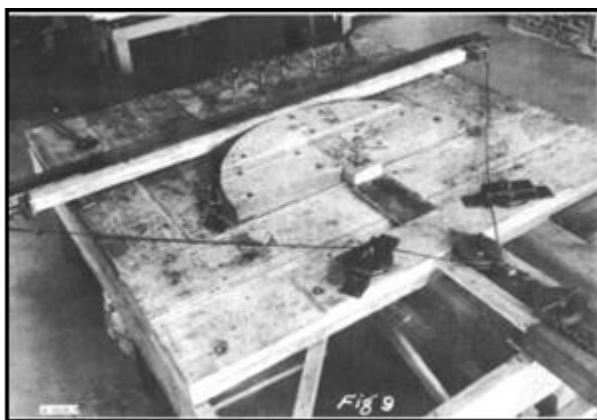
Maka waktu yang dibutuhkan untuk penelitian kurang lebih sekitar 6 bulan.

2.2. Objek Penelitian

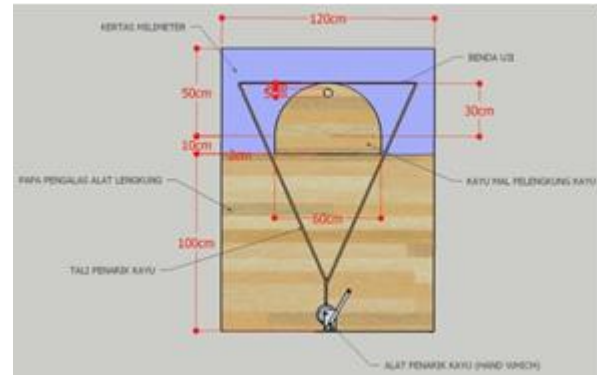
Objek penelitian adalah kayu jati putih yang populasinya ada di daerah Makassar dan sekitarnya. Sampel benda uji terdiri dari 3 ukuran ketebalan yaitu 0,5 cm, 0,7 cm dan 1 cm. Setiap ketebalan ada 10 jenis lebar kayu yaitu 0,5 cm, 1 cm, 1,5 cm, 2 cm, 2,5 cm, 3 cm, 3,5 cm, 4 cm, 4,5 cm, dan 5 cm. Untuk ukuran panjang semua ukuran ketebalan dan lebar sama yaitu 100 cm.

2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan studi literatur dan studi lapangan. Dimana studi literatur mengambil data-data kepustakaan yang berkaitan dengan penelitian seperti pengertian kayu, fungsi kayu, jenis kayu, standar ukuran kayu non struktural, metode pelengkungan kayu dan teori-teori lainnya yang dapat mendukung penelitian ini. Sedangkan untuk data studi lapangan terdiri dari data primer yang diperoleh dan dikumpulkan saat pengujian kayu dan data sekunder adalah data yang diperoleh dari berbagai sumber seperti sampel benda uji, alat lengkung kayu dan alat-alat yang diperlukan saat pengujian kayu.



(a)



(b)

Gambar 1. Alat pelengkung kayu yang dibuat [5]

2.4. Analisis Data

Setelah data primer dan data sekunder sudah diperoleh dan diuji, selanjutnya dianalisis hubungan antara ketebalan dengan radius lengkung kayu jati putih. Tahapan dalam menganalisa hubungannya, antara lain :

a) Menghitung Radius Lengkung Kayu Jati Putih

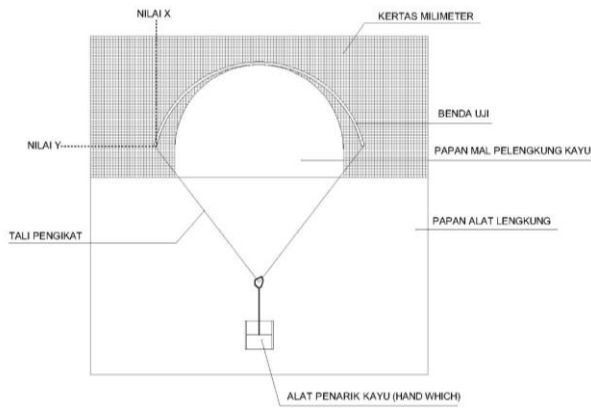
Untuk menghitung radius lengkung kayu jati putih, maka yang harus pertama kali di cari adalah nilai titik lengkung kayu pada saat dilengkungkan. Untuk mengetahui nilainya, kami membagi nilainya menjadi dua yaitu X dan Y. Mengukur nilai X dan Y menggunakan kertas milimeter yang telah di pasang pada alat lengkung kayu.

- Nilai X

Nilai X adalah titik maksimal kayu pada saat dilengkungkan pada arah vertical atau arah tarik kebawah kayu. Nilai X akan terukur di papan alat lengkung yang ditempel dengan kertas milimeter.

- Nilai Y

Untuk nilai Y adalah titik maksimal kayu pada saat dilengkungkan pada arah horizontal atau arah tarik masuk kayu. Pada saat kayu ditarik otomatis kondisi lurus awal kayu kemudian melengkung masuk ke arah horizontal. Maka jarak awal ke jarak maksimal lengkung pada saat masuk itulah nilai Y.



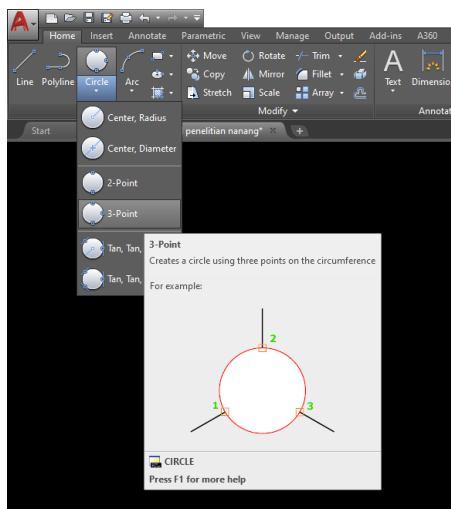
Gambar 2. Nilai X dan Nilai Y kayu saat di lengkungkan

Untuk melihat proses pelengkungan kayu diperlukan kamera untuk merekam sehingga dapat dilihat posisi nilai X dan nilai Y di atas milimeter pada papan alat lengkung dan menghitung waktu lengkungnya.

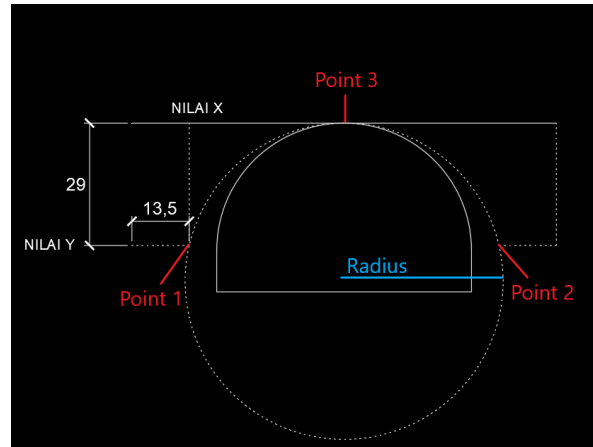


Gambar 3. Posisi kamera dan tripod kamera

Setelah mendapatkan nilai X dan Y, maka dimasukkan ke dalam software AUTOCAD lalu mencari nilai radius lengkung kayu menggunakan fitur Circle 3-Point.



Gambar 4. Fitur menu Circle pada AUTOCAD



Gambar 5. Mencari nilai radius lengkung kayu setelah memasukkan nilai X dan Y menggunakan fitur Circle 3-Point

b) Mengungkap Hubungan Ketebalan dengan Radius Lengkung Kayu

Setelah mendapatkan nilai radius lengkung kayu, maka dibuat table dan grafik berdasarkan nilai radius dari tiap benda uji, kemudian dilihat apakah ada hubungan jika semakin tipis ketebalan kayu maka radius lengkung kayu lebih kecil atau lebih dapat dilengkungkan dan begitu pula sebaliknya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pengujian Lengkung Kayu Jati Putih

a) Titik Maksimal Lengkung Kayu Jati Putih

Dalam menentukan titik maksimal lengkung kayu jati putih saat pengujian adalah pada saat kayu sudah tidak dapat di tarik lagi oleh alat penarik (*hand which*). Hal – hal yang menyebabkan kayu sudah tidak dapat ditarik oleh alat lengkung adalah :

- Kayu sudah berada pada titik maksimal lengkung alat lengkung.
- Pada saat ditarik kayu sudah ada bunyi retakan, maka kayu sudah tidak dapat ditarik lagi.
- Pada saat kayu tiba-tiba patah saat ditarik, maka posisi terakhir kayu saat patah adalah titik maksimal lengkung kayu. Untuk melihat posisi kayu tersebut kami menggunakan kamera untuk merekam setiap kayu pada saat diuji kelengkungannya.

Setelah ditentukan dimana titik maksimal lengkung kayu jati putih diatas, maka dapat ditemukan nilai X dan Y kayu yang diukur dengan kertas milimeter block yang ada pada

papan alat lengkung berdasarkan dimana posisi titik akhir lengkung kayu jati putih.

Hasil uji titik maksimal lengkung kayu jati putih, berdasarkan nilai X dan nilai Y, adalah:

Tabel 1. Nilai x dan nilai Y kayu lebar kayu 0,5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	17,35 cm	3,5 cm	32 cm	20 cm	13,3 cm	2,8 cm
2	Sampel 2	29 cm	13,5 cm	17,5 cm	2,32 cm	22,8 cm	7,8 cm
3	Sampel 3	29 cm	14,8 cm	16,45 cm	1,85 cm	18,3 cm	4,6 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	11,7 cm	1,8 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	32,5 cm	20 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	24,2 cm	8,9 cm	12,3 cm	3,8 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	31,6 cm	18,1 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	23 cm	6 cm	19,5 cm	6,2 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	24,5 cm	7,5 cm	11,7 cm	3,4 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	22,5 cm	6,3 cm	12,5 cm	3,85 cm

Tabel 2. Nilai x dan nilai Y kayu lebar kayu 1 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	31,05 cm	2,8 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	29,5 cm	13,7 cm
3	Sampel 3	20 cm	5 cm	32 cm	20 cm	30,85 cm	16,3 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	28,5 cm	12,5 cm	31,25 cm	17,75 cm
5	Sampel 5	28 cm	15 cm	17,8 cm	2,6 cm	30,9 cm	17,5 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	24,2 cm	8,9 cm	18,7 cm	4,4 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	28,6 cm	12,5 cm	31,1 cm	17,59 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	24,1 cm	7,8 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	31,1 cm	17 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	18,4 cm	4,5 cm	31,1 cm	17,3 cm

Tabel 3. Nilai x dan nilai Y kayu lebar kayu 1,5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	19,6 cm	5,4 cm	26,7 cm	10,5 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	31,21 cm	17 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	30,89 cm	16,6 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	29,85 cm	14,2 cm	31,3 cm	17,2 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	31,5 cm	17 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	22 cm	7,1 cm	31,3 cm	17,15 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	18,3 cm	3,6 cm	27,2 cm	9,8 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	30,9 cm	16,48 cm
9	Sampel 9	16,8 cm	3,6 cm	22,2 cm	7,25 cm	26,5 cm	10,22 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	-	-



Tabel 4. Nilai x dan nilai Y kayu lebar kayu 2 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	13,2 cm	2,8 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	11,8 cm	1,9 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	26,8 cm	10,45 cm	14,9 cm	3,4 cm
4	Sampel 4	25,25 cm	9,15 cm	18,6 cm	4,2 cm	14,5 cm	2,9 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	11,2 cm	1,65 cm	11,7 cm	1,8 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	29,3 cm	14,25 cm	15,4 cm	3,6 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	7,8 cm	0,25 cm	29,3 cm	12,95 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	9,8 cm	1,4 cm
9	Sampel 9	16,8 cm	3,6 cm	32 cm	20 cm	18,2 cm	4,2 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	15,85 cm	2,8 cm	-	-

Tabel 5. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 2,5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	18,6 cm	4,1 cm	30,6 cm	15,9 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	14,95 cm	2,35 cm	30,45 cm	15,4 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	30,65 cm	15,65 cm
4	Sampel 4	26 cm	9 cm	20,2 cm	5,7 cm	29,7 cm	13,86 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	29,6 cm	13,4 cm	30,05 cm	14,78 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	11,25 cm	1,4 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	23,35 cm	7,2 cm	30,3 cm	14,8 cm
8	Sampel 8	31 cm	17,5 cm	24,2 cm	8,15 cm	29,85 cm	14,35 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	23,25 cm	7,2 cm	23,3 cm	7,4 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	32 cm	20 cm	30,1 cm	14,9 cm

Tabel 6. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 3 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	30 cm	16,3 cm	19,2 cm	4,4 cm	30,2 cm	14,75 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	22,75 cm	6,75 cm	28,9 cm	12,4 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	19 cm	4,4 cm	26,8 cm	9,6 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	17,25 cm	3,6 cm	27,75 cm	11,4 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	22,25 cm	6,2 cm	30,1 cm	14,45 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	30,1 cm	16 cm	30,6 cm	15,4 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	31 cm	15,75 cm	27,3 cm	10,2 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	27,85 cm	11,5 cm	11,3 cm	2,05 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	31,4 cm	16,3 cm	12,65 cm	1,75 cm
10	Sampel 10	22 cm	10 cm	31,2 cm	16,3 cm	13,7 cm	2,1 cm

Tabel 7. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 3,5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	30,75 cm	15 cm	15,8 cm	3,2 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	12,75 cm	1,7 cm	15,3 cm	2,45 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	18,1 cm	3,9 cm	7,75 cm	0,6 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	21,95 cm	5,8 cm	9,4 cm	0,9 cm



No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	12,75 cm	2,1 cm	14,7 cm	2,6 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	27,3 cm	11,2 cm	31 cm	16,35 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	30,9 cm	15,65 cm	30,9 cm	16,4 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	16,7 cm	3,45 cm	30,3 cm	15,3 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	21 cm	6 cm	8,7 cm	0,9 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	27,65 cm	10,8 cm	9,7 cm	1,2 cm

Tabel 8. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 4 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	17,5 cm	4,2 cm	17,25 cm	3,7 cm	6,6 cm	0,6 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	24,9 cm	8,5 cm	30,9 cm	16,75 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	31,2 cm	16,48 cm	25,25 cm	9,1 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	28,65 cm	12,3 cm	15,7 cm	2,8 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	30,6 cm	15,25 cm	29,2 cm	13,3 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	9,05 cm	0,85 cm	29,7 cm	14 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	15,45 cm	2,8 cm	26,75 cm	10,55 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	30,65 cm	15,3 cm	30,8 cm	16,6 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	14,6 cm	2,4 cm	12,8 cm	1,7 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	13,55 cm	2,2 cm	6,4 cm	0,6 cm

Tabel 9. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 4,5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	30,5 cm	15,7 cm	31,12 cm	16,7 cm	15,2 cm	2,6 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	24,15 cm	7,7 cm	29,3 cm	13,2 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	30,6 cm	15,9 cm	25,05 cm	9,1 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	30,7 cm	15,75 cm	12,4 cm	1,6 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	30,55 cm	15,2 cm	28,9 cm	13,7 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	25,65 cm	9,3 cm	18,65 cm	4,3 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	19,65 cm	4,9 cm	17,7 cm	3,55 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	31,1 cm	16,2 cm	30,7 cm	16,12 cm
9	Sampel 9	32 cm	20 cm	30,3 cm	14,25 cm	10,1 cm	0,95 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	30,1 cm	14,3 cm	30,5 cm	15,45 cm

Tabel 10. Nilai x dan Nilai Y kayu lebar kayu 5 cm

No.	Sampel	Tabel 0,5 cm		Tebal 0,7 cm		Tebal 1 cm	
		Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y	Nilai x	Nilai Y
1	Sampel 1	32 cm	20 cm	17,05 cm	3,65 cm	18,8 cm	4,2 cm
2	Sampel 2	32 cm	20 cm	18,65 cm	4,2 cm	17,2 cm	3,9 cm
3	Sampel 3	32 cm	20 cm	30 cm	14,1 cm	13,7 cm	1,8 cm
4	Sampel 4	32 cm	20 cm	29,18 cm	12,3 cm	12,15 cm	1,5 cm
5	Sampel 5	32 cm	20 cm	27,9 cm	11,3 cm	22,3 cm	6,5 cm
6	Sampel 6	32 cm	20 cm	16,8 cm	2,7 cm	13,2 cm	1,7 cm
7	Sampel 7	32 cm	20 cm	15,7 cm	2,15 cm	15,55 cm	2,7 cm
8	Sampel 8	32 cm	20 cm	30,2 cm	14,72 cm	30,7 cm	16,12 cm
9	Sampel 9	27,9 cm	11,2 cm	11,3 cm	1,7 cm	18,05 cm	4,1 cm
10	Sampel 10	32 cm	20 cm	20,2 cm	5,15 cm	9,1 cm	0,6 cm



b) Waktu Lengkung dan Kerusakan Kayu
Menentukan waktu lengkung kayu saat diuji adalah:

- Setelah didapatkan titik maksimal lengkung kayu (nilai X dan nilai Y) maka kayu di diamkan selama waktu yang ditentukan yaitu minimal 10 menit dan maksimal dalam satu hari
- Jika kayu tiba-tiba patah saat ditarik maka waktu lengkung kayu dihitung 0 karena kayu tidak didiamkan sehingga tidak dapat

dihitung berapa lama kayu dapat bertahan setelah di dapatkan titik maksimal lengkungnya.

Kerusakan kayu yang dimaksud dalam hal ini adalah pada saat kayu mengalami retak atau patah ketika di uji / dilengkungkan. Dan pada saat retak atau patah, yang di amati adalah berapa jarak retak atau patah kayu pada saat di uji lengkung.

