



Hak cipta© 2017, Divisi Publikasi, Center of Technology (CoT)  
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

ISSN 1411-6243

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](mailto:jpe@unhas.ac.id)  
Website : <http://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/jpe>  
Telp/Fax : (0411) 586015

## Staf Redaksi

Penanggungjawab	: Dekan Fakultas Teknik, UNHAS Dr.-Ing. Ir. Wahyu H Piarah, MSME
Pengarah	: Wakil Dekan Bidang Perencanaan, Keuangan, dan Sumber Daya Dr.Eng. Nasruddin Junus, ST., MT  Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Daeng Paroka, S.T., M.T., Ph.D
Pemimpin Umum	: Wakil Dekan Bidang Akademik dan Pengembangan Dr. Ir. Muhammad Ramli, MT
Pemimpin Redaksi	: Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
Dewan Redaksi	: Prof. Dr. H. Hammada Abbas Prof. Dr. Ir. M. Ramli Rahim, M.Eng Prof. Dr.-Ing. Ir. Herman Parung Prof. Dr.rer.nat. Ir. Imran Umar Dr. Ir. Rhiza S. Sadjad, MS.EE Dr. Ir. Dipl.-Ing. Ganding Sitepu
Redaktur Pelaksana	: Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT Dr.Eng. Mukti Ali, ST., MT Ir. Zaenab Muslimin, MT Dr. Merna Baharuddin, ST., M.TelEng Wahyuddin, ST., MT Muhammad Zubair Muis Alie, ST., MT., Ph.D Dr.Eng. Adi Maulana, ST., M.Phil Abdul Mufti Radja, ST., MT., Ph.D
Staf Kesekretariatan	: Badillah, SE., M.Si Jumadil, ST., MM. Dirham Abdillah Juliana Palambean Nur Fitriani Seilah

## 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. Kitano	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 Mitsuru	Ehime University, Japan
Prof. Satrio S. Brodjonegoro	ITB, Indonesia

## Kata Pengantar Redaksi

Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE) merupakan media publikasi ilmiah untuk hasil-hasil inovasi terkini dalam bidang kajian dan rekayasa ilmu pengetahuan dan teknologi keteknikan. JPE diterbitkan dalam dua bahasa dunia (*bi-lingual*), yaitu Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Berbagai bidang ilmu yang sangat populer, menarik dan spesifik dalam rumpun ilmu keteknikan seperti Teknik Arsitektur dan Pengembangan Wilayah Kota; Teknik Elektro dan Informatika; Teknik Geologi dan Pertambangan; Teknik Mesin dan Industri; Teknik Perkapalan dan Ilmu Kelautan; serta Teknik Sipil dan Lingkungan merupakan disiplin ilmu-disiplin ilmu yang menjadi topik utama dan konsen publikasi JPE. Selain itu bidang-bidang lain yang relevan termasuk diantaranya kajian sosio-ekonomi, kajian aspek keamanan (*security*) dan kajian aspek kesehatan yang terkait dengan bidang-bidang kajian utama diatas dapat pula diterima manuskrip ilmiahnya untuk dievaluasi nilai orijinalitas, kebaharuan dan kualitasnya oleh Tim Evaluator Ahli. Mulai tahun 2016, JPE-UNHAS terbit secara periodik sebanyak 2 kali dalam setahun, yakni edisi Mei dan edisi November.

JPE diterbitkan oleh Divisi Publikasi, Center of Technology (CoT), Fakultas Teknik UNHAS dengan melibatkan sejumlah besar mitra bestari eksternal yang profesional dan ahli dalam bidang spesifik tertentu. Para mitra bestari yang bertindak sebagai tim evaluator (penilai) kelayakan manuskrip ilmiah hasil riset berasal dari berbagai universitas dan institut terkemuka baik dari dalam dan luar negeri. Jurnal ini terbit pertama kali pada Tahun 1995 dengan nama Jurnal Ilmiah Teknologi Hi-Tech bernomor ISSN 0852-4173. Sejak Tahun 2000 berubah nama menjadi Jurnal Penelitian Enjiniring (JPE) dengan nomor ISSN 1411-6243. Sejak itu, JPE-UNHAS berbenah diri untuk lebih meningkatkan kualitas hasil publikasinya melalui tahapan evaluasi yang lebih baku dan seobjektif mungkin sehingga pada waktunya nanti akan mendapatkan akreditasi yang lebih baik dari DIKTI dan lembaga penilai akreditasi lainnya baik dari dalam negeri maupun luar negeri.

Semoga hasil-hasil riset inovatif yang bermanfaat bagi pengembangan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi serta umat manusia yang dipublikasikan melalui Jurnal Ilmiah JPE UNHAS ini dapat berkelanjutan dan semata-mata didedikasikan untuk perubahan ke arah yang lebih positif. Terima kasih kami ucapkan kepada para penulis yang berkontribusi untuk periode penerbitan Edisi Bulan Mei 2017 ini.

Salam Hangat

TIM REDAKSI

## DAFTAR ISI

<b>Studi Analisis Waktu Evakuasi Pada Kapal Penumpang Ferry Ro-ro 5000 GT Jalur Pelayaran Merak – Bakauheni</b> <i>Nurhadi</i>	1
<b>The Effect of Waves on the Maneuvering Characteristics of Ferry Vessel</b> <i>Mansyur Hasbullah, Daeng Paroka, Hanisa</i>	11
<b>Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Erosi Yang Berpotensi Longsor</b> <i>Farid Sitepu, Mary Selintung, Tri Harianto</i>	23
<b>Uji Kinerja Turbin Arus Laut Twin Hull (Lambung Ganda) – 10 kW di Jembatan Suramadu</b> <i>Afian Kasharjanto, Daif Rahuna</i>	28
<b>Interpretasi Data Geolistrik dalam Penentuan Keberadaan Rongga pada Pondasi Abutmen dan Pier</b> <i>Sitti Hijraini Nur</i>	35
<b>Efek Penambahan Serat Kawat Bendrat terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang Dirawat melalui Metode Wet and Dry Curing</b> <i>Nasruddin Junus</i>	41
<b>Sistem Keamanan Informasi Pada Smart Gate Menggunakan Visual Basic</b> <i>Khairunnisa Mansur, Zulfajri Basri Hasanuddin, Wardi</i>	48
<b>Perancangan Dispatch Daya Aktif Sistem Kelistrikan Sulselbar Untuk Mengatasi Pengaruh PLTB</b> <i>Fatmawati Azis, Ardiaty Arief, Muhammad Bachtiar Nappu</i>	54
<b>Optimasi dan Impelementasi Sistem Contactless Tag-Reader untuk Akses Kelas dan Laboratorium : Evaluasi Prototipe</b> <i>Rida Ariyanti Z, Elyas Palantei, Intan Sari Areni</i>	60
<b>Penempatan Photovoltaic yang Optimal Menggunakan Metode Continuation Power Flow</b> <i>Sitti Marwah Rachman, Muhammad Bachtiar Nappu, Ardiaty Arief</i>	66
<b>Analisa Tahanan Pembumian Peralatan Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan Yang Menggunakan Elektrode Pasak Tunggal Panjang 2 Meter</b> <i>Achmad Budiman</i>	75
<b>Tarif Pelayanan Pandu Pada PT Pelindo IV (Persero) Cabang Parepare</b> <i>Rahmawati Djunuda, Syamsul Asri, Andi Sitti Chairunnisa Mappangara</i>	81
<b>Parameterisasi Kendali PID pada Konverter DC/DC Penurun Tegangan dengan Kriteria Domain Waktu dan Efisiensi Daya</b> <i>Andy Lukman Affandy, Faizal Arya Samman, Rhiza S.Sadjad</i>	87
<b>Pengaruh Bahan Pengisi (Filler) Eceng Gondok dan Sekam Padi pada Material Isolasi Listrik (Polymer Epoxy)</b> <i>Trisna Amelia Fitriah, Salama Manjang, Ikhlas Kitta</i>	93

# Studi Analisis Waktu Evakuasi Pada Kapal Penumpang Ferry Ro-ro 5000 GT Jalur Pelayaran Merak – Bakauheni

Nurhadi \*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknologi Hidrodinamika, BPPT  
Kampus ITS Keputih, Sukolilo – Surabaya, 60112

\*Email: nrhadi@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.01

## Abstrak

Kapal Ferry Ro-ro merupakan jenis kapal penyeberangan yang banyak digunakan untuk transportasi antar pulau karena sangat cocok untuk angkutan kendaraan dan penumpang. Dengan semakin besar kapasitas angkut penumpang perlu diperhatikan pula prosedur jalur dan waktu evakuasi guna menghadapi keadaan darurat, hal ini sangat penting guna meminimalkan terjadinya korban jiwa. IMO telah mengeluarkan suatu regulasi untuk evakuasi dari berbagai tipe kapal dengan berbagai pendekatan *analysis* dimana nilai waktu evakuasi untuk jenis Ferry Ro-ro  $n < 60$  menit. Pendekatan *analysis* evakuasi pada kapal Ferry Ro-ro 5000 GT untuk jalur pelayaran Merak – Bakauheni dilakukan dalam rangka untuk mengetahui seberapa besar waktu evakuasi yang dibutuhkan dengan membuat sebuah *hydraulic diagram* dengan metode *simplified analysis* serta *advance analysis*. Metode ini merupakan metode yang direkomendasikan IMO sebagaimana tertera dalam regulasi MSC.1/Circ.1238. Dari hasil analisa diketahui bahwa dengan *simplified analysis* didapatkan waktu evakuasi sebesar 34 menit 19 detik, sedang dengan *advance analysis* didapatkan waktu 29 menit 48 detik, sedangkan *initial respon* terhadap sinyal berkisar 180-240 detik.

**Kata-kunci:** *Advance analysis, kapal ferry, regulasi, simplified analysis, waktu evakuasi*

## Abstract

**Analysis study of Evacuation Time on 5000 GT Ferry Ro-Ro Passenger Ship of Merak – Bakauheni Route.** Ferry Ro-ro is a type of ferry that is widely used for transportation that suitable for vehicle and passenger transportation. With the greater passenger capacity, the evacuation route and time is needed to deal with emergencies. That is very important to minimize casualties. IMO has issued a regulation for the evacuation of various ship types with various approaches analysis. The evacuation time value for Ferry Ro-ro type is  $< 60$  minutes. The evacuation analysis approach of Ferry Ro-ro 5000 GT vessel for the Merak - Bakauheni shipping line is done in order to find out how much evacuation time is needed, by making a hydraulic diagram, using simplified analysis and advance analysis. This method is recommended method from IMO as stated in MSC.1 / Circ.1238 regulation. From result of the analysis known that with simplified analysis got evacuation time of 34 minutes 19 seconds, while advance analysis got time 29 minutes 48 seconds, and initial response to signal ranges 180-240 seconds.

**Keywords:** *Advance analysis, ferry, regulation, simplified analysis, evacuation time*

## 1. Pendahuluan

Jalur pelayaran Merak - Bakauheni merupakan salah satu jalur pelayaran yang cukup sibuk di Indonesia. Tercatat jumlah kendaraan yang melintas pada tahun 2016 pada saat sepi mencapai 4.000 unit hingga 6.000 unit kendaraan per hari, sementara disaat puncak kepadatan jumlah kendaraan bisa mencapai 11.000 unit lebih [1]. Salah satu upaya untuk mengurai kepadatan jalur tersebut, pemerintah mengembangkan Dermaga VI pelabuhan Bakauheni, disamping itu PT ASDP

juga telah menambah 3 buah armada kapal Ferry Ro-ro dengan bobot mati 5000 GT [2].

Kapal Ferry Ro-ro ini merupakan jenis kapal penyeberangan antar pulau yang banyak digunakan karena disamping mampu menampung jumlah penumpang yang cukup banyak juga dapat digunakan untuk mengangkut kendaraan seperti mobil, truk dan bis, sehingga kapal ini dilengkapi dengan pintu rampa baik pada sisi haluan maupun buritan.

Sesuai dengan standar regulasi IMO, bahwa untuk kapal penyeberangan antar pulau tidak boleh melampaui batas maksimal yang ditetapkan untuk

evakuasi penumpang jika terjadi keadaan darurat. Sejumlah asumsi telah dikembangkan oleh banyak peneliti dalam mendukung keakuratan regulasi IMO tersebut di antaranya: i) kecepatan berjalan, ii) arah pergerakan, iii) pergerakan orang diasumsikan tanpa rintangan, iv) pengaruh pergerakan kapal, umur penumpang, serta keterbatasan ruang gerak akibat asap, dan kesemuanya diperhitungkan melalui *safety factor*.

Berdasarkan pembahasan diatas, makalah ini akan membahas tentang studi *analysis* jalur evakuasi penumpang untuk mengetahui kemungkinan terjadinya titik –titik penumpukan penumpang pada jalur tertentu pada jalur evakuasi dan mengetahui seberapa besar waktu yang dibutuhkan untuk evakuasi penumpang pada kapal penyeberangan Ferry Ro-ro 5000 GT di atas.

## 2. Dasar Teori

Sejak Tahun 1970, IMO secara intensif mempublikasikan regulasi tentang evakuasi penumpang kapal laut, hal tersebut sesuai ketentuan SOLAS, kaitanya dengan keselamatan kapal dan jumlah pelampung penolong serta karakteristiknya.

Pada sesi ke 83 komite IMO (03-12 Oktober 2007), menyetujui pedoman pada evakuasi analisis untuk kapal penumpang baru dan yang sudah ada, termasuk kapal penumpang ro-ro, sebagaimana ditetapkan dalam MSC.1/Circ.1238 tanggal 30 Oktober 2007. Dalam pedoman ini menawarkan dua kriteria untuk analisa evakuasi meliputi [3]:

- a. Analisis evakuasi yang disederhanakan (*Simplified Evacuation Analysis*)
- b. Analisis evakuasi lanjutan (*Advanced Evacuation Analysis*)

### 2.1. *Simplified Evacuation Analysis*

*Simplified Evacuation Analysis* bertujuan untuk menyajikan metodologi dalam melakukan analisis evakuasi yang disederhanakan khususnya, untuk: i). Mengidentifikasi dan menghilangkan sejauh mungkin kemacetan yang dapat berkembang selama evakuasi karena gerakan normal penumpang dan ABK di sepanjang rute evakuasi, mempertimbangkan kemungkinan bahwa ABK mungkin perlu untuk bergerak sepanjang rute-rute berlawanan dengan arah pergerakan penumpang. ii) Menunjukkan bahwa

pengaturan evakuasi yang cukup fleksibel untuk menyediakan kemungkinan jalan keluar tertentu, tempat berkumpul, dan evakuasi kapal penyelamat, untuk menghindari korban akibat kegagalan evakuasi.

Definisi-definisi yang dipakai dalam perhitungan *simplified analysis* antara lain:

- a. *Persons load* adalah jumlah orang yang dipertimbangkan dalam evakuasi.
- b. *Awareness time (A)* adalah waktu yang dibutuhkan bagi orang untuk bereaksi terhadap situasi. Kali ini dimulai setelah pemberitahuan awal (misalnya, alarm) darurat dan berakhir ketika penumpang telah menerima situasi tersebut dan mulai bergerak menuju tempat berkumpul.
- c. *Travel time (T)* didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan untuk semua orang di kapal untuk bergerak dari tempat mereka menuju tempat berkumpul (*assembly station*) kemudian ke tempat pemberangkatan (*embarcations stations*).
- d. *Embarkation time (E) and launching time (L)*, jumlah waktu yang dibutuhkan dari jumlah total orang untuk meninggalkan kapal.

Metode *simplified analysis* memperkirakan waktu evakuasi dasar secara umum oleh karena itu, asumsi analisis dibuat sebagai berikut:

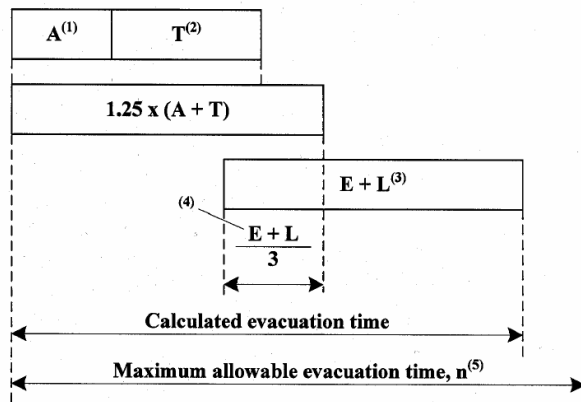
1. Semua penumpang dan ABK akan mulai evakuasi pada saat yang sama dan tidak akan saling menghalangi satu sama lain.
2. Penumpang dan ABK akan mengevakuasi melalui rute pelarian utama, sebagaimana dimaksud dalam SOLAS regulasi II-13/2.
3. Kecepatan berjalan awal tergantung pada kepadatan orang, dengan asumsi bahwa aliran hanya ke arah jalan keluar, dan tidak saling mendahului.
4. Beban penumpang dan distribusi awal diasumsikan sesuai dengan pasal 13 dari kode FSS.
5. Ketersediaan penuh pengaturan melarikan diri dianggap, kecuali dinyatakan lain.
6. Orang dapat bergerak tanpa hambatan.
7. *Counterflow* dicatat oleh faktor koreksi *counterflow*.
8. Efek dari gerakan kapal, usia penumpang dan penurunan mobilitas, pengaturan fleksibilitas, tidak tersedianya koridor, visibilitas yang

terbatas karena asap, diperhitungkan dalam faktor koreksi dan faktor keamanan. Faktor keamanan memiliki nilai 1.25.

2.2. Waktu Evakuasi

Komponen-komponen berikut harus dipertimbangkan:

- a. Waktu kesadaran (A) adalah 10 menit untuk skenario waktu malam dan 5 menit untuk skenario siang hari.
- b. Metode untuk menghitung waktu perjalanan (T) diberikan dalam lampiran 1.
- c. Waktu berkumpul (E) dan waktu peluncuran (L).



Gambar 1. Waktu evakuasi maksimum sesuai kriteria IMO 2007 [3].

Dimana:

- a) 10 menit pada kasus 1 dan kasus 3, 5 menit untuk kasus 2 dan 4.
- b) Dihitung berdasarkan pedoman pada lampiran 1
- c) Maximum 30 menit sesuai dengan regulasi SOLAS III/21.1.4
- d) Waktu *overlap* =  $1/3 (E+L)$
- e) Nilai maksimum  $n$  yang diijinkan

$$Total\ Evakuasi = 1.25(A + T) + \frac{2}{3}(E + L) \leq n \quad (1)$$

$$E + L \leq 30\ menit$$

Dimana:

- untuk kapal penumpang ro-ro,  $n = 60$ ; dan
- untuk kapal penumpang selain kapal penumpang ro-ro,  $n = 60$  jika kapal memiliki tidak lebih dari tiga zona vertikal utama; dan 80, jika kapal memiliki lebih dari tiga zona vertikal utama.

Standar hubungan antara densitas (D) dari orang per meter<sup>2</sup> pada rute evakuasi dengan *specific flow* (Fs) dan kecepatan gerak (S) dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai *specific flow* dan *speed* sebagai fungsi dari *density*

Type	Initial Density	Initial Specific Flow	Initial Speed of Persons
	D (p/m <sup>2</sup> )	Fs (p/(ms))	S (m/s)
Corridor	0	0	1.2
	0.5	0.65	1.2
	1.9	1.3	0.67
	3.2	0.65	0.2
	$\geq 3.5$	0.32	0.1

Tabel 2. Nilai maksimum *specific flow* pada masing-masing tipe tempat

Type	Maksimum Specific Flow
	Fs (p/(ms))
Stairs (down)	1.1
Stairs (up)	0.88
Corridor	1.3
Doorways	1.3

Tabel 3. Nilai maksimum *specific flow* dan *speed* pada masing-masing tipe tempat

Type	Specific Flow	Initial Speed of Persons
	Fs (p/(ms))	S (m/s)
Stairs (down)	0	1
	0.54	1
	1.1	0.55
Stairs (up)	0	0.8
	0.43	0.8
Corridor	0.88	0.44
	0	1.2
	0.65	1.2
	1.3	0.67

Sumber : IMO MSC/Circ. 1238 [3].

Nilai *calculated flow of persons* (Fc) dapat dihitung dengan rumus :

$$F_c = F_s W_c \quad (2)$$

Dimana  $F_s$  adalah *specific flow* dan  $W_c$  adalah *clear width* dari area yang dihitung. Sedangkan *Flow time* ( $t_f$ ) adalah perbandingan jumlah orang dengan *calculated flow*nya, sehingga :

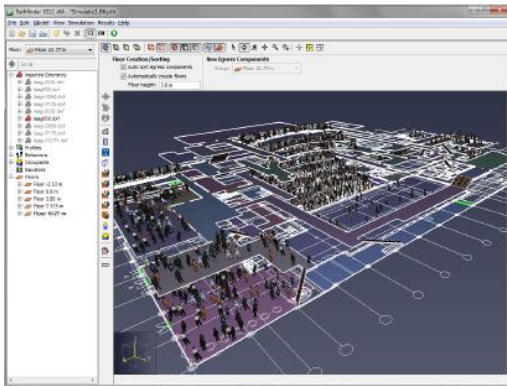
$$t_f = N / F_c \quad (3)$$



### 2.3. Advance Evacuation Analysis

*Pathfinder* adalah salah satu *software* simulasi jalur evakuasi yang berdasarkan agen dan gerakan simulator manusia. *Software* ini menyediakan antarmuka pengguna grafis untuk desain simulasi serta visualisasi 2D dan 3D untuk analisis hasil.

GUI pada *pathfinder* digunakan terutama untuk membuat dan menjalankan model simulasi. Sebuah *screenshot* dari antarmuka pengguna ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Screenshot *pathfinder*.

*Pathfinder* juga mencakup program kedua yang dirancang khusus untuk visualisasi kinerja tinggi dari waktu secara 3D. 3D program hasil ditunjukkan pada Gambar 3. Pada Gambar 3, penumpang berkumpul di area perlindungan sebelum melanjutkan ke lift. Transparansi dari program digunakan untuk membantu pandangan penumpang terhadap dinding pelindung.



Gambar 3. Screenshot visualisasi pada *pathfinder*.

Lingkungan gerakan adalah *mesh* 3D, dirancang agar sesuai dengan dimensi nyata dari sebuah model bangunan. *Mesh* gerakan dapat dimasukkan secara manual atau secara otomatis berdasarkan data impor (misalnya FDS geometri).

Dinding dan daerah lain direpresentasikan sebagai *gap* dalam *mesh* navigasi. Benda-benda ini tidak benar-benar diteruskan ke simulator, tapi

diwakili implisit karena penumpang tidak bisa bergerak di tempat-tempat di mana tidak ada jalan navigasi yang telah dibuat.

Pintu direpresentasikan sebagai tepi khusus *mesh* navigasi. Dalam semua simulasi, pintu menyediakan mekanisme untuk menggabungkan kamar dan jalur pencarian aliran penumpang. Bergantung pada pilihan tertentu dari simulasi, pintu juga dapat digunakan secara eksplisit untuk mengontrol aliran penumpang.

Tangga direpresentasikan sebagai ujung navigasi, jalan khusus dan bentuk segitiga. Kecepatan gerak penumpang dikurangi dengan faktor kecepatan perjalanan berdasarkan tingkat kemiringan dari tangga. Setiap tangga secara implisit mendefinisikan dua pintu. Pintu-pintu ini berfungsi sama seperti pintu lainnya di simulator, tetapi dikendalikan melalui editor tangga untuk memastikan bahwa tidak ada kesalahan geometrik dari ketidaksesuaian antara tangga dan pintu penghubung.

Penumpang diwakili sebagai silinder tegak pada pergerakannya dan gerakannya menggunakan teknik berbasis agen. Setiap penumpang mempunyai gerakan yang independen tidak bergantung satu dengan yang lain.

Dalam mode SFPE, penumpang tidak berusaha untuk menghindari satu sama lain dan diperbolehkan untuk saling merasuk, tapi pintu membatasi adanya batas aliran dan kecepatan yang dikendalikan oleh kepadatan dari penumpang [4].

### 3. Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka dan simulasi perhitungan berdasarkan hasil studi pustaka baik secara *simplified analysis* dan *advance analysis*.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam metodologi ini meliputi:

1. Pengumpulan data-data utama kapal meliputi jumlah penumpang dan sebarannya berdasarkan *general arrangement* kapal Ferry Ro-ro 5000 GT.
2. Dilakukan pengukuran masing-masing ruang dan jalur evakuasi baik pintu, *corridor*, *area* dan tangga.
3. Pengamatan dan penentuan titik *muster point* yang paling memungkinkan dalam evakuasi.

4. Perencanaan diagram hidrolik evakuasi
5. Simulasi dan perhitungan serta analisa kesimpulan

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Untuk penerapan *simplified analysis evacuation* serta *advance analysis evacuation* dalam perhitungannya perlu diketahui data-data kapal, *general arrangement* dan *safety plant*-nya. Kapal penumpang Ro-ro 5000 GT milik ASDP yang digunakan dalam pelayaran Merak – Bakahuni memiliki data sebagai berikut:

##### 4.1. Data dan spesifikasi kapal:

- Panjang keseluruhan (Loa) : 109,40 m
- Panjang antara garis tegak (Lpp) : 99,20 m
- Lebar (*moulded*) (Bmid) : 19,60 m
- Tinggi (*moulded*) (Hmid) : 5,60 m
- Sarat air d : 4,10 m
- *Gross Tonnage* (GT) : 5330 GT
- Kecepatan dinas (Vs) : 15.00 knot

Kapasitas angkut kapal adalah:

##### a. Penumpang

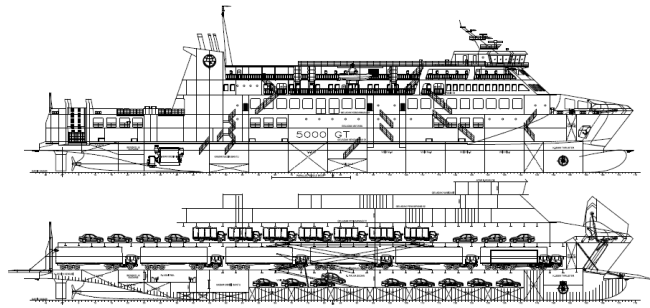
Penumpang kelas VIP: 18 orang (dek penumpang 02), penumpang dek terbuka: 232 orang (dek penumpang 02), penumpang dek kursi baring: 324 orang (dek penumpang 01), penumpang kelas kursi sofa: 140 orang (dek penumpang 01), penumpang dek kafetaria: 98 orang (dek penumpang 01).

##### b. Formasi kendaraan maksimum

Trailer 40 feet: 26 unit, tronton 10 roda: 2 unit, truk medium: 37 unit, sedan: 77 unit.

Untuk memenuhi ketentuan SOLAS, perlengkapan keselamatan jiwa (*life saving appliances*) yang terpasang di kapal antara lain:

- *Rescue boat* (dilengkapi *engine* 230 HP): 2 unit (kap @ 18 pax).
- *Marine Evacuation System* (MES): 2 unit (kap @ 600 pax/30 menit).
- *Inflatable Life Raft* (ILR): 24 unit (kap @ 50 pax).
- *Life jacket*: 1080 set.
- *Life buoy* (ring penyelamat): 22 unit.
- Dan peralatan lain sesuai dengan regulasi LSA/SOLAS.



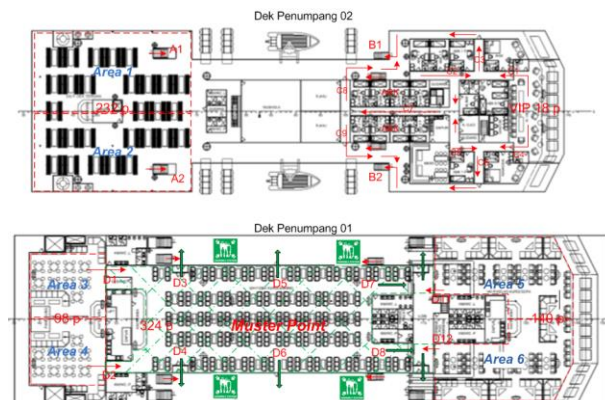
Gambar 4. *General arrangement* kapal Ro-ro 5000 GT.

##### 4.2. Skenario

Untuk perhitungan *simplified analysis evacuation* kali ini diambil suatu skenario evakuasi pada siang hari (*case 2*) dimana dibuat beberapa asumsi yang disederhanakan meliputi:

- a. Titik *muster point* ditentukan pada dek penumpang 01, dimana sebelumnya terdapat 324 penumpang yang berada di tempat tersebut.
- b. Sebaran evakuasi penumpang dianggap merata pada sisi *PortSide* dan *StarBoard* sehingga jumlah penumpang pada area terbagi menjadi dua.
- c. Penumpang pada dek kafetaria (dek penumpang 01) dibagi dalam area 3 dan area 4 dengan masing-masing 47 penumpang.
- d. Penumpang dek kursi sofa (dek penumpang 01) dibagi dalam area 5 dan area 6 dengan masing-masing 70 penumpang.
- e. Penumpang dek terbuka: 232 orang (dek penumpang 02), diasumsikan terbagi dalam area 1 dan area 2 dengan masing-masing 116 penumpang.

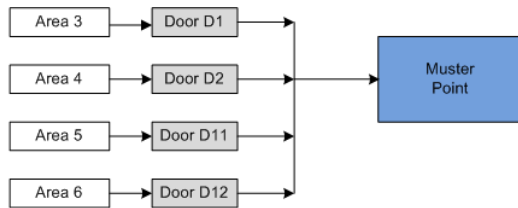
Dari gambar *general arrangement* Ferry Ro-ro 5000 GT, diketahui bahwa sebaran penumpang terdapat pada dek penumpang 01 dan dek penumpang 02 sehingga dibuat suatu rencana jalur evakuasi sebagai berikut:



Gambar 5. Rencana jalur evakuasi.

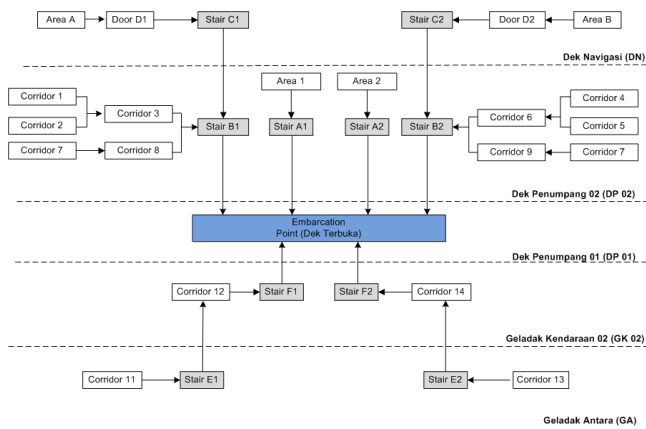
Dari rencana jalur evakuasi tersebut dapat dibuat sebuah skema hidrolik sistemnya sebagai berikut :

A. Penumpang yang menuju Muster Point



Dek Penumpang 01 (DP 01)

B. Penumpang yang langsung ke Embarcation Point (dek terbuka)



Gambar 6. Model hidrolik jalur evakuasi.

(A) Penumpang yang langsung menuju muster point pada dek penumpang 01. (B) Penumpang yang langsung menuju embarcation point.

4.3. Metode Simplified Analysis

4.3.1 Perhitungan  $t_f$ ,  $t_{dek}$  dan  $t_{stair}$

Berdasarkan data perhitungan pada tabel rute yang dibuat maka dapat dihitung *flow time* ( $t_f$ ), waktu untuk tangga ( $t_{stair}$ ) dan waktu pergerakan di dek ( $t_{dek}$ ). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5, untuk masing-masing jalur.

Tabel 5. Hasil perhitungan  $t_f$ ,  $t_{dek}$  dan  $t_{stair}$

Item	(N)	L(m)	Fc (p/s)	S (m/s)	$t_f$ N/Fc	$t_{dek}$ - $t_{stair}$ L/S	to
DN-area A	3	3.33	1.17	1.20	2.57	2.78	door D1
DN -Area B	3	3.33	1.17	1.20	2.57	2.78	door D2
DN - Door D1	3	N.A	0.78	N.A	3.85	N.A	Stair C1
DN - Door D2	3	N.A	0.78	N.A	3.85	N.A	Stair C2
DN - Stair C1	3	2.97	0.80	0.63	3.75	4.71	Stair B1

DN - Stair C2	3	2.97	0.80	0.63	3.75	4.71	Stair B2
DP02-Area 1	116	19.60	8.51	1.13	13.62	17.35	Stair A1
DP02-Area 2	116	19.60	8.51	1.13	13.62	17.35	Stair A2
DP02-Stair A1	116	4.00	1.10	0.55	105.45	7.27	ED
DP02-Stair A2	116	4.00	1.10	0.55	105.45	7.27	ED
DP02-corr 1	18	3.65	0.11	0.10	163.64	36.50	Corr 3
DP02-corr 2	3	8.00	0.24	1.20	12.34	6.67	Corr 3
DP02-corr 3	21	3.95	1.06	0.95	19.89	4.16	Stair B1
DP02-corr 4	13	3.65	0.83	1.12	15.76	3.26	Corr 6
DP02-corr 5	7	3.00	0.56	1.20	12.55	2.50	Corr 6
DP02-corr 6	20	3.95	1.02	0.97	19.55	4.07	Stair B2
DP02-corr 7	16	12.12	0.91	1.05	17.52	11.54	Corr 8,9
DP02-corr 8	8	3.80	0.68	1.20	11.70	3.17	Stair B1
DP02-corr 9	8	3.80	0.68	1.20	11.70	3.17	Stair B2
DP02-Stair B1	31	4.00	0.88	0.55	35.23	7.27	ED
DP02-Stair B2	32	4.00	0.88	0.55	36.36	7.27	ED
DP01-Area 3	49	8.50	5.21	1.03	9.40	8.25	Door D1
DP01-Area 4	49	8.50	5.21	1.03	9.40	8.25	Door D2
DP01-Area 5	70	13.50	5.25	1.10	13.33	12.27	Door D11
DP01-Area 6	70	13.50	5.25	1.10	13.33	12.27	Door D12
DP01-D1	49	N.A	1.56	N.A	31.41	N.A	Muster Point
DP01-Door D2	49	N.A	1.56	N.A	31.41	N.A	Muster Point
DP01-Door D11	70	N.A	1.56	N.A	44.87	N.A	Muster Point
DP01-Door D12	70	N.A	1.56	N.A	44.87	N.A	Muster Point
GK 02-corr 12	4	7.27	0.72	1.20	5.55	6.06	Stair F1
GK 02-corr 14	4	7.27	0.72	1.20	5.55	6.06	Stair F2
GK 02-Stair F1	4	5.50	0.88	0.88	4.55	6.25	ED
GK 02-Stair F2	4	5.50	0.88	0.88	4.55	6.25	ED
GA-corr 11	4	2.55	1.45	1.04	2.77	2.45	Stair E1
GA-corr 13	4	2.55	1.45	1.04	2.77	2.45	Stair E2
GA-Stair E1	4	3.45	0.88	0.88	4.55	3.92	Corr 12
GA-Stair E2	4	3.45	0.88	0.88	4.55	3.92	Corr 14

4.3.2 Perhitungan waktu *assembly*

Pada perhitungan waktu *assembly* seperti yang tertera pada Tabel 6, digunakan 2 model *assembly* dimana untuk tabel Model A dari *muster point* ke titik *assembly*, penumpang melalui pintu D3-D8

dengan 3 titik *assembly* pada sisi PS dan 3 pada sisi SB, dimana penumpang terbagi merata.