Tabel 11. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 0,5 cm

	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
Waktu Lengkung	1	Sampel 1	15 detik	1 hari	35 detik
	2	Sampel 2	1 hari	1,2 menit	1,27 menit
	3	Sampel 3	1 hari	45 detik	46 detik
	4	Sampel 4	1 hari	1 hari	24 detik
	5	Sampel 5	1 hari	1 hari	1 hari
	6	Sampel 6	1 hari	1 menit	38 detik
	7	Sampel 7	1 hari	1 hari	1 hari
	8	Sampel 8	1 hari	45 detik	43 detik
	9	Sampel 9	1 hari	35 detik	1 hari
	10	Sampel 10	1 hari	20 detik	35 detik
	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
Kerusakan Kayu	1	Sampel 1	Patah 1,5 cm	Tidak Patah	Patah 8,6 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Patah 2,3 cm	Patah 8,6 cm
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Patah 3 cm	Patah 0,89 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Tidak Patah	Patah 1,5 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 7,9 cm	Patah 2,5 cm
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Patah 1,9 cm	Patah 3,7 cm
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Patah 1,9 cm	
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Patah 1,5 cm	Patah 2,7 cm

Tabel 12. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 1 cm

	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
Waktu Lengkung	1	Sampel 1	1 hari	1 hari	1 hari
	2	Sampel 2	1 hari	35 detik	1,6 menit
	3	Sampel 3	5 menit	1 hari	1 hari
	4	Sampel 4	1 hari	37 detik	1 hari
	5	Sampel 5	10 menit	30 detik	1 hari
	6	Sampel 6	1 hari	32 detik	46 detik
	7	Sampel 7	1 hari	1 hari	1 hari
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	3,7 menit
	9	Sampel 9	1 hari	1 hari	1 hari
	10	Sampel 10	1 hari	23 detik	1 hari



Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Patah 3 cm	Retak 2,7 cm
	3	Sampel 3	Patah 4 cm	Tidak Patah	Tidak Patah
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Patah 4,1 cm	Tidak Patah
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 4,75 cm	Tidak Patah
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 4,75 cm	Patah 4,4 cm
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Tidak Patah	Patah 14,6 cm
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Patah 2,6 cm	Tidak Patah

Tabel 13. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 1,5 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	1 hari	43 detik	2,6 menit
	2	Sampel 2	1 hari	1 hari	1 hari
	3	Sampel 3	1 hari	1 hari	1 hari
	4	Sampel 4	1 hari	1,46 menit	1 hari
	5	Sampel 5	1 hari	1 hari	1 hari
	6	Sampel 6	1 hari	38 detik	1 hari
	7	Sampel 7	1 hari	8 menit	1,7 menit
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	1 hari
	9	Sampel 9	1 menit	27 detik	1,3 menit
	10	Sampel 10	1 hari	1 hari	

Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Tidak Patah	Patah 8,4 cm	Retak 0,65 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Patah 1,2 cm	Tidak Patah
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 2,2 cm	Tidak Patah
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Retak 0,65 cm	Patah 9,9 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	9	Sampel 9	Patah 3,8 cm	Patah 3,6 cm	Patah 5,2 cm
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Retak 0,8 cm	Tidak Patah

Tabel 14. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 2 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	4 menit	1 hari	42 detik
	2	Sampel 2	1 hari	1 hari	35 detik
	3	Sampel 3	1 hari	1,35 menit	45 detik
	4	Sampel 4	1 hari	46 detik	26 detik
	5	Sampel 5	1 hari	1,57 menit	37 detik
	6	Sampel 6	1 hari	8 menit	36 detik
	7	Sampel 7	1 hari	24 detik	1,7 menit
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	22 detik
	9	Sampel 9	1 hari	1 hari	38 detik
	10	Sampel 10	1 hari	6 menit	



Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Retak 3 cm	Tidak Patah	Patah 2,1 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Tidak Patah	Patah 0,4 cm
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Patah 3,8 cm	Patah 2,25 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Patah 1,8 cm	Patah 3,2 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 5,75 cm	Patah 4,5 cm
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Retak 1,6 cm	Patah 4,55 cm
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Patah 2,9 cm	Retak 1,15 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 2,7 cm
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 1,15 cm
10	Sampel 10	Tidak Patah	Retak 0,9 cm		

Tabel 15. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 2,5 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	1 hari	3 menit	1 hari
	2	Sampel 2	1 hari	2,8 menit	1 hari
	3	Sampel 3	1 hari	1 hari	1 hari
	4	Sampel 4	2 menit	37 detik	1 hari
	5	Sampel 5	1 hari	2,4 menit	1 hari
	6	Sampel 6	1 hari	30 menit	46 detik
	7	Sampel 7	1 hari	1 menit	1 hari
	8	Sampel 8	1 menit	28 detik	1 hari
	9	Sampel 9	1 hari	23 detik	1,35 menit
10	Sampel 10	1 hari	1 hari	1 hari	

Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Tidak Patah	Retak 2,1 cm	Tidak Patah
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Retak 2,2 cm	Tidak Patah
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	4	Sampel 4	Patah 1 cm	Patah 8 cm	Tidak Patah
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 1,55 cm	Tidak Patah
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 6,8 cm	Tidak Patah
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Patah 0,8 cm	Retak 0,25 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Patah 3,3 cm	Tidak Patah
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Patah 1,2 cm	Patah 7,9 cm
10	Sampel 10	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah	

Tabel 16. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 3 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	8 menit	35 detik	1 hari
	2	Sampel 2	1 hari	27 detik	2,34 menit
	3	Sampel 3	1 hari	1,3 menit	3,7 menit
	4	Sampel 4	1 hari	50 detik	1,68 menit
	5	Sampel 5	1 hari	1 menit	1 hari
	6	Sampel 6	1 hari	15 menit	1 hari
	7	Sampel 7	1 hari	1 ½ jam	2,6 menit
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	34 detik
	9	Sampel 9	1 hari	1 hari	1,2 menit
10	Sampel 10	15 detik	1 hari	1,6 menit	



Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Patah 3,6 cm	Patah 8,4 cm	Tidak Patah
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Patah 9,1 cm	Patah 16,4 cm
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Patah 7,8 cm	Retak 0,6 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Patah 1,6 cm	Patah 6,1 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 4,3 cm	Tidak Patah
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Patah 5,2 cm	Patah 2,65 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Retak 2,6 cm	Retak 0,7 cm
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 1,1 cm
	10	Sampel 10	Patah 2,5 cm	Tidak Patah	Retak 2 cm

Tabel 17. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 3,5 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	1 hari	1 hari	1,8 menit
	2	Sampel 2	1 hari	25 detik	1,3 menit
	3	Sampel 3	1 hari	20 detik	46 detik
	4	Sampel 4	1 hari	50 detik	33 detik
	5	Sampel 5	1 hari	1,7 menit	57 detik
	6	Sampel 6	1 hari	2 menit	1 hari
	7	Sampel 7	1 hari	1 hari	1 hari
	8	Sampel 8	1 hari	1 menit	3,6 menit
	9	Sampel 9	1 hari	2,8 menit	24 detik
	10	Sampel 10	1 hari	3,1 menit	32 detik

Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 1,15 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Retak 2,2 cm	Retak 2 cm
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Retak 2 cm	Retak 1,2 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Retak 1,7 cm	Patah 0,2 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 1,1 cm	Retak 2,9 cm
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 3,5 cm	Tidak Patah
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Patah 6 cm	Patah 11,3 cm
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Retak 1,6 cm	Patah 2,3 cm
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Retak 6 cm	Patah 1,1 cm

Tabel 18. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 4 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	10 detik	1,6 menit	26 detik
	2	Sampel 2	1 menit	2,2 menit	1 hari
	3	Sampel 3	1 hari	1 hari	4,2 menit
	4	Sampel 4	1 hari	50 detik	2,6 menit
	5	Sampel 5	1 hari	1,8 menit	3,7 menit
	6	Sampel 6	1 hari	2,8 menit	1 hari
	7	Sampel 7	1 hari	3,3 menit	3,2 menit
	8	Sampel 8	25 detik	49 detik	1 hari
	9	Sampel 9	1 hari	2 menit	1,4 menit
	10	Sampel 10	1 hari	18 detik	36 detik



Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Patah 3 cm	Retak 0,8 cm	Retak 0,2 cm
	2	Sampel 2	Retak 2 cm	Patah 2,7 cm	Tidak Patah
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 0,15 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Retak 1,65 cm	Patah 6,7 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Retak 0,65 cm	Patah 4,6 cm
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Patah 2,85 cm	Tidak Patah
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Patah 6,4 cm	Retak 0,2 cm
	8	Sampel 8	Retak 1,8 cm	Patah 2,7 cm	Tidak Patah
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Patah 2,7 cm	Patah 7,3 cm
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Retak 0,5 cm	Retak 0,4 cm

Tabel 19. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 4,5 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	25 detik	1 hari	32 detik
	2	Sampel 2	1 hari	1,5 menit	1 hari
	3	Sampel 3	1 hari	1 hari	3,6 menit
	4	Sampel 4	1 hari	1 hari	28 detik
	5	Sampel 5	1 hari	1 hari	4,3 menit
	6	Sampel 6	1 hari	3,4 menit	2,1 menit
	7	Sampel 7	1 hari	2,8 menit	1 menit
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	1 hari
	9	Sampel 9	1 hari	1 hari	22 detik
	10	Sampel 10	1 hari	1 hari	1 hari

Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Patah 4,5 cm	Tidak Patah	Retak 2,6 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Retak 1,5 cm	Tidak Patah
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 0,15 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 0,6 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 0,8 cm
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Retak 3 cm	Retak 0,8 cm
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Retak 1,35 cm	Retak 0,75 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah
	9	Sampel 9	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 0,2 cm
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Tidak Patah	Tidak Patah

Tabel 20. Waktu lengkung dan kerusakan kayu lebar 5 cm

Waktu Lengkung	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	1 hari	2,5 menit	1,35 menit
	2	Sampel 2	1 hari	2,8 menit	1,28 menit
	3	Sampel 3	1 hari	1 hari	58 detik
	4	Sampel 4	1 hari	1 hari	1,2 menit
	5	Sampel 5	1 hari	3,6 menit	3,8 menit
	6	Sampel 6	1 hari	1,2 menit	1,6 menit
	7	Sampel 7	1 hari	58 detik	1,3 menit
	8	Sampel 8	1 hari	1 hari	1,8 menit
	9	Sampel 9	17 detik	34 detik	2,3 menit
	10	Sampel 10	1 hari	1,8 menit	46 detik



Kerusakan Kayu	No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
	1	Sampel 1	Tidak Patah	Retak 0,25 cm	Patah 4,2 cm
	2	Sampel 2	Tidak Patah	Retak 0,15 cm	Retak 2,35 cm
	3	Sampel 3	Tidak Patah	Tidak Patah	Patah 14,6 cm
	4	Sampel 4	Tidak Patah	Tidak Patah	Retak 2,45 cm
	5	Sampel 5	Tidak Patah	Patah 1,3 cm	Retak 0,15 cm
	6	Sampel 6	Tidak Patah	Retak 0,12 cm	Retak 0,3 cm
	7	Sampel 7	Tidak Patah	Retak 0,6 cm	Retak 0,55 cm
	8	Sampel 8	Tidak Patah	Tidak Patah	Patah 3 cm
	9	Sampel 9	Patah 2,8 cm	Retak 0,11 cm	Patah 7,3 cm
	10	Sampel 10	Tidak Patah	Retak 1 cm	Retak 0,75 cm

c. Radius Lengkung Kayu Jati Putih

Setelah didapatkan titik maksimal lengkung kayu jati putih, maka dapat dihitung radius lengkungnya menggunakan *software AUTOCAD*. Radius lengkung kayu jati putih yang didapatkan berdasarkan titik maksimal lengkungnya yaitu Nilai X dan nilai Y, adalah :

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 0,5 cm

Tabel 21. Radius lengkung kayu lebar 0,5 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	70,98	30,03	90,4
2	Sampel 2	37,46	73,7	50,45
3	Sampel 3	36,04	78,69	65,46
4	Sampel 4	30,03	30,03	105,13
5	Sampel 5	30,03	30,03	30,03
6	Sampel 6	30,03	47	92,91
7	Sampel 7	30,03	30,03	31,9
8	Sampel 8	30,03	53,58	58,94
9	Sampel 9	30,03	49,11	98,65
10	Sampel 10	30,03	53,68	91,44
Rata- rata		35,47	47,59	71,54

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 1 cm

Tabel 22. Radius lengkung kayu lebar 1 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	30,03	71,52
2	Sampel 2	30,03	30,03	65,56
3	Sampel 3	60,62	30,03	36,48
4	Sampel 4	30,03	38,92	38,94
5	Sampel 5	35,87	72,01	40,79
6	Sampel 6	30,03	38,88	74,98
7	Sampel 7	30,03	30,03	80,76
8	Sampel 8	30,03	30,03	35,7
9	Sampel 9	30,03	30,03	108,87
10	Sampel 10	30,03	65,45	59,89
Rata- rata		35,47	33,67	39,54

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 1,5 cm

Tabel 23. Radius lengkung kayu lebar 1,5 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	60,54	42,56
2	Sampel 2	30,03	30,03	33,05
3	Sampel 3	30,03	30,03	33,5
4	Sampel 4	30,03	36,39	32,83
5	Sampel 5	30,03	30,03	33,03
6	Sampel 6	30,03	52,82	32,88
7	Sampel 7	30,03	67,97	43,3
8	Sampel 8	30,03	30,03	33,63
9	Sampel 9	72,47	52,26	43,1
10	Sampel 10	30,03	30,03	
Rata- rata		35,47	34,27	42,01

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 2 cm

Tabel 24. Radius lengkung kayu lebar 2 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	30,03	90,98
2	Sampel 2	30,03	30,03	103,93
3	Sampel 3	30,03	42,58	80,32
4	Sampel 4	45,66	65,68	83,74
5	Sampel 5	30,03	109,96	105,13
6	Sampel 6	30,03	36,45	77,6
7	Sampel 7	30,03	162,55	38,07
8	Sampel 8	30,03	30,03	125,4
9	Sampel 9	30,03	30,03	66,72
10	Sampel 10	30,03	78,2	
Rata- rata		35,47	31,59	61,55



- Radius lengkung kayu jati putih lebar 2,5 cm

Tabel 25. Radius lengkung kayu lebar 2,5 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	60,54	34,3
2	Sampel 2	30,03	30,03	34,88
3	Sampel 3	30,03	30,03	34,57
4	Sampel 4	45,32	36,39	36,83
5	Sampel 5	30,03	30,03	35,66
6	Sampel 6	30,03	52,82	110,6
7	Sampel 7	30,03	67,97	35,59
8	Sampel 8	32,53	30,03	36,21
9	Sampel 9	30,03	52,26	50,59
10	Sampel 10	30,03	30,03	35,51
Rata- rata		35,47	31,8	48,57

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 4 cm

Tabel 28. Radius lengkung kayu lebar 4 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	68,68	70,76	188,17
2	Sampel 2	30,03	47,03	33,33
3	Sampel 3	30,03	33,6	45,75
4	Sampel 4	30,03	39,12	78,8
5	Sampel 5	30,03	35,03	37,66
6	Sampel 6	30,03	137,89	36,66
7	Sampel 7	30,03	79,82	42,46
8	Sampel 8	30,03	34,96	33,5
9	Sampel 9	30,03	84,89	97,52
10	Sampel 10	30,03	91,08	193,85
Rata- rata		35,47	33,89	65,42

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 3 cm

Tabel 26. Radius lengkung kayu lebar 3 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	33,92	63,75	35,67
2	Sampel 2	30,03	52,48	38,9
3	Sampel 3	30,03	64,22	43,85
4	Sampel 4	30,03	71,02	40,72
5	Sampel 5	30,03	54,23	36,04
6	Sampel 6	30,03	34,25	34,86
7	Sampel 7	30,03	34,42	42,66
8	Sampel 8	30,03	40,53	107,38
9	Sampel 9	30,03	33,78	98,34
10	Sampel 10	47,36	33,8	90,58
Rata- rata		35,47	32,15	48,25

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 4,5 cm

Tabel 29. Radius lengkung kayu lebar 4,5 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	34,53	33,37	81,5
2	Sampel 2	30,03	49,12	37,75
3	Sampel 3	30,03	34,3	54,52
4	Sampel 4	30,03	34,45	100,65
5	Sampel 5	30,03	35,09	37,24
6	Sampel 6	30,03	45,11	65,31
7	Sampel 7	30,03	61,58	69,79
8	Sampel 8	30,03	33,91	34,04
9	Sampel 9	30,03	36,27	124,15
10	Sampel 10	30,03	36,22	34,81
Rata- rata		35,47	30,48	40,48

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 3,5 cm

Tabel 27. Radius lengkung kayu lebar 3,5 cm

No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	35,29	77,21
2	Sampel 2	30,03	97,86	81,53
3	Sampel 3	30,03	67,75	161,1
4	Sampel 4	30,03	55,47	132,93
5	Sampel 5	30,03	96,4	83,77
6	Sampel 6	30,03	41,3	33,76
7	Sampel 7	30,03	34,54	33,71
8	Sampel 8	30,03	73,22	35,01
9	Sampel 9	30,03	56,59	142,9
10	Sampel 10	30,03	41,61	127,6
Rata- rata		35,47	30,03	60

- Radius lengkung kayu jati putih lebar 5 cm

Tabel 30. Radius lengkung kayu lebar 5 cm

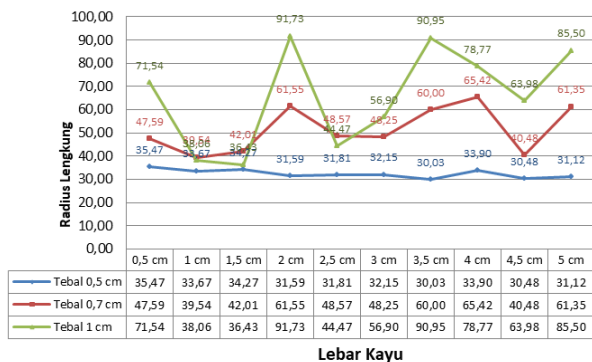
No.	Sampel	Tebal 0,5 cm	Tebal 0,7 cm	Tebal 1 cm
1	Sampel 1	30,03	71,52	65,28
2	Sampel 2	30,03	65,56	70,37
3	Sampel 3	30,03	36,48	91,63
4	Sampel 4	30,03	38,94	102,87
5	Sampel 5	30,03	40,79	53,57
6	Sampel 6	30,03	74,98	94,96
7	Sampel 7	30,03	80,76	79,71
8	Sampel 8	30,03	35,7	90,58
9	Sampel 9	40,92	108,87	67,38
10	Sampel 10	30,03	59,89	138,63
Rata- rata		35,47	31,12	61,35



3.2. Hubungan Antara Radius Lengkung Kayu Jati Putih dengan Ketebalan Kayu

Berdasarkan hasil yang diperoleh setelah pengujian lengkung kayu jati putih, hubungan antara ketebalan dan radius lengkung kayu jati putih dapat dilihat dari perbandingan radius kayu yang telah didapatkan dengan menggunakan *software AutoCad*.

Radius lengkung yang besar menandakan bahwa semakin kecil daya lengkung kayu begitu juga sebaliknya semakin kecil radius lengkung kayu maka semakin besar daya lengkungnya. Perbandingan radius lengkung ditampilkan dalam grafik dengan membandingkan ketebalan berbeda dengan lebar dan panjang kayu yang sama.

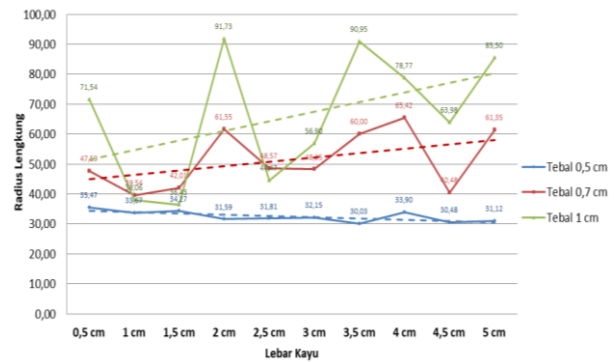


Gambar 6. Radius lengkung kayu jati putih dengan semua ketebalan yang diuji

Hasil pengujian radius lengkung kayu jati putih mengalami nilai yang turun naik. Agar dapat menunjukkan data mengalami kenaikan atau penurunan maka dibuatkan grafik trend dengan menggunakan metode *Least Square* yaitu metode yang digunakan untuk menganalisis suatu estimasi atau peramalan pada masa yang akan datang. Salah satu metodenya dengan metode garis linear dimana dengan metode ini dapat menunjukkan nilai radius lengkung mengalami kenaikan atau penurunan.

Dari grafik trend radius lengkung kayu jati putih diatas menunjukkan bahwa semakin tebal kayu jati putih maka semakin besar radius lengkungnya atau semakin kecil daya lengkung / lentur dari kayu jati putih. Tetapi pada lebar 1 cm, 1,5 cm, dan 2,5 cm berbeda hasilnya, radius lengkung terbesar ada pada tebal kayu 0,7 cm. Karena pada ukuran lebar tersebut dengan ketebalan kayu 0,7 cm lebih banyak terjadi kepatahan dan retak pada saat di uji

dibandingkan dengan ketebalan kayu 1 cm yang lebih sedikit

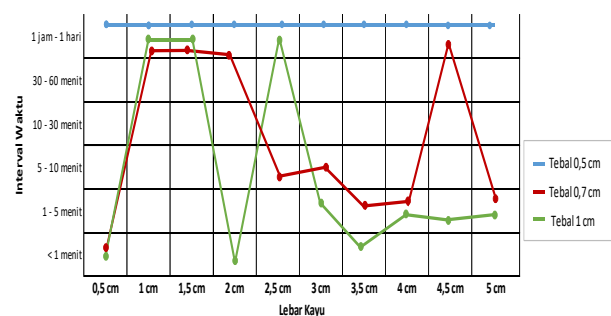


Gambar 7. Trend radius lengkung kayu jati putih dengan semua ketebalan yang diuji menggunakan metode garis linear

3.3. Hubungan Antara Waktu dengan Radius Lengkung Kayu Jati Putih

Dari hasil uji lengkung kayu jati putih yang telah dilakukan, waktu lengkung kayu bervariasi. Kayu dengan ketebalan 0,5 cm mampu bertahan dilengkungkan dalam waktu 1 hari pada setiap ukuran lebar kayu yang diuji. Pada kayu dengan ketebalan 0,7 cm yang waktu lengkungnya dapat bertahan selama 1 hari hanya pada ukuran lebar 1 cm, 1,5 cm, 2 cm dan 4,5 cm. Untuk waktu yang terkecil yang bisa bertahan saat dilengkungkan pada ukuran lebar 0,5 cm yaitu < dari 1 menit, lebar 2,5 cm dan 3 cm dapat bertahan selama kurang lebih 5 – 10 menit, sedangkan untuk lebar 3,5 cm, 4 cm dan 5 cm dapat bertahan selama kurang lebih 1 – 5 menit saat dilengkungkan.

Untuk kayu dengan ketebalan 1 cm yang waktu lengkungnya bertahan selama 1 hari ada pada lebar 1 cm, 1,5 cm dan 2,5 cm, selebihnya hanya dapat bertahan dalam kurun waktu kurang dari 1 menit yaitu pada lebar kayu 0,5 cm, 2 cm dan 3,5 cm sedangkan dengan waktu lebih dari 1 menit pada lebar kayu 3 cm, 4 cm, 4,5 cm dan 5 cm.



Gambar 8. Waktu lengkung kayu jati putih dengan interval waktu



Karena waktu lengkung kayu jati putih yang bervariasi maka dibuatkan interval waktu, sehingga didapatkan hasil waktu lengkung berdasarkan setiap ketebalan kayu.

Dari grafik diatas, dapat dilihat bahwa semakin tebal kayu maka semakin cepat waktunya untuk dilengkungkan begitu juga sebaliknya. Kayu yang dapat dilengkungkan selama 1 hari untuk ketebalan 0,5 cm, 0,7 cm dan 1 cm adalah pada lebar kayu 1 cm dan 1,5 cm. Sedangkan pada lebar kayu 2,5 cm, waktu pelengkungan pada tebal kayu 0,7 cm lebih cepat daripada kayu dengan ketebalan 1 cm. Hal itu terjadi karena beberapa sampel uji ketebalan kayu 0,7 cm dengan lebar 2,5 cm terdapat mata kayu, sehingga kayu mudah patah dan retak.

4. Kesimpulan dan Saran

a) Kesimpulan

Jika dianalisis radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan 0,5 cm, 0,7 cm dan 1 cm, yang berpotensi berdasarkan 10 sampel setiap ukuran lebar ketika dilengkungkan adalah kayu dengan tebal 1 cm sedangkan yang tidak mudah patah adalah ketebalan 0,5 cm. Sedangkan hubungan radius lengkung kayu jati putih dengan ketebalan kayu, lebar kayu dan waktu lengkung kayu sangat erat, dimana semakin tebal kayu jati putih maka semakin besar radius lengkungnya dimana daya lengkungnya semakin kecil. Begitu juga dengan lebar dan waktu lengkung.

Radius lengkung kayu jati putih terbesar pada ketebalan 0,5 cm yaitu 35,47 cm, kemudian pada ketebalan 0,7 cm radius lengkung terbesarnya adalah 65,42 cm dan pada ketebalan 1 cm adalah 91,73 cm. Berdasarkan lebar kayu, radius lengkung terkecil pada ketebalan 0,5 cm ada pada lebar kayu 3,5 cm yaitu 30,03 cm, pada ketebalan 0,7 cm ada pada lebar kayu 1 cm yaitu 39,54 cm dan pada ketebalan kayu 1 cm ada pada lebar kayu 1,5 cm yaitu 36,43 cm. Sedangkan untuk waktu lengkung pada ketebalan 0,5 cm dapat bertahan

selam 1 hari, kemudian tebal 0,7 cm yang waktu lengkungnya bertahan selama 1 hari ada 40%, selama 5-10 menit ada 20%, 1 – 5 menit ada 30% dan waktu < dari 1 menit ada 10%. Pada ketebalan 1 cm yang dapat bertahan selama 1 hari ada 30%, kemudian selama 1 – 5 menit ada 40% dan sisanya 30% dapat bertahan selama < dari 1 menit.

b) Saran

Penggunaan Kayu Jati Putih sebagai pembuatan ornament arsitektur bentuk bebas lebih disarankan dengan menggunakan tebal yang tipis karena daya lengkungnya lebih besar. Keuntungan yang diperoleh dari penelitian ini adalah mengurangi kebutuhan daya rekat lem yang besar pada saat pembuatan ornamen arsitektur menggunakan kayu jati putih. Sebagai rekomendasi penelitian lanjutan untuk penelitian ini, dapat menambah variabel penelitian seperti penambahan atau penggunaan jenis kayu yang berbeda, mengetahui kondisi kayu seperti mata kayu, berat kayu, dan sifat fisik kayu.

Referensi

- [1] J. Malik, K. Yuniarti, Jasni, and O. Rachman, "Pengaruh Pengukusan dan Perendaman dengan NaOH terhadap Pelengkungan Kayu Rasamala (*Altingia excelsa* Noronha), Asam Jawa (*Tamarindus indica* L.) dan Marasi (*Hymenaea courbaril* L.)," *J. Ilmu dan Teknol. Kayu Trop.*, vol. 4, no. 2, pp. 61–65, 2006.
- [2] T. Darmawan, W. Dwianto, Y. Amin, K. W. Prasetyo, and B. Subiyanto, "Karakteristik LVL Lengkung dengan Proses Kempa Dingin," *J. Trop. Wood Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 62–66, 2009.
- [3] Khairil, "Klasifikasi Kode Mutu Kayu Provinsi Sulawesi Selatan," *J. INERSIA*, vol. XIII, no. 1, pp. 41–53, 2017.
- [4] Badan Standarisasi Nasional, *SNI 03-3527-1994. Mutu dan Ukuran Kayu Bangunan*. Jakarta, 1994.
- [5] E. C. Peck, *Bending Solid Wood to Form*. Washington, U.S: Agriculture Handbook No.125, U.S. Dept. Of Agriculture, 1957.



Distribusi Sedimen untuk Manajemen Umur Layanan Waduk Ponre-Ponre

Adi Rosyidi^{1*}, Farouk Maricar², Bambang Bakri²

¹Program Pasca Sarjana, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

²Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: adirosyidi@cloud.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.11

Abstrak

Penelitian ini bertujuan (1) menganalisis perilaku pergerakan sedimen yang jangka panjang akan berpengaruh terhadap umur layanan waduk dan (2) menemukan konfigurasi rekayasa *barrier* berupa *soft structure* atau *hard structure* yang paling efektif dalam mengalihkan distribusi sedimen untuk memperpanjang umur layanan waduk. Metode yang digunakan adalah kombinasi pendekatan modifikasi dan penelitian kualitatif berdasarkan data lapangan. Penelitian dilaksanakan di Waduk Ponre-Ponre Kabupaten Bone, Provinsi Sulawesi Selatan. Data dianalisis dengan menggunakan perangkat lunak *Mike Zero* yang dikalibrasi dengan data Bathimetri, kemudian dilakukan validasi dan verifikasi dengan metode pendekatan pada besaran penambahan elevasi yang didapat hasil pengukuran lapangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa (1) sejak Waduk Ponre-Ponre dioperasikan mulai sebelas tahun yang lalu, terjadi pengurangan kapasitas tampungan waduk sebesar 6,59 juta m³. Rata-rata terjadi penambahan sedimentasi 0,597 juta m³ per tahun. Dengan luas *catchment area* 78,55 km, maka penambahan elevasi sedimentasi yang terjadi adalah 0,008 m per tahun = 7,602 mm per tahun. Angka ini lima kali lebih besar kecepatan sedimentasi rencana yang diperhitungkan hanya 1,5 mm per tahun. Perlu dilakukan langkah-langkah penanggulangan sedimentasi, baik secara *soft structure* maupun *hard structure* untuk menahan laju sedimentasi agar waduk dapat beroperasi hingga mencapai umur layanannya dan (2) rekayasa distribusi sedimen *barrier* paling tepat ditempatkan dengan metode *parallel barrier* yang memberi manfaat penambahan sedimen hanya menjadi sebesar 83,23% atau 6,327 mm per tahun.

Abstract

The Sediment Distribution for Service Age Management Ponte-Ponre Reservoir. The research aimed (1) to analyze the long-term sediment movement behaviour which would affect reservoir service age; (2) to find out the barrier engineering configuration in the forms of the most effective soft structure and hard structure in switching the sediment distribution to lengthen the reservoir service age. The research was conducted in Ponre-Ponre Reservoir, Bone Regency, South Sulawesi Province. The research used the combination of the modification approach and qualitative method based on the data from the field. The data were analyzed using Mike Zero soft-ware which was calibrated with Bathymetry data, the validation and verification were then carried out with the approach on the elevation increase scale which was obtained from the field measurement result. The research result based on the facts in the field indicates that since Ponre-Ponre reservoir was operated 11 years ago the reservoir storage capacity decreases as much as 6.59 million m³. The average sedimentation increase is 0.597 million m³/per annual. With the catchment area size of 78.55 km, the sedimentation elevation increase occurring is 0.008 m per annual = 7.602 mm per annual. This figure is 5 times bigger than the sedimentation velocity plan which is predicted only as much as 1.5 mm per annual. The sedimentation counter-measures re-necessary to carry out either by the soft structure or hard structure method to restrain the sedimentation rate in order that the reservoir can operate until its service age. The research result indicates that the sediment I barrier distribution engineering is mostly accurately placed using the parallel barrier method which gives the sediment increase utility to become only as much as 83.23% or 6.327 mm per annual.

Kata Kunci: Rekayasa topografi, sedimentasi, waduk

1. Pendahuluan

Air merupakan sumber kehidupan bagi manusia. Dalam kehidupan sehari-hari kita tidak dapat terpisahkan dengan senyawa ini karena air memiliki manfaat besar bagi kehidupan. Air juga merupakan sumber daya alam yang terbaharui melalui daur hidrologi. Namun keberadaan air

sangat bervariasi tergantung pada lokasi dan musim. Ketersediaan air di daerah tropis (sekitar khatulistiwa) sangat besar dibandingkan daerah lain seperti gurun atau padang pasir. Namun demikian juga dengan ketersediaan air pada musim basah (Oktober s/d April) lebih besar dibandingkan pada saat musim kering (April s/d Oktober) dimana ketersediaan air berkurang.



Rekayasa manusia untuk lebih dapat mengoptimalkan pemanfaatan sumber daya air adalah dengan merubah distribusi air alami menjadi distribusi air secara buatan yaitu diantaranya dengan membangun Bendungan atau Waduk. Waduk merupakan suatu bangunan air yang digunakan untuk menampung debit air berlebih pada musim basah agar kemudian dapat dimanfaatkan pada saat debit air rendah saat musim kering.

Provinsi Sulawesi Selatan telah memiliki beberapa waduk salah satunya adalah waduk Ponre-Ponre yang terletak di Kabupaten Bone. Waduk bertipe *Concrete Face Rockfill Dam* ini memiliki tinggi 55 m, Panjang puncak 235 m, dan kapasitas tampung efektif sebesar 40.400.000 m³. Bendungan Ponre-Ponre berfungsi sebagai sistem pengendalian sedimen dan banjir Sungai Tinco dan DAS Walanae, meningkatkan lahan irigasi teknis seluas 4.411 Ha, serta digunakan untuk perikanan air tawar dan pariwisata [1]. Dalam pengelolaan waduk, sering dijumpai permasalahan yang menyangkut aspek perencanaan, pengoperasian dan pemeliharaan. Salah satu persoalan utama yang terjadi di dalam operasional waduk adalah terjadinya distribusi sedimentasi yang tidak sesuai perencanaan yang berdampak terhadap umur layanan waduk yang telah direncanakan. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan rekayasa distribusi sedimen untuk mengoptimalkan umur layanan waduk.

2. Tinjauan Pustaka

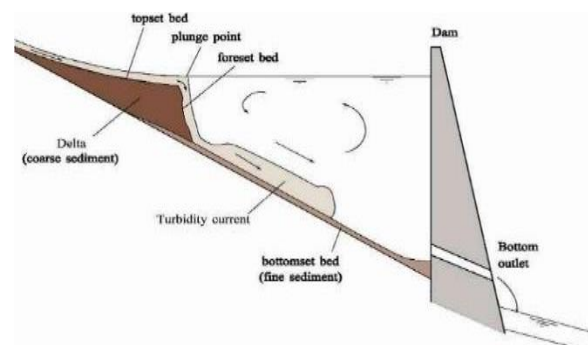
Waduk (reservoir) merupakan sarana penampung air pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) yang dimanfaatkan diantara lain untuk mengairi lahan pertanian, perikanan, regulator air (pengendali banjir), tanggul penampungan air limpasan yang dialirkan oleh outlet (sungai) ke waduk itu agar tidak mengalir dan tergenang pada tempat di bawahnya dan dimanfaatkan untuk air minum. Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah kesatuan ekosistem yang dibatasi oleh topografi pemisah air (*water divide topography*) yang di dalamnya terdapat sistem sungai pengatus (penampung) air hujan yang masuk ke waduk dan keluar melalui saluran lepas tunggal [2], [3].

2.1. Sedimen

Sedimentasi adalah proses mengendapnya material fragmental oleh air sebagai akibat dari terjadinya erosi. Proses sedimentasi mulai dari terjadinya erosi dimana butir-butir tanah terlepas dari tempatnya kemudian terseret oleh aliran permukaan sampai alur, parit, sebagian tertahan pada daerah cekungan, pada akar pepohonan, dan sebagian lainnya terbawa sampai disungai [4].

2.2. Mekanisme Disposisi Sedimen

Angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai sebagian bergerak sepanjang dasar sungai berupa *bed load* dan sebagian melayang berupa *suspended load* serta *wash load*. Sedimen berbutir kasar mengendap ke dasar sungai atau waduk sebagai delta. Material sedimen yang berbutir halus cenderung mengendap akibat gaya berat, tetapi kondisi aliran yang turbulen menjadikan material ini kembali melayang dalam aliran. Demikian seterusnya sampai akhirnya aliran mencapai mulut waduk, di mana aliran memasuki penampang yang lebih luas, sehingga kecepatan arus yang tinggi berangsur menjadi relatif sangat kecil. Gambar 1 menunjukkan proses aliran memasuki waduk maka kecepatan aliran menurun drastis sehingga daya angkut aliran juga menjadi sangat kecil [5].



Gambar 1. Skematik proses sedimentasi dalam waduk

2.3. Pola Pengendapan Sedimen

Pada dasarnya pola pengendapan sedimen di dalam waduk sangat bervariasi tergantung pada kondisi hidrologi, karakteristik sedimen (*grain size*), geometri waduk, dan pola operasi waduk. Pola pengendapan sedimen di waduk secara horizontal dapat dibedakan menjadi 4 kelompok, yaitu *Delta deposits*, *Wedge-shaped deposits*, *Tepering deposits* dan *Uniform deposits* [5].

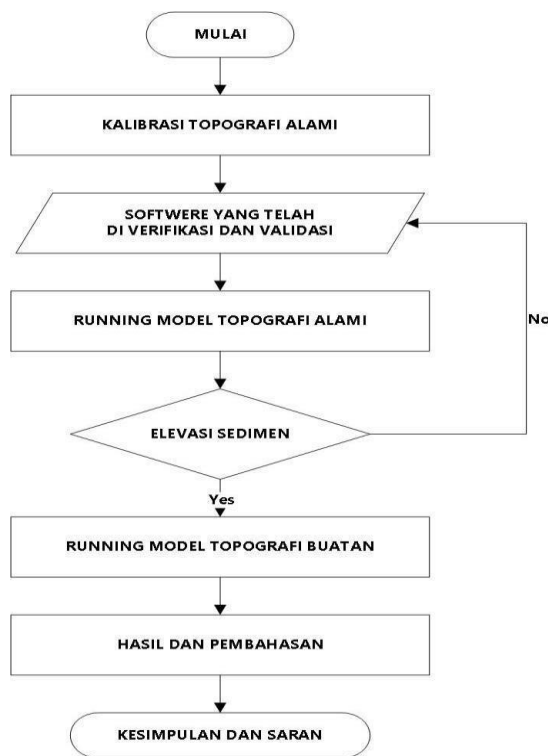
3. Metodologi Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan bersifat model matematis. Sasaran penelitian adalah seberapa besar efektifitas bentuk topografi dalam pengendalian sedimentasi dalam area waduk. Dalam jangka panjang, total pengurangan tersebut dijadikan acuan untuk menghitung perpanjangan umur waduk yang telah dilengkapi dengan model distribusi sedimen.

3.1. Kerangka Konseptual Penelitian

Konsep dasar penelitian ini adalah membandingkan kondisi sedimentasi suatu waduk yang tidak dilengkapi dengan model distribusi sedimen dengan kondisi sesudah adanya model distribusi sedimen.

Untuk mencapai tujuan penelitian, maka secara garis besar rangkaian dan urutan penelitian setelah dilakukan verifikasi mengikuti kerangka konseptual penelitian seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Kerangka konseptual penelitian

3.2. Pengumpulan data

1) Data Sumber Daya Air

Data sekunder diambil dari hasil penelitian terdahulu yang dilaksanakan oleh CTIE and Associates serta Nippon Koei Co LTD and Associates dan dari hasil peneliti-peneliti

terdahulu di Waduk yang berada pada Provinsi Sulawesi Selatan.

Waduk Ponre-Ponre memanfaatkan aliran Sungai sebagai sumber air dengan kapasitas tampung efektif sebesar 33,4 Juta m³. Bendungan Ponre-Ponre membendung Sungai Tinco di dusun Ponre-Ponre dengan luas tangkapan air 78 km². Luas genangan waduk pada elevasi muka air normal adalah 2,39 km² dan 3,00 km² untuk luas genangan maksimum.

2) Data Sedimen

Data sedimen diperoleh dari Waduk Ponre-Ponre adalah berupa Sedimen berbutir kasar diambil sekitar ±5 km dibagian hulu bendungan. Sedimen berbutir halus rencana diambil 50 meter didepan bendungan. Material ini akan digunakan pada percobaan pendahuluan.

3) Rancangan Pengujian Model

Penelitian dilakukan terhadap penerapan model distribusi sedimen sebagai pengumpul sedimen dalam waduk dengan menggunakan data waduk Ponre-Ponre yang terletak di Kabupaten Bone. Peta lokasi waduk ditunjukkan pada gambar 4. Konsep penggunaan model distribusi sedimen tersebut diaplikasikan pada kondisi sedimentasi Waduk Ponre-Ponre yang terletak dalam DAS Walanae Cenranae. Penelitian difokuskan pada area sedimentasi Waduk Ponre-Ponre Kabupaten Bone.