**Tabel 6. Hasil perhitungan waktu *assembly* Model A**

Item	(N)	L(m)	Fc (p/s)	S (m/s)	t <sub>f</sub> N/Fc	t <sub>dek</sub> L/S	To
DP01- D3	110	3.00	1.22	1.2	90.06	2.5	Ass.st
DP01- D4	110	3.00	1.22	1.2	90.06	2.5	Ass.st
DP01- D5	70	5.90	0.77	1.2	90.06	4.9	Ass.st
DP01- D6	70	5.90	0.77	1.2	90.06	4.9	Ass.st
DP01- D7	101	9.40	1.12	1.2	90.06	7.8	Ass.st
DP01- D8	101	9.40	1.12	1.2	90.06	7.8	Ass.st

Pada Model B, titik *assembly* dianggap hanya pada sisi PS dan SB saja secara memanjang, sehingga penumpang di *muster point* terbagi menjadi 2, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

**Tabel 7. Hasil perhitungan waktu *assembly* Model B**

Item	(N)	L(m)	Fc (p/s)	S (m/s)	t <sub>f</sub> N/Fc	t <sub>dek</sub> L/S	To
DP01- SB	281	18.3	3.12	1.0	15.3	16.9	Ass
DP01- PS	281	15.4	3.12	1.0	18	14.2	Ass

4.3.3 Perhitungan nilai T

Perhitungan waktu T berdasarkan petunjuk IMO diambil dari waktu maksimum t1, dikalikan dengan 2.3 (sebagai faktor koreksi), sehingga nilai maksimum waktu T dari masing-masing rute dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8: Hasil perhitungan waktu evakuasi**

Escape route	t <sub>dek</sub>	t <sub>f</sub>	T <sub>stair</sub>	T <sub>ass</sub>	t1	T	Note
DN-Stair C1	2.78	45.40	11.99	0	60.16	138.4	1,2
DN-Stair C2	2.78	46.53	11.99	0	61.30	141.0	1,2
DP02-Stair A1	17.35	119.08	7.27	0	143.70	330.5	1,2
DP02-Stair A2	17.35	119.08	7.27	0	143.70	330.5	1,2
DP02-Stair B1	40.66	64.45	7.27	0	112.38	258.5	1,2
DP02-Stair B2	14.71	65.58	7.27	0	87.57	201.4	1,2
DP01 (model A)	12.27	148.27	0.00	7.8	168.37	387.2	1,3
DP01 (model B)	0	73.56	0.00	16.9	90.50	208.2	1,3
GK 02-Stair F1	6.06	10.09	6.25	0	22.40	51.5	1,2
GK 02-Stair F2	6.06	10.09	6.25	0	22.40	51.5	1,2
GA-Stair E1	2.45	17.41	10.17	0	30.03	69.1	1,2
GA-Stair E2	2.45	17.41	10.17	0	30.03	69.1	1,2

Note:

1. *Flow time* (t<sub>f</sub>) adalah waktu maksimum yang terhitung pada rute jalur evakuasi darimana dek orang tersebut berasal dan mulai dievakuasi.
2. Nilai t *assembly* dianggap 0 karena orang-orang telah mencapai titik *embarcation point* sehingga tidak dibutuhkan waktu untuk mencapai titik

*assembly station*. (lihat MSC.1/Circ.1238 hal 24).

3. Total waktu pergerakan pada tangga (t<sub>stair</sub>) adalah total waktu yang dibutuhkan untuk bergerak pada tangga yang dilewati mulai dari dek berasal sampai dek dimana *muster point* berada.

Dari hasil perhitungan dengan metode *simplified* didapatkan nilai T terbesar adalah 387.2 detik, maka pada case siang hari dipakai nilai *awarness* adalah 5 menit dan nilai E + L diasumsikan 30 menit sehingga:

$$1.25 * (A+T) + 2/3 (E+L)$$

$$1.25 * ( 6'27'' + 5) + 2/3 (30) = 34' 19''$$

Nilai n yang didapatkan **34 menit 19 detik**.

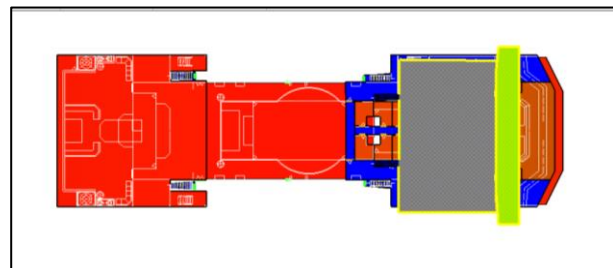
4.4. Metode *Advance Analysis*

Ada beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk mensimulasikan dengan *software pathfinder* dimana dalam simulasi ini ada beberapa asumsi yang digunakan antara lain :

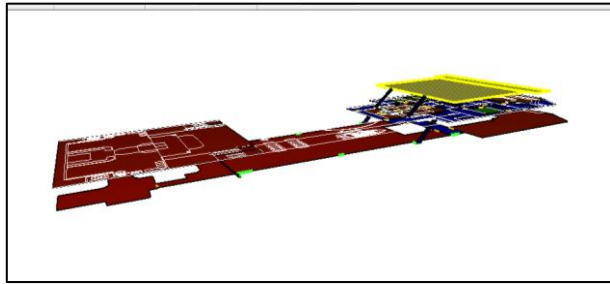
- a. Karena sebaran penumpang terbanyak terdapat pada dek penumpang 01 dan dek penumpang 02 maka simulasi difokuskan pada area tersebut, sehingga untuk simulasi hanya akan dibuat dek navigasi, dek penumpang 02 dan dek penumpang 01.
- b. Untuk dek pada geladak antara dengan 4 orang ABK tidak dibuat simulasi karena berdasar *simplified evacuation* waktu T yang dibutuhkan menuju *embarcation point* sangat kecil sehingga tidak berpengaruh.
- c. Metode simulasi yang akan digunakan adalah dengan SFPE.

Untuk langkah-langkah persiapan yang dilakukan antara lain:

- a. Persiapan atau pembuatan model uji dengan *pathfinder*. Pada tahap ini dilakukan penggambaran 3D kapal dan ruangan penumpang serta jalur, tangga, dan pintu.

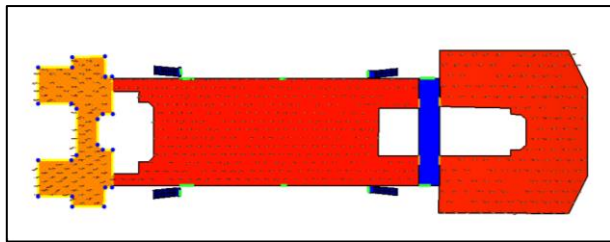


Gambar 7. Pemodelan pada *pathfinder*.

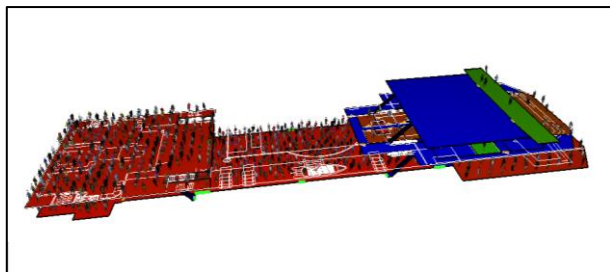


Gambar 8. Pemodelan pada pathfinder.

- b. Penetapan jumlah sebaran *occupants* atau penumpang pada masing-masing ruangan atau area sesuai dengan data yang ada.



Gambar 9. Sebaran penumpang dek penumpang 01.

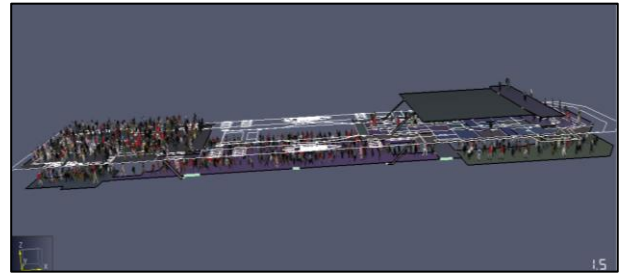


Gambar 10. Sebaran penumpang dek penumpang 01, dek penumpang 02, dan dek navigasi.

Pengecekan jika terjadi *error* pada gambar yang dibuat, dimana akan muncul tanda *error* pada menu sebelah kiri.

4.4.1 Simulasi (SFPE Mode)

Dalam SFPE mode, penumpang mengikuti aturan yang dijelaskan dalam panduan SFPE: kecepatan penumpang adalah fungsi kepadatan ruang, penumpang dapat menempati ruang yang sama, dan laju aliran melalui pintu didasarkan pada SFPE. Mode ini memberikan hasil dasar sesuai kasus dengan solusi yang diakui. Pilihan analisis ini adalah komputasi cepat.

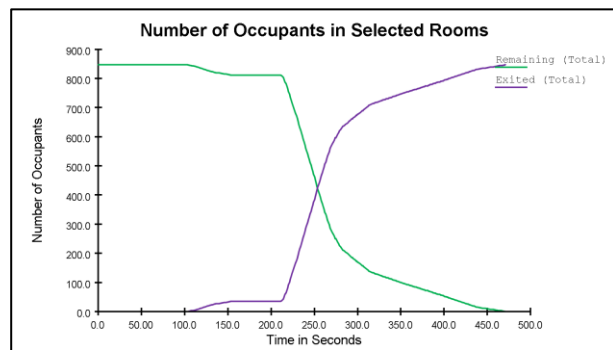


Gambar 11. View 3D running hasil simulasi.

Untuk jumlah sebaran penumpang mengacu dari IMO, akan tetapi penyandang cacat dianggap tidak ada/dihilangkan, dengan *initial respon time* antara 180 – 240 detik, distribusi log normal dengan rata-rata 210 detik, sehingga sebaran penumpang adalah sebagai berikut :

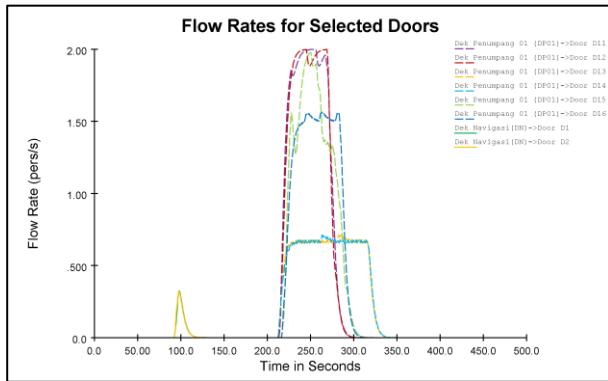
Penumpang	Jumlah %
Female < 30	14
Female 30-50	14
Female > 50	22
Male <30	14
Male 30-50	14
Male > 50	22

Dengan pembagian *route* penumpang dibuat seperti pada metode *simplified evacuation*. Dari hasil *running* program didapatkan:



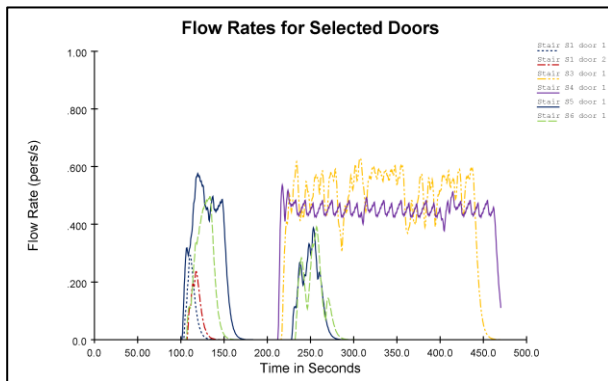
Gambar 13. Grafik jumlah penumpang dan waktu yang dibutuhkan untuk meninggalkan ruangan.

Dari grafik Gambar 13, terlihat bahwa waktu yang dibutuhkan paling lama dari penumpang adalah 470.6 detik.



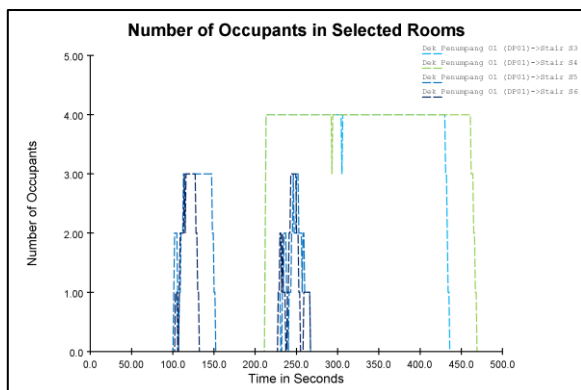
Gambar 14. Grafik flow rates masing-masing pintu.

Dari flow rate Gambar 14, terlihat bahwa pintu paling banyak digunakan adalah pintu D11 dan D12, dimana mencapai 2 persons/detik, hal ini dimungkinkan karena posisi pintu keluar yang dekat dengan kerumunan penumpang pada dek penumpang 01.

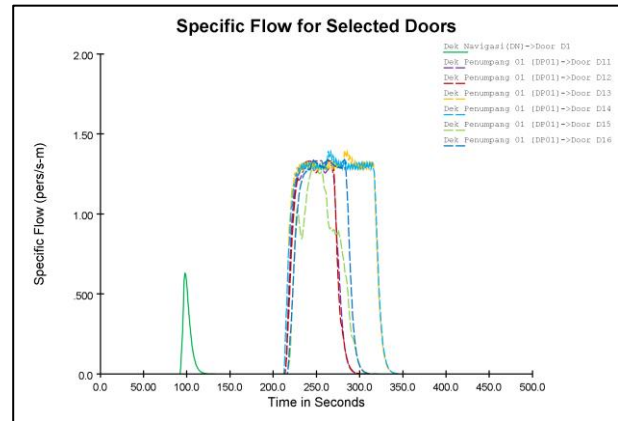


Gambar 15. Grafik flow rates masing-masing tangga.

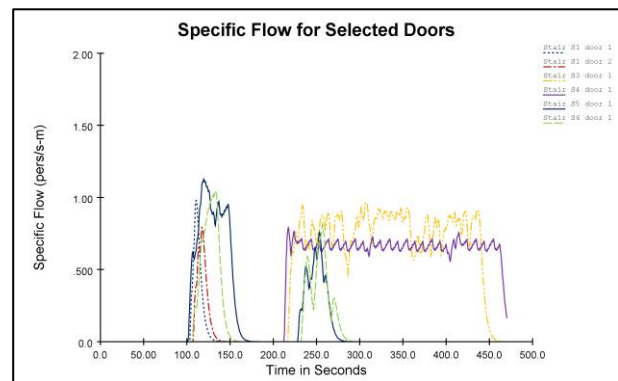
Dari flow rate tangga terlihat bahwa tangga paling banyak digunakan adalah tangga S3 dan S4, dimana mencapai 0.6 persons/detik, selama kurun waktu 309 detik, hal disebabkan tangga tersebut merupakan jalur dari area 1 dan area 2 dengan jumlah penumpang pada area tersebut mencapai 232 orang.



Gambar 16. Grafik jumlah penumpang dan waktu pada masing-masing tangga di dek penumpang 01.



Gambar 17. Grafik specific flow masing-masing pintu.



Gambar 18. Grafik specific flow masing-masing tangga

Selaras dengan flow rate maka jumlah penumpang paling banyak melewati pintu D11, D12 dan D15. Sedangkan untuk tangga yang paling banyak digunakan penumpang adalah tangga S3 dan S4.

Dari hasil simulasi didapatkan T terbesar adalah 470.6 detik, maka pada case siang hari dipakai nilai E + L diasumsikan 30 menit sehingga:

$$1.25 (T) + 2/3 (E+L)$$

$$1.25 * (7'50'') + 2/3 (30) = 29' 48''$$

Nilai n yang didapatkan dengan metode advanced evacuation adalah 29 menit 48 detik.

## 5. Kesimpulan

Dari tulisan dan hasil perhitungan studi kasus yang diambil dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari perhitungan evakuasi pada kapal Ro-ro 5000 GT dengan metode simplified analysis dengan skenario siang hari didapatkan waktu T 387.2 detik (tanpa faktor pengali 168.37 detik) dan nilai n sebesar 34 menit 19 detik.
2. Dengan advance analysis, simulasi menggunakan pathfinder (SFPE-Basic) didapatkan waktu untuk evakuasi menuju

- embarcation point* atau nilai T adalah 470.6 detik sehingga nilai n sebesar 29 menit 48 detik.
- Adanya selisih waktu pada kedua metode disebabkan oleh perbedaan pendekatan densitas ruangan, pendekatan interpolasi manual, dan adanya faktor pengali nilai T sebesar 2.3 pada perhitungan *simplified evacuation* (sehingga waktu T menjadi besar/*over estimate*).
  - Penentuan waktu respon (*initial delay*) pada *advance analysis* yang berkisar 180 – 240 detik juga mempengaruhi waktu T hasil simulasi, sehingga diperlukan penelitian lebih detail tentang perilaku penumpang khususnya di beberapa wilayah Indonesia.
  - Bahwa jalur evakuasi baik secara perhitungan *simplified* dan *advance analysis*, memenuhi

standart IMO MSC/Circ.1238 (dibawah batas maksimum yang diijinkan sebesar 60 menit).

## Referensi

- BPTD Wilayah VIII Banten, “Laporan Produksi Pelabuhan Merak 2016”, diunduh [07 Februari 2017] melalui <http://oppmerak.dephub.go.id/page/profil/1>
- Kabarbisnis, “Atasi kepadatan arus Merak-Bakauheni, 3 unit kapal Ro-Ro bakal dioperasikan”, diunduh [16 Januari 2017] melalui <http://www.kabarbisnis.com/read/2849614/atasi-kepadatan-arus-merak-bakauheni--3-unit-kapal-ro-ro-bakal-dioperasikan>.
- IMO, “Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships, MSC.1/Circ.1238”, London, 2007.
- Pathfinder Thunderhead Engineering, “Pathfinder Verification and Validation”, Manhattan, USA, 2015.

# The Effect of Waves on the Maneuvering Characteristics of Ferry Vessel

Mansyur Hasbullah\*<sup>1</sup>, Daeng Paroka<sup>1</sup>, Hanisa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen of Naval Architect, Faculty of Engineering, Hasanuddin University

Jl. Perintis Kemerdekaan km. 10 Tamalanrea - Makassar, 90245

\*Email: mansyur\_hasbullah@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.02

## Abstract

Wave is one of the natural phenomena that give effect to the cruise ship. The energy produced by the wave is very large that makes the ship turn directions. Therefore the turn has an error coordinates of starting point of ship. Deviation of the coordinates has made a farther distance and increase of fuel consumption, so the operational costs being higher. The research would predict the drift angle, the ship speed and large of rudder angle to be used after the ship got the influence of wave. Taking into account the motion of surge, sway, yaw. Simulations performed by using Delphi software, with variations of the height of wind  $H_w = 0.5$  m, 1 m, 1.5 m and 2 m, flatness of the wave = 0.01, the speed of the wind ratio  $U_w/U = 0 - 20$  m/s and wave direction coming  $\psi_w = 0^\circ - 180^\circ$  on the side of the ship. The biggest of drift angle happened on  $50^\circ$  wave direction. The biggest of rudder angle happened on  $110^\circ$  wave direction while the maximum ship speed happened on  $160^\circ$  wave direction.

**Keywords:** Drift angle, maneuvering, rudder angle, ship speed, wave

## 1. Introduction

### 1.1. Background

Ship maneuvering characteristics is influenced by several external factors: which include two important things which are sea state and state of the waters. This needs to be understood in view of the limited ability of the vessel to face the weather and sea waters, as well as the movement of the ship in the water also requires sufficient space. One of the external factors that influence is a wave. Meanwhile, internal factors (ship) is the weight of the vessel, the dimensions of the vessel, hull, engine (propeller), and rudder system (steering system).

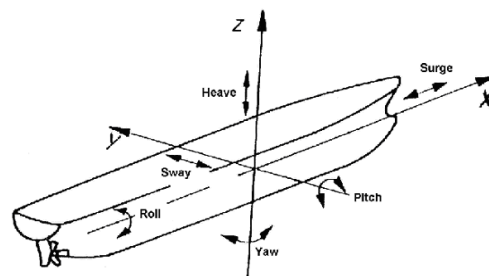
The influence of the waves against the yaw motion stability is very important to be analyzed, especially while the ship to be operating in wave conditions at far greater length than the length of the ship and the ship's position is on the slopes of the wave. This condition is known by the phenomenon of surf - riding. In this condition, the yaw motion of the vessel can be unstable despite steering control is given. The vessel will turn and move with the waves, the ship position will

ultimately sideways against the waves and eventually sink or reversed.

## 2. Theoretical Basis

### 2.1. Ship Motion

The motion behavior of the ship is divided into six-degrees of freedom (six-degree of freedom), namely surge, sway, yaw, heave, roll and pitch are shown in Fig. 1.



**Figure 1.** Six degrees of freedom of movement of ships

The motions definition of Fig. 1 are described below:

- *Surge* is one of the translational motion where the vessel experienced on the  $x$  axis, the motion is not the case of mass change of the vessel and so there is no point buoyancy



protects force.

- *Sway* is one of the translational motion of the ship experienced displacement in the *y*-axis (move sideways), on the motion of the ship's center of gravity has not changed or fixed so there is no change of the mass of the ship and the point also bouyancy not move and no force protects.
- *Yaw* is one of the rotational motion of a moving ship spins on the *z* axis so that if observed from the above it can be seen moving ship rotates.
- *Heave* is a movement up and down the ship vertically.
- *Roll* is wobbling motion which is the rotational motion of the ship on the *x* axis.
- *Pitch* is the angular movement of the rotating fore and aft of the transverse axis of the ship, along the *y*-axis.

### 2.1. Steering Ship

Rudder is a device to change direction ship by changing the direction of fluid flow that result in changes of ship direction. The steering wheel is placed at the threshold of the back hull (stern) behind the propeller driven mechanically or hydraulically from the bridge by moving steering wheel. Because of the important role of steering the foresail then set in SOLAS International Convention in Chapter II-1 Construction regarding subdivision and stability, machinery and electrical installations.

Rudder has the ability to maintain direction in accordance with the command. Since the requirements for passenger ships steering the wheel of one type of blade that is widely used is the type of Van Amorengen with specifications between  $-35^\circ$  to  $35^\circ$  and rudder employment rate of  $2.3^\circ-7^\circ$  each second. The minimum requirement for an average rate rudder is determined by the classification society. It is required that the rudder can be moved  $35^\circ$  from the port towards  $35^\circ$  to starboard in no more than 30 seconds.

For steering blade construction drawings can be seen in Table 1.

**Table 1. Standard maneuverability ship by IMO (Resoluiton MSC 137 (76) 2002)**

Ability	Test	Creiteria
Turning ability	Turning test with max. Rudder Angle (35 deg.)	Advance <4.5 L Tactical diameter <5.0 L
Initial turning ability	10°/Z-test 10°	Distance ship rudder run before execution <15 L <sup>2nd</sup>
Stopping ability	Stopping a stern test with full	Track reach <15 L 1 <sup>st</sup> overshoot <(L/U) (10s <L/U, 30s)10° <(30s <L/U)20°
Course-keeping and yaw-checking ability	10°/Z-test 10°	2 <sup>nd</sup> overshoot <(L/U <10s)25° <17.5 + 0.75 (L/U)) (10s <L/U <30s) ° <(30s <L/U)40°

The maneuver used in the experiments at sea following a recommendation from the trial maneuvering code of ITTC (1975) and the IMO circular MSC 389 (1985). IMO also determine the appearance of some of the results on posters, bucklet and maneuvering bucklet in IMO Resolution A.601 (15) (1987).

## 3. Methodology

### 3.1. Location and Time Research

This research was conducted in the laboratory of hydrodynamics, Naval Architect Department, Faculty of Engineering, University of Hasanuddin.

The vessel which were used as a sample of this research is Ro-Ro Ferry KMP SULTAN Murhum 300 GT with the primary measure shown in Table 2.

**Table 2. Dimensions of the vessel**

No	Top size	Coefficient Form	Size Rudder	System Propulsion
1	LOA = 36.4 m	Cb = 0.63	Hr = 1.559 m	D = 1.1
2	LWL = 35.73 m	Cm = 0.986	IR = 1.331 m	N = 4
3	LBP = 31.5 m	Cw = 0.886	N = 2	n = 8.578
4	B = 8.7 m	Cp = 0.804	yR = 2.55 m	YP = 2.55
5	H = 2.65 m		xr = -15.75 m	
6	T = 1.65 m			
7	V = 10.5 Knot			

Source: PT. IKI (Shipbuilding Industry Indonesia)

## 4. Result and Discussion

### 4.1. Coefficient of Hydrodynamics

For calculating the coefficient of hydrodynamic hull according to Yoshimura and Ning Ma with semi-empirical method, which considered 3 (three) movement of ships that are surge, sway and yaw. To run the program, required input data from the vessel which is the object of research. The procedure or display the data input on the Delphi program is as follows:

- Input ship main dimensions

**Figure 2. Display form data input ship main dimensions**

- Once the input data completed, then input the data section (section width, height and wide section section) as well as waveform data (height and flatness of the wave)

**Figure 3. Display form data input section and wave**

- The next step is a data input propulsion

**Figure 4. Display form data input propulsion and ship resistance**

- Furthermore, the boat input steering data

Figure 5. Display form data input steering the boat

- Input field catch the wind

Figure 6. Display form data input capture wind field

- To get the predictions of the hydrodynamic coefficients derived motion maneuver the ship then used formulas according to Yoshimura and Ning Ma (2003) conducted by the method of semi - empirical. At Delphi software coefficients hydrodynamic hull open window, press ok then the figures showing coefficient forces and moments hydrodynamic hull.

Figure 7. Display form calculation results hydrodynamic force and moment coefficients hull

- The result of the calculation of force and moment coefficients in the direction of the wind surge, sway and yaw as a function of the direction the wind comes against the hull are given in the form of a curve as shown in the figure below.

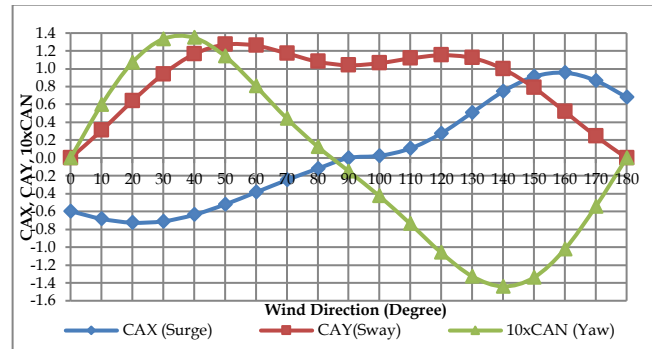


Figure 8. Relationship comes wind direction with wind force and moment coefficients on the motion of surge, sway and yaw

Fig. 8 shows the relationship between the direction of the wind coming with the wind force and moment coefficients. The coefficient in question is the coefficient of wind forces and moments on the motion surge (CAX), coefficient of wind forces and moments on the motion sway (GEO) and the coefficient of wind forces and moments on the motion of yaw (CAN) were calculated using the Fujiwara equation with a higher degree of accuracy than previous methods, using physical components, the flow resistance longitudinal, cross flow resistance, lift and induced obstacles. For surge coefficient (CAX) on the wind direction 90°, CAX = 0 and tend to fall in the direction of the wind coming 80° - 0° i.e. CAX = -0.11944 up -0.5962. Then came the wind rose in the direction 100° - 180°, ie CAX = 0.0239 to 0.681 and the highest value of CAX at 160° direction the wind comes, namely 0.955. For coefficient sway (CAY) in the direction of the wind coming 00 value ie 0 and tends to rise to the direction the wind comes 10° - 50°, the GEO = 0 to CAY = 1.27.

The greatest value also occurs in the direction the wind comes 50° is 1.27 and tend to fall in the direction of the wind coming 60° - 90°, the GEO = 1.259 up to 1,038. While on the direction the wind comes 100° - 120°, up the GEO = 1.062 to 1.151. For directions coming wind 130 ° - 180 °, GEO value tends to fall, namely CAY = 1.121 to

the direction of the wind 180° come back with value 0. For coefficient yaw (CAN) in the direction of the wind coming 0° - 40° tends to rise namely to CAN CAN = 0.595 = 1.347. At the direction of the wind coming 50° - 140°, the value of which fell CAN CAN = 1.14 to CAN = -1.439. And come up again in the direction of wind 150° - 170°, i.e. CAN CAN = = -1.339 to -0.544.

#### 4.2. Effects Against Wave Drift Angle

Based on the purpose of this study was to know the effect of the waves against the ship maneuvering characteristics and get the value of drift angle, rudder angle which affects the speed of the ship. To obtain these results used wind speed and wave height is varied and carried out simulations using the Delphi program. Wave height (Hw) used was 0.5 m, 1 m, 1.5 m and 2 m. Wind speed used is 0 m / s, 10m / s and 20 m / s while the direction of the wind come together with the wave direction which ranges from 0°-180° with 10° intervals can be seen in Figs. 4-9.

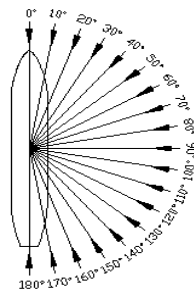


Figure 9. Directions came the wind and waves on the hull

Variables that influence on the size of the ship in addition to wind drift angle is the wave. The amount of drift angle obtained by simulation with the results as in the Fig. 10.

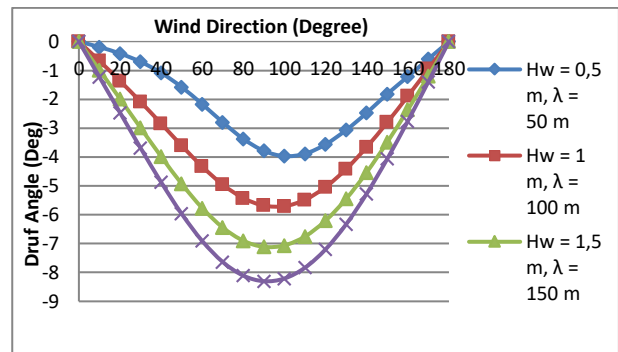


Figure 10. Drift angle various incident angle of wind for wind speed of 0 m/s

Fig. 10 shows the comparison of the magnitude of the drift angle and wind angle of incidence ranging from 0 - 180° for a wide variety of wave height and wind speed of 0 m/s. For the blue curve illustrates the wave height (Hw) of 0.5 m and the flatness of 0.01 wave. Furthermore, 1 m, 1.5 m and 2 m with the same wavelength flatness of 0.01. The value *drift angle* (deg) ship rectilinear motion obtained on the ship, and the magnitude of each drift angle in seen in Table 3.

Table 3. Table drift angle when the wind speed of 0 m/s

Hw, λ	Come Wind Direction								
	100°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
0.5 m, 50 m	-	-	-	-3.06	2.47	1.81	-1.21	-0.60	0.00
1 m, 100 m	-	-	-	-4.42	3.62	2.80	-1.89	-0.95	0.00
1.5 m, 150 m	-	-	-	-5.45	4.53	3.49	-2.36	-1.19	0.00
2 m, 200 m	-	-	-	-6.33	5.27	4.06	-2.76	-1.39	0.00

Hw, $\lambda$	Come Wind Direction									
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
0.5 m, 50 m	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 m, 100 m	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.5 m, 150 m	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 m, 200 m	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		0.19	0.41	0.70	1.08	1.58	2.17	2.80	3.37	3.79
		0.67	1.36	2.09	2.84	3.61	4.33	4.96	5.42	5.68
		0.99	1.98	2.99	3.98	4.93	5.77	6.44	6.90	7.11
		1.23	2.46	3.69	4.87	5.97	6.91	7.64	8.11	8.30

The influence of wave height on the ship drift angle is greater than the angle of the wave height will be even greater drift boat. Drift angle changes because of the influence of the force surge, sway and yaw moment can be seen in Figs. 11 - 13.

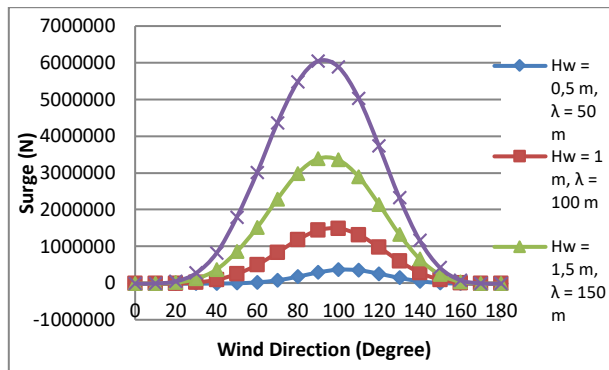


Figure 11. Force surge came various angles of wind for wind speed of 0 m/s

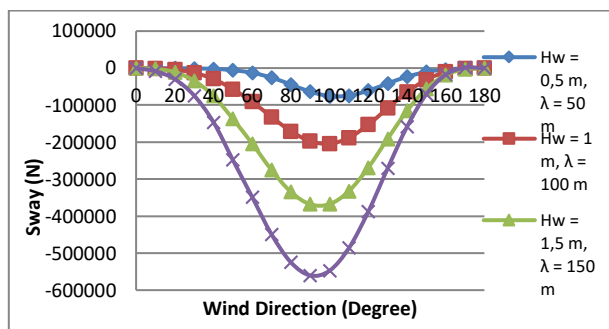


Figure 12. Force sway various angles to the wind speed wind comes 0 m/s

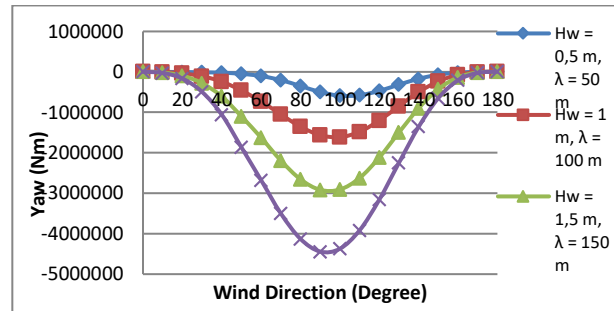


Figure 13. Yaw moment came various angles of wind for wind speed of 0 m/s

From Figs. 11 until 13, indicating that the value of the force surge, sway and yaw moments have influence to change the drift angle on the ship. Force sway and yaw moments have an enormous influence on the change of angle of drift that consists of several elements of the hull, steering, wind and waves. The greater the value of the force sway and yaw moment of the magnitude of drift angle deviation is also getting bigger. This can be seen in a value force sway and yaw moment when the wave height of 0.5 m and 1 m primarily at an incidence angle of 100° waves.