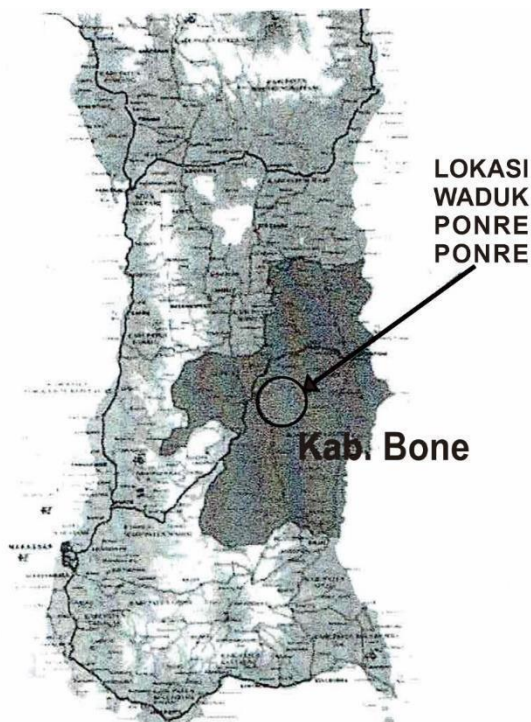
3.3. Data Teknis Waduk Ponre-Ponre

Data teknis Waduk Bili-bili adalah sebagai berikut:

Lokasi	:	Desa Tompobulu, Kecamatan Libureng
Tipe Bendungan	:	Urugan batu dengan membrane beton
Kapasitas Tampung	:	40.400.000 m ³
Kapasitas Tampung Efektif	:	33.400.000 m ³
Kapasitas Tampung Mati	:	7.000.000 m ³
Bendungan Utama Tinggi dari dasar Pondasi	:	55 m



Panjang	: 235 m
Lebar Puncak	: 8 m
Elevasi Puncak	: + 220,5 m
Kemiringan Lereng	: U/S 1:1,4 ; D/S 1:1,4
Pelimpah / Spillway	
Tipe	: Pelimpah ogee tanpa pintu
Banjir desain Pelimpah	: 1.590 m ³ /detik
Panjang Saluran Pelimpah	: 146 m
Elevasi Pelimpah / Spillway	: +216 m
Lebar Pelimpah/Spillway	: 30,5 m
Elevasi Bendungan	
Elevasi muka air banjir	: + 219,78 m
Elevasi muka air normal	: + 216,00 m
Elevasi dasar Intake	: + 192,33 m
Luas Muka Air Normal	: 239 ha
Volume Muka Air Normal	: 48.700.000 m ³
Luas Muka Air Maks	: 300 ha
Volume Muka Air Maks	: 57.000.000 m ³



Gambar 3. Peta lokasi Waduk Ponre-Ponre

Pengujian aliran sedimen pada waduk yang dilengkapi dengan model distribusi sedimen menggunakan model matematis dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data topografi dan *echosounding* waduk.
2. Data Topografi dimasukkan dalam perangkat lunak.
3. Debit sedimen yang masuk ke dalam waduk (Volume/Tahun).
4. Debit pengaliran (*inflow*) dan debit pengeluaran (*outflow*).
5. Model dijalankan kemudian disesuaikan dan dikalibrasi dengan data *echosounding*.
6. Parameter yang digunakan dalam model disesuaikan hingga mendekati hasil *echosounding*.
7. Bila parameter telah sesuai atau mendekati, maka parameter tersebut disimpan yang kemudian digunakan pada simulasi model yang akan diproses dengan beberapa variasi letak *barrier*.
8. Setelah sesuai data *echosounding* maka langkah selanjutnya adalah melakukan validasi dan verifikasi dengan menggunakan metode persamaan model distribusi dan penambahan elevasi.

Setelah sesuai dengan model numerik tersebut maka dilakukan perhitungan prediksi terkait pergerakan sedimen. Model kemudian disimulasikan dengan menggunakan beberapa variasi letak *barrier* hingga didapatkan perbandingan elevasi sedimen pada daerah *intake*. Hasil simulasi poin 10 dibuatkan model matematis.

4. Pembahasan

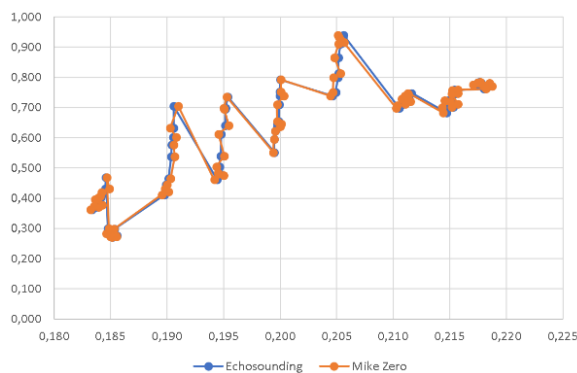
4.1. Distribusi Sedimen

Pengelolaan sedimentasi waduk bertujuan untuk mempertahankan kapasitas tampung waduk, fungsi-fungsi waduk, dan memperbaiki efektifitas operasi waduk. Teknik pengelolaan sedimentasi waduk telah berkembang dengan berbagai teknologi mulai dari mengurangi erosi lahan di bagian hulu waduk, mengendalikan sedimen dalam perjalanan menuju waduk, pengendalian sedimen dalam waduk, dan pada bendungan sendiri. Penelitian ini mencoba metode pengendalian sedimen dengan teknik *barrier* untuk mereayasa distribusi sedimen.

Prinsip dasar teknik ini adalah memperpanjang jarak aliran sedimen dalam waduk, mengendapkan sedimen di area foreset bed, dan menghambat laju sedimentasi ke area *bottomset bed/intake*.

4.2. Kalibrasi Perangkat Lunak

Setelah diperoleh mesh yang ideal pada perangkat lunak yang digunakan, maka selanjutnya adalah menentukan koordinat titik X dan Y yang sama antara data topografi dan bathimetri pada waduk dengan titik referensi pada perangkat lunak. Jumlah titik tinjauan diperoleh berdasarkan sejauh mana tingkat ketelitian yang diinginkan. Dalam model ini, digunakan titik pendekatan sebanyak 500 – 600 titik tinjauan. Setelah dilakukan beberapa penyesuaian data, maka diperoleh titik dan hasil persandingan antara data echosounding dengan perangkat lunak sebanyak 90 titik seperti dilihat pada grafik dibawah.

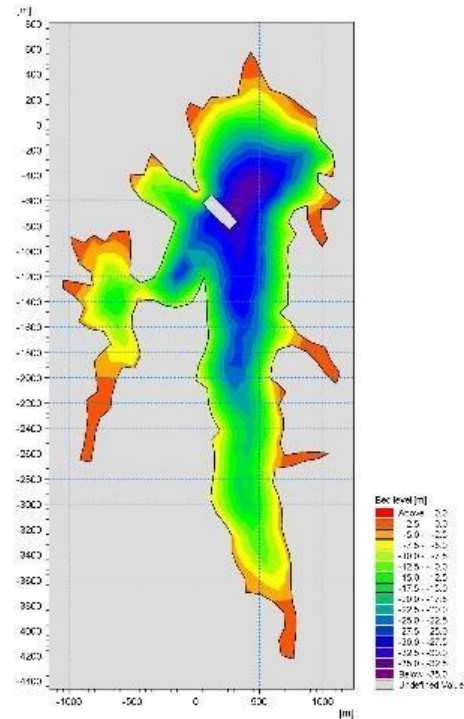


Gambar 4 . Kalibrasi perangkat lunak dengan echosounding

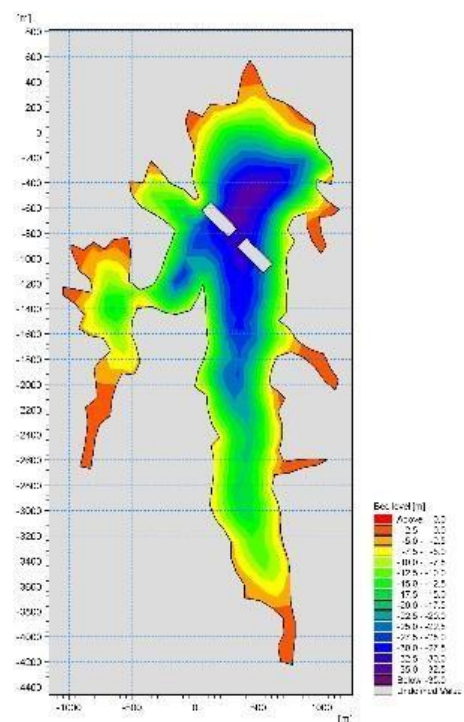
4.3. Penambahan Rekeyasa Distribusi Sedimen /Buffer

Pada dasarnya metode penambahan pulau ini berdasarkan pengalaman terkait sulit dan mahalnya metode pengerukan dalam waduk maupun danau. Hal ini menjadi perhatian dimana apabila dilakukan pengerukan, material pengerukan sulit untuk dilakukan pembuangan dimana memerlukan biaya transportasi dan lahan yang cukup sebagai tempat pembuangan (disposal area). Dari beberapa permasalahan tersebut maka diperlukan suatu metode pengerukan yang hemat namun juga dapat mengendalikan sedimen. Penambahan Pulau dilakukan pada zona foreset bed sebagai zona operasi waduk.

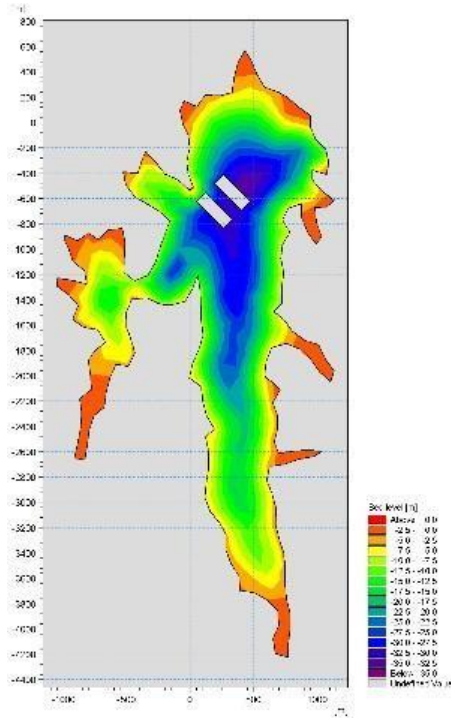
Dimana dengan variasi model seri menghasilkan pertambahan sedimen setinggi 6,346 mm per tahun atau 83,48%. Sedangkan variasi model *parallel* menghasilkan pertambahan sedimen setinggi 6,327 mm per tahun atau 83,23%.



Gambar 5. Variasi perletakan *buffer* model *single*

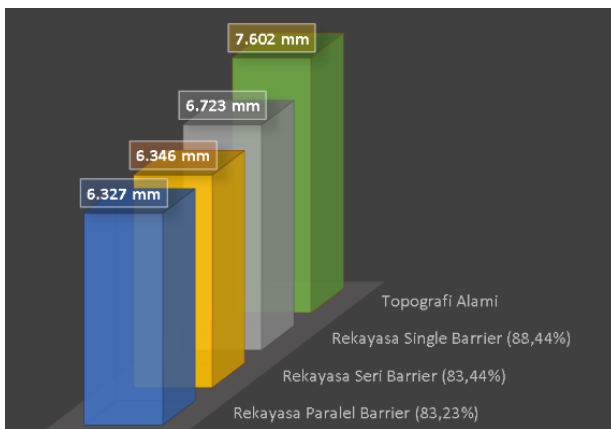


Gambar 6. Variasi perletakan *buffer* model seri



Gambar 7. Variasi perletakan *buffer model parallel*

Dalam diagram batang dibawah dapat kita perhatikan beda penambahan sedimen berdasarkan berbagai perlakuan rekayasa *barrier* yang telah diteliti.



Gambar 8. Diagram perbandingan penambahan elevasi

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil-hasil analisa, maka disimpulkan sebagai berikut:

- 1) Dari hasil pengolahan dengan perangkat lunak, maka *barrier* yang paling efektif adalah pada metode *parallel barrier*.
- 2) Hasil simulasi dengan metode *parallel barrier* membuat sedimen yang tersebar pada waduk menjadi 6,327 mm per tahun (83,23%) setelah sebelumnya pada kondisi normal mengalami penambahan setinggi rata-rata 7,602 mm per tahun.

5.2. Saran

- 1) Dalam manajemen pengoperasian suatu Bendungan atau Waduk perlu dilakukan penanggulangan sedimentasi secara *soft structure* maupun *hard structure* untuk menahan laju sedimen agar umur layanan waduk dapat sesuai dengan perencanaannya.
- 2) Bentuk topografi sebaiknya menjadi salah satu syarat alternatif dalam melakukan studi kelayakan suatu bendungan.

Referensi

- [1] Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, *Pedoman Desain dan Konstruksi Bendungan Urugan Batu Membran Beton*. Jakarta, 2011.
- [2] G. L. Moris, "Reservoir Sedimentation Management: worldwide Status and Prospects Proceedings," in *The 3rd World Water Forum, Challenges to the Sedimentation Management for Reservoir Sustainable*, 2003.
- [3] Yachiyo Engineering Co. Ltd., "Additional Consulting Services of Countermeasures for Sediment Problems on Bili-Bili Dam Under Urgent Disaster Reduction Project for MT. Bawakaraeng Annex No.1. Hydrological Study," 2009.
- [4] M. Teguh, "Analisis Umur Fungsi Waduk Mrica," *J. Techno Fak. Tek. dan Sains*, vol. 19, no. 2, 2013.
- [5] Soewarno, *Hidrologi, Pengukuran dan pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Nova, 1991.

Penilaian Kawasan Industri Kariangau Menggunakan Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA)

Agus Fitrianto^{1*}, Abdul Rachman Rasyid¹, Slamet Trisutomo¹
Program Studi Pascasarjana Manajemen Perkotaan Universitas Hasanuddin
Jln. Perintis Kemerdekaan km.10, Makasar 90245
*Email: agus.fitrianto@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.12

Abstrak

Kawasan Industri Kariangau yang terletak dikota Balikpapan merupakan kawasan industri terintegrasi, dimana kawasan ini bersinggungan dengan teluk, aliran sungai Wain, hutan lindung, serta pemukiman masyarakat. Perkembangan kawasan industri perkotaan mengakibatkan berbagai dampak terhadap lingkungan salah satunya alih fungsi lahan, kemudian pergerakan ekonomi dan perkembangan sosial kemasyarakatan. Penelitian yang dilakukan pada kawasan industri Kariangau khususnya ditepi air bertujuan untuk mengetahui status keberlanjutan kawasan, dengan menggunakan metode analisis spasial yang divalidasi dengan data observasi dilapangan dan rujukan, kemudian dinilai berdasarkan Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA), melalui 9 variabel indikator dari pilar utama keberlanjutan, yaitu aspek sosial, ekonomi dan lingkungan yang sudah dirumuskan pada penelitian sebelumnya. Hasil dari penilaian keberlanjutan kawasan industri Kariangau ditepi air dapat dikategorikan dengan status berkelanjutan, namun telah ditemukan salah satu indikator dari aspek sosial yaitu Indikator Ketersediaan Sumber Air PDAM memiliki skor dibawah 0,75 yang berarti tidak berkelanjutan, sehingga status berkelanjutan kawasan menjadi tidak mutlak.

Abstract

Assessment Kariangau Industry Estate Using The Sustainability Index of Water Front Industry. Kariangau Industrial Estate, located in the city of Balikpapan, is an integrated industrial area, where this area intersects with the bay, the Wain river, protected forests and community settlements. The development of urban industrial areas has resulted in various impacts on the environment, such land use displacement, economic movement and social development society. This research was held in the Kariangau industrial area, especially on the waterfront, to determine the status of the area's sustainability, using a validated spatial analysis method with field observation and reference data, then the assessment based on The Sustainability Index of Waterfront Industrial Estate (IKKITA), there are 9 indicator variables from the main pillars sustainability, the social, economic and environmental aspects, those are have been formulated in previous researche. The results of the sustainability assessment of the Kariangau industrial area is can be categorized as sustainable, but it is founded that one indicator from the social aspect, the Indicator PDAM Water Resource Availability is has a score below 0.75 which means it is not sustainable, so that the sustainable status of the area is not absolute.

Kata Kunci: Indeks keberlanjutan, kawasan industri, kawasan tepi air

1. Pendahuluan

Kawasan Industri terintegrasi pada kota kota di Indonesia memberikan dampak ekonomi yang sangat besar terhadap kawasan-kawasan perkotaan, baik dalam skala mikro maupun makro, nilai tambah, efisiensi suatu wilayah [1]. Kawasan Industri Kariangau (KIK) yang berada di Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, menurut [2], memberikan dampak perubahan dampak pada pola kehidupan masyarakat sebelumnya, terutama dalam aspek ekonomi. Hal tersebut dapat dilihat dari mata pencarian sebelumnya yang mayoritas sebagai petani dan nelayan. Selain itu perubahan juga terlihat dari aspek

lingkungan, dimana terjadinya alih fungsi lahan untuk memenuhi kebutuhan ruang komersial.

Secara geografis sebagian besar Kawasan Industri Kariangau terletak disekitar pesisir Teluk Balikpapan, menurut Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) kota Balikpapan tahun 2005-2015, kawasan tersebut merupakan kawasan konservasi hutan mangrove yang dilindungi Perda No.5 Tahun 2006 [3] mengungkapkan bahwa kontribusi ruang terbuka hijau Kariangau dimasa mendatang mencapai luas 36.84 Ha, yang mana akan memberikan kontribusi terhadap ruang terbuka hijau kota Balikpapan sebesar 0.09%, sehingga pengawasan terhadap keberlanjutan kawasan ruang terbuka atau aspek lingkungan menjadi sangat penting.



Pembangunan industri yang terus meningkat dapat memberikan dampak positif terhadap segi sosial kemasyarakatan suatu perekonomian serta pendapatan daerah, akan tetapi berdampak negatif dari sisi sosial dan lingkungan dimasa mendatang [4]. Dengan demikian [5] berpendapat, bahwa dalam pembangunan satu kawasan industri harus selalu dikelola dan diawasi secara terus-menerus, khususnya dari pencemaran lingkungan. Agar dapat mengurangi dampak negatif dari perkembangan kawasan industri, maka dalam perencanaan kawasan dapat diterapkan konsep keberlanjutan.

Konsep keberlanjutan berawal pada laporan Brundtland tahun 1987, yang menyebutkan tentang ketengangan aspirasi umat manusia dengan penafsiran tiga dimensi, diantaranya sosial, ekonomi, dan lingkungan [6]. Dalam penerapan proses keberlanjutan menurut [7], dapat tercapai melalui keseimbangan antara ketiga pilar keberlanjutan, yang mana pilar tersebut terdiri dari aspek sosial, ekonomi, serta lingkungan.

Terkait isu di kawasan industri, khususnya Kawasan Industri Kariangau maka penelitian ini bertujuan agar dapat menilai atau mengetahui status keberlanjutan kawasan industri Kariangau, berdasarkan dari 3 aspek pilar keberlanjutan yaitu sosial, ekonomi, dan lingkungan yang mana sudah dirumuskan dipenelitian sebelumnya yaitu Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA) yang dirumuskan menggunakan analisis AHP dan *Expert Choice* yang telah dirumuskan pada penelitian sebelumnya.

2. Metode Penelitian

2.1. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan selama lima bulan, dimulai dari bulan Januari 2019, hingga bulan mei 2019, di Kawasan Industri Kariangau, tepatnya di kelurahan Kariangau, Kecamatan Balikpapan Barat, Kota Balikpapan, Kalimantan Timur, Indonesia. Luas wilayah penelitian mencapai 217,442 km², atau sekitar 35,75% luas kota Balikpapan. Terdiri dari wilayah perairan seluas 37,39 km², dan wilayah daratan seluas 179,952 km².

2.2. Pengumpulan Data

Data primer pada penelitian ini dilakukan menggunakan peta citra terbaru dari Bappeda,

yang mana akan diuji berdasarkan indeks keberlanjutan yang dihasilkan dan dioverlay menggunakan software ArcGis sehingga dapat ditemukan jarak, luasan, kerapatan dan pola ruang yang mana akan dihitung dan diberi skor dari tiap-tiap variabel pada aspek ekonomi dan lingkungan. Pada aspek sosial pendekatan yang dilakukan melalui olah data primir literatur data Badan Pusat Statistik sebagai.