For the wave height (Hw) of 0.5 and 1 m deviation The drift angle when the incidence waves angle 100°. As for the wave height of 1.5 m and 2 m primarily at 90° angle of attack. Similarly to the largest deviation drift angle when the incident angle 90° waves. For the value of each - each element of the hull, rudder, propeller, wind and wave force surge, sway and yaw moment can be seen in the figure below.

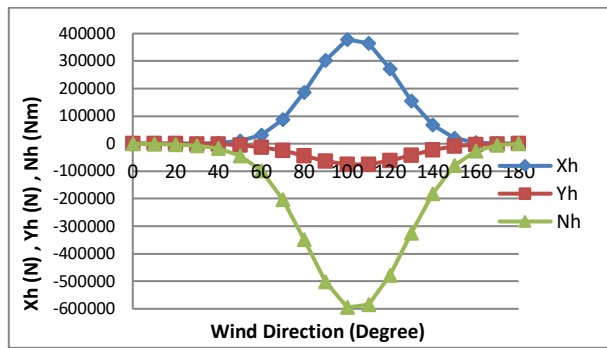


Figure 14. Forces and moments coming hull various angles to the wind speed wind 0 m/s

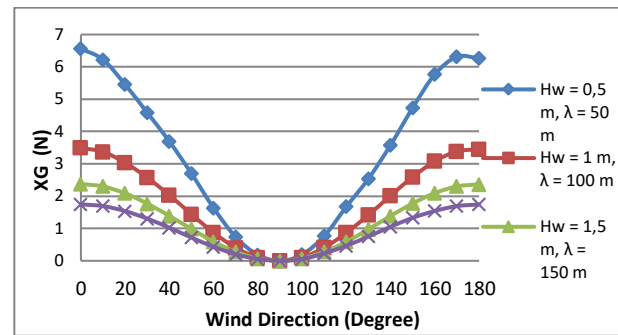


Figure 18. Force surge wave wind coming at various angles to the wind speed of 0 m/s

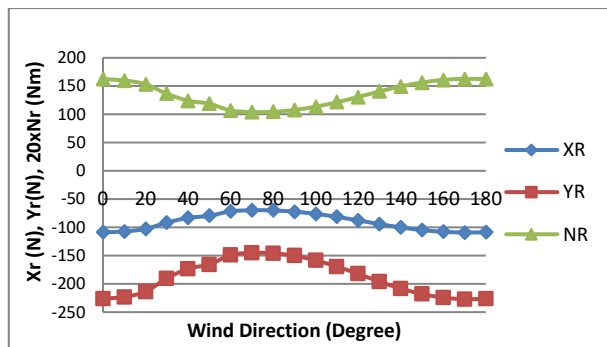


Figure 15. Forces and moments came wind rudder various angles to the wind speed of 0 m/s

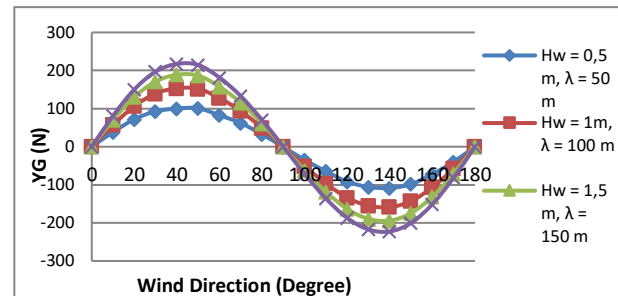


Figure 19. Force sway wave coming at various angles to the wind speed wind 0 m/s

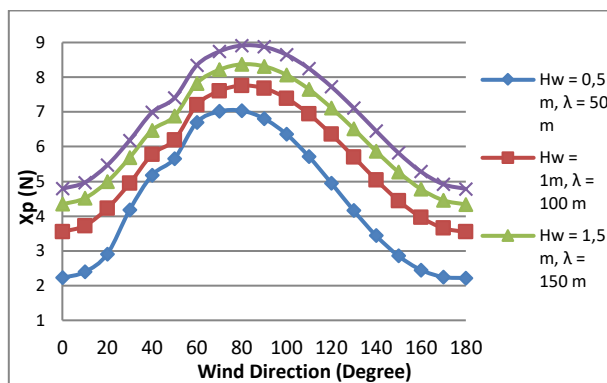


Figure 16. Propeller-force wind came various angles to the wind speed of 0 m/s

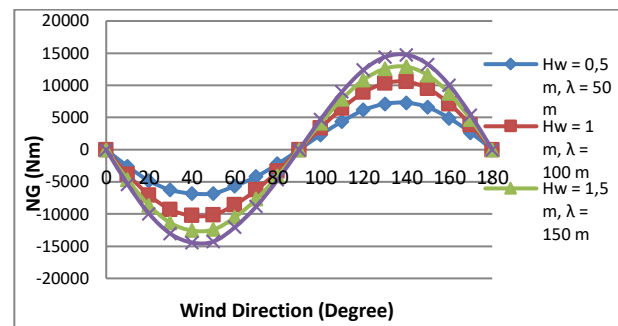


Figure 20. Yaw moment various angles coming wave of wind for wind speed of 0 m/s

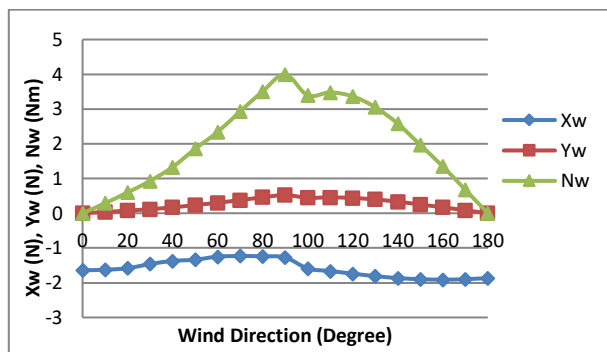


Figure 17. Forces and moments come breeze wind various angles to the wind speed of 0 m/s

Description of the forces and moments acting on the ship direction of surge, sway and yaw caused by the hull, propeller, rudder wind and waves at various angles come to the ship. Surge force caused by the hull tend to be larger than the force surge caused by the waves. Therefore, the surge toward the hull more dominant force than the force of the waves. Force surge due to gastric primarily at an incidence angle of  $90^\circ$  while the wind force due to surge during the largest wave came wind direction  $180^\circ$ .

The force due to sway due to wave at the direction the wind comes less than  $90^\circ$  is positive and at greater than  $90^\circ$  is negative while

the force of the hull is negative. The maximum yaw moment due to the hydrodynamic hull moments occur at an angle of  $90^\circ$  while the wind came the moment of the wave reaches a maximum value at an incidence angle of  $140^\circ$  wind. Forces and moments acting on the vessel hull and wave as a result it can be concluded that the force in the direction of sway and yaw moment in the direction to have a dominant influence on drift angle and steering angle.

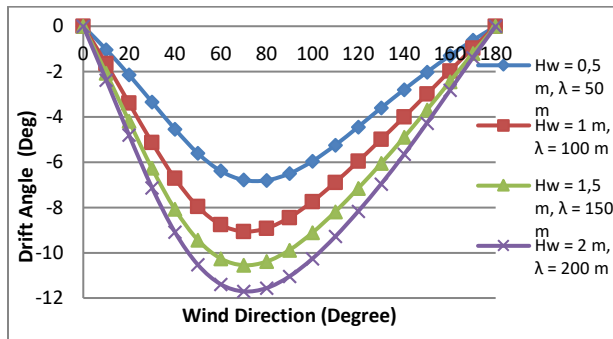


Figure 21. Drift angle at various angles to the wind speed of wind came 10 m/s

Fig. 21 shows that the effect of high waves against the ship drift angles are greater the higher the waves the boat drift angle will be even greater. At the time of wave height (Hw) of 0.5 m and a  $80^\circ$  angle of incidence of wind drift angle of the total of  $-6.803^\circ$ . For the wave height of 1 m The drift angle when the angle of incidence of wind drift angle  $70^\circ$  where  $-9.059^\circ$ . As for the wave height (Hw) of 1.5 m and 2 m The drift angle when the incident angle of  $70^\circ$  wind. Once the process is done constantly running, so that each magnitude drift angle(deg) vessels for a wide variety of length and height of the waves presented in Fig. 21.

Drift angle changes because of the influence of the force surge, sway and yaw moment when the wind speed of 10 m / s can be seen in Figs. 22 - 23.

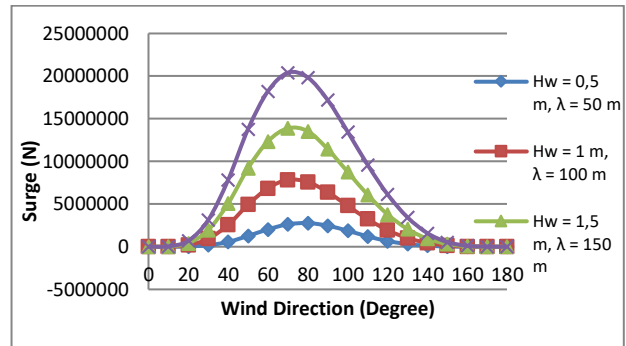


Figure 22. Moment came surge at various angles to the wind speed of wind 10 m/s

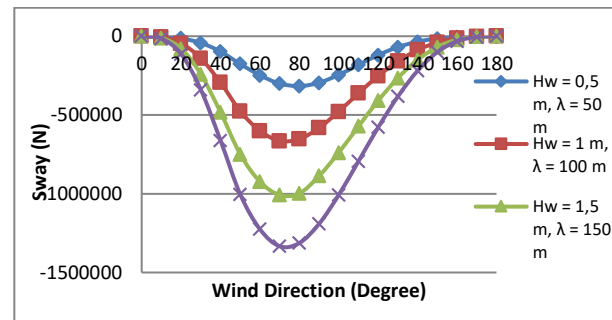


Figure 23. Yaw moment came at various angles to the wind speed wind 10 m/s

From Figs. 22 to 23, indicating that the value of the force sway and yaw moment of the direction of the wave direction, where the force of sway and yaw moment consists of elements (hull, propeller, rudder, wind and waves). Force sway and moments yaw affects the drift angle is evident from the above picture is good value force sway and moments yaw, the greater the incidence angle of the wind against the ship, then the value of the force sway and moments yaw getting bigger until the angle of incidence of wind equal to  $80^\circ$  for the high waves of 0.5 m. In the incident angle is greater than  $90^\circ$  wind and wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m, the value force sway and yaw moment is getting smaller with increasing incidence angle of the wind against the ship. When the wind incidence angle equal to  $180^\circ$ , the value force sway and yaw moment is equal to 0. And the value force sway and yaw moments occur in the largest wave direction  $80^\circ$  to wave height of 0.5 m. While the greatest value force sway and yaw moment to wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m occurs when the incident angle of  $70^\circ$  wind.

It can be concluded that the value of drift angle and value force sway and yaw moment proportional. The greater the value of the force sway and yaw moments then drift angle will also increase and vice versa the smaller the value force sway and yaw moments then drift angle will also be smaller.

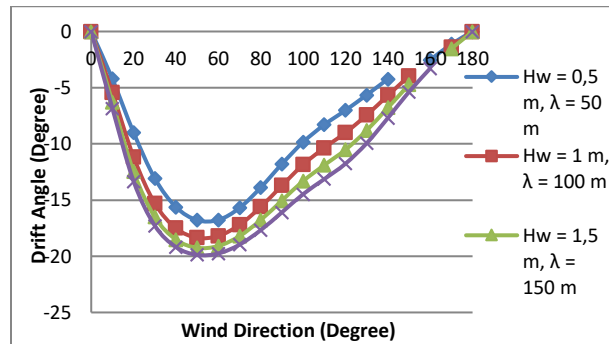


Figure 24. Drift angle at various angles to the wind speed of wind came 20 m/s

From Fig. 24, wind speed of 20 m/s wind the greater the incidence angle of the boat, then the boat drift angle increases. In the incident angle of wind 0 - 50°, the greater drift angles with increasing incidence angle of the wind against the ship. When the incident angle of the wind 60 - 170° then drift angle smaller vessels. As for the direction the wind comes, the amount of drift angle 180° ship is 0.

Based on the figure to the incident angle of wind 0 - 180°, or in other words the direction the wind comes either from the stern and bow of the drift angle in the direction of the wind coming. Because the forces and moments acting on the vessel due to hull, propeller, rudder, the wind and the waves can be concluded that the force direction of sway and yaw moment in the direction of a very dominant influence on the drift angle changes.

The influence of wave height on the ship drift angle is greater wave height then the angle of drift boats will be even greater. At the time of wave height of 0.5 m and a 50° angle of incidence of wind drift angle of the total of -16.785°. Wave height of 1 m for drift angle when the angle of incidence largest wind drift angle 50° where -18.348°. As for the wave height of 1.5 m and 2 m The drift angle when the incident angle of 50° wind.

Once the process is done constantly running,

so that each magnitude drift angle (deg) vessels for a wide variety of high and long waves when the wind speed of 20 m/s are presented in Fig. 25.

Drift angle changes because of the influence of the force surge, sway and yaw moment when the wind speed of 20 m/s can be seen in Figs. 25 - 27.

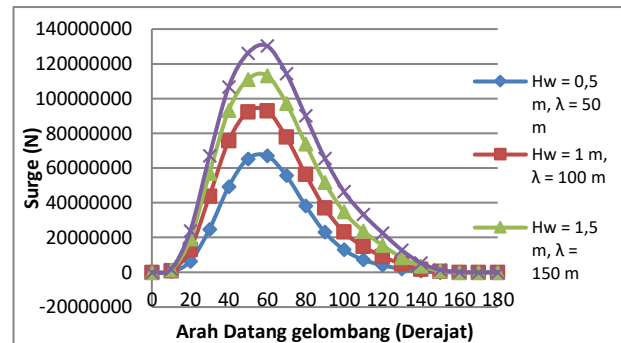


Figure 25. Force surge at various angles to the wind speed of wind came 20 m/s

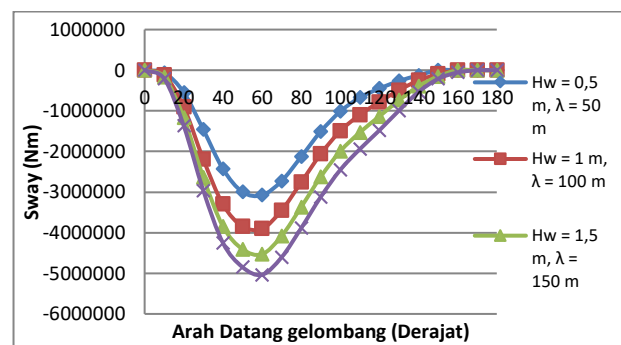


Figure 26. Force sway at various angles to the wind speed of wind came 20 m/s

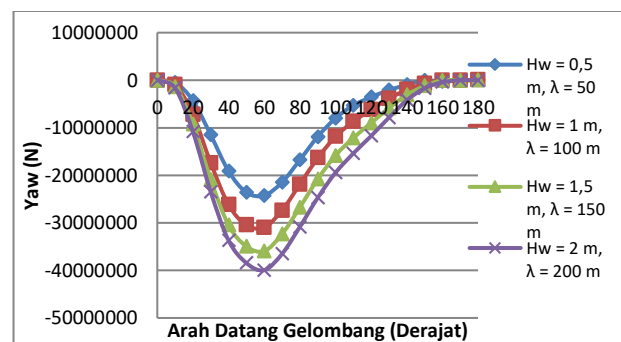


Figure 27. Yaw moment came at various angles to the wind speed wind 20 m/s

Figs. 26 and 27, indicating that the value of the force sway and yaw moment of the direction of the wave direction, where the force of sway and yaw moment consists of elements (hull, propeller, rudder, wind and waves). Force sway



and moments yaw affects the drift angle is evident from the above picture is good value force sway and moments yaw, the greater the incidence angle of the wind against the ship, then the value of the force sway and moments yaw getting bigger until the angle of incidence of wind equal to 60° to high waves of 0.5 m. In the incident angle greater than 70° wind and wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m, the value force sway and yaw moment is getting smaller with increasing incidence angle of the wind against the ship. When the wind incidence angle equal to 180°, the value force sway and yaw moment is equal to 0°. And value force sway and yaw moments occur in the largest wave direction 60° for all variations of the wave height.

It can be concluded that niali drift angle and value force sway and yaw moment proportional. The greater the value of the force sway and yaw moments then drift angle will also increase and vice versa the smaller the value force sway and yaw moments then drift angle will also be smaller. Drift angle difference is significant as variations in wind speed, the greater the wind speed boats drift angle will be greater so that the steering angle required to maintain the trajectory of the vessel will also be greater.

### 4.3. Effects Against Wave Drift Angle

The amount of rudder angle obtained by simulation performed in the Delphi program. As a result of the simulation rudder angle when the wind speed of 0 m/s is shown in Fig. 28.

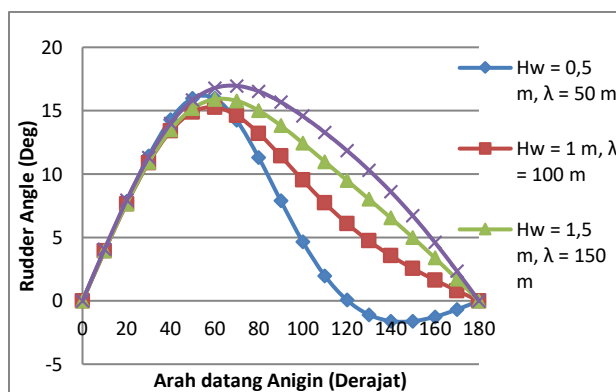


Figure 28. Rudder angle figure at different angles to the wind speed wind comes 0 m/s

To maintain the trajectory of the ship due to the drift angle that occurs due to the waves then,

the wheel should be tilted up to certain angle so that the movement of the ship remains on track or path specified. Fig. 28 for the comparison of the amount of rudder angle (deg)ships and wind angle of incidence ranging from 0-180° degrees for varying wave height of 0.5 m, 1 m, 1.5 m and 2 m and a constant wind speed is equal to 0. For the blue curve illustrates the wave height of 0.5 m, then red 1 m, green and purple 1.5 m 2 m and the flatness of 0.01 wave. From the picture above can be seen that the larger the incident angle of the wind, the greater the value of rudder angle ranging from 0-60°, As for the direction the wind comes 70-180° rudder angle values tend to be smaller. For the wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m direction rudder angle from the direction the wind comes 0-180° opposite the direction of the wind coming. For the wave height of 0.5 m on the current direction of the wind coming 0-130° directions rudder angle in the opposite direction to the direction came the wind while the wind came 140-180° rudder angle toward the direction of the wind coming. Each size of rudder angle can be seen in Fig. 29.

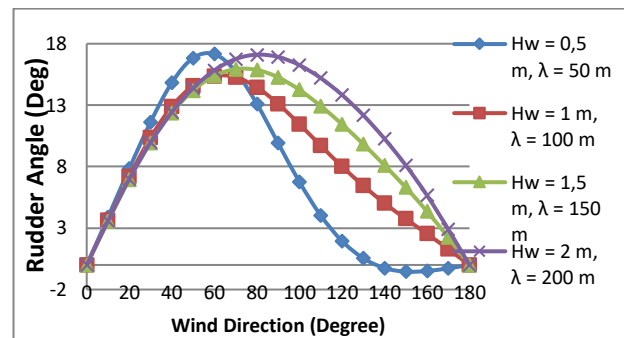


Figure 29. Rudder angle at various angles to the wind speed of wind came 10 m/s

From Fig. 29 can be seen that the larger the incident angle of the wind, the greater the value of rudder angle ranging from 0-60° for a wave height of 0.5 m. As for the wave direction 70-180° rudder angle values tend to be smaller. For the wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m direction rudder angle coming from the direction of wind 0-80° the greater it is. Meanwhile, when the direction of the wind coming 90-180° directions rudder angle gets smaller.

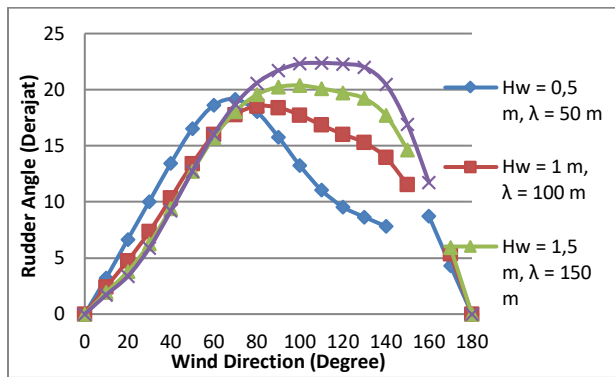


Figure 30. Rudder angle at various angles to the wind speed of wind came 20 m/s

From Fig. 30 it can be seen that the greater the incidence angle of the wind, the greater the value of rudder angle ranging from 0-60° for wave height of 0.5 m. As for the wave direction 70 - 180° rudder angle values tend to be smaller. For the wave height of 1 m, 1.5 m and 2 m direction rudder angle coming from the direction of wind 0 - 80° greater. While at the time the direction the wind comes 90 - 180° directions rudder angle gets smaller.

Waves can cause the yaw motion of the vessel to become unstable and the steering wheel can not control the yaw movement of the vessels, especially when the ship operates at the waves coming from the stern of the ship (following seas). Because the motion of the ship can not be controlled then the ship will tend to turn so that sideways to the waves and finally the loss of stability (sink).

#### 4.3. Effect of Waves Against Ships Free

The speed and wave direction have a very significant influence on the operational speed of the ship.

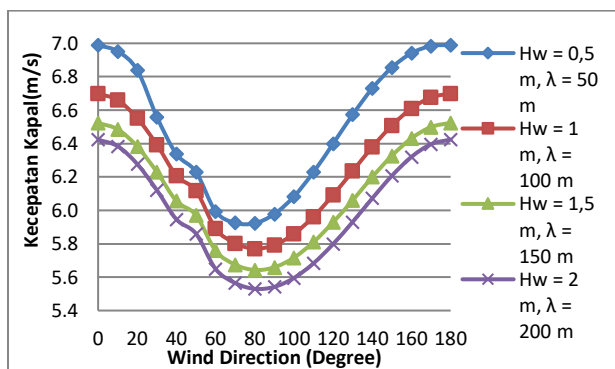


Figure 31. Speed vessels in various wind incidence angle and wind speed of 0 m/s

Fig. 31 illustrates the direction the wind comes 0 - 80°, the greater the incidence angle of the wind, the speed of the ship will be smaller. As for the direction the wind comes greater than 80°, the speed of the ship was also greater with increasing incidence angle of the wind against the ship. By the time the wind speed ratio and the speed of the ship is equal to 0, the ship's speed increases from the first speed boat - first with 5.4 m/s. When there is a change in the drift angle, the speed of the vessel decreased where the gradient of the decline the longer - getting smaller.

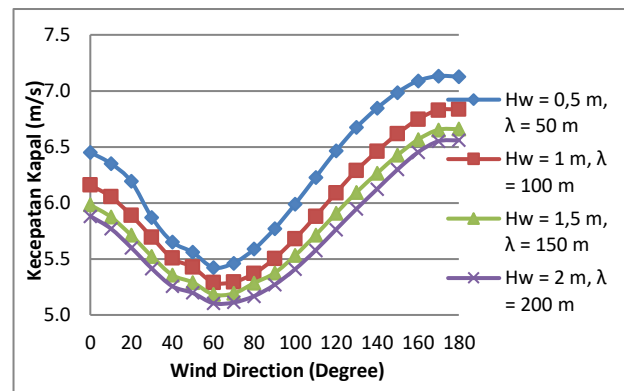


Figure 32. Vessel speed at various angles come wind and wind speed of 10 m/s

Fig. 32 depicts the wind speed ratio and the speed of the vessel resulting drift angle and yaw rate is never stable. Changes drift angle and yaw speeds cause the vessel speed will always vary in each direction of the wind coming towards the ship. By the time the wind direction came less than 60° or in other words the ship operates on the bow wave, ship resistance increases due to surges that can cause the boat speed is significantly reduced.

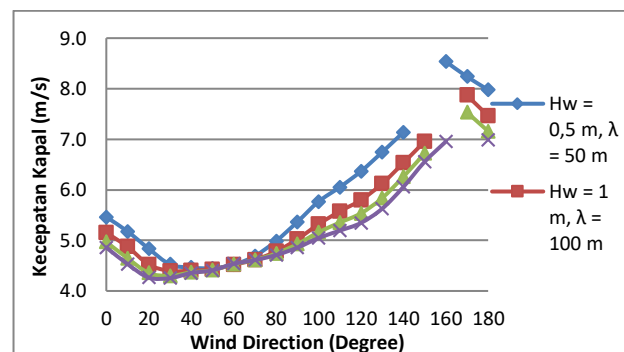


Figure 33. Pictures of the ship's speed at various angles come wind and wind speed of 20 m/s

From Fig. 33 illustrates that in the coming wind direction 0-20°, the greater the incidence angle of the wind, the speed of the ship will be smaller. As for the direction the wind comes 30-180° the greater the wind coming toward the ship's speed is also getting bigger.

Factors that affect the speed of the ship is a force surge and sway arising from the hull, propeller, rudder, wind and waves. The value of the surge and sway force is inversely proportional to the speed of the ship. In this case, if the value force big surge and sway the speed of the ship will be smaller, and if the value force small surge and sway the speed of the ship will be even greater. Values have great influence on the value of the surge force is the value of the force caused by the hull, while the forces and moments due to the propeller, rudder, wind and waves tend to be smaller.

## 5. Conclusion

From analysis results which are obtained in previous calculation, it can be concluded that:

- Height wave and length wave give the influence the characteristics of maneuvering of ferry ship. Length and height of large wave result the value move the small surge.
- Biggest changed value drift become of the direction come the wave 50° and high of wave 2m with the value of biggest drift = -1.9 > 8°. For puddle angle corner become of the direction come the wave 110° and height of wave 2 m, where angle corner puddle to gyrate = 22.3820.
- the biggest ship speed become of direction come the wave 160° and high of wave 2 m equpto 8.535 m/sec.

## References

- [1] Bhattacharya, Rameswar. 1978. Dynamic of Marine Vehicles. Jhon Wiley & Sons. New York.
- [2] Djatmiko, E. B., and Murdijanto. 1993. Seakeaping: Perilaku Banguna Apung di Atas Gelombang. Fakultas Teknik Kelautan ITS. Kursus Singkat Seakeaping dan Hidromekanika, Surabaya.
- [3] Loyd, A. R. J. 1989. "Seakeaping Ship Behavior in Rough Water". Ellis Hordword Ltd. New York.
- [4] Makmur, Irfan. 2011. Analysis of Heaving Motion of Feri Ships at Area Water Sabalana Selayar. Depart of Naval Architect. Faculty of Engineering Hasanuddin University. Makassar.
- [5] Manik Parlindungan 2007. Alaysis of Ship Motion and Seakeaping on the Regular Wave. Naval Architect Depart. Diponegoro Univ. Semarang.
- [6] Pratama, Laode Abdul Haslan. 2013. Simulasi Numerik Gerak Gerak Heaving dan Pitching Kapal Ferry sail on Heading Wave by used the Strip teory. Depart of Naval Architect, Fac. Of Engineering Hasanuddin. University, Makassar.
- [7] Sayuti, Wawan, 2003. Study on the prediction resistance of fast vessel, with a numeric method.
- [8] Sitepu, Ganding, 2001. Motion of ship. Department of Naval Architect. Faculty of Engineering Hasanuddin University. Makassar.
- [9] Sulhan, Harjuni Analysis on motion Crossing Fevvy Vessel 600 GT, Department of Naval Architect. Faculty of Engineering Hasanuddin University. Makassar.
- [10] Sewedy, Wardina, 2014. The Optimation of Shape Hull Ferry Vessel at East Indonesia Region.

# Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Erosi yang Berpotensi Longsor

Farid Sitepu\*<sup>1</sup>, Mary Selintung<sup>1</sup>, Tri Harianto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jalan Poros Malino, KM.6, Bontomarannu 92172, Gowa, Sulawesi Selatan

\*Email: farid.sitepu@unhas.ac.id

DOI: 10.25042/jpe.052017.03

## Abstrak

Wilayah Indonesia yang berada pada belahan dunia yang memiliki iklim hujan tropis menyebabkan bervariasinya intensitas curah hujan. Intensitas curah hujan akan sangat berpengaruh pada kestabilan tanah sebagai dasar pondasi sebuah struktur sipil. Dalam penelitian ini ditinjau pengaruh intensitas curah hujan dan kemiringan lereng dalam upaya pencegahan kerusakan struktur maupun kejadian bencana yang dapat ditimbulkan. Dilakukan pengujian laboratorium dengan menggunakan metode pembandingan Universal Soil Loss Equation untuk menentukan besarnya erosi yang terjadi pada lereng tanah dengan kadar organik 18,67% dengan tingkat kepadatan 60% dan 70%. Dengan menggunakan Rainfall Simulator digunakan variasi intensitas hujan 23 mm/jam, 34 mm/jam dan 51 mm/jam diperoleh peningkatan nilai erosi tanah sebesar 40% dari intensitas tertinggi ke intensitas terendah. Dari faktor kemiringan lereng dimodelkan kemiringan 10°, 15° dan 20° dan didapatkan hasil peningkatan nilai erosi sebesar 3%.

## Abstract

*The Effect of Rainfall and Land Slope to Erosion which Could Cause A Landslide.* Indonesian region is located on tropical rain forest territory on earth causes variations of high intensity of rainfall. The intensity of rainfall will greatly affect the stability of soils as a foundation ground of a civil structure. In this study reviewed the influence of rainfall intensity and slope in the prevention of structural damage or catastrophic events that may occur. Experimental research conduct using comparison method Universal Soil Loss equation to determine the amount of erosion on the slope of ground with organic content of 18.67 with a density of 60% and 70%. Rainfall simulator used to set variations of rainfall intensity by 23 mm/hour, 34 mm/hour and 51 mm/hour is obtained an increase in ground erosion by 40% from the highest intensity to the lowest intensity. From the slope factor, sample is modeled slope with 10°, 15° and 20° and showed increase of erosion up to 3%.

**Kata-kunci:** Erosi lereng, intensitas hujan, tanah organik

## 1. Pendahuluan

Beberapa faktor yang mempengaruhi erosi pada tanah antara lain kemiringan lereng, intensitas curah hujan, jenis tanah, vegetasi, kecepatan permeabilitas dan juga faktor manusia. Hujan yang jatuh ke permukaan tanah memiliki energi kinetik yang besar dan berpotensi menghancurkan partikel-partikel tanah dan akan membuat kondisi tanah menjadi tidak stabil. Besarnya curah hujan menentukan kekuatan dispersi, daya pengangkutan dan kerusakan pada tanah [1].

Erosi tanah oleh air terjadi jika kondisi tanah jenuh sehingga sulit untuk terinfiltrasi. Air kemudian mengalir di permukaan dan mengangkut butiran-butiran tanah. Erosi tanah

adalah Bergeraknya butiran tanah oleh angin atau air [2].

Erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur untuk pertumbuhan tanaman serta berkurangnya kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air sehingga permeabilitas tanah menjadi tinggi dan menyebabkan kadar air dalam tanah bertambah. Dengan kadar air yang sangat besar yang terkandung dalam tanah akan menyebabkan kuat geser tanah menjadi lemah dan berpotensi terjadi longsor. Beberapa peneliti menyatakan bahwa intensitas hujan yang tinggi memiliki hubungan langsung dengan keruntuhan lereng [3].

## 2. Metodologi

### 2.1. Kepadatan dan Kemiringan Lereng

Tanah yang digunakan merupakan jenis tanah organik dengan kadar 18,67%. Sampel tanah untuk model uji dibuat dalam dua kondisi yaitu kepadatan tanah 60% dan 70%. Metode USLE menggunakan variable I (intensitas), Ek (energi kinetik), R (erosivitas hujan), K (erodibilitas tanah), S (Kemiringan), LS (Panjang Lereng), C (faktor vegetasi) dan P (faktor pelaksanaan pengendali erosi) untuk memperhitungkan erosi tanah. Pada penelitian ini hanya menggunakan variable intensitas (I), kemiringan (S) dan kepadatan tanah (D). Penentuan kemiringan lereng berdasarkan USLE kondisi tanah curam 9-25<sup>0</sup>. Dalam penelitian ini digunakan kemiringan 10<sup>0</sup>, 15<sup>0</sup> dan 20<sup>0</sup> sebagai variasi untuk mengetahui laju erosi terhadap kemiringan curam.



Gambar 1. Alat Pengatur Kemiringan Lereng

### 2.2. Intensitas Hujan Buatan

Standar kondisi hujan lebat 10-20 mm/jam, dan kondisi hujan sangat lebat yaitu >20 mm/jam. Dengan menggunakan alat *rainfall simulator* intensitas hujan di set sesuai desain yang dipergunakan dalam penelitian yaitu intensitas 23 mm/jam, 34 mm/jam dan 51 mm/jam. Intensitas hujan dihitung dengan rumus :

$$I = \frac{Q}{A \times t} \times 600 \quad (1)$$

Dimana :

Q = volume air dalam setiap kontainer (ml)

A = Luas kontainer (cm<sup>2</sup>)

T = waktu (menit)

I = intensitas (mm/jam)

### 2.3. Energi Kinetik Hujan dan Besaran Erosi

Nilai intensitas hujan yang didapatkan selanjutnya dimasukkan kedalam rumus energi kinetik menurut Wischmeier dan Hudson [4, 5]:

$$Ek = 13.32 + 9.78 \log I \quad (2)$$

Dimana :

I = Intensitas hujan (mm/jam)

Ek = Energi kinetik (joule)

Untuk daerah tropis, Hudson menganjurkan untuk menggunakan rumus [4]:

$$Ek = 29.8 - \frac{127.5}{I} \quad (3)$$

Kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi disebut Indeks daya erosi curah hujan (R) dapat ditulis dalam bentuk :

$$R = \frac{EkI_{30}}{100} \quad (4)$$

Dimana :

Ek = Energi kinetik hujan (joule)

I<sub>30</sub> = intensitas hujan 30 menit maksimum

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. Hasil Uji dan Perhitungan

Tanah sampel uji yang digunakan terlebih dahulu diuji kadar organiknya untuk mengetahui besarnya kandungan organik dalam tanah. Dari berat isi kering yang didapatkan dari pengujian digunakan untuk mendapatkan kepadatan sesuai dengan desain 60% dengan berat isi kering 1,23 gr/cm<sup>3</sup> dan 70% dengan berat isi 1.25 gr/cm<sup>3</sup>.

Hasil uji karakteristik tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Tanah

Uraian	Nilai
Fraksi butiran Kasar	65.15 %
Fraksi Butiran Halus	34.85 %
Indeks Plastisitas	10.38 %
Berat Isi Kering	1.23 gr/cm <sup>3</sup>
Kadar air potimum	28.27 %
Kadar Unorganik	81.33 %
Kadar Organik	18.67 %

Intensitas hujan buatan yang dipergunakan hasil dari uji dengan menggunakan *Rainfall Simulator* adalah sebesar 23 mm/jam, 34 mm/jam dan 51 mm/jam yang selanjutnya dihitung

besarnya energi kinetik ( $E_k$ ) yang dihasilkan dari intensitas hujan tersebut dengan menggunakan persamaan Wischmeier dan Hudson. Hasil perhitungan dapat dilihat pada table dibawah :

**Tabel 2. Energi Kinetik hujan buatan**

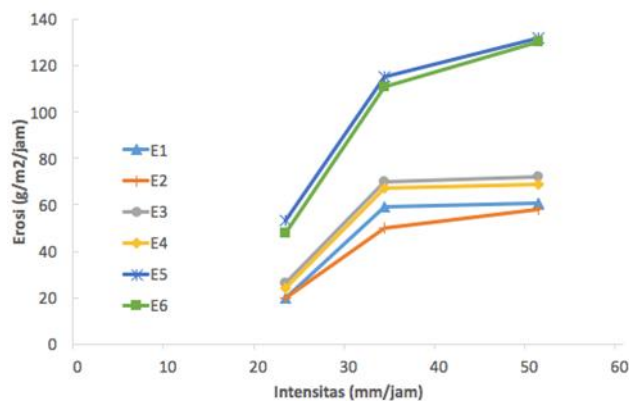
Intensitas mm/jam	(A) Energi kinetik (joule)	(B) Energi kinetik (joule)
23	24.174	26.57
34	26.065	28.56
51	27.303	30.03

Ket. (A) Wischmeier dan (B) Hudson

Perhitungan besarnya erosi diketahui melalui rangkaian pengujian di laboratorium dengan bantuan alat *Rainfall Simulator* dan dihitung dengan metode USLE (Universal Soil Loss Equation) pada tanah.

### 3.2. Pengaruh Intensitas Hujan Terhadap Jumlah Laju Erosi

Data pengukuran jumlah laju erosi didapatkan dari perhitungan prosentasi jumlah tanah yang ter-erosi hasil pengujian intensitas hujan dengan kemiringan lereng tertentu. Secara umum meningkatnya intensitas akan meningkatkan jumlah laju erosi. Semakin banyak butiran air yang menyentuh permukaan tanah. Semakin banyaknya butiran air yang jatuh ke permukaan tentu saja dengan energi kinetik yang semakin banyak terjadi di permukaan tanah yang semakin memperbesar potensi hancurnya agregat tanah.

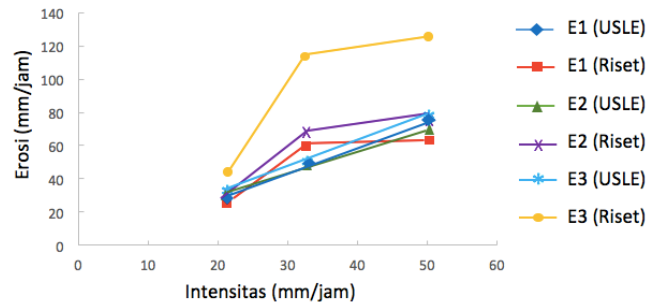


**Gambar 2. Grafik Pengaruh Intensitas Terhadap Erosi hasil penelitian**

Hasil pengujian menunjukkan terjadinya peningkatan besarnya erosi yang terjadi berbanding lurus dengan peningkatan intensitas hujan. Pada kemiringan lereng  $20^0$  pada tingkat kepadatan 70% besarnya erosi adalah 48.456 gram, 111.168 gram dan 131,76 gram atau mengalami peningkatan 62.712 gram pada intensitas  $I_{12}$  ke  $I_{34}$  dan 20.592 pada intensitas  $I_{34}$

ke  $I_{51}$ .

Bila dibandingkan dengan metode USLE maka dapat terlihat perbedaan. Perhitungan USLE cenderung menghasilkan data erosi yang berulang.



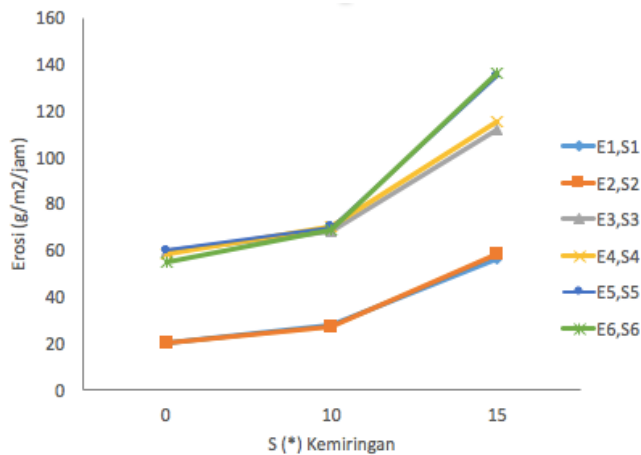
**Gambar 3. Grafik Perbandingan Jumlah Erosi Hasil Penelitian dengan Metode USLE Akibat Pengaruh Intensitas**

Jumlah laju erosi menurut USLE menghasilkan nilai yang lebih kecil jika dibandingkan dengan penelitian, akan tetapi memiliki persamaan yaitu meningkatnya intensitas akan meningkatkan laju erosi. Terjadinya perbedaan hasil yang didapatkan disebabkan oleh beberapa hal berikut :

1. Faktor utama yang paling mempengaruhi laju erosi pada penelitian adalah intensitas hujan, sehingga perubahan intensitas akan mempengaruhi secara langsung terhadap perubahan laju erosi. Sedangkan pada metode USLE terdapat beberapa faktor utama yang mempengaruhi laju erosi, sehingga perubahan intensitas tidak menimbulkan perubahan laju erosi secara signifikan tanpa disertai adanya perubahan dari faktor-faktor lainnya.
2. Metode USLE tidak memperhitungkan faktor kepadatan tanah dalam pendugaan jumlah laju erosi, sehingga jumlah laju erosi yang dihasilkan pada variasi satu kemiringan adalah sama untuk setiap variasi kepadatan.
3. Adanya perbedaan kondisi model fisis dengan kondisi actual dilapangan, terutama dengan metode simulasi hujan. Dengan intensitas yang sama belum bias ditirukan secara tepat dari segi distribusi hujan dan kecepatan jatuh butiran.

### 3.3. Pengaruh Kemiringan Lereng Terhadap Jumlah Laju Erosi

Hasil dari pengujian atas pengaruh kemiringan lereng sebesar  $10^0$ ,  $15^0$  dan  $20^0$  terhadap erosi ditunjukkan pada gambar dibawah ini :

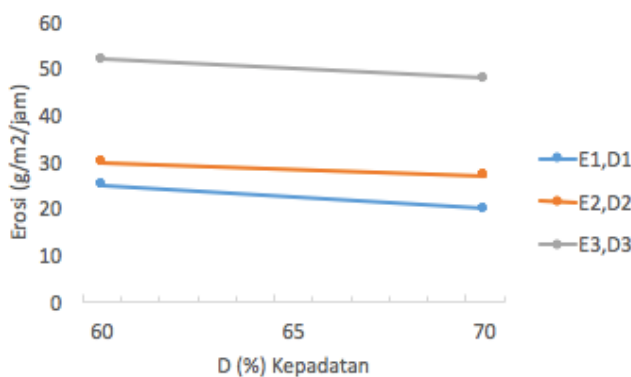


Gambar 4. Grafik Pengaruh Kemiringan Terhadap Erosi

Untuk kepadatan 60% dan intensitas 23 mm/jam dengan kemiringan 100, 150 dan 200 berturut-turut jumlah erosi yaitu 23,04 gram, 29,616 gram dan 51,96 gram. Hal ini menunjukkan terjadinya peningkatan jumlah erosi sebesar 6.58 gram dan 22.34 gram. Hal yang sama terjadi pada kepadatan 70% dimana semakin besar kemiringan lereng maka semakin besar pula laju erosi yang dihasilkan. Kemiringan lereng yang lebih besar menyebabkan partikel tanah mudah lepas.

### 3.4. Pengaruh Kepadatan terhadap Jumlah Laju Erosi

Grafik dibawah menunjukkan hubungan kepadatan dengan jumlah laju erosi. Dua kondisi kepadatan tanah yang diuji adalah 60% dan 70%.

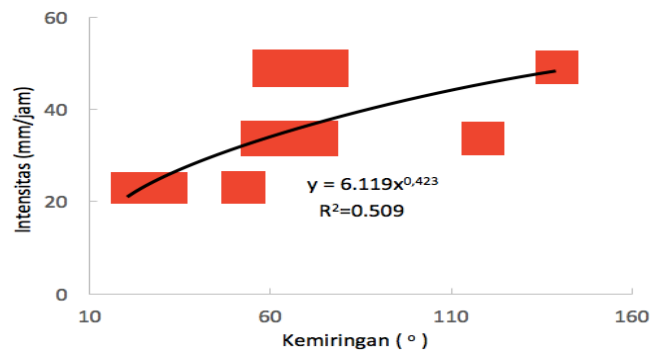


Gambar 5. Grafik Pengaruh Kepadatan Terhadap Besarnya Laju Erosi

Jumlah erosi pada kemiringan lereng 20<sup>0</sup> dengan kepadatan tanah dan intensitas hujan yang sama adalah 51,96 gram dan 48,46 gram atau terjadi penurunan sebesar 3,5 gram.

### 3.5. Prediksi Jumlah Laju Erosi

Pendugaan jumlah laju erosi dilakukan untuk memperkirakan besarnya laju erosi yang terjadi berdasarkan pengujian-pengujian yang telah dilakukan. Untuk memprediksi hasil erosi yang terjadi, maka diperlukan untuk mencari persamaan-persamaan dari data deskrit yang ada. Persamaan-persamaan tersebut diperoleh dengan melakukan analisa regresi terhadap variable-variabel yang berhubungan. Pendugaan terhadap besarnya laju erosi dalam penelitian ini menggunakan analisa regresi power yang paling mewakili sebaran data yang ada.



Gambar 6. Grafik Regresi Jumlah Erosi Pada Kemiringan 10<sup>0</sup>, 15<sup>0</sup>, dan 20<sup>0</sup>.

Nilai R yang dihasilkan oleh analisa regresi power merupakan nilai yang terbesar disbanding dengan analisa regresi lainnya, bahkan ada yang mencapai 1. Salah satu penyebab nilai R=1 adalah data yang dianalisa pada regresi hanya 3. Analisa regresi ini mendukung hasil penelitian, bahwa faktor intensitas merupakan faktor yang sangat mempengaruhi jumlah laju erosi, dimana faktor intensitas ini sangat mempengaruhi besarnya energi kinetik.

Dari Gambar 6 didapatkan persamaan yaitu :

$$F(x) = 6.119x^{0.423} \quad (5)$$

Dengan menggunakan persamaan ini jumlah laju erosi pada jenis tanah organik dengan variasi intensitas curah hujan, variasi kemiringan dan kepadatan bisa diketahui.

### 3.6. Pengukuran Jumlah Laju Erosi dengan Metode USLE

Jumlah laju erosi (E) untuk kondisi penelitian dan metode USLE menggunakan satuan gr/m<sup>2</sup>/jam. Faktor erosivitas hujan (R) pada persamaan USLE disesuaikan dengan nilai masing-masing intensitas yang berarti nilai yang digunakan metode USLE sama dengan besarnya variasi dari masing-masing intensitas. Faktor erodibilitas tanah (K) berdasarkan hasil pengujian properties tanah digolongkan kedalam jenis

granuler sedang sampai kasar dengan nilai K sebesar 0.64. Faktor panjang lereng (LS) dimana L yang digunakan adalah 0.5 atau sama dengan panjang sampel, sedangkan nilai S digunakan  $10^0$ ,  $15^0$  dan  $20^0$  sesuai dengan kemiringan yang didesain dalam penelitian ini.

Faktor pengelolaan vegetasi (C) yang digunakan adalah lahan tanpa vegetasi sehingga nilai C=1. Dan faktor pelaksanaan pengendalian erosi (P) diasumsikan sebagai tanah tanpa tindakan pengendalian erosi, sehingga P yang digunakan adalah 1. Hal ini sama dengan tanah yang tererosi karena intensitas hujan, kemiringan dan kepadatan tanpa ada usaha mengurangi erosi.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sampel dan analisa yang dilakukan dalam penelitian ini dapat ditarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Kandungan bahan organik pada tanah dapat mengurangi terjadinya erosi karena bahan organik mengandung unsur hara yang menyebabkan tumbuhan tumbuh subur sehingga energi kinetik yang terjadi akibat butiran air yang menyentuh permukaan bias dikurangi.
2. Intensitas curah hujan memiliki pengaruh yang berbanding lurus dengan erosi. Intensitas hujan yang tinggi akan menambah besarnya laju erosi tanah yaitu  $I_{23}$ ,  $I_{34}$  dan  $I_{51}$  masing-masing sebesar 23,04 g/m<sup>2</sup>/jam, 59,52 g/m<sup>2</sup>/jam dan 61,68 g/m<sup>2</sup>/jam.

3. Kemiringan lereng menghasilkan pengaruh yang berbanding lurus dengan erosi tanah. Dimana penelitian ini menunjukkan pada kemiringan 100, 150 dan 200 diperoleh jumlah erosi masing-masing 23,04 g/m<sup>2</sup>/jam, 29,616 g/m<sup>2</sup>/jam dan 51,96 g/m<sup>2</sup>/jam.
4. Kepadatan tanah menghasilkan pengaruh yang berbanding terbalik dengan jumlah erosi. Dimana erosi mengalami penurunan saat kepadatan 60% terjadi sebesar 23,04 g/m<sup>2</sup>/jam dan kepadatan 70% diperoleh erosi sebesar 20,4 g/m<sup>2</sup>/jam.

#### Daftar Pustaka

- [1] Arsyad, "Evaluasi Kemampuan Lahan dan Tingkat Bahaya Erosi Untuk Prioritas Konservasi Lahan di Daerah Aliran Sungai Takapala Kabupaten Dati II Gowa Propinsi Sulawesi Selatan". Tesis. 1989. Program Pascasarjana UGM. Yogyakarta.
- [2] Kirby. M. J. & Morgan. R.P. "Soil Erosion". John Willey & Sons Ltd. 1980. USA.
- [3] Chen. H., Lee C. and Law K. "Causative Mechanisms of Rainfall-Induced Fill Slope Failures". *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*. 2004. Vol.130. Issue June 2004, P.593-602.
- [4] Hudson. N. "Field measurement of Soil Erosion and Runoff, Issue 68. *Food and Agriculture Organization of The United Nations*. 1993. Pp.121-126. ISBN 9789251034064.
- [5] Wischmeier. W.H., Johnson. C.B. and Cross. B.V. "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites". *Journal of Soil and Water Conservation*. 1971. 26:189-193. ISSN 1941-3300.



# Uji Kinerja Turbin Arus Laut *Twin Hull* (Lambung Ganda) – 10 kW di Jembatan Suramadu

Afian Kasharjanto\*<sup>1</sup>, Daif Rahuna<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Balai Teknologi Hidrodinamika – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi  
Jl. Jalan Hidrodinamika - BPPT Kampus ITS, Sukolilo – Surabaya

\*Email: afian.kasharjanto@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.04

## Abstrak

Melalui Program Pengembangan Teknologi Industri (PPTI) - Ristekdikti tahun 2016 telah dilakukan uji fungsi Turbin Arus Laut *Twin Turbine* -10 Kilowatt selama 1 (satu) bulan sejak 28 Nopember sampai dengan 30 Desember 2016. Turbin yang di gunakan adalah turbin yang pernah di uji pada tahun 2015 dilokasi yang sama yaitu di bawah Jembatan Suramadu – Pile 56. Secara mekanik terjadi perbaikan pada rasio sistem transmisi bevel gear dimana pada awalnya rasio di buat 1 : 22,5. Pada uji coba yang sekarang, rasio bevel di turunkan menjadi 1 : 12,0. Perubahan di lakukan karena putaran generator melebihi putaran maksimum yang di ijinakan akibat rasio putaran yang terlalu besar (sehingga terjadi istilah *nge-drip* pada inverter). Ukuran turbin sebetulnya di desain untuk operasional pada lingkungan dengan kecepatan arus laut sekitar 2 m/detik, tetapi pada lokasi di Jembatan Suramadu kecepatan arus laut maksimal (sesuai data pengukuran ADCP tim Kementerian Kelautan dan Perikanan tahun 2015) adalah sebesar 1,26 m/detik sehingga hasil putaran turbin tidak terlalu optimal. Meskipun demikian, berdasarkan data pengukuran, energi yang di hasilkan cukup untuk dimanfaatkan sebagai sumber penerangan di sekitar Jembatan. Selama periode uji coba, *cutt-in speed* terjadi pada kecepatan arus 0,6 m/detik dan menghasilkan daya minimal pada masing-masing generator sebesar 480 Watt dan kecepatan arus maksimal terjadi pada 1,10 m/detik, menghasilkan daya maksimal 2,230 watt. Beban lampu di distribusikan bukan hanya di dalam turbin tetapi juga di tempelkan pada tiang Pile-56 sebagai uji coba untuk penerangan di sepanjang jalan raya pada Pile-56 Jembatan Suramadu.

## Abstract

**Performance Test of a 10 kW Twin Hull Current Turbine at Suramadu Bridge.** Through an Industrial Technology Program (PPTI) – Ministry of Research, Technology and Higher Education 2016, we have conducted a functional Twin Turbine Testing of 10 Kilowatt Power for 30 days on site (started from 28 Nopember 2016 until 30 Desember 2016). The turbine is still the same as the one that has been used and tested in 2015 but some modification was given to, such as transmission ration modification (originally 1 : 22.5 become 1 : 12), additional turbine wall (to keep from wind and rain). Because of that, the turbine performance become much-much better because the turbine rotation was not exceeded the maximum generator rotation. Actually, turbine is designed for current speed 2 meter/sec minimum to reach 10 Kilowatt power output. In fact, but the current speed was only 1.26 m/sec average (based on data taken from ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) surveyed by researchers from Ministry of maritime and fisheries in 2015 so targeted power output (10 kilowatt) could not be reached. Nevertheless the energy output is pretty enough to produce energy used for souch of light along the way on the bridge. *Cutt-in speed* was 0.6 m/sec to make rotor start rotating. Power output was only 480 watt in each generator in 1.1 m/sec current speed. The lights was distributed not only inside turbine but also embedded on a pile as trial for lighting along the main road of Suramadu bridge especially arround Pile-56.

**Kata-kunci:** *Cutt-in speed, jembatan suramadu, rasio transmisi mekanik, uji fungsi turbin*

## 1. Pendahuluan

Laut Indonesia menyediakan sumber energi baru dan terbarukan yang berkelanjutan dan melimpah. Sumber energi terbarukan dari laut terdiri dari : energi arus laut, energi pasang surut, energi perbedaan temperatur air laut (OTEC), dan energi ombak/gelombang. Dari sumber-sumber

tersebut yang dalam sepuluh tahun ini sedang diteliti lebih intensif adalah energi arus laut.

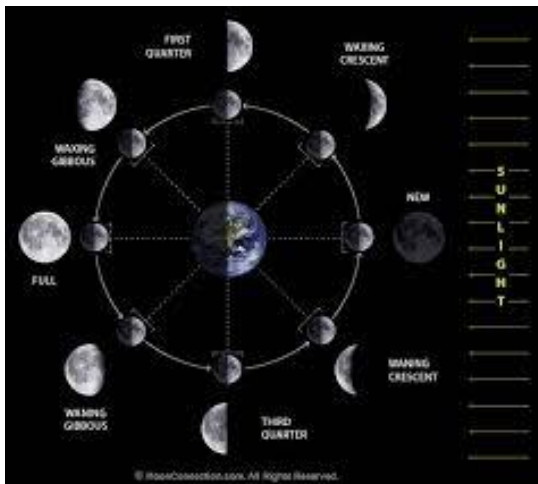
Pemerintah (kantor kementerian ESDM) telah merencanakan program pengembangan sumber energi dari laut. ESDM telah mengusulkan roadmap UU No 30 tahun 2007 tentang Energi, PP 79 tahun 2014 tentang KEN, RPJMN 2015-2019 serta RUPTL dan telah

disusun RUEN (Rencana Umum Energi Nasional) sesuai Perpres No. 22 Tahun 2017 yang bertujuan untuk mewujudkan kemandirian energi serta mewujudkan ketahanan energi Nasional [1].

Untuk merealisasikan tujuan tersebut, ada 2 (dua) strategi yang akan di laksanakan, yaitu:

- Pemasangan Turbin skala besar untuk memenuhi kebutuhan energi secara umum dalam rangka bauran energy, serta
- Skala kecil untuk memperluas akses ke *remote area*, wilayah perbatasan dan pulau pulau kecil terluar

Energi arus laut mempunyai prospek cerah karena dapat dihitung di atas kertas dengan pasti potensi daya listriknya. Hal ini karena arus laut terutama disebabkan oleh interaksi gaya tarik menarik antara bumi, bulan, dan matahari. Jadi faktor cuaca sama sekali tidak berpengaruh pada arus laut. Hampir 98% dapat di prediksi di atas kertas potensi arus laut yang akan terjadi.



Gambar 1. Fase posisi bulan mengelilingi bumi

Dari gambar diatas diketahui bahwa saat bulan, bumi dan matahari berada di satu garis lurus (sejajar) maka akan terjadi bulan penuh, sedangkan disaat bumi, bulan dan matahari tegak lurus akan terjadi bulan bulan baru. Pada saat itulah terjadi gaya gravitasi bulan paling besar dan terjadinya momen inersia akibat putaran bumi sehingga terjadi pasang semi (*spring tide*). Sedangkan pada saat posisi bulan tegak lurus dengan bumi maka terjadi bulan setengah (*half moon*), dan disaat itu akan terjadi pasang perbani (*neap tide*).

Bandingkan dengan energi angin yang tergantung pada cuaca, energi matahari tergantung pada mendung atau hujan, energi arus laut hanya tergantung pada keberadaan dan posisi bumi terhadap bulan dan matahari dimana hal tersebut terjadi secara berulang dan dapat di perkirakan.

Dalam rangka mendukung Kebijakan Energi Nasional yang ditetapkan melalui PP No. 79 Tahun 2014, dimana kontribusi energi baru dan terbarukan (EBT) terus ditingkatkan dari target sebelumnya sebesar 17% menjadi 23% pada tahun 2025, Energi Baru dan Terbarukan (EBT) terus dikembangkan dan dioptimalkan, dengan mengubah pola pikir (*mind-set*) bahwa EBT bukan sekedar sebagai energi alternatif dari Bahan Bakar fosil, tetapi harus menjadi penyangga pasokan energi Nasional (*Perpres no. 5/2006 tentang kebijakan energi Nasional*), maka BPPT melalui pengalaman dalam desain, uji laboratorium, uji prototipe dan telah mendapatkan sertifikat PATEN dalam desain turbin arus, siap untuk berkontribusi dalam proses industrialisasi Turbin arus laut.

Pertimbangan Kapasitas 10 kW dianggap ideal untuk pemanfaatan Turbin di Indonesia karena sebagai Negara yang terdiri banyak Pulau, Indonesia tidak memerlukan Turbin dengan kapasitas yang besar tetapi cukup Turbin dengan kapasitas skala kecil/menengah tetapi dalam jumlah banyak (*small many*) karena [2]:

1. Sebaran penduduk di pulau-pulau kecil yang cenderung tidak merata.
2. Sifat kebanyakan kecepatan arus laut di selat-selat maksimum hanya 2 m/s atau kurang.
3. Infrastruktur daerah untuk perakitan PLTAL masih minim.
4. Fasilitas peralatan pendukung di Daerah (crane, Kapal penarik, dermaga dll) sangat minim atau tidak ada.
5. Industri pendukung kebanyakan terpusat ada di Jawa
6. Standarisasi dan regulasi produk masih belum ada

Berdasarkan hasil kajian aspek-aspek di atas maka BPPT mem-fokuskan diri dalam hal kajian Turbin skala kecil kapasitas 10 kW dengan memperhatikan aspek kemudahan transportasi,

perakitan, instalasi, pemasangan, dan pemeliharaan.



Gambar 2. Saat pengujian Turbin 10 kW di Suramadu

## 2. Pengujian model turbin arus laut twin hull -10 Kw

Turbin arus laut Twin Hull adalah Turbin milik Balitbang Kementerian Kelautan dan Perikanan. Proses desain, manufacturing dan di uji oleh para perekayasa dari PTRIM – BPPT.

Dari desain awal telah ditentukan bahwa turbin menggunakan 3 (tiga) buah generator dengan masing-masing kapasitas sebesar 3,5 Kw. Diameter turbin 1,850 m, panjang (span) bilah adalah ( $C_{Length}$ ) 2,183 m dan lebar chord ( $C_{Breadth}$ ) 1,86 m. Rasio gear box sebesar 1 : 12 di gunakan untuk meneruskan gaya putaran dari rotor menuju generator. Besarnya daya listrik yang di dihasilkan bergantung pada densitas air laut, penampang aliran, dan kecepatan alirannya [3].

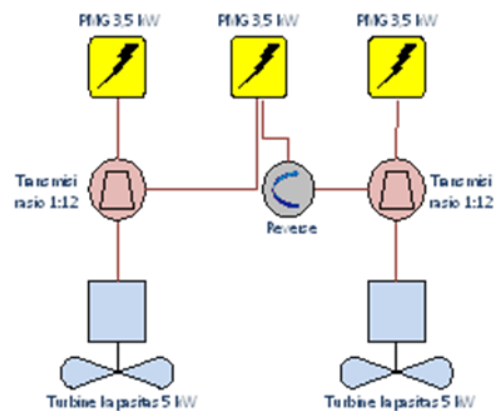
Kapasitas 10 kW adalah kapasitas yang dianggap ideal untuk di dimanfaatkan di Indonesia karena kondisi perairan di Indonesia lebih cocok untuk pemasangan turbin skala kecil/menengah [4] , karena :

1. Sebaran penduduk di pulau-pulau kecil cenderung tidak merata (dalam jumlah sedikit

2. tetapi meyebar)
2. Sifat kebanyakan kecepatan arus laut rata-rata 2 m/s (meskipun ada beberapa yang di atas kecepatan rata-rata)
3. Infrastruktur Daerah untuk perakitan PLTAL minim sehingga sulit untuk pemasangan turbin skala besar.
4. Fasilitas alat pendukung (crane, barge, berth, dan lain-lain) sangat minim.
5. Industri pendukung di Daerah tidak ada/sedikit.
6. Standarisasi dan regulasi Energi arus laut yang belum ada.
7. Sertifikasi untu alat, personil, maupun prosedur belum ada.

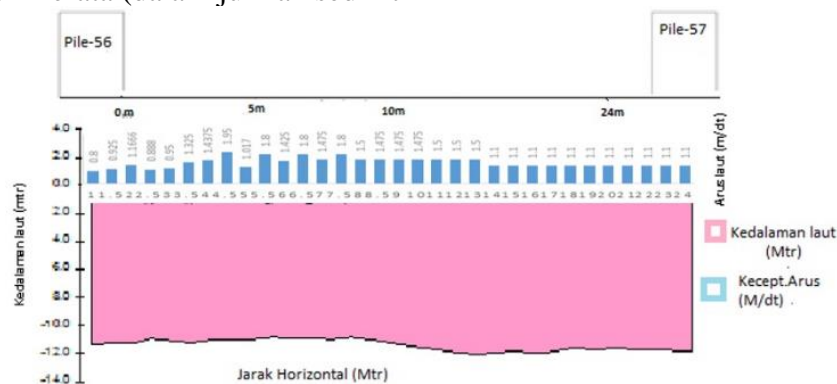
Secara umum skema kerja turbin adalah sebagai berikut :

DIAGRAM PUTARAN TWIN TURBINE 10 KW



Gambar 3. Skema kerja turbin

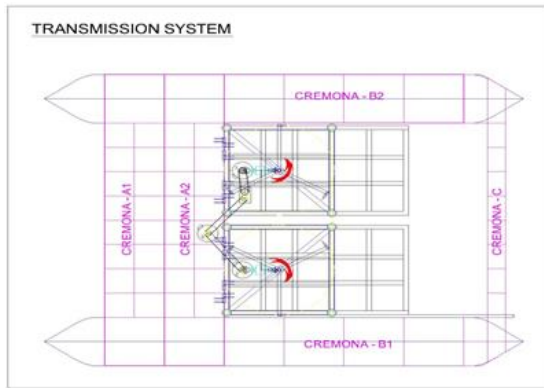
Data kecepatan arus dan kedalaman perairan pada lokasi pengujian seperti data di bawah ini [5]:



Gambar 4. Data kedalaman dan kecepatan arus laut di sekitar Pile-56 suramadu

### 3. Data pengujian turbin

Gambar desain sistem kerja Turbin dapat di lihat seperti gambar di bawah ini :



Gambar 5. Desain Turbin

Masing-masing rotor dihubungkan ke generator melalui system transmisi gear box. Putaran rotor ke 1 di hubungkan ke Generator ke 1 , putaran rotor ke 2 di hubungkan ke Generator ke 2. Kemudian masing-masing generator ke1 dan ke 2 di hubungkan ke generator ke 3 menggunakan mekanisme sambungan Pulley sehingga ketiga generator dapat berputar bersamaan.



Gambar 6. Sistem hubungan transmisi antara generator dan poros rotor (untuk satu generator)




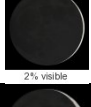
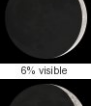



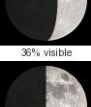

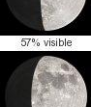

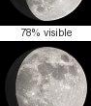

Selanjutnya masing-masing inverter di hubungkan ke masing-masing Generator yang selanjutnya di salurkan ke beban / lampu.


















Lokasi uji turbin berada di bawah Jembatan Suramadu pile 56, pada posisi LS 7° 09' 50.4" – LS 7° 10' 03.48" dan LE 112° 47' 03.84" – LE 112° 46' 50.84", dengan kedalaman perairan antara 10 m sampai dengan 12 m [8]



Hasil listrik dari putaran rotor akan dimasukkan ke dalam Accu (12 Volt, 220 Ah, deep cycle, accu kering) sebagai penyimpan (power bank) terlebih dahulu sebelum listrik di salurkan ke beban lampu.

Selama proses uji coba, setiap hari dilakukan pengukuran kecepatan arus laut seperti data di bawah ini (mulai 28 Nopember sampai dengan 30 Desember 2016) seperti data di bawah ini [8]:

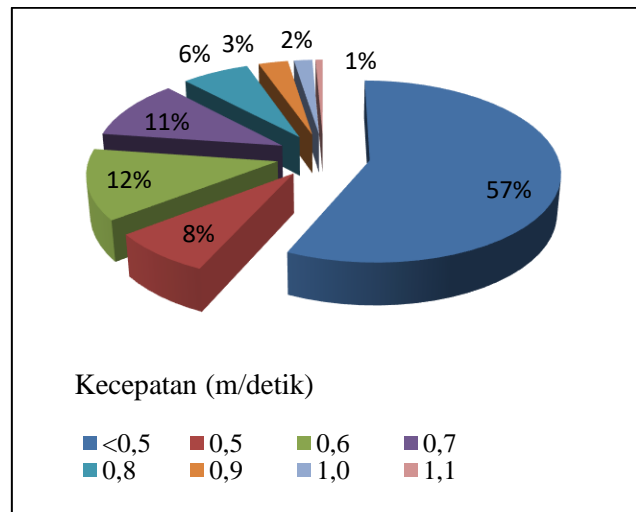
Tabel 1. Hubungan fase lunar dengan besaran kecepatan arus [8]

Tgl.	Fase Lunar	V <sub>Arus</sub> (m/s)		Durasi	Freq.
		Min	Max		
28 Nov	 2% visible	0,6	1,0	9,5	2
29 Nov	 New moon	0,6	1,0	10,5	2
30 Nov	 1% visible	0,6	1,1	10,5	2
1 Des	 2% visible	0,6	1,0	9,5	2
2 Des	 6% visible	0,6	0,9	7,5	2
3 Des	 11% visible	0,6	0,9	6,5	2
4 Des	 18% visible	0,6	0,8	5,5	2
5 Des	 26% visible	0,6	0,7	6	2
6 Des	 36% visible	0,6	0,7	5	2
7 Des	 First quarter	0,6	0,7	4	2
8 Des	 57% visible	0,6	0,7	5,5	2
9 Des	 68% visible	0,6	0,8	4	2
10 Des	 78% visible	0,6	0,8	4,5	2
11 Des	 87% visible	0,6	0,9	4	2

12 Des		0,6	1,0	7,5	2
13 Des		0,6	1,0	8,5	2
14 Des		0,6	1,1	8,5	2
15 Des		0,6	0,9	10	2
16 Des		0,6	0,8	10,5	2
17 Des		0,6	0,7	9,5	2
18 Des		0,6	0,8	8,5	2
19 Des		0,6	0,7	6	2
20 Des		0,6	0,7	5	2
21 Des		0,6	0,7	4	2
22 Des		0,6	0,8	4,5	2
23 Des		0,6	0,7	4	2
24 Des		0,6	0,7	4,5	2
25 Des		0,6	0,8	6,5	2
26 Des		0,6	0,9	9,5	2
27 Des		0,6	1,0	9,5	2
28 Des		0,6	1,0	10	2

29 Des		0,6	1,0	9,5	2
30 Des		0,6	0,9	9	2

Secara grafis, perbandingan prosentase besaran masing-masing kecepatan arus laut selama periode satu bulan adalah :



Gambar 7. Sebaran kecepatan arus (m/detik) selama 30 hari uji coba :

#### 4. Pembahasan

Berdasarkan rumus [6]:

$$P \text{ (Watt)} = \frac{1}{2} \rho AV^3 \eta$$

Dimana :

$P$  : Daya listrik (Watt)

$\rho$  : Densitas air laut ( $\text{Kg/m}^3$ )

$A$  : Luasan penampang melintang rotor turbin ( $\text{m}^2$ )

$V$  : Kecepatan arus laut (m/det)

$\eta$  : Efisiensi

Maka kita dapat mengetahui besaran daya operasional turbin dari hasil pengukuran kecepatan arus, putaran turbin dan putaran generator.