3. Teknik Analisis

Variabel penelitian menurut [8], merupakan suatu atribut, sifat atau nilai dari orang, objek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya. Dalam penelitian ini variable yang digunakan adalah Indeks keberlanjutan kawasan industri ditepi air yang terdiri dari 9 indeks yang sudah di hasilkan dari penelitian sebelumnya[9].

Tabel 1. Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Ditepi Air (IKKITA)

1. Aspek Sosial

Variabel	Indikator	Sumber
Koefisien Gini	3 0-0,33	Indeks pembangunan manusia [10]
	2 0,33 – 0,70	
	1 0,70 – 1.0	
Ketersediaan sumber air PDAM	3 Tersedia	belum tersedia data referensi
	2 Tersedia tidak menyeluruh	
	1 Tidak Tersedia	
Tingkat pengangguran setiap tahun terhadap angkatan kerja	3 0 – 5%	Indeks Pembangunan Manusia . [10]
	2 5 – 10%	
	1 10%-lebih tinggi	

2. Aspek Ekonomi

Variabel	Indikator	Sumber
Kerapatan bangunan permukiman	3 Baik	Model reklamasi berkelanjutan [8]
	2 Kurang	
	1 Buruk	
Taraf kehidupan hunian	3 kualitas bangunan baik	model infrastruktur perkotaan yang berkelanjutan di reklamasi pantai utara jakarta. [11]
	2 kualitas bangunan sedang	
	1 kualitas bangunan buruk	
Ketersediaan transportasi publik	3 tersedia	model infrastruktur perkotaan yang berkelanjutan di reklamasi pantai utara jakarta. [11]
	2 kurang	
	1 tidak tersedia	



3. Aspek Lingkungan

Variabel	Indikator	Sumber
Ketersediaan konservasi air	3 Tersedia	Model reklamasi berkelanjutan [8]
	2 kurang	
	1 tidak tersedia	
Rata rata ruang terbuka hijau	3 30% hingga lebih	Persentase ruang terbuka hijau di atur oleh UU no. 26 tahun 2007, tentang penataan ruang adalah minimal 30% dari luas perkotaan
	2 10-30%	
	1 0-10%	
Jarak dari lingkungan sensitive dan area hutan lindung	3 5km	Mengembangkan Pengukuran Indeks Keberlanjutan untuk Area Reklamasi.[8]
	2 1-5km	
	1 0-1km	

3.1. Indikator Aspek Sosial

Berdasarkan aspek sosial, ketiga indikator dihitung berdasarkan Koefisien GINI dari tiap kota di Indonesia merujuk data publikasi badan pusat statistik tahun 2019, ketersediaan sumber air PDAM, tingkat pengangguran tiap tahun terhadap angkatan kerja yang didapat dari badan pusat statistik kota Balikpapan 2019.

3.2. Indikator Aspek Ekonomi

Tiga indikator yang terdapat dalam aspek ekonomi dinilai berdasarkan kerapatan bangunan permukiman, taraf kehidupan hunian, kualitas bangunan baik, serta ketersediaan transportasi publik untuk mengetahui keberlanjutan kawasan industri.

3.3. Indikator Aspek Lingkungan

Dilihat dari aspek lingkungan, ketiga indikator dapat dihitung berdasarkan hasil overlay digitasi arcgis dengan indikator ketersediaan konservasi air, lingkungan, rata rata ruang terbuka hijau dan jarak dari lingkungan sensitive dan area hutan lindung.

3.4. Keberlanjutan Kawasan

Perumusan nilai keberlanjutan kawasan secara total meliputi 3 aspek tersebut, dan akan dihitung menggunakan perhitungan skor dengan memasukkan rentang interval 1.00 hingga 3.00 untuk mengetahui status keberlanjutan kawasan tersebut.

Perhitungan skor dari tiap-tiap indikator variable dijabarkan dengan perumusan matematika sebagai berikut :

$$NI = SI \times (PB/2)$$

dimana:

NI = Nilai Indikator

SI = Skor Indikator

Pb = Pembobotan

Perhitungan Total skor keberlanjutan untuk dapat dimasukkan kedalam kategori kriteria keberlanjutan dapat dihitung berdasarkan perumusan berikut :

$$TI = NI^{v1} + NI^{v2} + NI^{v3} + NI^{v4} + NI^{v5} + NI^{v6} + NI^{v7} + NI^{v8} + NI^{v9}$$

dimana :

NI = Nilai Indikator

TI = Total Indeks Keberlanjutan

NI^{v1} = Koefisien GINI

NI^{v2} = Ketersediaan sumber air PDAM

NI^{v3} = Tingkat penangguran setiap tahun terhadap angkatan kerja

NI^{v4} = Kerapatan bangunan permukiman

NI^{v5} = Taraf kehidupan hunian

NI^{v6} = Ketersediaan transportasi publik

NI^{v7} = Ketersediaan konservasi air

NI^{v8} = Rata rata ruang terbuka hijau

NI^{v9} = Jarak dari lingkungan sensitive dan area hutan lindung

Ukuran status disajikan pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Tabel ukur keberlanjutan kawasan

Indeks Keberlanjutan	Kriteria
Berkelanjutan	Nilai total 2,35 – 3,00 , salah satu nilai indikator tidak boleh kurang dari 0.75
Kurang berkelanjutan	Nilai total 1,67 – 2,34
Tidak berkelanjutan	Nilai total 1.00 – 1.66

4. Hasil dan pembahasan

Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri di Tepi air (IKKITA) pada penelitian ini menfokuskan pada 3 faktor aspek keberlanjutan perkotaan, yaitu aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan.



4.1. Penilaian Aspek Sosial

Pada hasil penelitian sebelumnya telah dirumuskan dalam Indeks keberlanjutan Kawasan industri di tepi air dengan aspek sosial yang dapat diuji dan sudah memiliki kriteria dan skor untuk tiap-tiap kriteria.

Kriteria pertama adalah ketersediaan sumber air PDAM, pada peta yang didigitasi pada Kawasan Industri Kariangau dinilai belum tersedia yang mana telah di validasi dengan survei lapangan bahwa kawasan industri kariangau belum terdapat fasilitas air bersih PDAM dan kawasan ini masih menggunakan air tanah sebagai bahan baku air bersih. Penilaian keberlanjutan pada kriteria ketersediaan sumber air PDAM di nilai (1) atau tidak tersedia.

Pada kriteria kedua yaitu tingkat pengangguran setiap tahun terhadap angkatan kerja, data rujukan Badan Pusat statistik (2019) yang dinilai adalah Jumlah angkatan kerja di Kota Balikpapan pada Agustus 2019 mencapai 319.774 jiwa, meningkat sebanyak 9.985 jiwa dibanding angkatan kerja agustus 2018 sebesar 309.789 jiwa. Data yang menjadi rujukan pada penilaian kriteria ini adalah data Badan statistik kota Balikpapan dalam 1 tahun terakhir. Kriteria 7,29% dinilai kurang berkelanjutan oleh peneliti dengan skor (2) dalam indeks keberlanjutan.

Tabel 3. Indeks GINI rasio

Jenis Kegiatan	2018	2019
Angkatan kerrja	309.789	319.774
Bekerja	280.297	300.974
Pengangguran terbuka	29.491	18.800
Bukan angkatan kerja	171.792	189.950

Sumber: Badan Pusat Statistik

Kriteria ketiga pada aspek sosial adalah kriteria koefisien GINI, dimana data rujukan adalah data badan pusat statistic kota Balikpapan Tahun 2019 sebesar 0.330 pada Tahun 2019. Referensi koefisien gini pada periode tiap tahun bisa di lihat di tabel di bawah ini. Pada kriteria ini Kawasan Industri Kariangau bisa peneliti simpulkan bahwa secara rata rata rasio gini skor adalah (1) atau kurang berkelanjutan, berdasarkan kriteria aspek sosial.

Tabel 4. Indeks GINI Rasio

Wilayah	2018	2019
Kalimantan timur		
Kota	0.350	0.338
Desa	0.287	0.383
Gini Ratio	0,342	0,330

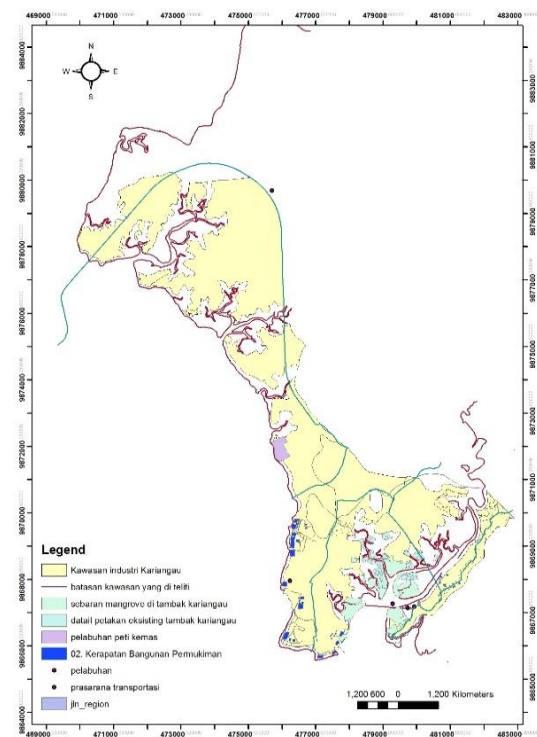
Sumber: Badan Pusat Statistik

Ketiga kriteria dari aspek sosial yang sudah diolah sebelumnya akan di hitung menggunakan referensi skor indeks dan nilai akumulasi dari total pembobotan agar ditemukan status keberlanjutan pada aspek sosial.

Pada tabel di atas terdapat 1 kriteria yang tidak berkelanjutan yaitu ketersediaan sumber air PDAM dan 2 kriteria lainnya yang masuk dalam skor kurang berkelanjutan.

4.2. Penilaian Aspek Ekonomi

Aspek berikutnya yang diteliti menggunakan data spasial atau Analisis SIG adalah aspek ekonomi, dimana terdapat 3 indikator yang bisa digunakan untuk mengukur kawaasan industri tepi air Kariangau berkelanjutan apa tidak.



Gambar 1. Peta digitasi kawasan industri kariangau pada aspek ekonomi



Indikator pertama yaitu kerapatan bangunan, yang diukur berdasarkan kriteria jarak antar bangunan yang menyesuaikan kaidah koefisien dasar bangunan kota Balikpapan. Pada aspek ini Kawasan industri Kariangau disimpulkan memiliki skor (3) atau berkelanjutan.

Indikator kedua adalah taraf kehidupan hunian pada kawasan industri, indikator ini dianalisa dengan kondisi rata-rata hunian bangunan di Kawasan Industri Kariangau yang legal secara hukum atau memiliki surat-surat kepemilikan lengkap. Maka hasil penilaian adalah (2) kurang berkelanjutan, divalidasi menggunakan observasi lapangan terdapat sengketa lahan dan kawasan ilegal diatas air.

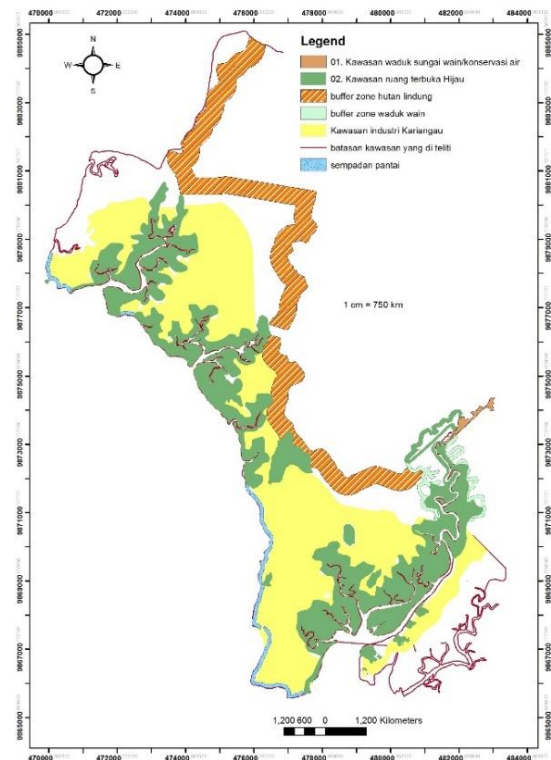
Pada Indikator terakhir dalam aspek ekonomi, akan diukur ketersediaan transportasi publik berbasis transportasi darat dan laut. Analisa pada peta spasial adalah letak pelabuhan umum, pelabuhan ferry, terminal, hingga jalur jalan bus dan angkutan umum. Pada indikator ini Kawasan Industri Kariangau dinilai dengan skor (3) berkelanjutan karena kelengkapan ketersediaan transportasi publik, walaupun telah divalidasi terdapat permasalahan.

4.3. Penilaian Aspek Lingkungan

Proses digitasi pemetaan menggunakan software arcgis secara digitasi pada Kawasan industri tepi air Kariangau dapat dilihat pada peta di bawah ini. Kawasan Industri Kariangau yang diteliti adalah peta dengan latar belakang berwarna kuning, dan luas penilaian dari indikator lingkungan diklasifikasikan kedalam 3 kriteria.

Pada aspek lingkungan yang diukur pada kriteria pertama adalah kawasan terbuka hijau terdapat 45% kawasan ruang terbuka hijau di Kawasan Industri Kariangau yang dibedakan berdasarkan jenisnya seperti kawasan perlindungan setempat, ruang terbuka hijau, kawasan suaka alam. Pada kriteria pertama ini skor ruang terbuka hijau adalah (3) berkelanjutan.

Kemudian kriteria kedua yaitu ketersediaan konservasi air mendapatkan skor indeks 3 atau berkelanjutan berkelanjutan karena terdapat daya dukung kawasan hutan lindung sungai Wain dan waduk Manggar.



Gambar 2. Hasil digitasi aspek lingkungan

Kriteria ketiga adalah jarak dari lingkungan sensitif dan area hutan lindung mendapatkan skor (3) yaitu berkelanjutan. Kawasan Industri Kariangau menyediakan lahan buffer yang memisahkan kawasan industri dengan kawasan hutan lindung sungai wain dengan rentang 15km.

4.4. Hasil Penilaian Keberlanjutan Kawasan Industri Kariangau

Perumusan nilai atau skor dari keberlanjutan Kawasan Industri Kariangau melalui 3 aspek ekonomi, sosial dan lingkungan yang sebelumnya sudah dijabarkan pada pembahasan diatas. Semua nilai skor dari tiap tiap variable indeks akan dihitung dengan perhitungan yang matematika :

Untuk mengetahui keberlanjutan secara menyeluruh pada kawasan industri ditepi air Kariangau yaitu menggunakan tabel status keberlanjutan yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini (Tabel 4).

Berdasarkan nilai total indeks sebesar 2.47 maka Kawasan Industri Kariangau dinilai sebagai kawasan industri berkelanjutan, karena skor berada didalam rating 2.37 – 3.00 berdasarkan tabel keberlanjutan. Namun dari total nilai keberlanjutan kawasan terdapat persyaratan yang kurang dari 0,75 sehingga status keberlanjutan tidak mutlak terhadap

Kawasan Industri Tepi Air Kariangau. Indikator yang secara individual memiliki nilai kurang dari 0.75 adalah aspek sosial yaitu 0.63, hal ini

menjadi perlu perhatian khusus bahwa kawasan industri harus memikirkan dampak sosial kepada masyarakat sekitar.

Table 4. Hasil penilaian kawasan industri

Aspek	Indikator	Nilai	Pembobotan	Pembobotan Indeks	Nilai dari Indeks	
Lingkungan	Rata rata ruang terbuka hijau	40%	3	0.23	0.11	0.34
	Ketersediaan ruang untuk konservasi air	Tersedia	3	0.27	0.13	0.40
	Jarak dari lingkungan sensitive dan area hutan lindung	15km	3	0.16	0.08	0.24
Sosial	Ketersediaan sumber air PDAM	Tidak tersedia	1	0.26	0.13	0.13
	Tingkat pengangguran setiap tahun terhadap Angkatan kerja	7,29%	2	0.17	0.09	0.17
	Koefisien GINI	0.380	2	0.33	0.16	0.33
Ekonomi	Kerapatan bangunan permukiman	Baik	3	0.26	0.13	0.39
	Taraf kehidupan hunian	Sedang	2	0.21	0.10	0.21
	Ketersediaan transportasi publik	tersedia	3	0.18	0.09	0.27
Total Skor Indeks			2.06	1.03	2.47	

5. Kesimpulan

Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa Kawasan Industri Kariangau menggunakan Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Tepi Air (IKKITA) dan ditemukan aspek sosial pada saat penelitian ini dilakukan menghasilkan skor kurang berkelanjutan. Salah satu temuan indikator penting yang memiliki nilai skor terendah adalah ketersediaan sumber air PDAM, dimana kawasan industri kariangau tidak menyediakan air baku yang menjadi faktor penting keberlanjutan kawasan industri secara keseluruhan.

Referensi

- [1] Winardi, D. S. Priyarsono, H. Siregar, and H. Kustanto, "Impacts of Industrial Estate Development Policy on Household Poverty in West Java Province," *Int. J. Sci. Basic Appl. Res.*, vol. 4531, pp. 308–317, 2017.
- [2] Wahyudi, "Dampak Pengembangan Kawasan Industri Kariangau (KIK) Terhadap Peningkatan Kesejahteraan Masyarakat (Studi di Kelurahan Kariangau Kecamatan Balikpapan Barat Kota Balikpapan)," 2009.
- [3] R. Fakhrian, H. Hindersah, and H. Burhanudin, "Arahan Pengembangan Sabuk Hijau (Green Belt) di Kawasan Industri Kariangau (KIK) Kota Balikpapan," *Pros. Penelit. Spes.*, pp. 15–20, 2015.
- [4] Zaenuri, "Dampak Pengoperasian Industri Terhadap Kualitas Udara Dan Kebisingan Di Kawasan Simongan Kota Semarang," *Saintekno*, vol. 9, no. 2, pp. 169–178, 2011.
- [5] T. Wikaningrum, "Model kebijakan strategis pengelolaan lingkungan kawasan industri (Studi Kasus Kawasan Industri Jababeka dan EJIP di Kabupaten Bekasi)," *J. Pengelolaan Sumberd. Alam dan Lingkung. (Journal Nat. Resour. Environ. Manag.)*, vol. 9, no. 3, pp. 802–817, 2019.
- [6] T. Kuhlman and J. Farrington, "What is sustainability?," *Sustainability*, vol. 2, no. 11, pp. 3436–3448, 2010.
- [7] T. Klarin, "The Concept of Sustainable Development: From its Beginning to the Contemporary Issues," *Zagreb Int. Rev. Econ. Bus.*, vol. 21, no. 1, pp. 67–94, 2018.
- [8] A. Yurnita, S. Trisutomo, and M. Ali, "Developing Sustainability Index Measurement For Reclamation Area," *Icsbe*, pp. 386–395, 2016.
- [9] A. Fitrianto, "Indeks Keberlanjutan Kawasan Industri Ditepi Air Studi Kawasan Industri Kariangau Kota Balikpapan," University Hasanuddin Makassar, 2020.
- [10] M. B. Setiawan and A. Hakim, *Indeks Pembangunan Manusia Indonesia*. 2008.
- [11] S. A. Azwar, E. Suganda, P. Tjiptoherijanto, and H. Rahmayanti, "Model of Sustainable Urban Infrastructure at Coastal Reclamation of North Jakarta," *Procedia Environ. Sci.*, vol. 17, pp. 452–461, 2013.