**Tabel 2. Pengukuran kecepatan arus, putaran rotor dan generator**

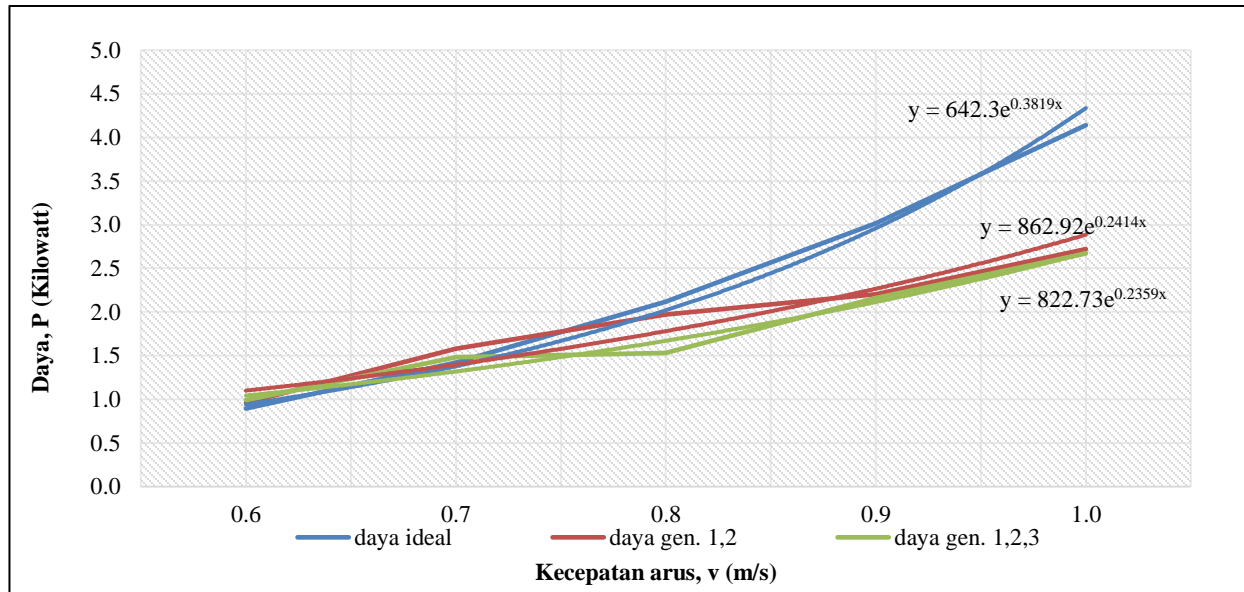
Kec. arus, v (m/s)		Putaran turbin, $n_t$ (rpm)		Putaran generator, $n_{pmg}$ (rpm)	
$V_{in}$	$V_{out}$	1	2	1	2
0,6	0,4	7,4	7,4	88,8	88,8
0,7	0,4	9,3	9,3	111,6	111,6
0,8	0,5	10,4	10,4	124,8	124,8
0,9	0,6	11,2	11,2	134,4	134,4
1,0	0,6	12,4	12,4	148,8	148,8

Keterangan :

$V_{in}$  : Kecepatan air laut sebelum melewati rotor turbin.

$V_{out}$  : Kecepatan air laut setelah melewati rotor turbin.

Perbandingan daya listrik antara daya teoritis dari formula dengan realitas pada generator untuk mengetahui efisiensi listrik sebagai fungsi kecepatan air dapat dilihat pada grafik di bawah ini [8]:



**Gambar 8. Perbandingan besaran daya ideal dengan daya yang di hasilkan oleh generator 1, 2 dan 3**

Pada Gambar 8 menunjukkan perbandingan perhitungan daya teoritis dengan daya total yang di hasilkan oleh ke tiga generator dengan asumsi efisiensi-nya satu.

Kemudian dari inverter (sebagai fungsi kecepatan arus laut) dapat di lihat besaran daya sebagai berikut :

**Tabel 3. Perbandingan luaran daya teoritis dengan daya dari Generator**

No	Kecepatan arus laut (m/detik)	Daya (Watt)		
		Teoritis	Total daya per generator (formasi dua generator)	Total daya per generator (formasi tiga generator)
1	0,6	894,14	480	330
2	0,7	1429,85	790	495
3	0,8	2119,43	985	510
4	0,9	3017,7	1100	720
5	1,0	4139,51	1360	890

Terjadi penurunan besaran daya listrik ketika ke tiga generator di hubungkan semuanya karena terjadi *slip* (penurunan putaran) pada generator akibat system dapat di hitung besaran efisiensi turbin adalah sebesar 35,5 %.

Pada saat ketiga generator di fungsikan semua, karena kalau system hubungan antara generator satu dan dua langsung menggunakan poros penghubung ke poros rotor turbin, tetapi dari generator satu dan dua menuju generator tiga

masih dihubungkan dengan *van belt* (mudah terjadi *slip/friction* antara poros dengan *van belt* sehingga mengurangi kecepatan putaran poros turbin. Akibatnya efisiensi turbin hanya sebesar 35,5 % yang artinya dengan daya generator terpasang 10.000 Watt, hanya 35.500 Watt daya listrik yang dapat di manfaatkan akibat kecepatan arus laut yang rendah di kawasan Suramadu.

## 5. Kesimpulan

- Efisiensi maksimum terjadi pada saat 2 (dua) generator dimana masing-masing generator di hubungkan langsung pada masing-masing rotor, yaitu 37%. Sedangkan pada saat generator ke-3 di gabung pada 2 (dua) generator sebelumnya, efisiensi ternyata turun menjadi 19,8%. Hal ini terjadi karena untuk menghubungkan Generator ke-1 dan ke-2 menuju generator ke-3 (ketiga) masih menggunakan mekanisme sambungan *belt* yang menyebabkan tambahan gaya gesek (*friction/slip*) ketika poros berputar sehingga dapat menurunkan efisiensi sistem.
- Secara prinsip berdasarkan hasil uji coba, listrik telah berhasil menyala baik dengan beban lampu yang di pasang pada turbin maupun di luar turbin (sekitar tiang/*pile* jembatan). Jumlah total beban lampu 42 buah x 25 watt serta kompor listrik.
- Untuk mengetahui daya tahan peralatan kelistrikan dan mekanik terhadap karat karena air laut maupun angin selama beroperasi di laut, tahap berikutnya perlu dilanjutkan dengan melakukan uji ketahanan (*indurance test*) dalam jangka waktu yang agak lama (sekitar 6 bulan operasional di laut)

## Ucapan Terimakasih

Disampaikan terima kasih kepada :

- Mitra dari Balitbang KP-Kementerian Kelautan dan Perikanan atas dukungan dan kerjasama dalam penelitian dan uji coba Turbin di Suramadu.
- Kementerian Ristekdikti dalam dukungan pembiayaan melalui program PPTI tahun anggaran 2016.

## Referensi

- [1] Berita ESDM, “Energi baru dan terbarukan - Wilayah Perairan Indonesia Simpan Potensi Energy Listrik dari Arus Laut, [www3.esdm.go.id/berita/energy-baru-dan-terbarukan/323-energi-baru-d](http://www3.esdm.go.id/berita/energy-baru-dan-terbarukan/323-energi-baru-d), Rabu 27 april 2011.
- [2] Dirjen EBTKE-ESDM, Forum Gorup Discussion, Rapat penyusunan road map pembangunan di bidang energy laut, Bogor, 16 Juni 2017.
- [3] Erwandi, Afian.K, Laporan DIPA KKP, Pengujian Turbin Arus Laut Twin Hull Balitbang KKP di Jembatan Suramadu, 2015.
- [4] Afian Kasharjanto, Proposal PPTI, Pemasangan dan uji kinerja pembangkit listrik arus laut kapasitas 10 Kilowatt di Depo Pertamina, Tanjungwangi, Banyuwangi, 2016.
- [5] Akhmad Syafi’ul “Hasil survey arus laut tim BTH-BPPT di Suramadu”, Laporan survey di Suramadu, DIPA kegiatan pengembangan energi arus laut, 2015.
- [6] Software moonphase.exe, Free download, <https://moonphase.en.softonic.com/>.
- [7] Erwandi, “Sumber energi arus laut dari Selat Larantuka, Uji coba prototype pembangkit listrik tenaga arus laut”, <https://pltal.wordpress.com>, BPPT, posted on September 15, 2010.
- [8] S.E. Ben Elghali, Benbouzid, and J.F. Charpentier, “Modelling and control of a marine current Turbine-driven doubly fed induction generator, IEEEExplore.ieee.org/document/5383257/IET Renewable power generation Volume 4, Issue 1, Januari 2010.
- [9] Stephen P. Radzevich, “Dudley’s hand book of practical gear design and manufacture”, 2012.

# Interpretasi Data Geolistrik dalam Penentuan Keberadaan Rongga pada Pondasi Abutmen dan Pier

Sitti Hijraini Nur

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

Email: aini\_2111@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.05

## Abstrak

Proses pemancangan seringkali mengalami kendala dalam mengantisipasi keberadaan rongga ataupun gua dalam tanah yang akan mempengaruhi kegagalan daya dukung friksi atau bahkan kegagalan daya dukung ujung pada tiang pancang. Komposisi batuan yang berada pada pondasi tiang bor dan tiang pancang yang memiliki karakteristik batuan gamping terumbu yang cenderung porous dan berongga perlu mendapat perhatian khusus. Penyelidikan dengan menggunakan geolistrik membantu proses identifikasi secara cepat untuk mengetahui kondisi tanah dan batuan yang berada pada lintasan-lintasan tertentu ada posisi pier dan abutmen yang ditengarai menembus lapisan tanah dan batuan berongga dan dikhawatirkan akan berada di lapisan yang berongga atau goa kapur. Pengujian geolistrik dilakukan dengan menggunakan 3 lintasan pengukuran yang masing-masing berada pada lajur *centre line*, sisi kiri dan sisi kanan grup tiang. Hasil pengukuran disandingkan dengan hasil pengeboran menunjukkan bahwa posisi rencana tiang pancang berdiri pada lapisan tanah dan batuan yang masif dengan komposisi batuan gamping terumbu berselang-seling dengan rekahan dan rongga, clayshell dan marmer atau batuan intrusi yang keras. Sementara rongga dengan diameter yang lebih besar dan terindikasi sebagai goa juga ditemukan pada beberapa tempat di sekitar rencana penempatan tiang bor/tiang pancang.

## Abstract

*Geoelectric Data Interpretation on Determining the Presence of Cavities on Abutmen and Pier Foundation.* The erection piling process is often constrained in anticipating the presence of cavities or caves in the soil that will affect the failure of the frictional bearing capacity or even the failure of the end bearing capacity at the stake. The composition of rocks that are on the foundation of drill piles and others that have the characteristics of limestone reefs that tends porous and hollow need special attention. The investigation using geoelectricity helps the process of rapid identification to know the condition of the soil and rocks that are on certain paths there is a position of pier and abutment which is suspected to penetrate the soil layer and hollow rock and is feared will be in hollow layer or lime cave. Geoelectric testing is done by using 3 measurement paths, each located on the center line lane, the left side and the right side of the pile group. The measurement results coupled with the drill results indicate that the pile plan position stands on soil layers and massive rocks with reef limestone compositions alternating with fractures and cavities, clayshells and marble or intrusive rocks. While the cavity with a larger diameter and indicated as a cave are also found in some places near by the placement plan drill pile.

**Kata-kunci:** Abutmen, daya dukung, geolistrik, goa kapur, pier, rekahan, rongga

## 1. Pendahuluan

Parameter penilaian kualitas jalan selain kondisi fisik yang perlu untuk diperhitungkan adalah kualitas dari prasyarat teknis mencakup kemiringan jalan, sudut tikungan jalan, lebar jalan dan potensi kebencanaan pada jalan tersebut [1].

Kondisi pembangunan jalan layang di daerah batuan *karst* (batu kapur) memerlukan pemahaman yang lebih dalam sehubungan dengan terdapatnya rongga-rongga dan goa dalam batuan. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu untuk dilakukan investigasi geologi yang lebih detail

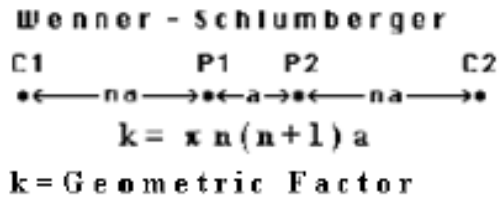
untuk menentukan keberadaan potensi gangguan struktur jembatan tersebut [2].

## 2. Metode Pengujian

Metoda geofisika yang digunakan dalam pengambilan data resistivity adalah metoda geolistrik tahanan jenis 2D. Konfigurasi yang digunakan adalah Konfigurasi Wenner–Schlumberger. Konfigurasi ini tidak terlalu sensitif terhadap adanya perubahan lateral setempat [3, 4], sehingga konfigurasi ini sangat cocok untuk dipakai penyelidikan dalam. Dalam konfigurasi



ini, jarak antara elektroda arus dan elektroda potensial adalah  $n$  kali jarak kedua elektroda potensial. Konfigurasi ini ditunjukkan dalam Gambar 1 dengan dengan faktor geometri sama dengan  $k = p n (n + 1)a$ .



Gambar 1. Konfigurasi pengukuran Wenner – Schlumberger

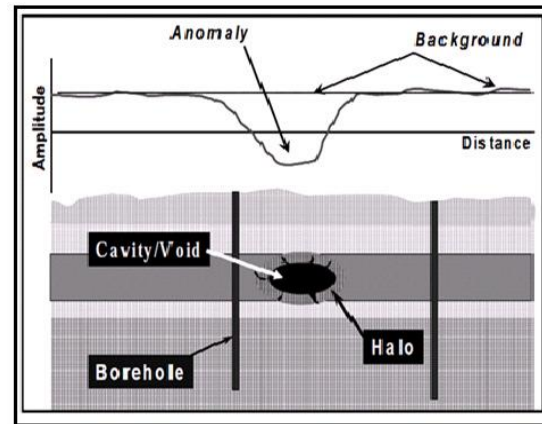
Pengolahan data geolistrik tahanan jenis dalam penelitian ini diawali dengan pengolahan data lapangan. Metoda yang digunakan dalam hal ini adalah perhitungan secara matematis, untuk mendapatkan tahanan jenis semu. Dalam rangka untuk mengetahui model penyebaran resistivitas bawah permukaan di daerah penelitian dilakukan pengolahan data dengan menggunakan perangkat lunak RES2DINV versi 3.54.44. Parameter *input* program ini adalah resistivitas semu yang telah dihasilkan dari perhitungan data lapangan ditambah dengan data-data pendukung seperti spasi elektroda dan koordinat.

Interpretasi analisa data ini dilakukan dari beberapa data analisa lapangan dalam penampang geolistrik hasil perhitungan secara matematis yang sudah jadi. Hasil interpretasi ini disajikan dalam bentuk penampang tahanan jenis, dan interpretasi geolistrik tahanan jenis, serta peta analisa bidang gelincir dari susunan litologi bawah permukaan di lokasi pengukuran.

Pengolahan data geolistrik tahanan jenis 2D menggunakan program RES2DINV. Hasil pengolahan tersebut berupa penampang dua dimensi yang terdiri dari model tahanan jenis hasil inversi.

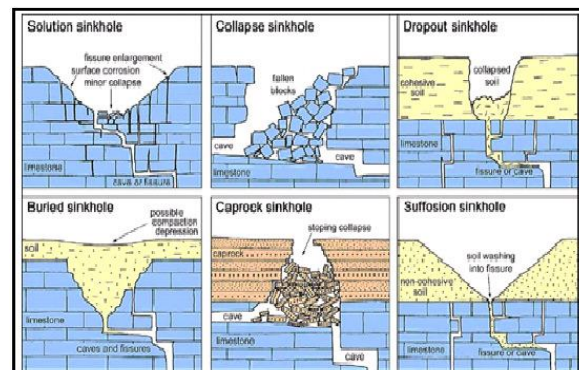
**2.1 Keberadaan dan Jenis Gua Kapur (Cavity)**

*Cavity* merupakan suatu objek yang terdapat dibawah permukaan. Terdapatnya *cavity* di bawah permukaan merepresentasikan terdapatnya anomali pada *subsurface*. *Cavity* atau gua kapur juga bisa disebut sebagai *sinkhole* [5-7].



Gambar 2. Ilustrasi sistem *cavity* di bawah permukaan [8]

1. *Sinkholes* terbentuk oleh disolusi lambat singkapan batu kapur atau *rockhead*, dengan runtuh skala kecil.
2. Keruntuhan *sinkholes* terjadi oleh kegagalan yang progresif instan di atas gua besar atau sekelompok gua kecil.
3. *Caprock sinkholes* atau lubang-lubang kecil, menggerogoti dan meruntuhkan *caprock* larut pada rongga karst di batu kapur yang mendasarinya.
4. *Sinkholes dropout* terbentuk di tanah penutup kohesif, air hujan yang meresap telah mencuci tanah ke celah stabil dan gua-gua di batu kapur yang mendasarinya.
5. *Suffosion sinkholes* terbentuk di tanah penutup non kohesif, di mana air hujan yang meresap telah membilas tanah ke celah stabil dan gua-gua di batu kapur yang mendasarinya.
6. *Burried sinkholes* terjadi di mana pembubaran atau runtuhnya *sinkholes* tua diisi dengan tanah, puing-puing atau sedimen karena perubahan lingkungan.



Gambar 3. Klasifikasi sinkhole [8]

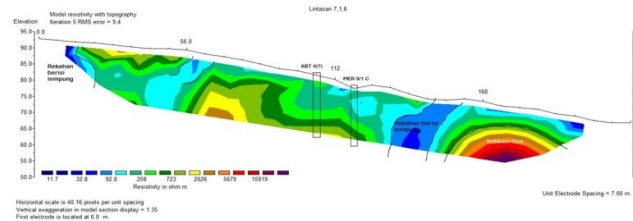
### 3. Hasil dan Pembahasan

Lintasan pengukuran pada lokasi pekerjaan sebanyak 4 lintasan. 3 lintasan memiliki panjang 224 meter yaitu lintasan 7-1-6, 8-5-4 dan 9-2-3. Centre line, yaitu lintasan 10, memiliki panjang 105 meter. Pengukuran dilakukan dari arah Tenggara – Barat Laut seperti terlihat pada gambar berikut:



Gambar 4. Lintasan pengukuran

Berdasarkan hasil inversi menggunakan Res2DinV, maka lintasan geolistrik pada lintasan 10 sesuai gambar 4, menunjukkan lintasan 7-1-6 memiliki 5 susunan lapisan yaitu nilai resistivitas 0.00-50  $\Omega\text{m}$  berupa lapisan soil bercampur lapukan batugamping yang terdapat di sepanjang lintasan dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivitas 50-750  $\Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batugamping terumbu yang masih memperlihatkan adanya rongga yang terdapat pada kedalaman 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-2000  $\Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batugamping yang lebih kompak (*massive*) yang terdapat pada kedalaman 7-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega\text{m}$  diduga merupakan rekahan (*void/goa*) batugamping [9] dengan ukuran sekitar lebih dari 2 meter. Lapisan dengan nilai resistivity  $\geq 2000 \Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batuan keras berupa marmer atau batuan intrusi dengan kedalaman lebih dari 14 m.

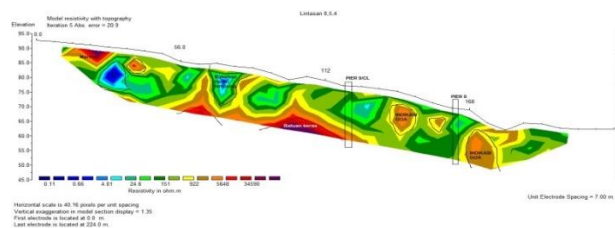


Gambar 5. Hasil inversi lintasan 7-1-6

Pada lintasan 7-1-6 terdapat lapisan soil yang bercampur dengan lapukan batugamping yang mengisi rekahan pada meteran ke-0 sampai 63 di kedalaman 0-17 meter. Lapisan ini juga terdapat pada meteran ke-147 sampai 161 di kedalaman 0-17 meter. Lapisan ini terindikasi sebagai material timbunan. Material dominan pada lintasan ini berupa batugamping terumbu dan batugamping yang lebih kompak (*massive*). Pada lintasan ini juga terdapat indikasi *goa/void* batugamping dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega\text{m}$  dimulai pada meteran ke-154 sampai 203 dan mulai di kedalaman 5 meter. Hal ini berdasarkan pada korelasi antara hasil pengukuran dengan kondisi di lapangan, dimana pada ujung lintasan 7-1-6 merupakan daerah *void/goa*. Lintasan ini diperkirakan melalui 1 titik bor, yaitu titik bor Pier 9/1C.

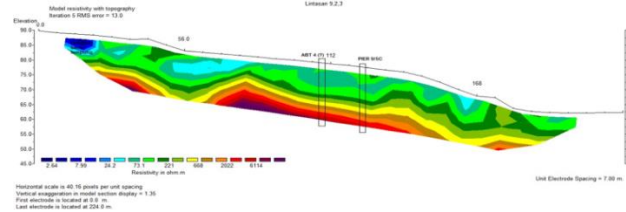
Pada Gambar 6 menunjukkan bahwa lintasan 8-5-4 memiliki 5 susunan lapisan yaitu lapisan dengan nilai resistivity 0.00-50  $\Omega\text{m}$ , merupakan lapisan soil bercampur lapukan batugamping yang terdapat di sepanjang lintasan dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 50-750  $\Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batugamping terumbu yang masih memperlihatkan adanya rongga yang terdapat di sepanjang lintasan pada kedalaman 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-2000  $\Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batugamping yang lebih kompak (*massive*) yang terdapat pada kedalaman 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega\text{m}$  diduga merupakan rekahan (*void/goa*) [9, 10] batugamping yang diperkirakan memiliki ukuran lebih dari 2 meter. Lapisan dengan nilai resistivity  $\geq 2000 \Omega\text{m}$ , diduga merupakan lapisan batuan keras berupa marmer atau batuan intrusi yang terletak pada permukaan dan pada kedalaman lebih dari 14 m.

Pada lintasan 8-5-4 terdapat lapisan soil yang bercampur dengan lapukan batugamping yang mengisi rekahan pada meteran ke-25 di kedalaman 4-12 meter. Lapisan ini juga terdapat pada meteran ke-67 di kedalaman 0-14 meter. Lapisan ini terindikasi sebagai material timbunan. Pada lintasan ini juga terdapat indikasi goa/void batugamping dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega$ m dimulai pada meteran ke-137 sampai 203 dan mulai di kedalaman 3-14 meter dan pada meteran ke-170 sampai 179 di kedalaman 5-14 meter. Hal ini berdasarkan pada korelasi antara hasil pengukuran dengan kondisi di lapangan. Lintasan ini diperkirakan melalui 2 titik bor, yaitu titik bor Pier 8 dan titik bor Pier 9/CL.



Gambar 6. Hasil inversi lintasan 8-5-4

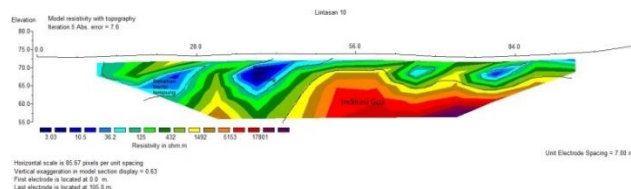
Lintasan 9-2-3 yang ditunjukkan pada Gambar 7, memiliki 5 susunan lapisan yaitu lapisan dengan nilai resistivity 0.00-50  $\Omega$ m, merupakan lapisan soil bercampur lapukan batugamping yang terdapat di sepanjang lintasan dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0-5 m. Lapisan dengan nilai resistivity 50-750  $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batugamping terumbu yang masih memperlihatkan adanya rongga yang terdapat pada kedalaman 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-2000  $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batugamping yang lebih kompak (*massive*) yang terdapat pada kedalaman 5-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega$ m diduga merupakan rekahan (*void/goa*) batugamping dengan ukuran sekitar lebih dari 2 meter. Lapisan dengan nilai resistivity  $\geq 2000$   $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batuan keras berupa marmer atau batuan intrusi dengan kedalaman lebih dari 10 m.



Gambar 7. Hasil inversi lintasan 9-2-3

Pada lintasan 9-2-3 terdapat lapisan soil yang bercampur dengan lapukan batugamping yang mengisi rekahan pada meteran ke-10 sampai 22 di kedalaman 0-5 meter. Lapisan ini terindikasi sebagai material timbunan. Pada lintasan ini material yang mendominasi berupa batugamping terumbu dan batugamping yang lebih kompak (*masif*). Lintasan 9-2-3 diperkirakan melalui 1 titik bor, yaitu titik bor BT 4.

Berdasarkan hasil inversi menggunakan Res2DinV, maka lintasan geolistrik pada lintasan 10 sesuai Gambar 8 dapat diinterpretasi bahwa lapisan dengan nilai resistivity 0.00-50  $\Omega$ m, merupakan lapisan soil bercampur lapukan batugamping yang terdapat di sepanjang lintasan dengan kedalaman bervariasi mulai dari 0-10 m. Lapisan dengan nilai resistivity 50-750  $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batugamping terumbu yang masih memperlihatkan adanya rongga yang terdapat pada kedalaman 0-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-2000  $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batugamping yang lebih kompak (*massive*) [1, 9] yang terdapat pada kedalaman 3-17 m. Lapisan dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega$ m diduga merupakan rekahan (*void/goa*) batugamping dengan ukuran sekitar lebih dari 2 meter. Lapisan dengan nilai resistivity  $\geq 2000$   $\Omega$ m, diduga merupakan lapisan batuan keras berupa marmer atau batuan intrusi dengan kedalaman mulai dari 5 m.



Gambar 8. Hasil inversi lintasan 10

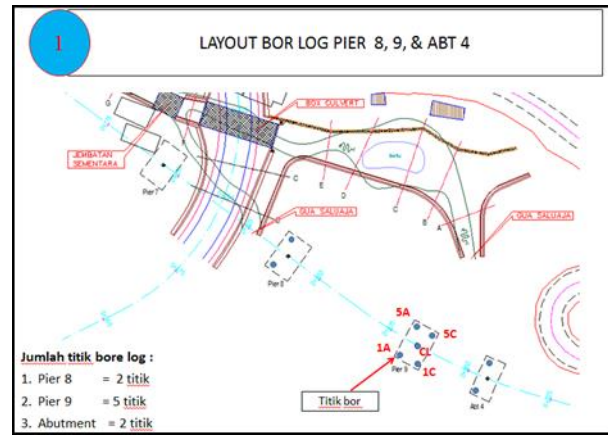
Lintasan 10 merupakan lintasan yang memotong ke-3 lintasan lain. Pada lapisan ini terdapat lapisan soil yang bercampur dengan lapukan batugamping yang mengisi rekahan pada meteran ke-11 sampai 30 di kedalaman 0-10 meter. Lapisan ini juga terdapat pada meteran ke-35 sampai 53 di kedalaman 0-9 meter. Lapisan ini terindikasi sebagai material timbunan. Pada lintasan ini juga terdapat indikasi goa/void batugamping dengan nilai resistivity 750-1500  $\Omega$ m dimulai pada meteran ke-43 sampai 94 dan mulai di kedalaman 3 meter. Hal ini berdasarkan pada korelasi antara hasil pengukuran dengan kondisi di lapangan.

### 3.1 Korelasi dengan titik bor

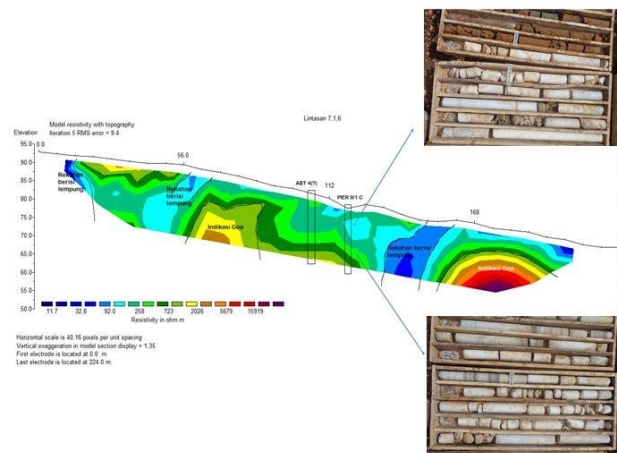
Berdasarkan data yang ada, terdapat 4 titik bor yang dilakukan sebelumnya sudah yaitu titik bor Pier 8, Pier 9/1C, Pier 9/CL dan Abutment 4. Namun, lokasi tepat dimana letak titik bor tersebut tidak pasti, karena penanda titik bor di lapangan sudah tidak ada akibat telah dimulainya pekerjaan konstruksi. Lokasi titik bor diperkirakan berdasarkan dari gambar layout lokasi pekerjaan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Titik bor Pier 9/1C terletak pada lintasan 7-1-6 di sekitar meteran ke-119. Pada Gambar 10 corebox titik bor Pier 9/1C diketahui lapisan soil terdapat pada kedalaman 0-4 meter. Pada kedalaman 4-7 meter merupakan batugamping terumbu yang masih menunjukkan adanya rongga. Pada kedalaman 7-15 meter merupakan batugamping yang lebih kompak (*massive*).

Titik bor Pier 8 diperkirakan terletak pada lintasan 8-5-4 meteran ke-161. Pada Gambar 11 corebox titik bor Pier 8 diketahui lapisan soil terdapat pada kedalaman 0-1,5 meter. Pada kedalaman 4-12 meter merupakan batugamping terumbu yang masih menunjukkan adanya rongga. Dan pada kedalaman 12-15 meter merupakan batugamping yang lebih masif. Pada gambar corebox titik bor Pier 9/CL diketahui di kedalaman 0-8 meter merupakan batugamping terumbu yang masih menunjukkan adanya rongga. Pada kedalaman 8-15 merupakan batugamping yang lebih kompak (*massive*).



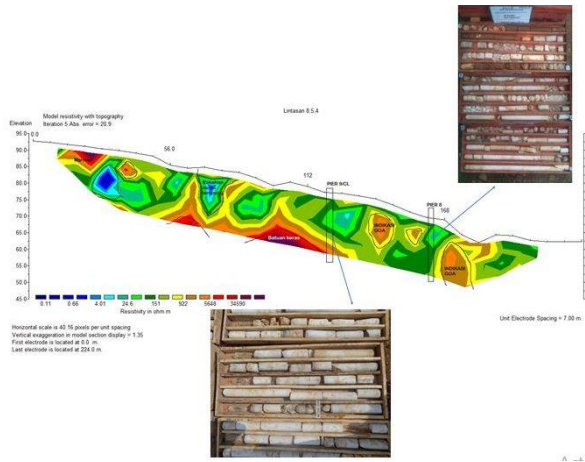
Gambar 9. Layout lokasi pekerjaan



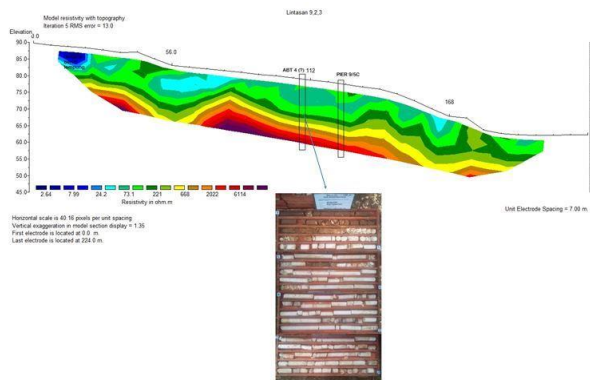
Gambar 10. Lokasi titik bor Pier 9/1C pada lintasan geolistrik 7-1-6

Titik bor Pier 9/CL diperkirakan terletak pada lintasan 8-5-4 meteran ke-120. Pada Gambar corebox titik bor Pier 9/CL diketahui lapisan soil terdapat pada kedalaman 0-1,5 meter. Pada kedalaman 2-9,6 meter merupakan batugamping terumbu yang masih menunjukkan adanya rongga. Dan pada kedalaman 9,6-15 meter merupakan batugamping yang lebih masif.

Titik bor ABT 4 diperkirakan terletak pada lintasan geolistrik 9-2-3 meteran ke-108. Pada Gambar 12 corebox titik bor ABT 4 diketahui lapisan soil terdapat pada kedalaman 0-2,7 meter. Pada kedalaman 2,7-7 meter merupakan batugamping terumbu yang masih menunjukkan adanya rongga. Pada kedalaman 7-15 meter merupakan batugamping yang lebih kompak (*massive*).



Gambar 11. Lokasi titik bor Pier 8 dan Pier 9/CL pada lintasan geolistrik 8-5-4



Gambar 12. Lokasi titik bor ABT 4 pada lintasan geolistrik 9-2-3

#### 4. Kesimpulan

Dari pengukuran geolistrik dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengukuran arah memanjang dan melintang menunjukkan bahwa kondisi lapisan tanah terdiri atas lempung, lapukan batu gamping, batu gamping terumbu dengan rekahan dan rongga dengan ketebalan dan variasi mulai dari 2 hingga 10 cm.
2. Hasil pengukuran geolistrik arah memanjang menunjukkan adanya indikasi keberadaan rongga dalam ukuran besar mencapai 2 m di sekitar pier 9 dan pier 8. Selain itu terdapat rekahan yang diidentifikasi sebagai lempung lunak dan keberadaan air dalam rongga.
3. Perencanaan Pier 8 dan pier 9 yang berada tidak jauh dari indikasi keberadaan gua harus dipertimbangkan untuk dipindahkan posisinya ke tempat yang lebih stabil atau

dilakukan *grouting* untuk mengisi perlemahan yang ada pada daerah tersebut.

#### Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada bapak Ir. Budiamin, M.T selaku Kepala Bidang Peralatan dan Pengujian pada Balai Besar Jalan Nasional Wilayah VI Makassar yang telah memberikan peluang kerjasama dalam studi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada bapak DR. Eng. Tri Harianto, S.T, M.T yang telah bekerjasama sebagai ketua tim dalam studi ini.

#### Referensi

- [1] Luna.R and Jadi.H. 2000. Determination of dynamic soil properties using geophysical methods Proc. 1st Int. Conf. On the Application of Geophysical and NDT Methodologies to Transportation Facilities and Infrastructure Geophysics (Federal Highway Administration, Saint Louis, Mo) vol 3 pp 1-15.
- [2] Othman, A.A.A. 2005 Construed geotechnical characteristics of foundation beds by seismic measurements. Journal Geophysics England. 2126-38.
- [3] Lowrie, W. 2007. Fundamental of Geophysics (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- [4] Telford, W.M. 1990. Applied Geophysics. London: Cambridge University Prees.
- [5] Soupios, P.M., Papazachos, C.B., Vargamezis, G and Fikos. I. 2005. Application of modern seismic methods for geotechnical site characterization Proc. Int. Workshop in Geoinvironment and geotechnics (Milos Island, Greece, 12-14 September) pp 163-70.
- [6] Soupios, P.M., Papazachos, C.B., Vargamezis, G and Savvaidis, A. 2006. In situ geophysical investigation to evaluate dynamic soil properties at th Ilarionas Dam, Northern Greece Proc. 2nd Int. Conf. Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology (Hania, Crete, Greece, 25-27 September 2006) (Helitopos Conferences) pp 149-56.
- [7] Soupios, P.M., Georgakopoulos P, Papadopoulos N, Saltas V, Andreadakis A, Vallianatos F, Sarris A and Makris J.P. 2007. Use of engineering geophysics to investigate a site for a building foundation J. Geophys. Eng 4 94-103.
- [8] Paulus. 2012. Pemodelan 3D Cavity Daerah “X” dengan Menggunakan Metode Resistivity Konfigurasi Dipole-Dipole, Universitas Indonesia.
- [9] Venkateswara, V.R., Srinivasa R, Prakasa R.B.S and Koteswara, R.P. 2004. Bedrock Investigation by seismic refraction method – a case study J. Ind. Geophysics. Union 8 pp 223.
- [10] Klimis N.S, Papazachos C.B and Efremidis Ch F. 1999. Determination of the behavior of a sedimentary rock mass: comparison of measured static and dynamic properties proc. 9th Int. Conf. on Rock Mechanics (Paris, France).

# Efek Penambahan Serat Kawat Bendrat terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton yang Dirawat melalui Metode *Wet and Dry Curing*

Nasruddin Junus\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92171

\*Email: nas\_junus@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.06

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan serat kawat baja (bendrat) dalam meningkatkan sifat mekanis beton (kuat tekan dan kuat tarik belah). Jenis penelitian yang digunakan adalah kuantitatif dengan metode eksperimental yakni uji laboratorium dan analisis data metode komparatif dan regresi. Hasil penelitian menunjukkan serat dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dari beton normal dengan perawatan basah lebih tinggi daripada perawatan kering. Pada *dry curing* meningkat pada komposisi 7,5% sebesar 83,71% atau 18,5 MPa (kuat tekan) dan 54,92% atau 2,2 MPa (kuat tarik belah). Dan pada *wet curing* meningkat sebesar 68,30% atau 24 MPa (kuat tekan) dan 35,38% atau 2,64 MPa (kuat tarik belah) pada komposisi 7,5%.

## Abstract

**The Effect of Adding Annealed Wire Fiber to Compressive and Tensile Strength of Concrete Treated using Wet and Dry Curing Method.** This study aims to analyze the ability of steel wire fiber (annealed) in improving the mechanical properties of concrete (compressive and tensile strength). The type of research used is quantitative with the experimental method of laboratory test and data analysis of comparative and regression methods. The research results showed that fiber can increase the compressive and tensile strength of concrete from normal concrete with higher wet treatment than dry curing. In dry curing, it increased at 7.5% composition by 83.71% or 18.5 MPa (compressive strength) and 54.92% or 2.2 MPa (tensile strength). In wet curing, it increased by 68.30% or 24 MPa (compressive strength) and 35.38% or 2.64 MPa (tensile strength) at 7.5% composition.

**Kata-kunci:** beton, serat baja, kawat bendrat, kuat tekan, kuat tarik belah, slump beton

## 1. Pendahuluan

Dalam dunia konstruksi, pembangunan merupakan upaya yang dilakukan terus-menerus yang diarahkan pada peningkatan taraf hidup manusia dan kesejahteraan umum. Seiring dengan hal tersebut, dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi bangunan memacu adanya kreatifitas mulai dari peningkatan mutu, efisiensi dan produktivitas. Hal ini dapat dilihat dari kemajuan teknologi bangunan terutama dalam bidang konstruksi, struktur dan material bangunan. Salah satunya dengan ide menemukan, menggabungkan dan merekayasa suatu material yang telah banyak dilakukan dan diujikan dalam penelitian. Karakteristik arsitektur modern mengadopsi prinsip bahwa bahan dan fungsi sangatlah menentukan hasil dalam suatu struktur bangunan. Bahan-bahan yang digunakan dalam membangun gaya bangunan modern seperti beton,

kaca, besi dan baja yang menambahkan pengetahuan bahwa gaya bangunan modern adalah sebuah penemuan baru dalam bidang revolusi industri.

Beton adalah salah satu bahan yang banyak dipakai dalam membangun karena memberikan kontribusi pada kekuatan bangunan, baik dari sisi daya tahan, kekuatan beton dan lain-lain. Namun beton juga memiliki kelemahan yaitu beton bersifat getas (tidak daktail) sehingga tidak mampu menahan tegangan tarik. Kuat tarik beton hanya berkisar 9%-15% dari kuat tekannya [1], sehingga beton memiliki keterbatasan dalam penggunaannya.

Para peneliti dari negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Inggris telah melakukan beberapa eksperimen dengan menambahkan bahan tambah yang bersifat kimiawi ataupun fisik pada adukan beton. Salah satu alternatif

bahan tambah yang digunakan bersifat fisik yaitu serat. Penambahan serat ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat getas beton sehingga menjadi lebih daktil.

Dewasa ini jenis serat yang paling populer dipakai diluar negeri adalah *steel fiber*. Ide dasarnya yaitu menulangi (memberi tulangan pada beton) dengan serat baja yang disebarkan secara merata kedalam adukan beton dengan orientasi random. Menurut [2], serat baja memiliki modulus elastisitas paling tinggi diantara serat lainnya, yang akan meningkatkan penyerapan energi, mengontrol retak dan meningkatkan daktilitas beton. Namun serat baja masih sulit didapatkan karena harus didatangkan dari luar negeri dan harganya cukup mahal.

Berdasarkan pembahasan di atas, maka dilakukan penelitian untuk menganalisis pengaruh penambahan serat kawat bendrat pada campuran beton dengan tujuan untuk memperbaiki dan meningkatkan sifat-sifat mekanis beton yakni kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Serat kawat baja (bendrat) dipilih karena disamping mempunyai faktor-faktor penguat beton, kawat bendrat juga lebih mudah didapat dan lebih ekonomis dibanding serat baja yang mencapai 10 kali lipat dari harga kawat bendrat.

Penelitian ini mengacu pada penelitian yang dilakukan sebelumnya yakni pada penelitian Suhendro (1991) dalam Ariatama Ananta [3] tentang penggunaan kawat biasa, kawat bendrat dan kawat baja dalam campuran beton. Hasilnya dapat disimpulkan dengan adanya serat pada beton dapat mencegah retak-retak rambut. Dengan penambahan serat pada adukan beton ternyata dapat meningkatkan ketahanan terhadap daktilitas, beban kejut (*impact resistance*) dan kuat desak. Tingkat perbaikannya tidak kalah dengan hasil-hasil yang dilaporkan diluar negeri dengan menambahkan *steel fiber* yang asli.

**Tabel 1. Sifat-sifat berbagai macam kawat yang digunakan**

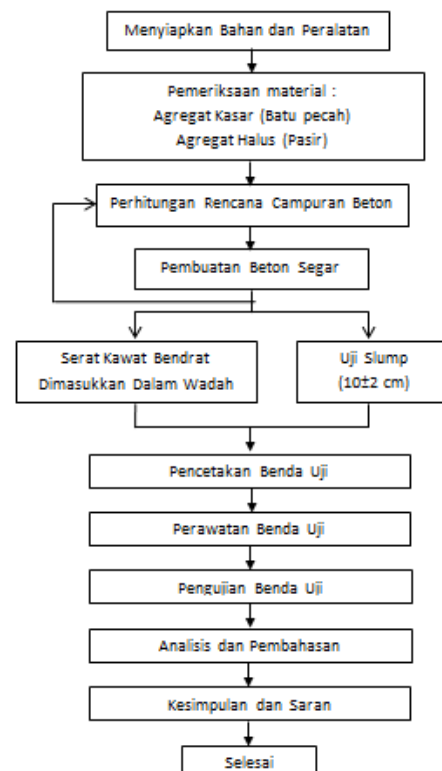
No	Jenis Kawat	Kuat Tarik (MPa)	Perpanjangan Saat Putus (%)	Berat Jenis
1	Kawat baja	230	10,5	7,77
2	Kawat bendrat	38,5	5,5	6,68
3	Kawat biasa	25	30	7,70

Sumber :Suhendro dalam (Adi Saputra Hendri L, Tahun 2011)

Selain penambahan serat kawat bendrat untuk memperbaiki sifat kuat tarik lemah beton dan meningkatkan kuat tekan beton, perawatan juga perlu dilakukan agar kekuatan yang diinginkan pada beton dapat dicapai. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan 2 metode perawatan yaitu perawatan basah (*wet*) dan perawatan kering/tanpa dirawat (*dry*) untuk mengetahui perbandingan kekuatan masing-masing perawatannya. Dalam Paul Nugraha dan Antoni, Buku Teknologi Beton (2007) [2] mengatakan bahwa beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% daripada yang tidak dirawat.

## 2. Metode Penelitian

Penelitian yang bersifat eksperimental ini dilakukan di Workshop dan Laboratorium Material, Struktur dan Konstruksi Bangunan Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kampus Gowa. Adapun diagram alir penelitian ini terlihat pada Gambar 1 dibawah ini;



**Gambar 1. Diagram alir penelitian**

### 3.1. Metode Pengumpulan Data

Karena penelitian ini adalah eksperimental dimana data-data yang akan kita dapatkan diuji

dalam lab, dengan acuan berdasarkan prosedur SNI pelaksanaan sebagai berikut :

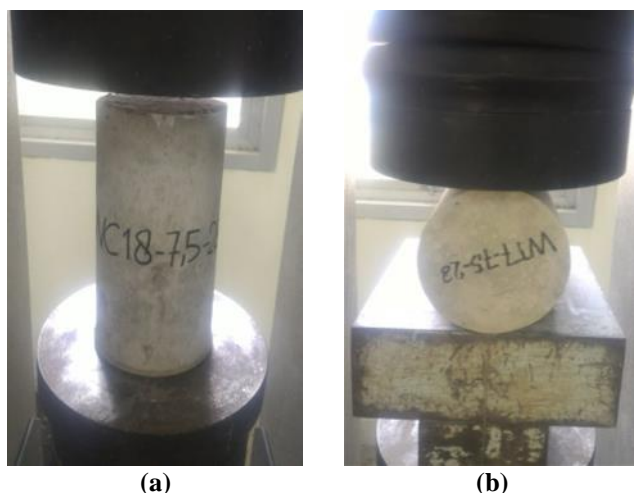
- Berdasarkan SNI. T-15-1990-03, tentang tata cara pembuatan campuran beton normal. SNI ini dikenal sebagai metode perencanaan campuran DOE (*Development of Environment*), Inggris [4]
- Berdasarkan SNI 03-1972-1990, tentang metode pengujian slump beton [5]
- Berdasarkan SNI 03-1974-1990, tentang metode pengujian kuat tekan beton [6]
- Berdasarkan SNI 03-2491-2002 tentang metode pengujian kuat tarik belah beton [7]

### 3.2. Metode Analisis Data

Pada penelitian ini ada 4 variabel yang dijadikan dasar analisis, yaitu :

#### 3.2.1 Metode Pengujian

Metode pengujian dalam rangka mencari nilai kekuatan dari sifat-sifat mekanis beton yakni kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan menggunakan *universal testing machine*, seperti yang terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Metode pengujian kuat tekan, (b) Pengujian kuat tarik belah

#### 3.2.2. Persentase serat kawat bendrat

Terdapat 4 variasi persentase serat kawat bendrat berdiameter 0,8 mm yang dipotong dengan panjang  $\pm 25$  mm (aspek rasio 31,25) yakni 0% (*reference concrete*); 2.5%; 5% dan 7.5% dari berat semen.

#### 3.2.3. Umur beton

Terdapat 3 variasi umur yang digunakan yakni umur 7, 14 dan 28 hari. Setiap kelompok umur tersebut terdiri dari 3 sampel benda uji silinder beton untuk setiap variasi persentase serat, metode perawatan dan metode pengujiannya.

#### 3.2.4. Curing (perawatan beton)

Terdapat 2 cara perawatan yang digunakan yakni perawatan kering (*dry curing*) dan perawatan basah (*wet curing*). Khusus perawatan basah, dilakukan dalam *curing room* yang dilengkapi bak perendaman, bersuhu konstan 20°C dan kelembaban yang terjaga sekitar 70%. Dan untuk perawatan kering benda uji diletakkan pada suhu ruangan bebas.



(a)



(b)

Gambar 3. (a) Metode perawatan kering, (b) metode perawatan basah

### 3. Hasil dan Analisis

Pada beton yang telah mengeras (*hardness*) dilakukan pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) dan kuat tarik belah beton (*Split Tensile Strength*). Data yang didapatkan dari hasil pengujian ini ditabulasikan, kemudian diteliti



pengaruh penambahan serat kawat bendrat terhadap kuat tekan beton dan kuat tarik belah beton serta dibandingkan dengan beton tanpa serat kawat bendrat. Hasil pengujian rekapitulasi

dan grafik hasil kuat tekan dan kuat tarik belah dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3 berikut.

**Tabel 2. Rekapitulasi hasil kuat tekan beton**

Umur Beton	Kuat Tekan (Mpa)							
	Dry				Wet			
	0%	2,5%	5%	7,5%	0%	2,5%	5%	7,5%
7	8,9	9	12,56	18,33	8,3	8,43	10,02	17,72
14	8,3	9,32	11,26	16,46	11,93	9,15	18,17	18,76
28	10,07	10,25	13,66	18,5	14,26	12,35	20,5	24

**Tabel 3. Rekapitulasi hasil kuat tarik belah beton**

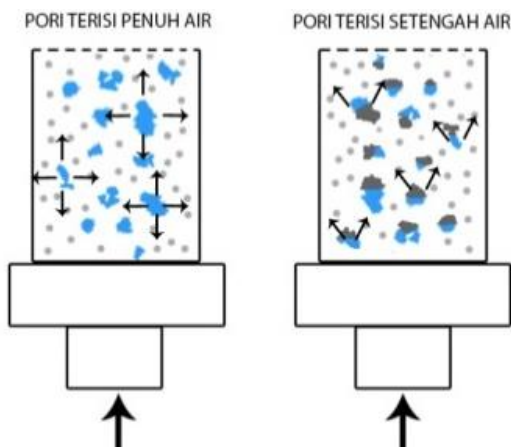
Umur Beton	Kuat Tarik Belah (Mpa)							
	Dry				Wet			
	0%	2,5%	5%	7,5%	0%	2,5%	5%	7,5%
7	0,95	0,77	1,4	1,43	1,25	1,06	2,1	2,1
14	1,35	1,2	1,88	2,67	1,83	1,67	2,57	2,43
28	1,42	1,56	1,78	2,2	1,95	1,99	2,42	2,64

Dapat dilihat dari Tabel 2, hasil pengujian umur 7 hari terjadi peningkatan kuat tekan beton dengan serat pada perawatan basah dan kering. Tetapi nilai kuat tekan beton dalam perawatan kering lebih tinggi daripada perawatan basah. Hasil uji ini tidak sesuai teori, dalam Paul Nugraha dan Antoni, Buku Teknologi Beton (2007) [2] mengatakan bahwa beton yang dirawat selama 7 hari akan lebih kuat sekitar 50% daripada yang tidak dirawat. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kondisi sampel pada perawatan basah. Pori-pori kapiler pada sampel perawatan basah terisi penuh oleh air yang menyebabkan air memberi desakkan lebih pada saat pengujian kuat tekan Gambar 4.

2,5% mengalami penurunan kuat tekan beton sebesar 23,3% dari beton normal. Hal ini terjadi karena sampel-sampel 2,5% berongga, sehingga menurunkan kekuatan beton. Rongga pada sampel akibat pemadatan (*compacting*) yang kurang baik.

Pada benda uji pada perawatan kering umur 28 hari, dengan komposisi serat 2,5% mengalami penurunan kuat tarik belah beton sebesar 11,11% dari beton normal. Hal ini dapat terjadi karena proses ikatan matriks beton dan serat kawat bendrat belum sempurna.

Dapat dilihat dari Tabel 3, hasil pengujian umur 14 hari terjadi peningkatan kuat tarik belah beton dengan serat pada perawatan basah dan kering. Namun pada benda uji perawatan kering, dengan komposisi serat 2,5% mengalami penurunan kuat tarik belah beton sebesar 11,11% dari beton normal. Hal ini dapat terjadi karena proses ikatan matriks beton dan serat kawat bendrat belum sempurna. Pada benda uji perawatan basah, dengan komposisi serat 2,5% mengalami penurunan kuat tarik belah beton hanya berbeda 8,7% dari beton normal. Hal ini terjadi pada salah satu sampel serat 2,5% hampir tidak terdapat kawat (gambar 5) serta beton 0% terlihat lebih kuat ikatan betonnya, dilihat pada batu pecah dalam beton tersebut terbelah (Gambar 6).



**Gambar 4. Pengaruh keberadaan air dalam pori-pori beton**

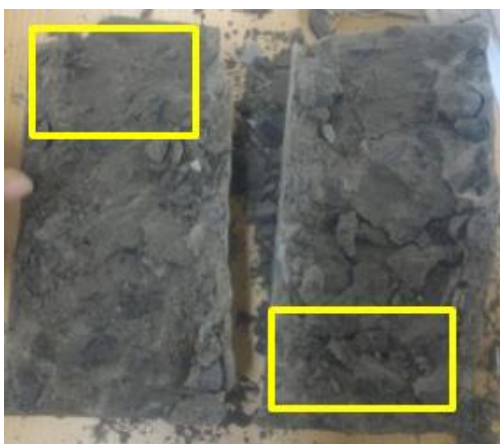
Pada hasil pengujian umur 14 hari benda uji pada perawatan basah, dengan komposisi serat



Gambar 5. Sampel 2,5% *wet curing* hari ke 14 hampir tidak terdapat serat kawat bendrat pada pengujian kuat tarik belah



Gambar 6. Kondisi batu pecah terbelah pada sampel 0% *wet curing* hari ke 14 pada pengujian kuat tarik belah

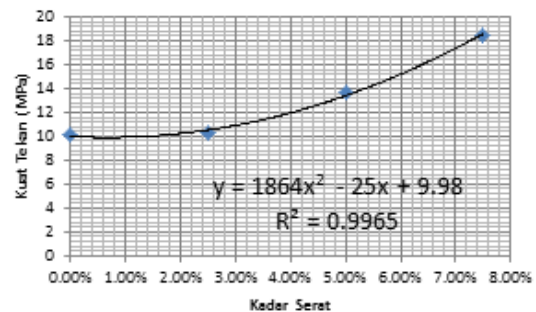


Gambar 7. Kondisi sampel 7,5% *wet curing* dengan penyebaran yang tidak merata pada pengujian kuat tarik belah

#### 4. Nilai Optimum dan Minimum Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Beton pada Jenis Perawatannya

Untuk mengetahui nilai optimum dan nilai minimum dari data tabulasi sebelumnya pada variasi komposisi serat dengan kuat tekan dan kuat tarik belah beton dengan masing-masing perawatannya maka diolah menggunakan metode analisa regresi polynomial. Data yang digunakan untuk analisa regresi polynomial adalah hasil dari rata-rata kuat tekan dan kuat tarik belah umur 28 hari beton, karena berdasarkan SNI T-15-1990-03 umur 28 hari merupakan pada saat umur tersebut beton akan mengalami pengerasan secara sempurna hingga 100%.

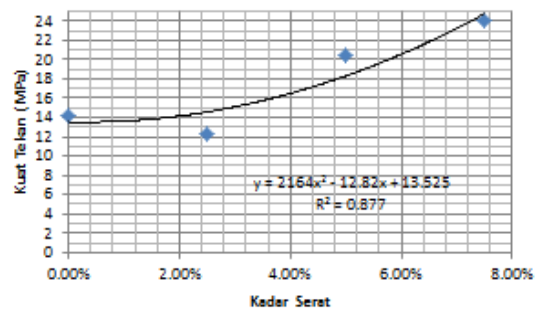
##### 4.1. Kuat Tekan Beton (*Dry Curing*)



Gambar 7. Grafik analisa regresi polinomial kuat tekan beton umur 28 hari (*dry curing*)

Dari hasil analisa regresi tersebut, didapatkan nilai minimum x terjadi pada persentase serat 0,006%. Pada persentase 0,006% mencapai nilai minimum y yaitu 9,8367 MPa

##### 4.2. Kuat Tekan Beton (*Wet Curing*)

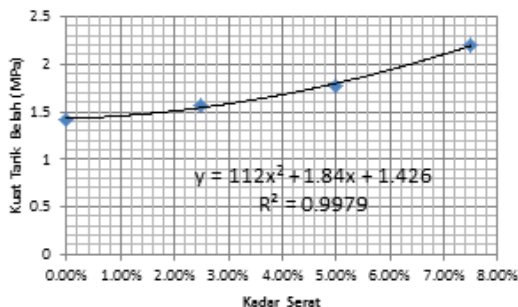


Gambar 8. Grafik analisa regresi polinomial kuat tekan beton umur 28 hari (*wet curing*)

Dari hasil analisa regresi tersebut, didapatkan nilai minimum x terjadi pada persentase serat 0,0029%. Pada persentase 0,0029% mencapai

nilai minimum y yaitu 13,5 MPa MPa. Penurunan beton serat kawat bendrat yang cukup signifikan dari beton normal ini terjadi karena ikatan matriks beton dengan serat yang tidak sempurna.

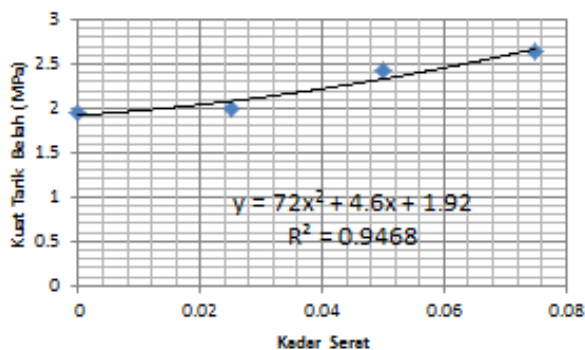
#### 4.3. Kuat Tarik Belah Beton (*Dry Curing*)



Gambar 9. Grafik analisa regresi polinomial kuat tarik belah beton umur 28 hari (*dry curing*)

Dari hasil analisa regresi tersebut, didapatkan nilai minimum x terjadi pada persentase serat - 0,0082%. Pada persentase -0,0082%. mencapai nilai minimum y yaitu 1,42 Mpa.

#### 4.4. Kuat Tarik Belah Beton (*Wet Curing*)



Gambar 10. Grafik analisa regresi polinomial kuat tarik belah beton umur 28 hari (*wet curing*)

Dari hasil analisa regresi tersebut, didapatkan nilai minimum x terjadi pada persentase serat - 0,0013%. Pada persentase -0,0013%. mencapai nilai minimum y yaitu 1,914 MPa.

Dapat disimpulkan berdasarkan hasil regresi polynomial diatas, kuat tekan dan kuat tarik belah pada jenis perawatannya telah membuktikan bahwa dengan adanya penambahan serat kawat bendrat panjang ± 2,5 cm pada campuran beton dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik belah beton. Pada kadar serat 7,5% terjadi peningkatan kuat tekan lebih dari 60% dan peningkatan kuat tarik hingga 50% daripada beton normal dan masih terjadi kemungkinan

penambahan kekuatan tekan dan tarik belah beton dengan persentase serat yang lebih besar lagi. Sehingga tidak dapat dikatakan persentase serat 7,5% sebagai nilai optimum kadar serat.

### 5. Kesimpulan

Dari hasil diatas maka dapat disimpulkan bahwa:

- 1) Pada perawatan kering penambahan serat kawat bendrat pada beton umur 28 hari dapat meningkatkan kuat tekan beton. Kuat tekan beton 0% (normal) 10,07 MPa, serat 2,5% 10,25 MPa, serat 5% 13,66 MPa dan serat 7,5% 18,5 MPa. Dan pada perawatan basah penambahan serat kawat bendrat pada beton meningkat namun terjadi penurunan pada serat 2,5% karena serat yang sedikit, masing-masing kuat tekan dari 14,26 MPa menjadi 12,35 MPa, 20,5 MPa dan 24 MPa (Mutu Beton K300). Pada perawatan kering penambahan serat kawat bendrat pada beton umur 28 hari dapat meningkatkan kuat tarik belah beton. Kuat tarik belah beton 0% (normal) 1,42 MPa, serat 2,5% 1,56 MPa, serat 5% 1,78 MPa dan serat 7,5% 2,2 MPa. Dan pada perawatan basah penambahan serat kawat bendrat pada beton meningkat masing-masing kuat tarik belah dari 1,95 MPa menjadi 1,99 MPa, 2,42 MPa dan 2,64 Mpa.
- 2) Berdasarkan hasil regresi polynomial, pada kadar serat lebih dari 7,5% masih terjadi kemungkinan penambahan kekuatan tekan dan kuat tarik belah beton sehingga tidak dapat dikatakan sebagai nilai optimum kadar serat

### Ucapan Terimakasih

Penulis ucapkan terima kasih kepada Pratiwi Mushar, ST, MT. dan Firda Yunisah Husni atas kontribusinya dalam penyelesaian penelitian ini.-

### Referensi

- [1] Dipohusodo, I.1994. Struktur Beton Bertulang berdasarkan SK-SNI-T-15-1991-03 Department Pekerjaan Umum RI. PT. Gramedia Pustaka Utama : Jakarta
- [2] Nugraha, Paul dan Antoni. 2007. Teknologi Beton dari Material,Pembuatan, ke Beton Kinerja Tinggi. Yogyakarta: CV. Andi Offset
- [3] Ariatama, A., 2007, Pengaruh Pemakaian Serat Kawat Berkait Pada Kekuatan Beton Mutu Tinggi Berdasarkan

Optimasi Diameter Serat, Thesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang

- [4] SNI. T-15-1990-03, tentang tata cara pembuatan campuran beton normal. SNI ini dikenal sebagai metode perencanaan campuran DOE (Development of Environment), Inggris
- [5] SNI 03-1972-1990. Metode Pengujian Slump Beton. Badan Standarisasi Nasional
- [6] SNI 03-1974-1990. Metode Pengujian Kuat Tekan Beton. Badan Standarisasi Nasional.
- [7] SNI 03-2491-2002 Mmetode Pengujian Kuat Tarik Belah Beton Standarisasi Nasional.

# Sistem Keamanan Informasi pada *Smart Gate* Menggunakan Visual Basic

Khairunnisa Mansur<sup>\*1</sup>, Zulfajri Basri Hasanuddin<sup>1</sup>, Wardi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino Km.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171, Indonesia

\*Email: Khairunnisae10@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052018.07

## Abstrak

Kartu identitas atau *identification card* menjadi pendukung utama dalam *gate system*. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan *smart card* pada *smart gate* di kalangan civitas akademika sebagai pengguna. Sistem ini menggunakan *Near Field Communication (NFC) smart card* jenis MIFARE sebagai identitas untuk identifikasi dan otentikasi. Proses baca/tulis dikonfigurasi dimana blok data dapat dibaca dengan menggunakan *software* yang telah dirancang dengan menggunakan aplikasi Visual Basic 2010. Proses penulisan data pada NFC tag melalui komunikasi serial dimana data informasi digabungkan menjadi 1 line informasi yang telah melalui tahapan enkripsi kemudian dialokasikan dalam bentuk *array* kedalam blok data yang telah ditentukan dalam penelitian ini yakni blok data 9, 10, 11 dan 13 dengan total data 64 Byte. Keamanan informasi pada NFC tag dilakukan dengan enkripsi metode Caesar Chiper dan rotate letter. Waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pembacaan informasi dari database ke NFC tag tanpa adanya penghalang yakni waktu tercepat 1,49 detik dan terlama 2,26 detik dengan rata-rata waktu proses 1,84 detik, sedangkan untuk pengujian dengan menggunakan penghalang diperoleh waktu tercepat 1,53 detik dan waktu terlama 2,21 detik dengan rata-rata waktu proses 1,83 detik. Hal ini menandakan waktu yang digunakan dalam proses penulisan informasi efisien dan tidak terpengaruh oleh adanya penghalang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya proses enkripsi informasi pada NFC tag hanya dapat dibaca melalui aplikasi Visual Basic yang telah dirancang dan dilengkapi dengan sistem enkripsi dan dekripsi.

## Abstract

*Information System Security Identity on Smart Gate using Visual Basic.* Card or identification card become the main support in gate system. This research aim to apply smart card at smart gate among academic community as user. This system uses Near Field Communication smart card type MIFARE as identity for identification and authentication. The read/write process is configured where data blocks can be read using software that has been designed using visual basic 2010 applications. The process of writing data on NFC tags through serial communication where data information is combined into 1 line information that has been through the encryption stage will then be allocated in the form Array into data block that has been determined in this research that is data block 9, 10, 11 and 13 with total data 64 Byte. Information security on NFC tags is done by Caesar Chiper method encryption and rotate letter. The time required to read from database to NFC tags without any obstacles is the fastest time of 1.49 seconds and the longest 2.26 seconds with an average processing time of 1.84 seconds, while for testing using a barrier obtained the fastest time 1.53 seconds and the longest time 2.21 seconds with average process time is 1.83 seconds. This indicates the time spent in the process of writing efficient information and not affected by the presence of obstacles. The results showed that the existence of information encryption process on NFC tag can only be read through Visual Basic application that has been designed and equipped with encryption and decryption system.

**Kata-kunci:** Enkripsi, smart card, smart gate, Visual Basic

## 1. Pendahuluan

*Gate system* menjadi standar dasar keamanan yang membutuhkan lebih banyak data untuk mengidentifikasi kendaraan atau orang yang masuk dalam suatu lingkungan [1]. Kartu identitas atau *identification card* menjadi pendukung utama dalam *gate system*. *Gate system* merupakan aplikasi dari akses kontrol yang

diproduksi menggunakan teknologi *magnetic striped cards* dan *proximity cards* untuk proses identifikasi yang lebih cepat dimana sistem akan terbuka otomatis apabila data yang teridentifikasi telah terdaftar.

*Smart card* memiliki kemampuan untuk menyimpan data identitas serta dapat diprogram pada sisi aplikasinya yang dapat digunakan untuk proses otentifikasi. Sistem *smart card* pada

kampus merupakan bagian pendukung dasar dalam konstruksi informasi. Sistem mengumpulkan banyak data untuk otentikasi yang terintegrasi [2].

Teknologi *Near Field Communication* (NFC) merupakan pengembangan dari teknologi *Radio Frequency Identification* (RFID). *NFC card / tag* dapat diintegrasikan dengan kartu cerdas dan perangkat lainnya. Standar ISO / IEC 14 443 mode pengoperasian *contactless smartcard* dengan kisaran sekitar 10 cm [3]. NFC semakin banyak diterapkan ke berbagai bidang dimana aplikasi terintegrasi ke dalam *mobile* dan perangkat cerdas yang diaplikasikan pada tiket, manajemen akses, dan keamanan [4].

Sistem akses kontrol berdasarkan RFID telah dikembangkan baik menggunakan *smart card* dan *smart phone*. Penelitian Kao & Chung (2008), mengembangkan aplikasi sistem *computer client-end* dengan memanfaatkan kartu IC *contactless* dan *reader* berdasarkan RFID untuk pengendalian gerbang / *gate* kampus dengan proses identifikasi yang dibangun melalui *server-end* database dan Local Area Network (LAN) kampus [5]. Penelitian Woo-Garcia *et al* (2016), kontrol akses dengan sistem RFID untuk menentukan atau memberlakukan kontrol akses dan pembatasan di area utama bangunan universitas yang seharusnya hanya bisa diakses oleh sekelompok kecil staf. Topik penelitian akses kontrol dalam lingkungan kampus ini tetap potensial untuk dikembangkan karena masing-masing kampus ingin mengembangkan sistem sendiri, dan juga memiliki inovasi yang berbeda [6].

Bouazzouni *et al* (2016), mengajukan sebuah arsitektur untuk membangun sistem akses kontrol yang aman berbasis Trusted Execution Environment (TEE) dan Identity Based Encryption (IBE) [7]. TEE adalah kombinasi dari sebuah perangkat keras dan perangkat lunak dimana eksekusi sistemnya terbagi dalam dua lingkungan. Otentikasi dilakukan berdasarkan IBE dan TEE yang dipresentasikan dalam OP-TEE. Gruntz *et al* (2016), mengembangkan *smart phone* yang berdasarkan sistem akses kontrol secara fisik dimana akses poin tidak secara langsung terhubung ke *server* pusat, tetapi lebih menggunakan konektivitas dari *smart phone*

untuk dapat mengakses permintaan akses *online* dari pengguna dengan menggunakan *server* akses pusat [8]. Otentikasi dari *smart phone* berdasar pada kunci kriptografi publik. Kedua penelitian ini memanfaatkan *smart phone* yang dilengkapi NFC untuk melakukan akses, sehingga apabila diterapkan dalam sistem akses kontrol setiap *user* atau pengguna diwajibkan memiliki *smart phone* yang dilengkapi NFC. Sebagai solusi dalam penelitian yang penulis ajukan dibutuhkan *smart card* NFC sebagai pengganti *smart phone*.

Sebagian besar sistem akses kontrol berbasis RFID rentan pada resiko serangan yang memungkinkan kloning dari *tag / kartu* untuk mendapatkan akses ke fasilitas akses kontrol. Solusi untuk mengatasi resiko tersebut adalah dengan meningkatkan keamanan pada verifikasi dan otentikasi user. Penelitian Jacob *et al* (2015), menerapkan One-Time Password pada sistem kehadiran menggunakan NFC. One-Time Password dibuat secara otomatis dengan membangkitkan *string* karakter numerik atau alfanumerik pada otentikasi *user* untuk satu kali sesi transaksi menggunakan *NFC card* [9].