Analisis Perbandingan Kadar Bijih Nikel Laterit antara Data Bor dan Produksi Penambangan: Implikasinya Terhadap Pengolahan Bijih Pada Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Sorowako

Mifta Achmad Faiz^{1*}, Sufriadin¹, Sri Widodo¹

¹Departemen Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: faizma15d@student.unhas.ac.id

DOI: 10.25042/jpe.052020.13

Abstrak

Nikel laterit merupakan endapan bijih nikel yang terbentuk dari proses pelapukan batuan ultramafik. Sekitar 72% sumber daya nikel dunia berasal dari endapan nikel laterit dan sekitar 15,8% endapan nikel laterit terdapat di Indonesia. Penelitian ini dilakukan di Blok X, PT Vale Indonesia yang terletak di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kadar bijih nikel laterit antara data bor dan data produksi penambangan, korelasi Ni dengan unsur Mg, Si, Co dan Fe serta implikasinya terhadap pengolahan bijih. Bijih nikel laterit pada data bor memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,88%, Fe sebesar 21,84%, Co sebesar 0,09%, SiO₂ sebesar 29,89%, MgO sebesar 18,32% dan rasio S/M sebesar 1,63. Selanjutnya bijih nikel laterit pada data produksi memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,76%, Fe sebesar 18,59%, Co sebesar 0,07%, SiO₂ sebesar 33,96%, MgO sebesar 21,66% dan rasio S/M sebesar 1,57. Perbedaan tersebut diakibatkan oleh beberapa faktor seperti penyebaran bijih yang tidak merata, dilusi bijih, dan operasional penambangan. Korelasi unsur nikel dengan silika menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar +0,3411, dengan magnesia sebesar +0,411, dengan unsur besi sebesar -0,4284 dan dengan kobalt sebesar -0,0271. Hasil perbandingan antara data produksi penambangan dan data spesifikasi umpan pabrik peleburan menunjukkan bahwa secara umum bijih hasil penambangan selama tahun 2019 telah memenuhi spesifikasi. Hal ini ditunjukkan oleh data sekitar 66% (8 dari 12 bulan) menunjukkan kadar Fe dan S/M yang memenuhi syarat. Selanjutnya produk penambangan pada blok X ini di-blending hingga memenuhi spesifikasi umpan yang diminta oleh pabrik pengolahan.

Abstract

Comparative Analysis of Laterite Nickel's Grade Between Drilling Data and Mining Production: Implications for Ore Processing at Blok X, PT. Vale Indonesia, Tbk. Sorowako. Laterite nickel is the nickel ore deposit formed by weathering of ultramafic rocks. Approximately 72% of world nickel resources are contained in laterite deposits and around 15.8% deposits are found in Indonesia. This study was conducted at Block X, PT Vale Indonesia, located in Nuha, East Luwu Regency, South Sulawesi Province. This study aims to identify the differences of nickel laterite grade of the drill holes data and the mining production data, correlation of Ni with Mg, Si, Co, Fe and implications for processing of the ore. Based on the identification results, laterite nickel in drill hole data contain average grade of Ni 1.88%, Fe is 21.84%, Co is 0.09%, SiO₂ is 29.89%, MgO is 18.32% and S/M ratio is 1.63. Laterite nickel in mining production data contain average grade of Ni 1.76%, Fe is 18.59%, Co is 0.07%, SiO₂ is 33.96%, MgO is 21.66% and S/M ratio is 1.57. There are differences due to several factors such as the uneven distribution of ore, grade shifting, and mining operation. Correlation of nickel element with silica (SiO₂) show correlation coefficient value (r) +0.3411, with magnesia (MgO) +0.411, with Fe -0.4284 and with Co -0.0271. The results of comparisons between mining production data and feed specification on processing plant data indicate that mining products during 2019 have generally met the specified grade specifications. This is indicated by data about 66% (8 of 12 months) showing the results of Fe and S/M levels that are on specification. Furthermore, the mining products at Block X are blended to meet the feed specifications requested by the processing plant.

Kata Kunci: Analisis korelasi, data bor, kadar, pengolahan bijih, produksi penambangan, nikel laterit

1. Pendahuluan

Nikel merupakan unsur kimia logam dengan nomor atom 28 dan berat atom 58,6934. Nikel merupakan logam fasa padat dengan massa jenis sekitar 8,902 g/cm³ pada suhu 19,85°C serta konduktivitas elektrik sebesar 22%. Titik lebur

nikel berada pada suhu 1453°C dan setelah melebur akan berubah menjadi fasa cair dengan titik didih sebesar 2732°C. Struktur kristal dari mineral nikel adalah kubus berpusat muka dengan kekerasan 3,8 Mohs [1].



Bijih nikel laterit merupakan salah satu sumber daya mineral yang melimpah di Indonesia. Cadangan bijih nikel laterit di Indonesia mencapai 12% cadangan nikel dunia, yang tersebar di Pulau Sulawesi, Maluku, dan pulau kecil-kecil disekitarnya. Bijih nikel laterit digolongkan menjadi dua jenis, yaitu saprolit yang berkadar nikel tinggi dan limonit yang berkadar nikel rendah. Perbedaan menonjol dari dua jenis bijih ini adalah kandungan Fe (besi) dan Mg (magnesium), bijih saprolit mempunyai kandungan Fe rendah dan Mg tinggi sedangkan limonit kandungan Fe tinggi dan Mg rendah [2].

Nikel laterit dicirikan oleh adanya material yang berwarna coklat kemerahan mengandung Ni dan Fe [3]. Salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan endapan nikel laterit adalah morfologi, batuan asal, dan tingkat pelapukan [4]. Keberadaan endapan nikel laterit umumnya banyak tersebar pada daerah-daerah seperti di Provinsi Sulawesi Selatan dijumpai pada daerah Sorowako Kabupaten Luwu Timur. Selain itu, endapan nikel laterit juga dijumpai di daerah Sulawesi Tengah yaitu Kabupaten Morowali, Kabupaten Luwuk Banggai, Sulawesi Tengah [5] serta daerah Palangga, Sulawesi Tenggara [6].

Pulau Sulawesi terletak di bagian tengah Kepulauan Indonesia, dimana terdiri dari empat sabuk litotektonik, yaitu Busur pluto-vulkanik dari selatan hingga utara lengan Pulau Sulawesi, Sabuk metamorfik di bagian tengah, memanjang dari tengah ke tenggara, Sabuk ofiolit di bagian timur-tenggara, dan Banggai-Sula dan Tukang Besi *microcontinent* [7]. Pada daerah Sorowako batas antara zona lateritisasi terlihat sangat jelas. Pada bagian atas dijumpai adanya *top soil* yang terdiri dari humus dan pepohonan. Bagian bawah *top soil* dijumpai adanya lapisan *overburden* dengan komposisi utama berupa Fe, Cr, Mn, dan Co. Bagian bawah *overburden* dijumpai adanya Zona Limonit dan Zona Saprolit dijumpai pada bagian bawah Zona Limonit sedangkan zona paling bawah berupa *bedrock* yang merupakan batuan segar yang belum mengalami proses pelapukan [8].

PT. Vale Indonesia, Tbk. merupakan perusahaan tambang dan pengolahan bijih nikel terintegrasi yang beroperasi di Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Sulawesi Selatan. Operasi bisnis PT Vale Indonesia Tbk terdiri dari penambangan dan pengolahan bijih. PT. Vale

menambang dan mengolah nikel laterit untuk menghasilkan produk akhir berupa nikel dalam matte. Volume produksi nikel PT. Vale rata-rata mencapai 75.000 metrik ton per tahun. Produksi PT. Vale memasok 4% kebutuhan nikel dunia [9].

Operasi penambangan pada PT. Vale menggunakan metode *open cast mining*. Namun pada prosesnya terdapat permasalahan seperti perbedaan kadar nikel laterit dari data hasil pengeboran dengan data hasil produksi penambangan. Perbedaan ini harus segera diidentifikasi dan dicarikan solusi, karena apabila hal ini dibiarkan maka ketidaksesuaian ini dapat terjadi berulang dan akan menyebabkan kerugian terhadap perusahaan. Selain itu kandungan kadar dari Ni laterit hasil penambangan menjadi salah satu permasalahan yang ada di PT. Vale Indonesia, dimana kadar Ni laterit tersebut tidak sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan oleh pabrik pengolahan. Akibatnya jika diteruskan akan mengancam kondisi *electric furnace* yang digunakan dalam proses pengolahan dan peleburan.

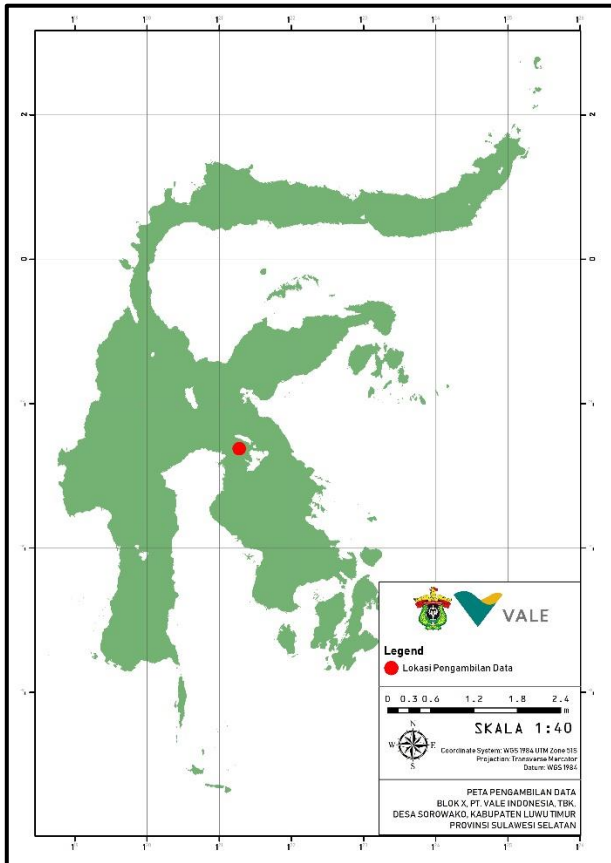
Berdasarkan informasi di atas, maka diadakan penelitian dengan tujuan menganalisis perbandingan kadar dan korelasi dari nikel, besi, dan unsur lain pada data bor dengan data produksi penambangan di Blok X, PT. Vale Indonesia, Sorowako, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan serta bagaimana implikasinya terhadap pengolahan bijih.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Blok X, PT. Vale Indonesia Tbk yang berada di daerah Sorowako yang merupakan lokasi pertambangan *open cast* nikel laterit terbesar di Indonesia, serta penghasil utama dari *nickel ore/matte* untuk dikirim ke Jepang. Secara administratif Desa Sorowako berada di Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.

Data yang digunakan merupakan data bor pada blok X, data produksi penambangan pada blok X, data spesifikasi umpan pada pabrik pengolahan, dan peta batas pit blok X PT. Vale Indonesia, Tbk.





Gambar 1. Peta lokasi penelitian

Penelitian ini dimulai dengan rekapitulasi data produksi penambangan pada blok X, rekapitulasi kadar pada data pengeboran blok X, melakukan analisis perbandingan dan korelasi kadar Nikel Laterit pada data produksi dan data bor, melakukan pengecekan implikasi kadar produksi penambangan terhadap pengolahan Bijih Nikel Laterit, dan pembuatan peta distribusi kadar Nikel, Besi dan rasio S/M pada blok X PT. Vale Indonesia.

2.1. Kadar Rata-Rata Data Bor

Data pengeboran pada blok X diperoleh dari Mine engineering division PT. Vale Indonesia. Data bor merupakan data yang memuat informasi koordinat, kadar, dan ketebalan bijih (ore thickness) masing-masing titik bor.

Tabel 1. Kadar rata-rata bijih dari data bor

No	Elemen/Senyawa	Kadar
1	Ni	1,88 %
2	Fe	21,84 %
3	Co	0,09 %
4	SiO ₂	29,89 %
5	MgO	18,32 %
6	Rasio S/M	1,63

Data bor ini memuat informasi dari 298 titik dengan jarak antaranya sebesar 25 m. Untuk kedalaman titik bor berada pada kisaran 10 – 42 meter. Data dari bor ini akan dirata-ratakan dan hasilnya nantinya akan dibandingkan dengan kadar pada data produksi penambangan untuk mengetahui korelasi dan perbedaan yang ada menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Kadar rata-rata bor dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2. Kadar Rata-Rata Data Produksi

Data produksi penambangan pada blok X diperoleh dari Product Cost Center di Mine engineering division PT. Vale Indonesia. Data ini memuat tentang produksi tonase dan kadar tiap kompartemen yang ada di east dan west block Sorowako seperti yang terekam pada Screening Station. Namun pada penelitian ini kita hanya akan berfokus pada data kadar. Berikut merupakan data produksi tahun 2019 pada blok X. Kadar rata-rata data produksi dapat dilihat pada Tabel 2.

2.3. Perbandingan Kadar serta Korelasi Kadar Nikel Laterit

Langkah selanjutnya adalah perbandingan kadar Nikel Laterit pada data produksi penambangan dan data bor. Langkah ini dikerjakan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Melalui perbandingan ini diharapkan faktor penyebab terjadinya perbedaan antara kadar rata-rata pada data penambangan dan kadar rata-rata pada data bor dapat diketahui.

Tabel 2. Kadar rata-rata data produksi

No	Elemen/Senyawa	Kadar
1	Ni	1,76%
2	Fe	18,59%
3	Co	0,07%
4	SiO ₂	33,96%
5	MgO	21,66%
6	Rasio S/M	1,57

Selanjutnya dilakukan analisis untuk mengetahui korelasi antara kadar dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Analisis ini dilakukan dengan mencari nilai koefisien korelasi dan nilai koefisien determinan menggunakan persamaan Pearson [10].

2.4. Implikasi Kadar Produksi Penambangan terhadap Pengolahan Bijih

Pada tahap ini, kadar nikel laterit pada data produksi penambangan akan dibandingkan dengan spesifikasi umpan dari pabrik pengolahan PT. Vale Indonesia. Tujuannya untuk memberikan rekomendasi perlakuan terhadap bijih nikel laterit hasil penambangan agar dapat diolah secara maksimal pada pabrik pengolahan PTVI. Pengerjaan langkah ini dilakukan dengan perangkat lunak *Microsoft Excel*.

2.5. Pembuatan Peta Distribusi Kadar

Tahapan terakhir adalah pembuatan peta distribusi kadar nikel laterit. Pembuatan peta ini menggunakan perangkat lunak ArcGIS dan menggunakan informasi kadar Ni, Fe dan rasio S/M dari data bor blok X. Pada peta ini pula ditambahkan informasi elevasi, kontur dan peta batas pit blok X (*boundary pit* blok X) untuk memperjelas lokasi dari blok X.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perbandingan Kadar Bijih Nikel Laterit

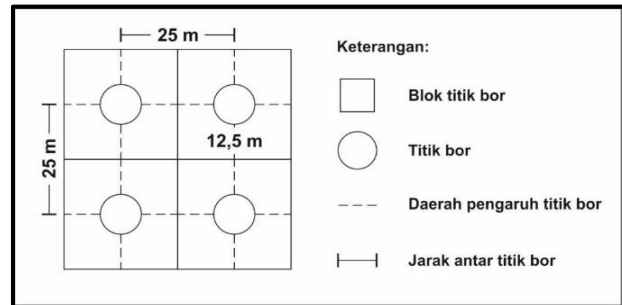
Perbandingan kadar Nikel laterit (Ni, Fe, Co, SiO₂, MgO dan Rasio S/M) pada data bor dan data produksi penambangan dapat dilihat pada Tabel 3. Tabel 3 menunjukkan bahwa hasil analisis kadar nikel, besi dan kobalt pada data bor lebih tinggi dibandingkan hasil analisis pada data produksi. Namun untuk hasil analisis kadar SiO₂ dan MgO pada data produksi lebih tinggi daripada data bor.

Tabel 3. Perbandingan komposisi kimia bijih dari data bor dan data produksi

No	Elemen/ Senyawa	Kadar Data Bor	Kadar Data Produksi
1	Ni	1,88 %	1,76%
2	Fe	21,84 %	18,59%
3	Co	0,09 %	0,07%
4	SiO ₂	29,89 %	33,96%
5	MgO	18,32 %	21,66%
6	Rasio S/M	1,63	1,57

Terdapatnya perbedaan diakibatkan beberapa faktor. Data kadar yang didapatkan dipengaruhi oleh jarak antara titik bor (25 m) dan daerah pengaruh titik bor (12,5 m), sedangkan bijih nikel

laterit memiliki penyebaran yang sangat variatif sehingga dengan jarak 1 m dari titik bor bisa saja terjadi kenaikan atau penurunan kadar dari bijih nikel tersebut. Hal ini yang menyebabkan penyebaran bijih (ore) yang tidak merata. Ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi titik bor

Faktor lain adalah dilusi bijih (*ore*), perubahan kadar bijih pada saat penambangan akan mempengaruhi kadar yang diperoleh. Pengurangan kadar ini disebabkan karena adanya material yang kemungkinan memiliki kadar nikel rendah yang ikut tercampur dalam bijih.. Ada beberapa hal yang dapat mempengaruhi kualitas atau kadar bijih, diantaranya posisi *waste* terhadap bijih dan cuaca serta medan kerja. Posisi *waste* terhadap bijih dan hujan mempengaruhi kadar karena daerah penggalian bijih yang lebih rendah dari lokasi pengupasan tanah penutup akan lebih rawan terhadap pengotoran (dijumpai material *waste*), sebab jika terdapat aliran air atau terjadi hujan, maka daerah penggalian bijih akan mengalami dilusi dari material yang terbawa bersama air. Sedangkan medan kerja berpengaruh pada kemampuan kerja alat. Pada daerah yang datar alat akan lebih baik bekerja. Sedangkan pada daerah yang bergelombang atau berbukit, alat akan sulit untuk melakukan penggalian sehingga bijih yang kualitasnya baik, tidak bisa diambil.

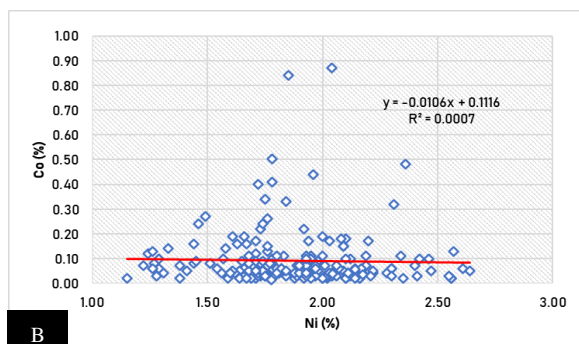
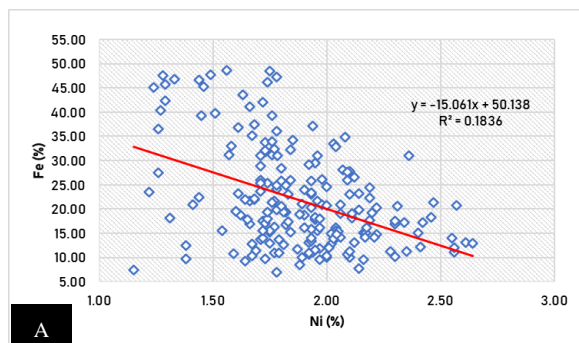
Faktor terakhir adalah pengambilan dan preparasi sampel. Kelalaian terhadap cara-cara pengambilan sampel sebagaimana yang telah ditetapkan, akan menyebabkan terjadinya penurunan kadar. *Belt sampling* adalah metode *sampling* yang dilakukan ketika sejumlah bijih lot dipindahkan melalui *conveyor belt*, sejumlah sampel harus diambil dari permukaan sabuk dan tempat keluaran *conveyor*. Pada proses ini rawan terjadi kesalahan karena tidak representatif dan akuratnya proses *sampling*.