Penelitian ini membahas penggunaan NFC card pada prototipe akses kontrol *gate system* dalam lingkungan kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Akses keluar masuk civitas akademika sebagai user dapat dikontrol melalui *gate system*. Kartu identitas berupa NFC card berisi informasi biodata civitas akademika untuk proses identifikasi dan otentikasi. NFC card yang telah teregistrasi akan melakukan proses buka tutup *gate*. Perhatian utama terkait implementasi saat ini yakni mengenai sistem keamanan informasi pada *NFC tag*, beberapa *software* yang beredar tidak dilengkapi dengan sistem keamanan informasi pada proses *write* data ke *NFC tag*. Permasalahan terkait sistem keamanan informasi pada *NFC tag* dapat diatasi dengan melakukan kriptografi enkripsi informasi ketika proses *write* pada *nfc tag*. Kriptografi secara umum adalah ilmu dan seni untuk menjaga kerahasiaan beritadengan tujuan mendasar aspek keamanan informasi yaitu *authentication*, *data integrity*, *confidentiality* dan *non repudiation* [10]. *Software* yang mampu melakukan proses *read* dan *write* serta enkripsi pada *NFC tag* diharapkan

mampu menjadi solusi keamanan sistem informasi.

## 2. Prototipe Gate System

Prototipe *smart gate* terdiri dari PN532 NFC RFID module, mikrokontroler, NFC tag, sensor PING, motor servo, router, dan ethernet shield. Bagian lain pendukung dari *smart gate access control* adalah *server*. *Server* menyimpan semua data user dan riwayat akses masuk dan keluar gate. Pada prototipe yang dirancang server menggunakan *localhost*.

Proses akses masuk atau keluar gate dimulai dengan mendekatkan tag pada *reader* untuk proses *scanning*/pembacaan kartu. NFC tag yang telah terregistrasi akan diidentifikasi sebagai *user* yang berhak untuk mendapatkan akses masuk atau keluar *gate*. Apabila UID terdaftar dan *key* otentikasi telah terverifikasi maka gate akan terbuka dan riwayat *user* akan terupdate pada database server. Gate akan tertutup setelah sensor PING mendeteksi objek yang ada di depannya.

Pada NFC tag akan dituliskan kembali *key* otentikasi untuk digunakan kembali pada saat *scanning* kartu akses keluar gate. NFC tag hanya dapat digunakan satu kali pemakaian untuk akses masuk dalam waktu bersamaan karena adanya *re-write key* otentikasi pada kartu. Untuk akses keluar dilakukan dengan cara yang sama.

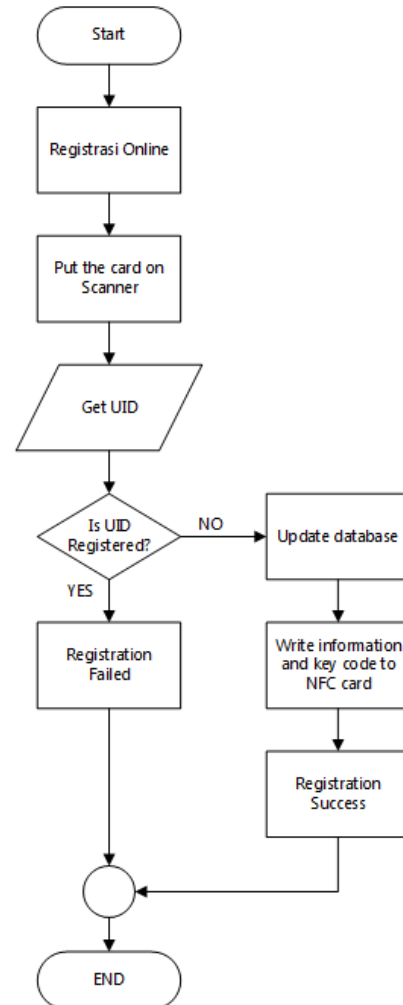


Gambar 1. Prototipe *smart gate access control*

## 3. Registrasi Smart Card pada Smart Gate System dengan Proses Enkripsi

Penelitian ini mengarah pada perwujudan *smart campus* sehingga dirancang dalam lingkup civitas akademika. *Smart card* yang dirancang memuat informasi identitas pengguna antara lain nama, NIM, jurusan, status, nomor telepon, dan

alamat. Secara khusus, jabatan yang dimaksud adalah mahasiswa, staf, karyawan, dan dosen. Dengan adanya informasi identitas pengguna, maka pihak kampus dapat mengatur siapa yang memiliki hak untuk memanfaatkan suatu sarana dan prasarana yang ada.



Gambar 2. Flowchart algoritma registrasi kartu

*Smart card* yang digunakan adalah jenis Mifare Classic 1K yang terdiri dari 16 Sektor, dimana setiap sektor terdiri dari 4 blok yakni 3 blok data dan satu 1 blok *trailer*, dan masing-masing blok tersebut terdiri atas 16 byte [11]. Dalam penelitian ini, proses baca/tulis akan dikonfigurasi dimana blok data dapat dibaca dengan menggunakan *software* yang telah dirancang dengan menggunakan aplikasi Visual Basic (VB) 2010. Proses penulisan data pada NFC tag melalui komunikasi serial dimana data informasi digabungkan menjadi 1 line informasi yang telah melalui tahapan enkripsi kemudian

akan dialokasikan dalam bentuk *array* kedalam blok data yang telah ditentukan dalam penelitian ini yakni blok data 9, 10, 11 dan 13 dengan total data 64 Byte. Pada tahap pengisian informasi pada NFC *tag* dilakukan dua pihak yakni mahasiswa dan pihak administrasi kampus. Proses registrasi dijelaskan melalui *flowchart* algoritma registrasi kartu pada Gambar 2.

Tahap pertama mahasiswa melakukan pengisian biodata secara *online* dan data tersebut akan tersimpan dalam database yang dapat diakses oleh pihak administrasi kampus sebagai pihak yang melakukan verifikasi dan penulisan data pada NFC *tag*. Proses penulisan data pada NFC *tag* melalui beberapa tahap yakni verifikasi data pada database, enkripsi data dan penulisan data ke NFC *tag*. Verifikasi data yakni proses dimana pihak administrasi kampus melakukan pencarian Nomor Induk Mahasiswa (NIM) pada aplikasi VB yang telah dirancang dan dikoneksikan pada *server database* apabila NIM telah terdaftar maka secara otomatis aplikasi VB akan menampilkan informasi yang telah diisi oleh pihak mahasiswa. Informasi yang diperoleh dari database kemudian akan dilakukan proses enkripsi untuk memberikan sistem keamanan informasi pada *tag* sehingga pihak lain tidak dapat melakukan pembacaan blok data tanpa menggunakan aplikasi VB dan mengetahui sistem enkripsinya.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Data mahasiswa dilindungi dengan melalui 2 (dua) tahap enkripsi. Enkripsi pertama dilakukan dengan metode Caesar Chiper, metode enkripsi ini berbasis sistem pergeseran dimana huruf/karakter asli akan digantikan dengan karakter lain dan merujuk pada *key* yang telah ditentukan dengan formula enkripsi sebagai  $E_n(x) = (x + n)$  dimana,  $E_n(x)$  = Hasil enkripsi,  $X$  = Karakter asli  $N = Key$ . Sebagai contoh proses Caesar chiper yakni informasi asli KHAIRUNNISA akan dilakukan menggunakan Caesar Chiper dengan key 24 maka informasi asli akan melalui proses enkripsi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Enkripsi caesar chiper

Informasi	Key	Hasil Enkripsi
K	2	M
H	4	L
A	2	C
I	4	M
R	2	T
U	4	Y
N	2	P
N	4	R
I	2	K
S	4	W
A	2	C

Setelah melalui tahap enkripsi awal Caesar Chiper maka untuk memastikan informasi mahasiswa lebih aman maka dilakukan enkripsi tahap kedua dengan metode *rotate letter* dimana urutan karakter pada informasi dibalik secara utuh. Informasi yang mengalami enkripsi Caesar Chiper yakni MLCMTYPRKWC akan dirotasi menjadi CWKRPYTMCLM dan informasi inilah yang akan diwrite pada NFC *tag* melalui komunikasi serial dari *desktop* ke NFC *reader / write* PN532. Hasil enkripsi menggunakan VB diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil enkripsi pada visual basic

*Smart card* yang dirancang berisi informasi identitas pengguna antara lain nama, alamat, nomor identitas, nomor telepon dan jabatan. Jabatan yang dimaksud adalah mahasiswa, staf, karyawan, dan dosen. Dengan adanya informasi identitas pengguna, maka pihak kampus dapat mengatur siapa yang memiliki hak untuk memanfaatkan suatu sarana dan prasarana yang ada dengan menambahkan informasi tertentu pada data blok. Pada pengaplikasiannya untuk proses



read dan write informasi pada NFC tag *contactless* diperoleh 2 (dua) data pengujian jarak dan waktu terhadap ada tidaknya penghalang antara tag dan reader.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya proses enkripsi informasi pada NFC tag hanya dapat dibaca melalui aplikasi VB yang telah dirancang dan dilengkapi dengan sistem enkripsi dan dekripsi. Pengujian untuk waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pembacaan informasi dari database ke NFC tag tanpa adanya penghalang antara NFC *smart card* dan reader yakni waktu tercepat 1.49 detik dan terlama 2.26 detik dengan rata-rata waktu proses 1.84 detik.

**Tabel 2. Hasil pengujian respon waktu smart card pada reader tanpa penghalang**

No.	Delay (Detik)					
	1 CM	2 CM	3 CM	4 CM	5 CM	6 CM
1.	1.81	1.64	1.92	2.11	1.6	1.88
2.	1.74	1.96	1.55	1.76	2.11	1.75
3.	1.86	1.91	1.67	1.62	1.84	1.63
4.	2.07	1.64	1.83	1.91	1.73	2.21
5.	1.8	1.59	2.15	2.06	1.67	1.59
6.	1.66	1.53	2.12	1.96	2.19	1.78
7.	1.8	1.93	2.2	1.88	1.75	1.61
8.	1.61	1.84	1.91	2.1	1.66	1.96
9.	1.71	1.97	1.64	1.78	2.18	1.59
10.	2.17	1.81	1.69	1.78	1.7	1.91
<b>Delay rata-rata</b>	1.823	1.782	1.868	1.896	1.843	1.791

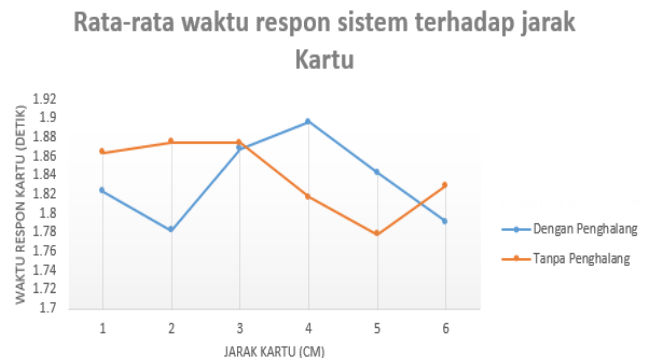
Pengujian dengan menggunakan penghalang diperoleh waktu tercepat 1.53 detik dan waktu terlama 2.21 detik dengan rata-rata waktu proses 1.83 detik. Hal ini menandakan waktu yang digunakan dalam proses penulisan informasi efisien dan tidak terpengaruh oleh adanya penghalang.

**Tabel 3. Hasil pengujian respon waktu smart card pada reader dengan penghalang**

No.	Delay (Detik)					
	1 CM	2 CM	3 CM	4 CM	5 CM	6 CM
1.	1.69	2.22	1.9	1.42	1.58	1.97

2.	2.11	1.91	1.6	2.23	2.14	2.17
3.	1.67	1.9	1.77	1.56	1.46	1.63
4.	1.76	1.85	2.11	1.93	2.16	1.83
5.	1.95	1.7	1.88	2.2	1.67	1.88
6.	2.18	1.97	1.76	1.66	2.1	1.67
7.	1.88	1.66	2.26	1.49	1.58	1.73
8.	1.58	1.74	1.61	2.12	1.76	1.86
9.	1.75	1.89	1.92	1.88	1.61	1.89
10.	2.07	1.91	1.93	1.68	1.72	1.66
<b>Delay rata-rata</b>	1.864	1.875	1.874	1.817	1.778	1.829

Grafik hasil pengujian respon rata-rata sistem terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4. Respon rata-rata terhadap waktu**

### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa konfigurasi kartu dan reader sangat berpengaruh terhadap kemampuan identifikasi, waktu pemrosesan, ketahanan terhadap penghalang dan keamanan. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan memori penyimpanan tiap blok sehingga tidak terpaku pada sistem penulisan 16 byte / blok atau 1 Kb / tag serta pengembangan kemampuan identifikasi NFC tag oleh reader terhadap jarak yang membuat sistem ini akan menjadi lebih responsif.

### Daftar Pustaka

[1] Gerdeman J. (2015). RFID Changing Gates. IEEE Potentials Magazine. Vol (34) Vol. 40-42.  
 [2] Zhang T. (2012). Instrumentation, Measurement, Circuits and Systems, AISC 127, pp. 19–26.  
 [3] Finkenzeller, K. (2010). *RFID Handbook: Fundamentals and applications in contactless smart*

- cards, radio frequency identification*. 3th edition. Wiley. 2010.
- [4] Tu J.F. (2016). A contactless doors lock which controlled by portable devices. *International Journal for Computer- Aided Engineering and Software* Vol. 33 No. 6, pp. 1631-1641.
- [5] Kao L. T. & Chung H.Y. (2008). Design and Implementation of Campus Gate Control System Based on RFID. *Proceedings IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference*, pp 1406 - 1411.
- [6] Woo-Garcia. et al. (2016). Design and Implementation of a System Access Control by RFID”, *International Conference Engineering Summit, II Cumbre Internacional de las Ingenierias (IE-Summit)*.
- [7] Bouazzouni M.A. *et al.* (2016). Trusted Access Kontrol System for Smart Campus. *Proceedings International IEEE Conferences on Ubiquitous Intelligence & Computing, Advanced and Trusted Computing, Scalable Computing and Communications, Cloud and Big Data Computing, Internet of People, and Smart World Congress*, pp 1006-1012.
- [8] Gruntz D. *et al.* (2016). MOONACS: a mobile on-/offline NFC-based physical access kontrol system. *International Journal of Pervasive Computing and Communications*. Vol. 12 No. 1 2016. 2-22.
- [9] Jacob J. *et al.* (2015). Mobile Attendance using Near Field Communication. *International Conference on Green Computing and Internet of Things (ICGCloT) 2015*, pp 1298 - 1303.
- [10] Seftyanto, D. dkk. 2012. Peran Algoritma Caesar Chipper dalam Membangun Karakter Akan Kesadaran Informasi. *Prosiding Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika dengan tema Kontribusi Pendidikan Matematika dan Matematika dalam Membangun Karakter Guru dan Siswa*.
- [11] Product data sheet, “MF1S50yyX\_V1,” ©NXP Semiconductors N.V., 2014.

# Perancangan *Dispatch* Daya Aktif Sistem Kelistrikan Sulselrabar untuk Mengatasi Pengaruh PLTB

Fatmawati Azis<sup>\*1</sup>, Ardiaty Arief<sup>1</sup>, Muhammad Bachtiar Nappu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171, Indonesia

\*Email: fatmawati.azis90@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.08

## Abstrak

Sistem kelistrikan Sulselrabar adalah sistem terinterkoneksi dari bagian Sulawesi selatan, tenggara, dan barat. Sistem ini didominasi oleh pembangkit termal dan hanya ada beberapa pembangkit hidro. Pembangkit termal ini tentunya menggunakan bahan bakar dari fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan yang akan berdampak pada biaya operasional yang mahal dan emisi lingkungan. Energi listrik dengan menggunakan sumber energi yang dapat diperbaharui menjadi satu-satunya solusi cerdas untuk hal ini. Pemerintah dalam programnya untuk membebaskan Indonesia dari emisi membangun kembali pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) di Kabupaten Sidrap Sulawesi Selatan dan PLTB Jeneponto. Tenaga angin yang digunakan PLTB memiliki kecepatan yang tidak selamanya konstan. Kemungkinan terjadinya fluktuasi kecepatan angin sangat tidak bisa dielakkan dan tidak boleh diremehkan. Hal tersebut tentunya akan mempengaruhi kestabilan sistem pada saat kedua PLTB tersebut masuk ke sistem interkoneksi. Penelitian ini dibuat untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan merancang sistem kendali menggunakan fuzzy logic controller (FLC) untuk mempertahankan kestabilan sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FLC ini mampu mengontrol dampak perubahan kecepatan angin terhadap output PLTB dan pembangkit listrik tenaga termal (PLTT). Hasil pengontrolan FLC ketika kecepatan angin berada pada level sangat rendah 0-0.8 m/s maka output PLTB juga berada pada level sangat rendah 0 kW dan output PLTT berada pada level sangat tinggi 56.000 kW, namun sebaliknya ketika kecepatan angin berada pada level sangat tinggi 8.3-8.4 m/s maka output PLTB juga berada pada level sangat tinggi 2500 kW dan sebaliknya output PLTT berada pada level sangat rendah 5000 kW.

## Abstract

*Development of Active Power Dispatch of Sulselrabar Electrical System in order to Overcome Effect of WPP.* Sulselrabar electrical system is an interconnected system of parts of south, southeast, and west Sulawesi. The system is dominated by thermal plants and there are only a few hydro plants. These thermal plants certainly use fossil fuels that are a non-renewable energy source that will impact on operating costs and environmental emissions. Electrical energy by using renewable energy sources is the only smart solution for this problem. The Government in its program to free Indonesia from the emission is rebuilding wind power plants (WPP) in Sidrap dan Jeneponto District of South Sulawesi. Wind power used WPP has a speed that is not always constant. The possibility of wind speed fluctuations is not avoidable and should not be underestimated. This will certainly affect the stability of the system when both WPPs join the interconnected system. This research was made to overcome these problems by designing a control system using fuzzy logic controller (FLC) to maintain system stability. The results showed that the FLC is able to control the impact of changes in wind speed on the output of WPP and thermal power plants (TPP). FLC results when wind speed is at a very low level (0-0.8 m/s) then the output of the WPP is also at a very low level (0 kW) and the TPP output is at a very high level (56.000 kW), but vice versa when wind speed is at very high level 8.3 -8.4 m/s then the output of the WPP is also at a very high level (2500 kW) and vice versa the TPP output is at a very low level (5.000 kW).

**Kata-kunci:** FLC, Kecepatan angin, PLTB, PLTT

## 1. Pendahuluan

Masalah energi saat ini khususnya energi listrik menjadi masalah yang diprioritaskan untuk dipikirkan keberlangsungannya dimasa yang akan datang. Energi listrik dunia saat ini sumbernya masih didominasi dari bahan bakar fosil.

Khususnya di Indonesia pembangkit listrik dengan menggunakan energi air sebagai penggerak turbin telah lama digunakan, namun ini tidak cukup untuk melayani jutaan konsumen listrik, akhirnya untuk menutupi kekurangan pasokan energi listrik pemerintah maupun swasta membangun pembangkit listrik dengan

menggunakan bahan bakar fosil. Hal ini telah mengakibatkan banyak dampak buruk bagi lingkungan dan ekonomi [1-3]. Oleh sebab itu pemerintah, pengusaha dan generasi yang cerdas dituntut untuk memikirkan solusi-solusi cerdas apa yang harus dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut. Energi listrik dengan menggunakan sumber energi yang dapat diperbaharui [4] menjadi satu-satunya solusi cerdas untuk hal ini.

Indonesia dianugerahi kekayaan alam yang dapat dimanfaatkan untuk menjadi sumber energi terbarukan untuk pembangkit listrik. Air, panas matahari, panas bumi dan angin mampu digunakan untuk menjadi penggerak mula dari suatu pembangkit listrik. Tercatat 3.467,95 MW untuk kapasitas pembangkit listrik tenaga air (PLTA), 8,96 MWp untuk kapasitas pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), dan sebanyak 575 MW untuk kapasitas pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTPB), serta 50 MW kapasitas pembangkit listrik tenaga angin atau bayu (PLTB) yang telah dibangun [5].

Tidak berhenti sampai pada pembangunan pembangkit listrik dengan sumber energi di atas, pemerintah dalam programnya untuk membebaskan Indonesia dari emisi. Kini telah dibangun kembali PLTB di Kabupaten Sidrap Sulawesi Selatan dengan kapasitas 70 MW [6], dan 160 MW untuk PLTB Jeneponto [7], yang masing-masing pembangunannya dimulai tahun 2016 dan 2017, sementara potensial angin di Sulawesi Selatan ditunjukkan pada Gambar 1 [8].

Tenaga angin atau bayu yang digunakan PLTB memiliki kecepatan yang tidak selamanya konstan. Kemungkinan terjadinya fluktuasi kecepatan angin sangat tidak bisa dielakkan dan tidak boleh diremehkan. Hal tersebut tentunya akan mempengaruhi kestabilan sistem pada saat kedua PLTB tersebut masuk ke sistem interkoneksi Sulsebar. Masalah ini menjadi

buah pikiran peneliti untuk menganalisa dampak dari fluktuasi tersebut dan memikirkan solusi terbaik untuk meminimalkan dampak buruk dari fluktuasi tersebut. Penelitian ini adalah sebuah penelitian yang bertujuan untuk menganalisa kestabilan sistem ketika PLTB Sidrap dan Jeneponto masuk ke sistem interkoneksi Sulsebar dengan mensimulasikan kestabilan sistem terhadap fluktuasi angin dan merancang sistem kendali menggunakan *fuzzy logic controller* (FLC) untuk mempertahankan kestabilan sistem.

## 2. Metode dan pemodelan pada FLC

Persamaan sederhana untuk menghitung aliran daya dirumuskan pada Persamaan (1). Kemudian persamaan *Kron's loss* terdapat pada Persamaan (3), dan Persamaan (1) dapat dirumuskan kembali pada Persamaan (2) untuk biaya pembangkitan yang lebih dari satu pembangkit. Selanjutnya total pembangkitan harus sama dengan permintaan dan losses yang terdapat pada Persamaan (4), dan *inequality constraints* pada Persamaan (5) [7].

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j \quad (1)$$

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{n_g} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (2)$$

$$C_i = \sum_{i=1}^{n_g} \alpha_i + \beta_i P_i + \gamma_i P_i^2 \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D + P_L \quad (4)$$

$$P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)} \quad i = 1, \dots, n_g \quad (5)$$

Melalui berbagai penurunan rumus maka akan didapatkan persamaan akhir seperti yang dituliskan pada Persamaan (6).

$$\sum_{i=1}^{n_g} \left( \frac{\partial P_i}{\partial \lambda} \right)^k = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{\gamma_i B_{ii} \beta_i}{2(\gamma_i + \lambda^k B_{ii})^2} \quad (6)$$



### 3. Hasil

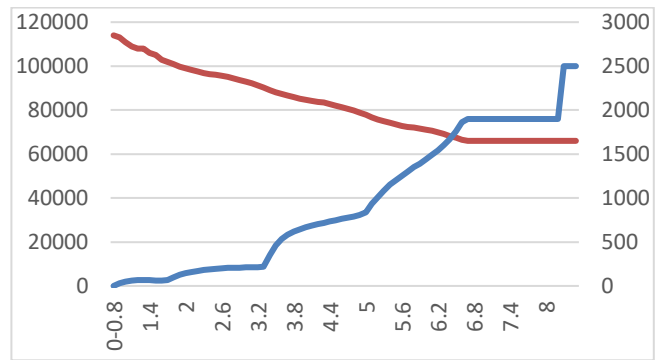
Hasil rancangan memperlihatkan hubungan kecepatan angin dengan *output* PLTB Jeneponto dan *output* PLTT dapat dilihat pada Tabel 4. Tabel 4 memperlihatkan nilai dari hasil rancangan aliran daya aktif berdasarkan perubahan kecepatan angin. Kecepatan angin terendah 0-0,8 m/s dengan *output* aliran daya aktif PLTB 0 dan *output* PLTU Jeneponto 114000 kW. Kecepatan angin tertinggi 8.3-8.5 m/s dengan *output* aliran daya aktif PLTB Sidrap 2.500 kW dan *output* aliran daya aktif PLTGU Sengkang 66.000 kW. Gambar 2 dan 3 masing-masing memperlihatkan hasil dari rancangan FLC diman kecepatan angin akan mengontrol *output* PLTB dan kecepatan angin juga mengontrol *output* PLTT, sementara Gambar 4 memperlihatkan hubungan kecepatan angin dengan keduanya.

**Tabel 5. Hasil perancangan menggunakan FLC**

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Output PLTB Jeneponto (kW)	Output PLTT (kW)
1	0-0.8	0	114000
2	0.9	31.3	113000
3	1	50.7	111000
4	1.1	63.3	109000
5	1.2	69.1	108000
6	1.3	68.9	108000
7	1.4	64.2	106000
8	1.5	60.6	105000
9	1.6	57.8	103000
10	1.7	69.6	102000
11	1.8	99.7	101000
12	1.9	126	99700
13	2	143	98900
14	2.1	158	98200
15	2.2	171	97500
16	2.3	181	96800
17	2.4	189	96400
18	2.5	196	96000
19	2.6	201	95600
20	2.7	204	95100
21	2.8	207	94400
22	2.9	209	93700

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Output PLTB Jeneponto (kW)	Output PLTT (kW)
23	3	211	92900
24	3.1	213	92200
25	3.2	214	91300
26	3.3	216	90200
27	3.4	350	89100
28	3.5	459	88200
29	3.6	531	87400
30	3.7	580	86600
31	3.8	616	85900
32	3.9	643	85200
33	4	666	84600
34	4.1	686	84200
35	4.2	702	83800
36	4.3	717	83400
37	4.4	732	82800
38	4.5	748	82100
39	4.6	763	81400
40	4.7	777	80600
41	4.8	791	79800
42	4.9	805	78900
43	5	837	77800
44	5.1	932	76700
45	5.2	1010	75800
46	5.3	1080	75100
47	5.4	1150	74300
48	5.5	1200	73600
49	5.6	1250	72900
50	5.7	1300	72400
51	5.8	1350	72000
52	5.9	1390	71600
53	6	1440	71200
54	6.1	1490	70500
55	6.2	1540	69800
56	6.3	1600	69100
57	6.4	1670	68300
58	6.5	1760	67500
59	6.6	1860	66500
60	6.7	1900	66000
61	6.8	1900	66000

No.	Kecepatan Angin (m/s)	Output PLTB Jeneponto (kW)	Output PLTT (kW)
62	6.9	1900	66000
63	7	1900	66000
64	7.1	1900	66000
65	7.2	1900	66000
66	7.3	1900	66000
67	7.4	1900	66000
68	7.5	1900	66000
69	7.6	1900	66000
70	7.7	1900	66000
71	7.8	1900	66000
72	7.9	1900	66000
73	8	1900	66000
74	8.1	1900	66000
75	8.2	1900	66000
76	8.3	2500	66000
77	8.4	2500	66000
78	8.5	2500	66000

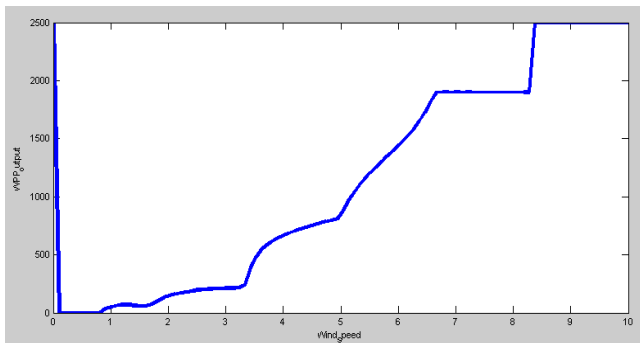


Gambar 4. Hubungan antara kecepatan angin dan kedua output.

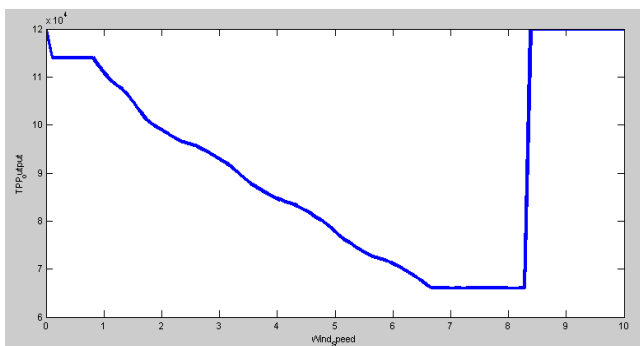
#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian memberikan kesimpulan:

1. Sistem interkoneksi dalam hal ini sistem kelistrikan Sulselrabar tetap stabil dengan bergabungnya PLTB dengan kondisi kecepatan angin yang stabil rata-rata 8.3 m/s.
2. Rancangan mengontrol daya aktif PLTB dan PLTT dengan kondisi kecepatan berubah-ubah dapat menjadi acuan untuk pengontrolan system nantinya.



Gambar 2. Hasil perancangan FLC dimana kecepatan angin mengontrol output PLTB



Gambar 3. Hasil perancangan FLC dimana kecepatan angin mengontrol output PLTT

#### Daftar Pustaka

- [1] K. Siraj, H. Siraj and M. Nasir, "Modelling and Control of a Doubly Fed Induction Generator for Grid Integrated Wind Turbine," in *Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition (PEMC), 2014 16th International*, 2014.
- [2] A. Abdelaziz, E. Ali and S. A. Elazim, "Combined Economic and Emission Dispatch Solution Using Flower Pollination Algorithm," *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 80, pp. 264-274, 2011.
- [3] M. B. Nappu and A. Arief, "Economic Redispatch Considering Transmission Congestion for Optimal Energy Price in a Deregulated Power System," in *International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI 2015)*, Denpasar-Bali, 2015.
- [4] R. Shaha, D. D. Kothari and D. V. Chandrakar, "Optimization of Renewable Energy Sources for Hybrid Power Generation," in *2016 Biennial International Conferences on Power and Energy Systems: Toward Sustainable Energy (PESTSE)*, 2016.
- [5] ESDM, "www.djk.esdm.go.id.statistik," edisi no.28, 2015. [Online]. [Accessed 29 September 2016].
- [6] PLN, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin 70 MW Segera Dibangun Di Sidrap", PLN, 7 April 2015. [Online]. Available: <http://www.pln.co.id>. [Accessed 29 September 2016].
- [7] P. K. Jeneponto, "Pembangkit Listrik Tenaga Angin Segera Hadir Di Jeneponto", Kabupaten Jeneponto, 29 Juni 2015. [Online]. Available:

- www.jenepontokab.go.id. [Accessed 10 Oktober 2016].
- [8] Wind Hybrid Power Generation Marketing Development Initiative (WhyPGen), "*Map of Potential Locations for Wind Power Generation in Indonesia and Pre-Feasibility Studies in 10 Locations Based on Wind Resources Assessment*", [Online]. Available: <http://whypgen-bppt.com/id/>. [Accessed 4 June 2017].
- [9] H. Saadat, "*Economic Dispatch Including Losses*," in *Power System Analysis*, New York, The McGraw-Hill Companies, 1999, p. 279.
- [10] ENO Energy, "*Leistungskurve ENO 126 / 35 MW*", [Online]. Available: <http://www.eno-energy.com>.



# Optimasi dan Implementasi Sistem *Contactless Tag-Reader* untuk Akses Kelas dan Laboratorium : Evaluasi Prototipe

Rida Ariyanti Z\*<sup>1</sup>, Elyas Palantei<sup>1</sup>, Intan Sari Areni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km.6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia

\*Email: <sup>1</sup>ridaariyantizainal@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.09

## Abstrak

*Smart card contactless* yang ada saat ini memiliki jarak jangkauan yang terbatas dengan tingkat keamanan yang masih rendah. Oleh karena itu, penelitian ini akan melakukan optimasi pada akses *user* yang lebih jauh dengan jaminan keamanan yang lebih baik. Penelitian ini akan diimplementasikan pada akses *classroom* dan *laboratory*. *Hardware* yang digunakan terdiri atas *smart card* dan Raspberry Pi yang berfungsi sebagai *server* dan *card reader* yang dapat saling berhubungan dengan mikroprosesor. Pada *smart card* dan Raspberry tersimpan data *user* (nomor induk dan nama) yang bisa mengakses kelas atau laboratorium. Data *User* pada *smart card* tersimpan di chip yang bertindak seperti RAM (*Random Access Memory*). Chip tersebut tertanam pada *Smart card* dengan cara kerja yang sama seperti media penyimpanan. Raspberry yang bertindak sebagai *server* sekaligus sebagai mikroprosesor akan memberikan akses untuk *user* yang telah teregistrasi dengan data *base server*. Penelitian ini menghasilkan sistem akses kelas dengan menggunakan *smart card* dengan jarak >5cm dengan sistem otomatis akses untuk *user* yang terdaftar pada sistem. Jika menggunakan teori LOS maka maksimal jarak yang dapat dicapai adalah 12cm. *Historical* tersimpan pada *server* yang mencatat waktu *in* dan *out*, serta durasi waktu selama berada di ruangan. Teknologi tambahan pada sistem akses *classroom* ini dilengkapi dengan sistem *close door* otomatis untuk *double security* pada *classroom*. Kelebihan sistem ini adalah menggunakan *server* sekaligus sebagai mikrokontroler sehingga lebih murah dibandingkan teknologi *smart card* akses yang tersedia saat ini. Sebagai aplikasi tambahan, sistem ini dilengkapi dengan sistem monitoring jarak jauh sehingga tingkat keamanan ruangan dapat dikendalikan dimanapun dan kapan pun.

## Abstract

**Optimization and Implementation of Contactless Tag-Reader System for Class and Laboratory Access: Prototype Evaluation.** The existing contactless smart cards have limited coverage with low security levels. Therefore, this research perform optimization on user access further with better security assurance. This research implemented in classroom and laboratory access. Hardware that used consists of Smart cards and Raspberry Pi that serves as a server and card reader that could be interconnected with the microprocessor. On the smart card and Raspberry stored user data (registration number and name) that could access the class or laboratory. User's data on smart cards were stored on chips that used RAM (Random Access Memory). The chip was embedded in the Smart card in the same function as storage media. Raspberry that had function as server and microprocessor that provide access to registered users. This study produced classroom access system by using smart card with distance > 5cm with automatic access system for user registered on system. It was according to this research proposed about security and historical data. Historical data stored on the server (Raspberry pi) which records the time in and out, and the duration of time while in the room. Additional technology in the classroom access system is equipped with an automatic door close system for double security in the classroom. The advantages of this system was using server and microcontroller in one package so that it is cheaper than the smart card access technology available today. This sistem has new feature to long distance monitoring for controlling anywhere and everywhere.