Selanjutnya kesalahan yang terjadi pada proses preparasi akan sangat mempengaruhi hasil analisis kadar nikel dan unsur-unsur lainnya, terutama pada tahapan *quartering*, jika dilakukan dengan kurang baik maka sampel yang akan analisis tidak bersifat representatif atau benar-benar mewakili kadar bijih yang lainnya.

3.2. Korelasi Unsur-unsur pada Bijih Nikel Laterit

Korelasi kadar nikel laterit pada data bor dan data produksi dilakukan berpatokan pada variasi karakteristik kimia dari bijih endapan Nikel laterit. Korelasi Ni dengan Fe dan Ni dengan Co ditunjukkan pada Gambar 3.

Korelasi Ni dengan Fe, Ni merupakan *semi mobile element* dan Fe merupakan elemen *immobile* selama proses *enrichment* berlangsung [11]. Nilai koefisien determinasi (R^2) antara Ni dengan Fe adalah sebesar 0,1836 sehingga nilai koefisien korelasi (r) adalah -0,4284, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Ni yang terus meningkat dapat mempengaruhi berkurangnya konsentrasi Fe sebesar 42,84%. Korelasi antara Fe dan Ni dapat dilihat pada Gambar 3A.

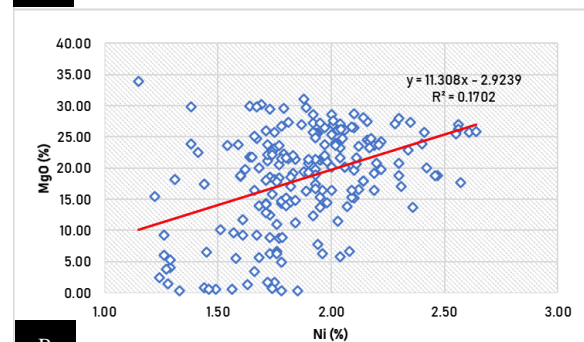
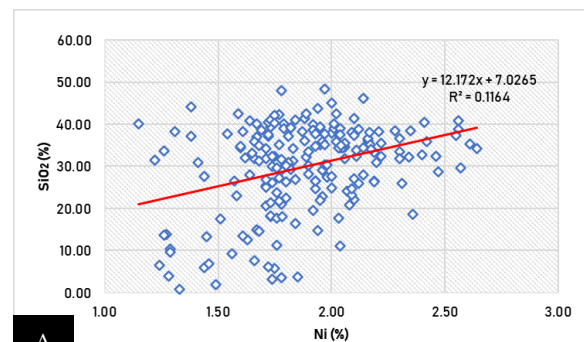


Gambar 3. Hubungan antara Fe dan Ni (A); hubungan antara Co dan Ni (B)

Korelasi Ni dengan Co, kedua elemen tersebut termasuk *semi mobile element* [11]. Nilai koefisien determinasi (R^2) antara Ni dengan Co adalah 0,0007 sehingga nilai koefisien korelasi (r) adalah -0,02715 atau 2,71%, hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi Ni yang mempengaruhi konsentrasi Co hanya sebesar 2,71%. Korelasi antara Co dan Ni dapat dilihat pada Gambar 3B.

Korelasi Ni dengan SiO_2 dan Ni dengan MgO ditunjukkan pada Gambar 4. Korelasi Ni dengan SiO_2 , Ni merupakan *semi mobile element* [11]. Ni dan SiO_2 merupakan hasil dekomposisi dari batuan induk [6]. Nilai koefisien determinasi (R^2) antara Ni dengan SiO_2 adalah 0,1164 dan nilai koefisien korelasi (r) adalah +0,3411 atau 34,11%, hal ini menunjukkan bahwa 34,11% peningkatan konsentrasi SiO_2 dipengaruhi oleh peningkatan konsentrasi Ni. Korelasi antara SiO_2 dan Ni dapat dilihat pada Gambar 4A.

Korelasi Ni dengan MgO, hasil perhitungan koefisien korelasi (r) dari Ni dan MgO menggunakan persamaan Pearson sebesar +0,411 atau 41,11% dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,1702. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan Ni dan MgO adalah berbanding lurus, dimana 41,11% kenaikan konsentrasi MgO dipengaruhi oleh Ni. Korelasi antara MgO dan Ni dapat dilihat pada Gambar 4B.



Gambar 4. Hubungan antara SiO_2 dan Ni (A); hubungan antara MgO dan Ni (B)



Tabel 4. Tingkat hubungan Ni dengan Fe, Co, SiO₂, dan MgO

No	Elemen/ Senyawa	Tingkat Hubungan dengan Ni	r
1	Fe	Cukup Kuat	-0,4284
2	Co	Sangat Rendah	-0,0271
3	SiO ₂	Rendah	+0,3411
4	MgO	Cukup Kuat	+0,4110

Nilai hubungan unsur nikel dengan silika (SiO₂) dan magnesia (MgO) adalah nilai koefisien korelasi yang positif (+0,3411 dan +0,4110), sebaliknya nilai hubungan unsur nikel dengan unsur besi (Fe) dan kobalt (Co) adalah nilai koefisien korelasi yang negatif (-0,4284 dan -0,0271). Lebih lengkapnya hal ini bisa dilihat di Tabel 4.

Hasil perbandingan pada Tabel 4 berhubungan dengan dispersi geokimia. Dispersi geokimia adalah proses redistribusi, fraksinasi, dan pencampuran dengan massa material lain, unsur atau partikel yang berpindah dari suatu lingkungan geokimia tertentu menuju lingkungan geokimia baru. Unsur dapat terdispersi karena terjadi perubahan kondisi lingkungan kimia, suhu, tekanan, regangan mekanik, atau kondisi fisik lainnya, yang mempengaruhi mobilitas unsur sehingga menyebabkan unsur *immobile* menjadi *mobile* dan kemudian ter-transport dari tempat asalnya ke lingkungan yang baru dimana kondisi lingkungannya menyebabkan unsur tersebut *immobile*, maka pada tempat inilah unsur tersebut terdeposisi dan tersubstitusi [12].

3.3. Implikasi Terhadap Pengolahan Bijih

Perbandingan antara data produksi penambangan per bulan dengan spesifikasi umpan pada pabrik pengolahan dapat dilihat pada Tabel 5. Pengolahan bijih nikel laterit pada PT. Vale Indonesia menggunakan proses pirometalurgi. Karenanya hampir semua proses pengolahan nikel laterit menggunakan proses pirometalurgi terhadap kandungan nikel yang diatas 1,5%. Padahal lebih dari 50% cadangan dunia mempunyai kandungan Ni < 1,45%. sehingga kurang menguntungkan bila diolah dengan proses pirometalurgi yang umum [13]. PT. Vale Indonesia menghasilkan produk berupa nikel matte, yaitu produk antara yang digunakan dalam pembuatan nikel olahan dengan kandungan rata-rata 78% nikel, 1–2% kobalt,

serta 20–21% sulfur. Seluruh produk nikel matte dikapalkan ke Jepang untuk proses pemurnian lebih lanjut [14].

Elemen yang digunakan sebagai patokan dalam perbandingan antara data produksi penambangan per bulan dengan spesifikasi umpan pada pabrik pengolahan adalah Ni, Fe dan rasio S/M. Hal ini dikarenakan perubahan rasio SiO₂/MgO (S/M) memiliki peran yang sangat penting dalam mengontrol titik leleh dan kekentalan *slag*, serta merupakan faktor yang sangat penting untuk dipertimbangkan dalam penggunaan *electrical furnace* karena apabila rasio nya terlalu rendah dapat mengakibatkan penggunaan energi yang lebih banyak [15]. Perbandingan pada Tabel 5 menunjukkan bahwa secara umum kadar Ni, Fe dan rasio S/M dari produk penambangan selama tahun 2019 telah memenuhi spesifikasi kadar yang telah ditentukan sebelumnya oleh pabrik pengolahan PT. Vale Indonesia.

Tabel 5. Perbandingan antara data produksi penambangan dan spesifikasi umpan pada pabrik pengolahan tahun 2019

Tahun 2019	Kadar Produksi Penambangan (%)			Spesifikasi Umpan
	Ni	Fe	S/M	
Januari	1,61	15,45	1,51	Fe Di atas spesifikasi (>20)
Februari	1,84	20,25	1,54	Sesuai spesifikasi (16 – 20)
Maret	1,76	21,03	1,60	Di bawah spesifikasi (<16)
April	1,72	18,33	1,57	S/M Di atas spesifikasi (>1,80)
Mei	2,02	20,77	1,56	Sesuai spesifikasi (1,55 – 1,80)
Juni	1,62	19,67	1,65	Di bawah spesifikasi (<1,55)
Juli	1,71	17,59	1,59	
Agustus	1,66	19,61	1,59	
September	1,82	19,29	1,47	
Oktober	1,69	16,28	1,61	
November	1,79	17,11	1,54	
Desember	1,83	17,70	1,60	
Rata – rata	1,76	18,59	1,57	



Komponen ini nantinya akan di-blending dengan bijih nikel laterit dari blok *west* agar dapat memenuhi spesifikasi bijih Nikel Laterit, yaitu Ni (>1,5%), Fe (20 – 23%), dan rasio S/M (1,95 – 2,15). Sekitar 66% (8 dari 12 bulan) menunjukkan hasil kadar Fe dan S/M sudah dengan sesuai syarat. Hasil *blending* tersebut akan disesuaikan kembali hingga memenuhi spesifikasi umpan yang diminta oleh pabrik pengolahan.

4. Kesimpulan

Bijih nikel laterit pada data bor memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,88%, Fe sebesar 21,84%, Co sebesar 0,09%, SiO₂ sebesar 29,89%, MgO sebesar 18,32% dan rasio S/M sebesar 1,63. Selanjutnya bijih nikel laterit pada data produksi memiliki kadar rata-rata Ni sebesar 1,76%, Fe sebesar 18,59%, Co sebesar 0,07%, SiO₂ sebesar 33,96%, MgO sebesar 21,66% dan rasio S/M sebesar 1,57. Korelasi unsur nikel dengan silika menunjukkan nilai koefisien korelasi (r) sebesar +0,3411, dengan magnesia sebesar +0,411, dengan unsur besi sebesar -0,4284 dan dengan kobalt sebesar -0,0271.

Faktor yang menyebabkan terjadinya perbedaan kadar nikel laterit pada data bor Blok X dan data produksi penambangan yaitu Penyebaran bijih yang tidak merata, dilusi bijih, serta pengambilan dan preparasi sampel.

Hasil perbandingan antara data produksi penambangan dan data spesifikasi umpan menunjukkan bahwa kadar Ni tiap bulannya menunjukkan hasil yang sesuai dengan spesifikasi (>1,5%), namun untuk kadar Fe terdapat 4 bulan yang tidak sesuai dengan spesifikasi (di luar *range* 16 – 20%) dan untuk rasio S/M terdapat pula 4 bulan yang tidak sesuai dengan spesifikasi (di luar *range* 1,55 – 1,80%).

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada *ore reconciliation section* PT. Vale Indonesia dan rekan-rekan mahasiswa(i) Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam proses penyusunan artikel ilmiah ini.

Referensi

- [1] M. E. Mcrae, *2015 Minerals Yearbook Nickel*. Virginia: U.S. Geological Survey, 2018.
- [2] A. D. Dalvi, W. G. Bacon, and R. C. Osborne, "The Past and the Future of Nickel Laterites," in *The PDAC 2004 International Convention, Toronto*, 2004.
- [3] H. Cahit *et al.*, "Mineralogy and genesis of the lateritic regolith related Ni-Co deposit of the Çaldağ area (Manisa, western Anatolia), Turkey," *Can. J. Earth Sci.*, 2017.
- [4] A. Kurniadi, F. M. Rosana, T. E. Yuningsih, and L. Pambudi, "Karakteristik Batuan Asal Pembentukan Endapan Nikel Laterit Di Daerah Madang dan Serakaman Tengah," *Padjadjaran Geosci. J.*, vol. 1, no. 2, 2017.
- [5] A. Tonggiroh, M. Mustafa, and Suharto, "Analisis Pelapukan Serpentin dan Endapan Nikel Laterit Daerah Pallangga Kabupaten Konawe Selatan Sulawesi Tenggara," in *Prosiding Hasil Penelitian Fakultas Teknik. Makassar*, 2012.
- [6] L. Lintjewis, I. Setiawan, and A. A. Kausar, "Profil Endapan Nikel Laterit di Daerah Palangga, Provinsi Sulawesi Tenggara," *Ris. Geol. dan Pertamb.*, vol. 29, no. 1, pp. 91–104, 2019.
- [7] A. Maulana, K. Watanabea, A. Imaib, and K. Yonezua, "Origin of Magnetite and Ilmenite-Series Granitic Rocks in Sulawesi, Indonesia: Magma Genesis and Regional Metallogenic Constraint," in *International Symposium on Earth Science and Technology. CINEST 2012. Procedia Earth and Planetary Science 6*, 2013, pp. 50–57.
- [8] Sufriadin, "Mineralogy, Geochemistry, and Leaching Behavior of the Soroako Nickeliferous Laterite Deposits, Sulawesi, Indonesia," Universitas Gadjah Mada, 2013.
- [9] PT. Vale Indonesia Tbk, "Laporan Tahunan 2017 "Turning Challenges into Oppurtunities"," Jakarta, 2017.
- [10] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2018.
- [11] J. J. Trescases, *Levolution Geochimique Supergene des Roches Ultrabasiques en Zone Tropicale; Formations des Gisements Nickeliferes de Nouvelle - Caledonie*. Paris, ORSTOM Mem. 78., 1975.
- [12] A. Tonggiroh, *Dasar – dasar Geokimia Eksplorasi*. Makassar: CV. Social Politic Genius (SIGn), 2019.
- [13] I. Setiawan, "Pengolahan Nikel Laterit Secara Pirometalurgi: Kini Dan Penelitian Kedepan," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2016 Yogyakarta*, 2016.
- [14] C. Villanova-de-Benavent *et al.*, "Garnierites and Garnierites: Textures, Mineralogy and Geochemistry of Garnierites in the Falcondo Ni-laterite Deposit, Dominican Republic," *Ore Geol. Rev.*, vol. 58, pp. 91–109, 2014.
- [15] PT. Vale Indonesia Tbk, "Laporan Tahunan 2018 'Dedicating Through Ages, Optimizing Oppurtunities,'" Jakarta, 2018.



Pemilihan Tipe Bangunan Pelindung Pantai di Desa Sikeli Berbasis Bahan Lokal

Herawati^{1*}, Muhammad Arsyad Thaha¹, Chairul Paotonan¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Jl. Poros Malino km. 6, Bontomarannu, Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan 92171

*Email: miss.browncheez.@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052020.14

Abstrak

Wilayah pesisir merupakan pertemuan antara wilayah laut dan wilayah darat, dimana daerah ini merupakan daerah interaksi antara ekosistem darat dan ekosistem laut yang sangat dinamis dan saling mempengaruhi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan material lokal yang potensial dapat digunakan sebagai bahan bangunan pelindung pantai dan memilih tipe bangunan pelindung pantai yang sesuai kondisi hidro-oseanografi di lokasi studi dengan metode Analythic Hierarchy Process. Lokasi penelitian berada di Provinsi Sulawesi Tenggara, tepatnya di Pulau Kabaena, Kecamatan Kabaena Barat Desa Sikeli kabupaten Bombana. Pulau Kabaena memiliki luas 873 km². Secara geografis terletak antara 4°22' 59,4" - 5°28' 26,7" Lintang Selatan serta antara 121°27'46,7"-122°09',4" Bujur Timur. Hasil penelitian menunjukkan perairan disepanjang tanjung perak sangat mempengaruhi hidro-oseonografi disekitar pantai desa Sikeli. Kondisi ini berpengaruh terhadap pola pergerakan arus dan tinggi gelombang datang disekitar pantai desa Sikeli. Tinggi gelombang rata-rata yang paling besar merambat dari arah barat sebesar 0.49 m dengan presentase kajadian sebesar 32.42 %, disusul arah barat laut sebesar 0.39 m (20.56 %), arah tenggara sebesar 0.31 m (8.72 %) arah barat daya sebesar 0.31 m (7.99 %), arah utara sebesar 0.20 m (6.94 %), arah timur sebesar 0.15 m (11.81 %), arah selatan sebesar 0.12 m (3.42 %), dan arah timur laut sebesar 0.11 m (8.15 %). Pengambilan keputusan untuk memilih tipe bangunan pelindung pantai dengan metode AHP (Analytical Hierarchy Process) untuk penanganan abrasi pesisir pantai desa Sikeli berbasis bahan lokal diperoleh bahwa alternatif bangunan dengan nilai keterpilihan yang tertinggi adalah detached breakwater (0,4432) disusul groin (0,2479), sea-wall (0,1700) dan revetment (0.1389). Detached breakwater berfungsi untuk menahan laju sedimen kearah laut, mengurangi ketinggian dan meredam energi gelombang dan tidak dibangun sepanjang garis pantai yang akan dilindungi sehingga kapal nelayan dapat ditambah dipesisir pantai dengan aman.

Abstract

The Selection Type of Coastal Protection Structures in Sikeli Village Based on Local Materials. The coastal area is a meeting point between the sea and land areas, where this area is an area of interaction between terrestrial ecosystems and marine ecosystems which are very dynamic and influence each other. The purpose of this research is to determine local materials that can be used as coastal protection materials and to select the type of coastal protection that is suitable for the hydro-oceanographic conditions in the study location using the Analythic Hierarchy Process method. The research location is in Southeast Sulawesi Province, precisely on Kabaena Island, Kabaena Barat District, Sikeli Village, Bombana Regency. Kabaena Island has an area of 873 km². Geographically it is located between 4° 22' 59.4"- 5° 28' 26.7" South Latitude and between 121° 27' 46.7 "-122° 09' 4" Longitude East. The results showed that the waters along Tanjung Perak greatly affect the hydro-oseonography around the coast of Sikeli village. This condition affects the current movement pattern and the height of the incoming waves around the coast of Sikeli village. The largest average wave height propagating from the west is 0.49 m with a kajadian percentage of 32.42%, followed by the northwest direction of 0.39 m (20.56%), southeast direction of 0.31 m (8.72%) to the southwest of 0.31 m (7.99%), to the north of 0.20 m (6.94%), to the east of 0.15 m (11.81%), to the south of 0.12 m (3.42%), and to the northeast of 0.11 m (8.15%). The decision to choose the type of coastal protection using the AHP (Analytical Hierarchy Process) method for the coastal abrasion management model in Sikeli village based on local materials was obtained that the alternative building with the highest electability value was the detached breakwater (0.4432) followed by groins (0.2479), sea-wall (0.1700) and revetment (0.1389). The detached breakwater model which functions to restrain the sediment rate towards the sea, reduce the height and reduce wave energy and is not built along the coastline which will be protected so that fishing boats can be moored to the coast safely.

Kata Kunci: Abrasi, bahan lokal, desa Sikeli, pelindung pantai



1. Pendahuluan

Secara sederhana proses perubahan garis pantai disebabkan oleh angin dan air yang bergerak dari suatu tempat, mengikis pasir dan sedimen kemudian memindahkan dan mengendapkannya ke tempat yang lain secara kontinu. Kondisi seperti ini sangat dipengaruhi oleh proses-proses yang terjadi pada daerah sekitar pantai (*nearshore process*), karena pada lokasi ini pantai selalu beradaptasi dengan berbagai kondisi yang terjadi [1]. Pulau Kabaena memiliki luas 873 km² yang merupakan lingkup daerah kabupaten Bombana secara definitive menjadi Daerah Tingkat II berdasarkan Undang-Undang No. 29 tahun 2004. Secara geografis terletak pada koordinat 121°27'46,7" - 122°11' 9,4" Bujur Timur dan 4°22'59,4" - 5°28'26,7" Lintang Selatan [2].

Perairan Kabaena berombak besar saat puncak musim angin barat dan angin timur. Musim barat terjadi pada bulan Desember – Januari sedangkan musim timur berlangsung antara bulan Juni – Juli. Pada kondisi cuaca ekstrim, tinggi ombak disekitar perairan Kabaena bisa mencapai 3 – 4 meter sehingga dapat membahayakan pelayaran.

Hutan Kabaena mempunyai peranan penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem yang merupakan pulau utama pusat kekayaan sumber hayati yang memberikan nilai ekonomi, ekologi serta sosial. Dengan luas kawasan hutan lindung 48.579 Ha, suaka alam dan pelestarian alam 44.160 Ha, hutan produksi terbatas 24.473 Ha, hutan produksi tetap 81.823 Ha, hutan produksi dapat dikonversi 8.285 Ha. Saat ini penambangan terbuka di pulau Kabaena terus meningkat setiap tahun yang menyebabkan berkurangnya tutupan hutan sehingga dukungan fungsi ekologis dari hutan ikut menurun. Kawasan pertambangan yang dikelola secara konvensional metode open pit mining yang membatasi hutan dengan bukaan tutupan lahan yang berpotensi terus bertambah hingga mengancam keberlangsungan lingkungan hidup dan hutan pulau Kabaena. Kondisi morfologi pulau Kabaena berupa pegunungan, perbukitan, daerah karst dan daratan rendah. Morfologi perbukitan terletak dibagian utara pulau dan memanjang kearah selatan sampai perbukitan karst yang berbatasan langsung dengan gunung Sabampolulo dengan ketinggian 1.550 m dari

permukaan laut dibagian tengah pulau dengan puncak yaitu gunung Batu Sangia yang memiliki ketinggian 1.000 m dari permukaan laut [3].

Seperti yang telah dijelaskan diatas mengenai latar belakang hal tersebut, setidaknya dapat dilakukan salah satunya adalah penanganan abrasi pesisir pantai desa Sikeli dengan menggunakan bahan lokal untuk pelaksanaannya, selain mudah dan efisien juga sumberdaya alam sekitar dapat dimanfaatkan berdayaguna.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan material lokal yang dapat digunakan sebagai bahan bangunan pelindung pantai dan memilih tipe bangunan pelindung pantai yang sesuai kondisi hidro-oseanografi di lokasi studi dengan metode Analythic Hierarchy Process.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Provinsi Sulawesi Tenggara, tepatnya di pulau Kabaena, kecamatan Kabaena Barat Desa Sikeli kabupaten Bombana. Pulau Kabaena memiliki luas 873 km². Kabupaten Bombana secara definitive menjadi Daerah Tingkat II berdasarkan Undang-Undang No. 29 tahun 2004. Secara geografis terletak antara 4°22'59,4"5°28' 26,7" Lintang Selatan serta antara 121°27'46,7"-122°09',4" Bujur Timur [4].

Gambar 1 memperlihatkan peta lokasi penelitian.



Gambar 1. Lokasi penelitian desa Sikeli - pulau Kabaena

Berdasarkan posisi geografisnya kecamatan Kabaena Barat memiliki batas - batas yaitu:



- a) Sebelah Utara berbatasan dengan Baliara Selatan
- b) Sebelah Selatan berbatasan dengan Kecamatan Kabaena
- c) Sebelah Barat berbatasan dengan Kecamatan Kabaena
- d) Sebelah Timur berbatasan dengan dengan Teluk Bone

2.2. Jenis dan Variabel Penelitian

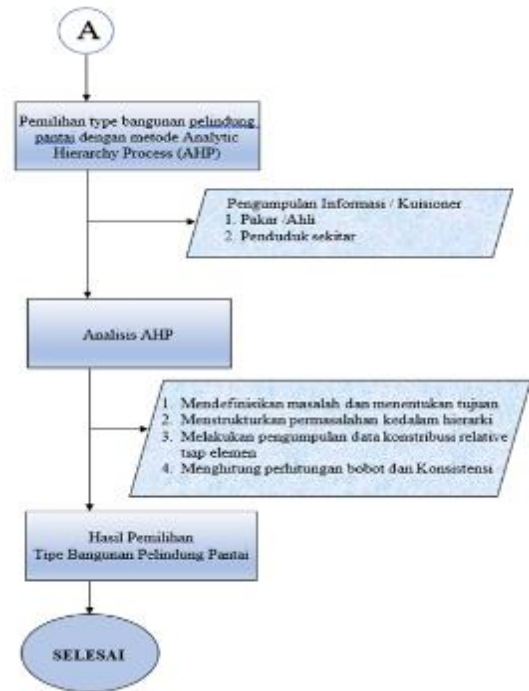
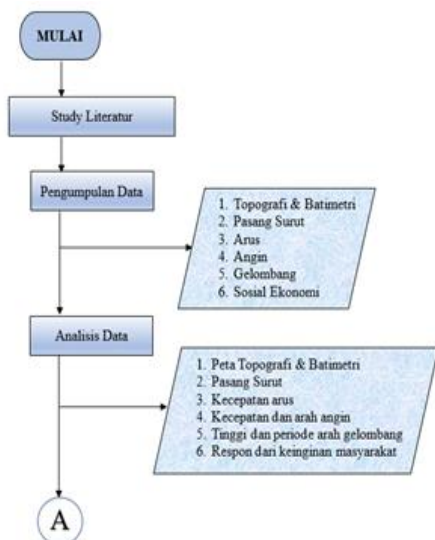
Adapun jenis dan variable penelitian yang digunakan adalah jenis data primer dimana data ini diperoleh dari pengamatan langsung dilapangan meliputi kondisi fisik pantai dan data topografi.

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari catatan-catatan yang telah ada. Data ini diperoleh dari instansi – instansi yang terkait maupun dari penelitian sebelumnya meliputi data pasang surut, angin, data arus dan data gelombang serta topografi dan batimetri.

Variable penelitian adalah suatu atribut atau sifat, nilai dari orang, obyek atau kegiatan yang mempunyai variasi tertentu yang ditetapkan oleh peneliti untuk dipelajari dan ditarik kesimpulannya [5], yaitu penyebab terjadi abrasi dan penggunaan material lokal sebagai salah satu penanggulangannya.

2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri dari observasi, kuisiонер, studi dokumentasi, dan analisis data. Adapun bagan alir dari penelitian ini yaitu untuk memudahkan dalam melakukan penelitian diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Data Material Kayu

Untuk ketersediaan material kayu, luas kawasan hutan lindung 48.579 Ha, suaka alam dan pelestarian alam 44.160 Ha, hutan produksi terbatas 24.473 Ha, hutan produksi tetap 81.823 Ha, hutan produksi dapat dikonversi 8.285 Ha [6].

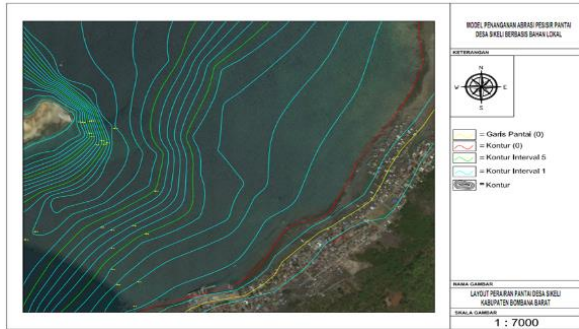
3.2. Data Material Batu

Berdasarkan struktur geologinya kabupaten Bombana dapat dikelompok menjadi :

- a. Satuan Geomorfologi
- b. Satuan Batuan (unit litologi)

Berdasarkan kondisi topografi, Kabupaten Bombana terdiri atas 3 tiga dimensi daerah yaitu daerah pegunungan, daerah pesisir dan kepulauan serta dataran rendah. Pulau Kabaena dengan panjang garis pantai ± 200 Km, berada di wilayah pantai yang secara geologi dekat dengan zona subdiksi sehingga merupakan daerah yang sangat rawan dengan gempa tektonik dan tidak menutup kemungkinan terjadi tsunami. Secara geografis, pantai Tanjung Perak merupakan perairan terbuka yang langsung berhadapan dengan gelombang laut yang kuat terutama pada musim angin barat.





Gambar 3. Peta topografi dan bathimetri di lokasi studi

3.3. Penentuan Material Lokal

Penambangan terbuka di pulau Kabaena terus meningkat. Kawasan pertambangan yang dikelola secara konvensional sehingga bukaan tutupan lahan terus bertambah dan mengancam keberlangsungan lingkungan hidup serta hutan pulau Kabaena. Data luas kawasan hutan lindung 48.579 Ha dan hutan produksi dapat dikonversi 8.285 Ha. Dari UU No.32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup adalah bertujuan untuk perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup adalah mencapai pembangunan berkelanjutan dan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup menjamin harmoni antara manusia dengan lingkungan hidup, termasuk makhluk hidup didalamnya [7].

Material batuan dipulau Kabaena secara stratigrafi berdasarkan himpunan batuan secara regional dataran pesisir Pulau Kabaena dicirikan oleh gabungan batuan ultramafik, mafik dan malihan [8]. Material batu ini banyak terdapat di desa Rahantari yang merupakan salah satu desa di wilayah kecamatan Kabaena Barat dari 5 desa yang ada, terletak 6 km dari kelurahan Sikeli.

Atas dasar uraian tersebut diatas maka pemilihan material batu ditetapkan sebagai material potensial yang dapat digunakan sebagai bahan pelindung pantai.

3.4. Data Pasang Surut

Dari data yang diambil dan dihitung dimana dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya hampir sama dalam satu hari.

Penentuan bilangan Formzahl merupakan cara yang digunakan untuk menentukan tipe pasang surut perairan. Bilangan Formzahl yakni pembagian antara amplitudo konstanta pasang

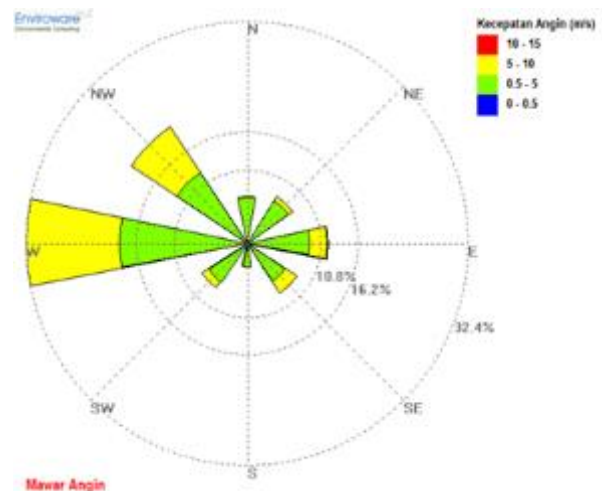
surut harian utama dengan amplitudo konstanta pasang surut ganda utama. Konstanta harmonik pasang surut M2, S2, K1, dan O1 diperoleh melalui tahapan perhitungan mulai dari Skema 1 sampai Skema 8. Dalam perhitungan ini diperlukan hitungan bilangan astronomis yaitu variable s, h, p, dan N.

Tabel 1. Hasil analisis harmonik pasang surut

A (cm)	S ₀	M ₂	S ₂	N ₂	K ₁	O ₁	M ₄	MS ₄	K ₂	P ₁
g ^o	0	117	208	274	53	295	182	314	208	53

3.5. Peluang Kejadian Angin

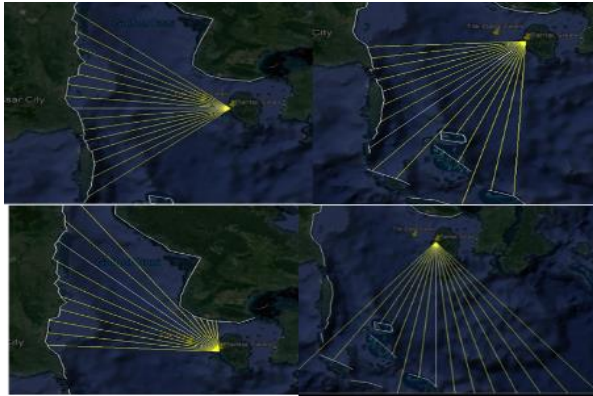
Berdasarkan hasil koreksi dan perhitungan tegangan gesek angin, selanjutnya dilakukan analisis untuk mendapatkan beberapa parameter penting, yakni arah angin yang dominan, kecepatan angin pada berbagai arah dan kecepatan angin rata-rata sebagai fungsi dari arah hembusan angin. Gambar 4 memperlihatkan mawar angin dan tumpang susun mawar angin di lokasi studi.



Gambar 4. Mawar angin di lokasi studi

3.6. Panjang Fetch di Lokasi Studi

Penentuan fetch ditentukan dengan menentukan arah yang berpotensi menghasilkan gelombang. Berdasarkan hasil pengukuran, ditentukan bahwa fetch diambil dari arah yang berpotensi menghasilkan gelombang yaitu arah barat laut, barat, barat daya dan selatan. Berdasarkan pengukuran fetch efektif di lokasi studi diperoleh panjang fetch masing-masing arah seperti yang diperlihatkan pada Gambar-5 dan Tabel-2.



Gambar 5. Fetch di lokasi studi

Tabel 2. Fetch efektif di lokasi studi

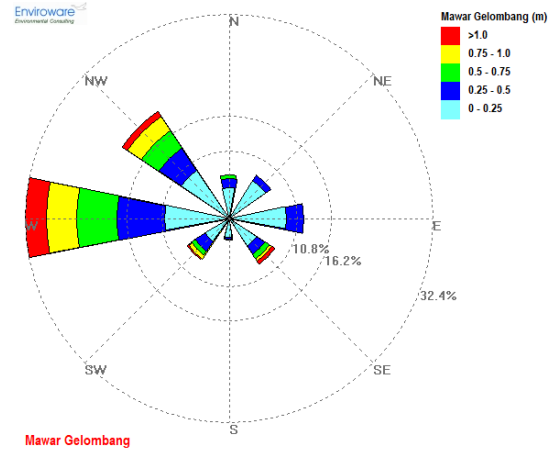
No.	Arah	Fetch Efektif (km)
1	Utara	109.31
2	Timur Laut	48.86
3	Timur	68.06
4	Tenggara	206.25
5	Selatan	252.57
6	Barat Daya	197.20
7	Barat	176.47
8	Barat Laut	157.25

Tabel 2 memperlihatkan bahwa fetch efektif yang paling besar nilainya (paling jauh) adalah berasal dari arah selatan, (252.57 km) disusul masing-masing dari arah tenggara (206.25 km), arah barat daya (197.20 km), barat (176.47 km), barat laut (157.25 km), utara (109.31 km) dan timur (68.06 km), timur laut (48.86 km).

3.7. Mawar Gelombang di Lokasi Studi

Tinggi gelombang rata-rata yang paling besar merambat dari arah barat sebesar 0.49 m dengan presentase kejadian sebesar 32.42 %, disusul arah barat laut sebesar 0.39 m (20.56 %), arah tenggara sebesar 0.31 m (8.72 %) arah barat daya sebesar 0.31 m (7.99 %), arah utara sebesar 0.20 m (6.94 %), arah timur sebesar 0.15 m (11.81 %), arah selatan sebesar 0.12 m (3.42 %), dan arah timur laut sebesar 0.11 m (8.15 %). Selain penyajian presentasi kejadian gelombang dalam bentuk tabulasi, juga disajikan dalam bentuk mawar gelombang seperti pada Gambar 6.

Pada Gambar 6 tersebut, diperlihatkan bahwa gelombang yang paling sering datang berasal dari arah barat disusul arah barat laut, barat daya, tenggara, selatan dan utara.



Gambar 6. Mawar gelombang di lokasi studi

3.8. Pemilihan Model Pengaman Pantai dengan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP)

Untuk dapat memilih jenis pelindung pantai, maka terlebih dahulu ditetapkan kriteria penilaian yang cocok untuk dipertimbangkan sebagai solusi alternatif penyelesaian masalah. Dalam studi ini ditetapkan kriteria pemilihan seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Kriteria penilaian alternatif bangunan pantai

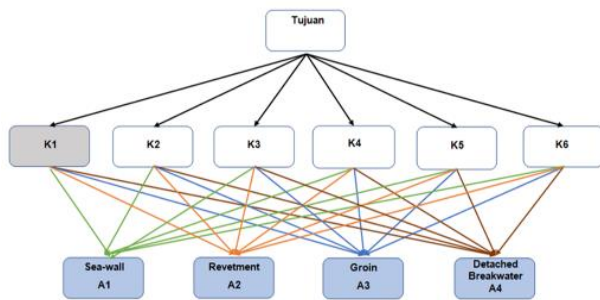
No.	Kriteria	Simbol
1	Kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari air pasang	K1
2	Kesesuaian bangunan dengan kondisi batimetri	K2
3	Kemampuan bangunan melindungi pemukiman dari gelombang	K3
4	Kemampuan bangunan menahan laju transport sedimen	K4
5	Kesesuaian bangunan dengan aktivitas masyarakat	K5
6	Kemudahan pelaksanaan	K6

Berdasarkan dengan kondisi dan karakteristik pantai yang akan dilindungi selanjutnya ditentukan alternatif penyelesaian masalah pada lokasi studi seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Alternatif bangunan pantai

No.	Alternatif	Simbol
1	Sea-Wall	A1
2	Revetment	A2
3	Groin	A3
4	Detached Breakwater	A4





Gambar 7. Struktur hierarki keputusan

Berdasarkan hasil analisis AHP, diperoleh bahwa alternatif bangunan dengan nilai keterpilihan yang tertinggi adalah detached breakwater (0,4432) disusul groin (0,2479), tembok laut (0,1700) dan revetment (0,1389).

Dengan demikian alternatif terpilih adalah detached breakwater dimana berfungsi untuk menahan laju sedimen kearah laut, mengurangi ketinggian dan meredam energi gelombang dan tidak dibangun sepanjang garis pantai yang akan dilindungi sehingga kapal nelayan dapat ditambat dipesisir pantai dengan aman.

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis potensial material lokal yang ada di pulau Kabaena maka ditetapkan bahan material pelindung pantai di desa Sikeli adalah batu.

Berdasarkan hasil analisis pemilihan tipe bangunan pelindung pantai di desa Sikeli diperoleh bahwa tipe bangunan pantai dengan

nilai tertinggi adalah detached breakwater 44,32%.

Oleh karena adanya batasan kajian yang dilakukan pada penelitian ini, maka disarankan untuk melakukan penelitian lanjut dengan melakukan survei data primer meliputi survei hidro-oseonografi dan geoteknik.

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan mengakomodir biaya pembangunan dalam pemilihan tipe bangunan.

Referensi

- [1] J. J. Muñoz-Pérez, R. Medina, and B. Tejedor, "Evolution of longshore beach contour lines determined by the E.O.F. method," *Sci. Mar.*, vol. 65, no. 4, pp. 393–402, 2001.
- [2] Statistic Bombana Regency, *Kab. Bombana Dalam Angka 2019*. 2019.
- [3] Statistic Bombana Regency, *Kab. Bombana Dalam Angka 2016*. 2016.
- [4] L. Geografis, K. Landak, L. Wilayah, and P. Tanah, "Bab. 4 profil kabupaten Bombana," 2013, pp. 1–33.
- [5] Sugiyono and Republik Indonesia, "Metode Penelitian Kuantitatif & kualitatif," *J. Exp. Psychol.*, 2013.
- [6] R. Tata *et al.*, "Arahan Stretegis Nasional Bidang Cipta Karya untuk Kabupaten/Kota," 2008, pp. 49–147.
- [7] Wahana Lingkungan Hidup Indonesia, *UU No. 32 Tahun 2009 Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 2009.
- [8] Kementerian Kelautan & Perikanan, *Ekspedisi Wallacea Indonesia 2004 Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non-Hayati*. 2004.