**Kata kunci:** *Contactless, microcontroller, Raspberry Pi, Reader, Smart card*

## 1. Pendahuluan

*Smart card* merupakan kartu yang memiliki chip sebagai penyimpanan data yang dapat digunakan untuk sistem akses jaringan, menyimpan nilai dan data lainnya [1]. Teknologi *smart card* didukung oleh kemajuan teknologi komunikasi nirkabel

sehingga *smart card* dapat dibuat menjadi *contactless* untuk memudahkan user dalam akses atau pengontrolan. Transmisi data terbuka melalui sistem nirkabel menimbulkan tantangan keamanan, yaitu otentikasi dan privasi *user* [2].

Penelitian sebelumnya tentang *contactless smart card* yang hanya berfokus pada akses file

untuk print data dan evaluasi pada tag [3, 4], yang kemudian dikembangkan akses file pada sistem penyimpanan *cloud* tetapi belum ada jaminan keamanan *user* [5, 6]. Penelitian kemudian berkembang di tahun 2016 yaitu memastikan keamanan data dengan sistem *remote* dan menggunakan ID yang dinamis (berubah-ubah) [7] dan *remote server* memverifikasi legitimasi dari pengguna melalui saluran komunikasi yang terbuka dan tidak aman [8]. Penelitian tersebut sudah terfokus pada otentikasi tetapi belum melakukan sistem akses dengan menggunakan mikrokontroler. Oleh karena itu, penulis melakukan penelitian yang diimplementasikan pada kehidupan sehari-hari dalam bidang akademis, yaitu akses kelas dan laboratorium. Sistem akses kelas dan laboratorium yang menggunakan *smart card* dengan optimasi pada jarak bertujuan untuk memudahkan *user* dalam akses serta tambahan algoritma keamanan kelas yang tinggi, yaitu pintu tertutup otomatis. Komputer *host* (dalam penelitian menggunakan Raspberry) dan *card reader* dapat saling berhubungan dengan mikroprosesor [3].

**2. Penelitian Terkait**

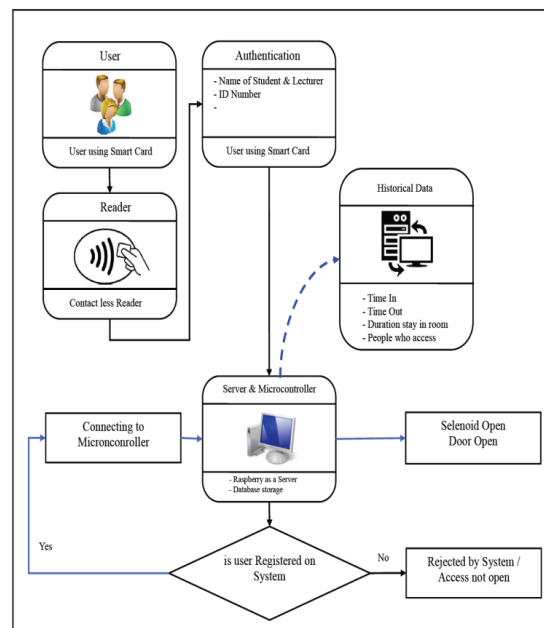
Penelitian dan implementasi *smart card* telah berkembang dari tahun ke tahun. Sebelumnya telah dilakukan penelitian yang menggunakan *contactless* dan IC *smart card* sebagai media untuk otentikasi identitas, menganalisa kondisi dan cara untuk sistem *cloud print*, dan penelitian teknologi *driver key print*, enkripsi data, otentikasi identitas ke pusat print oleh Wu Yun [4]. Penelitian lainnya adalah fokus pada *smart card* dengan *interface contactless* karena lebih sederhana. Dengan menggunakan Mifare DESFire mampu menemukan beberapa kelemahan dari *smart card* yang dapat menyebabkan kerentanan jika protokol tersebut tidak dilaksanakan dengan baik. Metode ini dapat digunakan oleh peneliti untuk mengevaluasi keamanan pelaksanaan protokol pada beberapa jenis *smart card* [5]. Sedangkan untuk metode *Unified RB-DAC* untuk akses file pada *cloud computing* menggunakan *smart card*. RBDAC ini adalah sistem dimana semua *user* dapat mengakses data yang ditentukan untuk kebutuhan tertentu, tetapi tidak bisa menentukan alokasi data

untuk setiap *user*. Dengan demikian untuk mencapai hal tersebut, ditambahkan ACL untuk semua objek (data) dan ACM untuk semua objek dalam sistem [6]. Penelitian terkait *smart card* tentang otentikasi pengguna jarak jauh dengan mekanisme dimana *server* memverifikasi legitimasi dari pengguna melalui saluran komunikasi yang terbuka dan tidak aman. Otentikasi sandi menggunakan *smart card* telah menjadi salah satu metode yang umum diadopsi untuk melindungi *password* selama proses transmisi oleh Zhengxian Gao, dkk. [7].

Berdasarkan penelitian tersebut maka, penelitian ini merupakan optimasi dari penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya telah mengalami perkembangan menggunakan *smart card* dengan *reader contactless*, namun dengan jarak yang terbatas dan keamanan yang rendah. Pengembangan yang dilakukan adalah menggunakan *server* sekaligus sebagai mikrokontrollernya. Dalam bidang akademisi, keamanan ruangan kelas atau laboratorium merupakan hal yang sangat penting, sehingga dilakukan pengembangan pada sistem dengan menambahkan aplikasi untuk *history user* yang menggunakan ruangan, jam masuk, jam keluar serta durasi *user* berada di dalam ruangan.

**3. Desain Sistem**

Algoritma yang digunakan pada sistem akses ini adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Algoritma akses kelas dan laboratorium

Gambar 1 menunjukkan Algoritma pada sistem akses ruangan kelas dan laboratorium. *User* yang telah terdaftar pada sistem dan tersimpan pada *server* mengakses dengan cara mendekatkan tag pada *reader*. Selanjutnya proses otentikasi apakah *user* tersebut bisa mengakses atau tidak. Sesuai dengan prosedur yang diprogramkan, jika *user* tidak terdaftar, maka pintu tidak akan terbuka. Sedangkan, jika *user* tersebut terdaftar, maka pintu yang menggunakan solenoid dan terhubung pada mikrokontroler akan secara otomatis terbuka.

Secara garis besar, sistem ini terdiri atas dua bagian yaitu perancangan sistem dan pengujian sistem.

### 3.1. Perancangan Sistem

Raspberry Pi adalah modul mikro komputer yang juga mempunyai input *output* digital port seperti mikrokontroler. Kelebihan Raspberry Pi dibanding mikrokontroler yang lain yaitu mempunyai Port/koneksi untuk *display* berupa TV atau Monitor PC, koneksi USB untuk Keyboard dan Mouse serta memiliki 26 pin I/O digital [8].

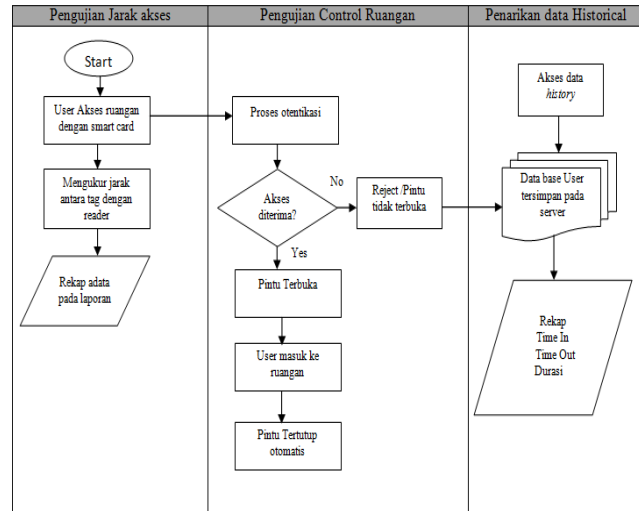
Pembuatan sistem akses ruangan memiliki beberapa tahap, yaitu:

- Memasukkan informasi pada *smart card* (nama, nomor induk mahasiswa / dosen).
- Pemasukan data base pada *server* yaitu *user* yang bisa mengakses yang terdiri atas nama dan nomor induk.
- Pemrograman sistem akses dengan detail *time in*, *time out*, *duration*. Sehingga pada saat dilakukan akses data *historical* bisa muncul pada layar.

Sebagai mikrokontroler, Raspberry dikoneksikan dengan solenoid sehingga pintu secara otomatis bisa terbuka saat proses otentikasi selesai.

Pin GPIO dapat dikonfigurasi sebagai input. Koneksi dari GPIO untuk tegangan yang lebih tinggi dari 3.3V kemungkinan akan menghancurkan blok GPIO dalam SoC [9]. Selain sebagai input output pada beberapa pin GPIO juga berfungsi sebagai komunikasi serial diantaranya I2C, SPI dan serial komunikasi UART [10].

### 3.2. Pengujian Sistem



Gambar 2. Diagram pengujian sistem

Gambar 2 menunjukkan suatu uji sistem yang terdiri dari 3 skenario pengujian yang mengukur jarak tag pada pembaca, sistem akses ruangan dimana saat setelah pengguna mengakses ruangan, pintu akan ditutup secara otomatis. Skenario terakhir adalah mengakses data historis yang tersimpan di *server*. Data berupa waktu, waktu dan durasi pengguna berada di dalam ruangan. Hal ini memungkinkan administrator atau *Person* bertugas mengawasi ruangan. Keamanan ruangan akan dipastikan dengan fitur tambahan yang otomatis menutup pintu saat pengguna memakan waktu terlalu lama untuk memasuki ruangan.

Hasil pengukuran jarak akan dibandingkan dengan perhitungan *Line Of Space* atau *Line Of Straight* (LOS). LOS merupakan garis padang lurus antara 2 titik yang tidak boleh terhalang. Kondisi ini harus dipenuhi untuk memperoleh hasil yang optimal dalam pengiriman sinyal. Pada jarak tertentu tinggi sinyal langsung yang merambat dari pemancar ke penerima dapat dihitung. Selain itu tinggi *obstacle* maksimum yang dapat menghalangi perambatan sinyal pada tempat tersebut dapat dihitung.

LOS dapat diperoleh melalui persamaan berikut :

$$X = \sqrt{h_{Tx}} + \sqrt{h_{Rx}} \tag{1}$$

Dimana

- X : Jarak LOS
- $h_{Tx}$  : Tinggi antenna pengirim
- $h_{Rx}$  : Tinggi antenna penerima

Disekitar garis lurus (LOS) antar perangkat wireless yang digunakan sebagai area media rambat frekuensi yang disebut juga dengan zona fresnel [11].

#### 4. Hasil Pengujian Prototipe

Pengujian yang dilakukan adalah pengujian jarak dan pengujian keamanan ruangan.

##### 4.1. Hasil Pengujian Jarak

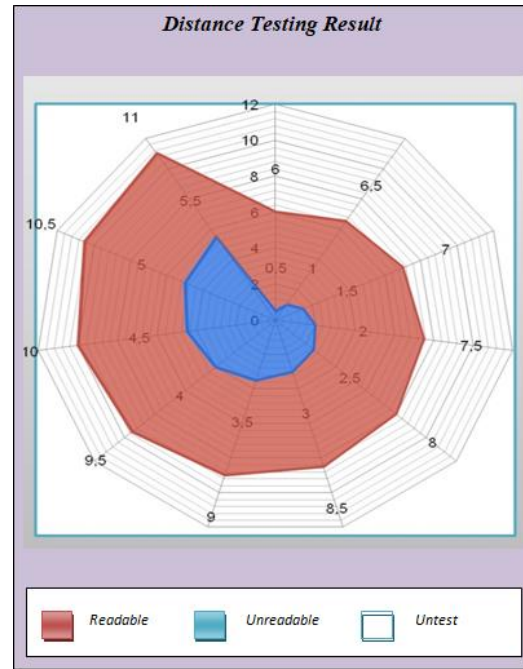
Dari hasil pengujian diperoleh jarak akses sebagai berikut :

**Tabel 1. Rincian data yang direkam oleh sistem smart classroom**

System Testing Results			
Jarak (cm)	Terbaca	Tidak Terbaca	Pintu Terbuka (Ya / Tidak)
0.5	√	-	Ya
1	√	-	Ya
1.5	√	-	Ya
2	√	-	Ya
2.5	√	-	Ya
3	√	-	Ya
3.5	√	-	Ya
4	√	-	Ya
4.5	√	-	Ya
5	√	-	Ya
5.5	√	-	Ya
6	-	√	Tidak
6.5	-	√	Tidak
7	-	√	Tidak

Pengujian jarak dilakukan dengan cara mendekatkan tag ke reader. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 1 yang menunjukkan bahwa jarak maksimum pembacaan reader adalah 5,5 cm. Hal ini menunjukkan sistem yang digunakan telah menggunakan sistem *contactless* karena tidak perlu tag ditapkan atau menempel pada reader.

Jangkauan dari tag yang diukur dari jarak deteksi dengan reader diperoleh bahwa maksimal reader dapat membaca pada jarak 5cm.



**Gambar 3. Jangkauan tag-reader**

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin jauh jarak maka kemampuan reader akan semakin berkurang. Garis berwarna biru menunjukkan paling jauh jarak jangkauan reader adalah 5cm, sedangkan garis berwarna menunjukkan reader sudah tidak membaca tag pada jarak >5,5 cm atau pada grafik area yang diberi warna merah. Pengujian dilakukan dari angka 0,5 cm sampai 7 cm dengan jarak per 0,5 cm, sedangkan pada jarak >7 cm sudah tidak dilakukan pengujian seperti yang ditunjukkan pada gambar area yang berwarna putih.

Pada pengujian smart classroom tinggi reader dipasang sesuai dengan tinggi ideal yang dapat diakses oleh orang. Sehingga, di pastikan di angka 150cm. Berdasarkan Persamaan 1 dimana X adalah LOS maka, diperoleh :

$$X = (\sqrt{h_{Tx}} + \sqrt{h_{Rx}})$$

$$X = (\sqrt{150} + \sqrt{150})$$

$$X = (12,24 + 12,24)$$

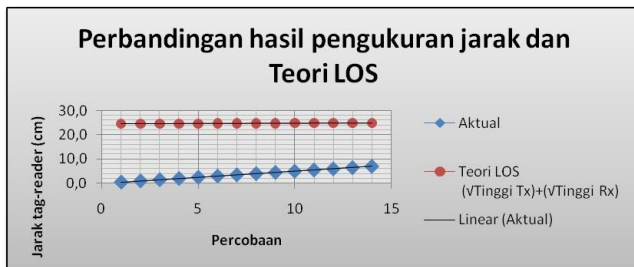
$$X = 24,48$$

Dari perhitungan LOS diperoleh 24,48 cm. Artinya, area coverage reader adalah 24,48 cm atau 12,24 cm dari arah depan dan 12,24 dari arah belakang.

**Tabel 2. Analisa jarak aktual dan berdasarkan perhitungan LOS**

Percobaan	Jarak (cm)	Teori LOS (cm)
1	0,5	24,5153
2	1,0	24,5357
3	1,5	24,5560
4	2,0	24,5763
5	2,5	24,5965
6	3,0	24,6168
7	3,5	24,6370
8	4,0	24,6571
9	4,5	24,6773
10	5,0	24,6973
11	5,5	24,7174
12	6,0	24,7374
13	6,5	24,7574
14	7,0	24,7774

Tabel 2 memperlihatkan bahwa jarak paling dekat antara tag dan reader adalah 0.5cm sedangkan jarak terjauh adalah 5.5cm. Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat perbandingan jarak aktual dan perhitungan teori LOS pada Gambar berikut :



**Gambar 4. Grafik perbandingan hasil pengukuran aktual dan secara teori LOS**

Pada Gambar 4 terlihat hasil pengukuran yang diambil sesuai dengan Tabel 3. Pengambilan data dilakukan dengan perbedaan jarak 0,5 cm. Dilakukan sebanyak 14 kali hingga tag dan reader berada pada jarak 7 cm. Berdasarkan perhitungan secara teori LOS, jarak yang bisa dicapai adalah 12,24 cm namun aktual maksimal yang bisa dideteksi reader adalah 5,5cm.

**4.2. Pengujian Solenoid**

Pengujian pada solenoid door lock dilakukan pada tag yang telah terdaftar dan belum terdaftar

pada database.

Solenoid berfungsi dengan baik dengan membuka lock solenoid saat tag yang terdaftar didedatkan pada reader baik saat check in maupun check out dari kelas. Penujian dilakukan pada tag yang tidak terdaftar dan yang terdaftar. Terbukti bahwa user yang tidak terdaftar akan tetap terekam pada sistem dengan nama “unregistered card”.

**Tabel 3. Rincian tampilan user tidak terdaftar**

Percobaan	No. Kartu	Tanggal/Waktu
1	115-12-9-1	29-07-2017/08:06:46
2	194-199-245-252	29-07-2017/08:07:25
3	34-45-15-253	29-07-2017/08:08:11

Tabel 3 memperlihatkan sistem akan menunjukkan berapa kartu yang tidak terdaftar yang mengakses ruangan dan frekuensi user mencoba mengakses ruangan.

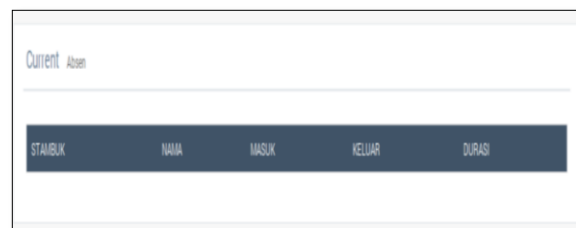
**4.3. Pengujian Durasi**

Hasil pengujian ditampilkan dalam format berupa (jam : menit : detik). Pengukuran durasi dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$\text{Durasi} = \text{Waktu keluar} - \text{Waktu masuk} \quad (2)$$

Pengujian ini dilakukan pada salah satu kartu atas nama Enal Roffca dimana pada pengujian pertama saat masuk pada pukul 06:16:34 dan keluar pada pukul 06:17:19. Berdasarkan Persamaan 2 selisih waktu pada pengujian adalah 45 detik. Hal ini menunjukkan bahwa rekaman durasi detail sampai pada detik.

Tabel waktu yang tercatat adalah tabel waktu masuk, waktu keluar, dan durasi waktu. Pada pengaturan awal, semua tabel kosong. Dan saat user melakukan scan untuk masuk maka tabel waktu masuk akan di update dengan waktu pada sistem raspberry saat user melakukan scan.



**Gambar 5. Tampilan awal absen**

Seperti pada Gambar 5, tampilan sistem masih dalam keadaan tidak ada user yang mengakses. Saat user melakukan check in, maka

akan muncul rekaman absen seperti pada Gambar 6.

STAMBUK	NAMA	MASUK	KELUAR	DURASI
P2700216001	Enal Rofica	06:16:34		0

Gambar 6. User check in

Pada Gambar 6 *user* melakukan *check in* pada pukul 06:16:34 namun belum melakukan *check out*. Artinya, selama waktu tersebut *user* masih berada di dalam ruangan. Pada tabel durasi waktu masih 0 karena waktu *check out* masih belum terekam dalam sistem. Saat melakukan *check out* sistem akan mendeteksi waktu *check out* dan secara otomatis akan muncul durasi berada di ruangan dan tabel durasi akan di *update* sesuai dengan waktu *check out*. Selisih waktu akan otomatis dihitung ketika waktu masuk dan waktu keluar terisi dan tercatat sebagai durasi.

## 5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa pembuatan prototipe dan pengujian sistem *smart classroom* maksimal jarak *tag* ke *reader* terdekat 0,5cm dan terjauh 5,5 cm. Jika dibandingkan dengan perhitungan secara teori LOS jarak terdekat 12,2 cm dan jarak terjauh adalah 12,3cm. Percobaan *prototype* dengan menggunakan solenoid menunjukkan bahwa saat *user* yang terdaftar mengakses masuk dan keluar maka solenoid secara otomatis terbuka dan tercatat pada sistem, sedangkan *user* yang tidak terdaftar pada sistem mengakses maka solenoid tidak akan terbuka dan akan tercatat pada sistem. Percobaan sistem keamanan dengan menggunakan 3 kartu yang tidak terdaftar tercatat detail waktu dan nomor kartu nomor yang mencoba mengakses ruangan, tetapi ditolak oleh sistem dan tercatat.

## Ucapan Terimakasih

Penelitian ini dibantu oleh anggota Komunitas Cyber Tech Jurusan Elektro Universitas Hasanuddin.

## Referensi

- [1] M. Wassim Raad, Tarek Sheltami, M. Sallout, "A Smart card Based Prepaid Electricity System", IEEE [Pervasive Computing and Applications, 2007. ICPCA 2007. 2nd International Conference].
- [2] Alavalapati Goutham Reddy, Eun-Jun Yoon, Ashok Kumar Das, Kee Young Yoo, "Lightweight Authentication With Keyagreement Protocol For Mobile Network Environment Using Smart Cards", IEEE [The Institution of Engineering and Technology 2016].
- [3] Agnes C. Noubissi, Julien Iguchi-Cartigny, Jean-Louis Lanet, "Hot Updates for Java Based Smart cards", IEEE, 2011 [ICDE Workshops].
- [4] Wu Yun, "Research of Cloud Print Key Technology Base on Identity ". IEEE, 2012 [Third World Congress on Software Engineering].
- [5] Matej Kacic, Petr Hanacek, Martin Henzl, Ivan Homoliak, "A concept of behavioral reputation system in wireless networks", IEEE, 2013 47th International Carnahan Conference on Security Technology (ICCST).
- [6] B. Linkesh, S.Durga, E. Chowdary, Unified RB-DAC Approach With Secure Authentication Using Smart card Architecture, IEEE [2014 3rd International Conference on Eco-friendly Computing and Communication Systems].
- [7] Shanu Gaharana, Darpan Anand, "Dynamic ID Based Remote User Authentication In Multi Server Environment Using Smart cards: A Review", IEEE, 2015, International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN).
- [8] Zhengxian Gao, Shou Hsuan Stephen Huang, Wei Ding, "Cryptanalysis of Three Dynamic ID-Based Remote User Authentication Schemes Using Smart cards", 2016, IEEE International Conference of Online Analysis and Computing Science (ICOACS).
- [9] Qihao He; Bruce Segee; Vincent Weaver, "Raspberry Pi 2 B+ GPU Power, Performance, and Energy Implications", IEEE, 2016 International Conference on Computational Science and Computational.
- [10] Vamsikrishna Patchava, Hari Babu Kandala, P Ravi Babu, "A Smart Home Automation technique with Raspberry Pi using IoT", IEEE, 2015, International Conference on Smart Sensors and Systems (IC-SSS).
- [11] Muhadir. Rancang Bangun Sistem Identifikasi Kendaraan Pada Akses Masuk Menggunakan Teknologi RFID. 2008. Depok: Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

# Penempatan *Photovoltaic* yang Optimal Menggunakan Metode *Continuation Power Flow*

Sitti Marwah Rachman<sup>1\*</sup>, Muhammad Bachtiar Nappu<sup>1,2</sup>, Ardiaty Arief<sup>1,2</sup>.

<sup>1</sup>Departemen Teknik, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Hasanuddin,

Jl. Poros Malino, Borongloe-Bontomarnnu, Gowa 92171, Sul-Sel, Indonesia

<sup>2</sup>Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M), Universitas Hasanuddin,

Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea, Makassar 90245, Sul-Sel, Indonesia

\*E-mail: marwah\_rachman@yahoo.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.10

## Abstrak

Makalah ini menyajikan sebuah metode aliran daya untuk memperkirakan lokasi penempatan pembangkit *Photovoltaic* (PV) yang optimal pada sistem distribusi. Metode ini sebagai metode untuk mengidentifikasi bus sistem yang paling sensitif. Pada Analisis dan simulasi ini dilakukan pada 44 bus, 47 line, dan 7 generator. Adapun efek penempatan PV yang tepat dengan metode *Continuation Power Flow* (CPF) adalah dapat meningkatkan profil tegangan dan dapat mengatasi ketidakstabilan tegangan, sehingga analisis dan evaluasi kestabilan tegangan dapat terlihat pada kondisi sebelum dan sesudah penambahan PV. Penelitian ini mengidentifikasi daerah-daerah yang memiliki radiasi matahari yang baik dari SOLARGIS data. Daerah yang memiliki irradiance yang baik menjadi input PV. Dari hasil analisa *power flow* menemukan daerah yang memiliki irradiance yang baik dan sensitivitas yang baik, dan bisa direkomendasikan untuk penempatan PV untuk membantu pelayanan beban yang semakin meningkat tiap tahunnya.

## Abstract

**Optimal Photovoltaic Placement using Continuation Power Flow Method.** This paper presents a method of power flow for estimating the optimal placement of Photovoltaic (PV) plants in the distribution system. This method as a method to identify the most sensitive bus system. In the analysis and simulation is done on 44 buses, 47 lines, and 7 generators. The right PV placement effect with the Continuation Power Flow (CPF) method is able to increase the voltage profile and can overcome voltage instability, so that the analysis and evaluation of voltage stability can be seen on the condition before and after the addition of PV. This study identifies areas that have good solar radiation from SOLARGIS data. The area that has a good irradiance becomes a PV input. Power flow analysis finds areas that have good irradiance and good sensitivity, and can be recommended for PV placement to help the burden service increase each years.

**Kata-kunci:** *Continuation Power Flow, Photovoltaic, Sensitivitas, Stabilitas Tegangan*

## 1. Pendahuluan

Kestabilan tegangan yang berkaitan dengan kemampuan sistem tenaga listrik untuk mempertahankan tegangan di setiap bus pada kondisi abnormal maupun karena adanya gangguan [1, 2]. Sumber energi terbarukan sebagai *alternative* untuk generator bahan bakar konvensional menjadi perhatian oleh seluruh dunia. Sistem akan memasuki keadaan ketidakstabilan tegangan ketika terjadi gangguan, peningkatan permintaan beban dan adanya perubahan kondisi sistem. Keadaan tersebut akan menyebabkan penurunan performa sistem, sehingga tegangan menjadi tidak terkendali, akibatnya profil tegangan menurun dan

kerugian daya (*Losses*) pada sistem distribusi semakin besar, akibat fatal dari kondisi tersebut adalah terjadinya pemadaman atau blackout pada daerah sekitar [3, 4].

Penempatan PV pada lokasi yang tepat dalam system transmisi akan menjaga utilitas tegangan, namun jika penempatan PV pada lokasi yang tidak tepat akan menyebabkan system stabilitas terpengaruh. Dan apabila PV terhubung pada lokasi yang strategis akan menyebabkan system lebih stabil [5].

Sejak Unit PV dapat diinstal dekat dengan pusat beban, maka dapat memperbaiki profil tegangan, meminimalkan rugi-rugi daya, dan

pencapaian penurunan gas emisi gas rumah kaca [6-9].

Karena penurunan signifikan terhadap bahan bakar fosil dan kekhawatiran terhadap dampak hijau, maka saat ini seluruh dunia beralih ke sumber energi terbarukan seperti energi matahari, angin, laut, hydro, dan panas bumi [10-12]. Diantara sumber energi terbarukan yang ada, sumber energi matahari banyak dilirik oleh para insinyur karena kinerjanya tidak mencemari lingkungan dalam menghasilkan listrik dan mampu memanen energi dari matahari, yang merupakan sumber energi bebas setelah fasilitas tersebut terpasang [13, 14]. Sejak tahun 1970an negara Indonesia telah menerapkan sistem PV sebagai sumber tenaga listrik untuk di pulau-pulau kecil, namun pada tahun 1997 sempat berhenti karena terjadi krisis keuangan saat itu [15].

Radiasi cahaya matahari yang sampai dipermukaan atmosfer bumi tidak semuanya diterima oleh permukaan bumi karena mengalami proses pengamburan oleh awan atau juga partikel-partikel lain yang ada dalam atmosfer. Untuk menstabilkan CO<sub>2</sub> di atmosfer pada pertengahan abad ini, PV digunakan untuk listrik 10 TW, hydrogen untuk transportasi 10 TW, dan bahan bakar fosil untuk perumahan dan industri 10 MW [16]. Hal demikian, PV memegang peranan sangat penting dalam memenuhi permintaan energi dunia.

Partikel CO<sub>2</sub> sifatnya selalu menghindari emisi dari teknologi PV selama beroperasi. Pada pembagian kelompok negara, CO<sub>2</sub> dalam menghindari emisi PV sekitar 35 dan 40 ton. Untuk kelompok pertama negara, yakni Turkmenistan, Irak, Eritrea, Kuwait, Arab Saudi, Oman, Afrika Selatan, Australia, Kuba, India dan Cina barat. Kelompok ini merupakan negara yang mempunyai potensi paling tinggi dalam pengurangan CO<sub>2</sub>. Sedangkan Negara Maroko, Kamboja, Israel, Indonesia, Jamaika, Yaman, Uni Emirat Arab, Amerika Serikat Barat, Cina Timur dan Republik Dominika masuk dalam kelompok kedua dalam pengurangan sebesar 25 dan 30 ton CO<sub>2</sub> per kWp selamanya. Sistem PV secara inheren dapat menghindari emisi CO<sub>2</sub> saat PV beroperasi karena dapat menggantikan bagian dari sumber fosil. Penulis L. S-Luj\_an, N. Espinosa, J. Abad, dan A. Urbina menjelaskan bahwa negara

Ethiopia, Mozambik, Zambia dan Islandia ditemukan sebagai tempat terbaik untuk pembuatan PV, sedangkan negara Botswana, Turkmenistan, Kosovo, Afrika selatan dan Australia merupakan lokasi terbaik untuk penempatan PV [17].

Pada makalah ini penulis hanya melakukan analisis tentang penempatan PV yang optimal pada daerah yang memiliki radiasi yang baik sesuai data SOLARGIS dan sensitivitas yang baik setelah dianalisis pada metode CPF. Penempatan PV pada lokasi yang tepat pada sistem transmisi sangat penting untuk menjaga stabilitas tegangan. Pada pemasangan generator PV di jaringan distribusi menunjukkan perbaikan profil tegangan dan pengurangan rugi-rugi daya. Karena daerah Sulawesi Selatan khususnya Makassar merupakan salah satu daerah yang memiliki radiasi yang baik, sehingga menjadi objek integrasi PV di Indonesia. Bus dengan radiasi dengan sensitivitas yang baik direkomendasikan untuk penempatan PV optimal.

Struktur makalah ini yaitu bagian ke 2 menjelaskan tentang teori dasar *photovoltaic*, *Irradiance*, Kestabilan tegangan. Bagian 3 metode yang digunakan. Bagian 4 hasil dan analisis yang di sajikan. Bagian 5 adalah menyimpulkan temuan utama dari hasil penelitian ini.

## 2. Teori Dasar

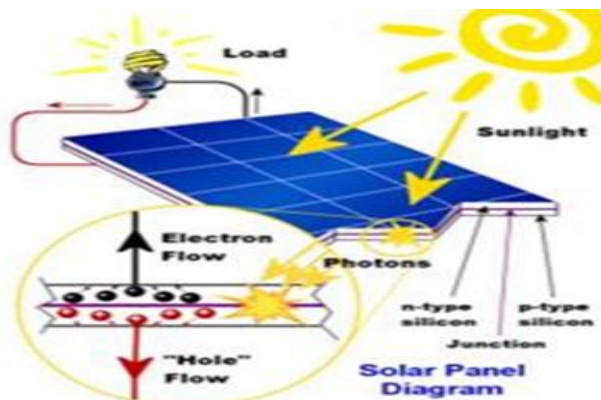
### 2.1. *Photovoltaic*

*Photovoltaic* adalah suatu alat yang dapat mengkonversi cahaya matahari menjadi listrik secara langsung. Kata *photovoltaic* biasa disingkat dengan PV. Material utama yang digunakan dalam pembuatan PV adalah silikon [18]. *Photovoltaic* dapat bekerja secara optimum dalam kondisi tertentu dan ramah terhadap lingkungan [19]. Pengoperasian maksimum sel surya sangat tergantung pada temperatur panel surya, radiasi solar, keadaan atmosfer bumi, orientasi panel surya atau array PV, serta letak panel surya (*array*) terhadap matahari (*tilt angle*).

Bahan semikonduktor seperti silikon, gallium arsenide, dan cadmium telluride atau copper indium deselenide biasanya digunakan sebagai bahan bakunya. *Solar cell crystalline* biasanya digunakan secara luas untuk pembuatan *solar cell*.



Solar cell atau panel surya adalah alat untuk mengkonversi tenaga matahari menjadi energi listrik. PV dikemas dalam sebuah unit yang disebut modul. Dalam sebuah modul surya terdiri dari banyak sel surya yang bias disusun secara seri dan parallel. Sedangkan yang dimaksud dengan surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik atas dasar efek PV. Pada Gambar 1 memperlihatkan cara kerja sistem pembangkit listrik tenaga surya, menggunakan *grid-connected* panel sel surya *photovoltaic*; modul sel surya PV mengubah energi surya menjadi arus listrik DC, arus listrik DC yang dihasilkan akan dialirkan melalui inverter (konversi daya) yang mengubahnya menjadi arus listrik AC, yang secara otomatis juga akan mengatur seluruh sistem. Listrik AC akan didistribusikan melalui panel distribusi indoor yang akan mengalirkan listrik sesuai kebutuhan alat elektronik (televisi, radio, AC, pompa air dll). Besar dan biaya konsumsi listrik yang dipakai akan diukur dalam Watt-Hour Meters.



Gambar 1. Cara kerja solar sel

### 2.2. Irradiance

Iradiasi matahari merupakan parameter yang sangat penting untuk sel PV, karena fungsinya seperti bahan bakar pembangkit listrik konvensional yang membuat sistem mampu bekerja. Nilai standar radiasi adalah  $1000 \text{ W/m}^2$ , semakin banyak iradiasi maka semakin bagus arus yang dihasilkan [20].

Iradiasi matahari yang sampai ke permukaan atmosfer bumi tidak semuanya diterima oleh permukaan bumi karena mengalami proses pengamburan oleh awan atau juga partikel-partikel lain yang ada didalam atmosfer bumi.

Indonesia merupakan Negara yang berada digaris khatulistiwa, sehingga memiliki potensi energi matahari yang cukup tinggi, karena matahari terus ada sepanjang tahun. Wilayah Indonesia bagian barat rata-rata matahari bersinar yang berpotensi menghasilkan energi yaitu 4 – 5 jam perhari. Untuk wilayah Indonesia bagian barat meliputi Aceh, Sumatra barat, Sumatra utara, Riau, Kepulauan riau, dan jambi memiliki potensi energi rata-rata  $4,5 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ , sedangkan wilayah Indonesia bagian timur meliputi seluruh papua, maluku, nusa tenggara timur, nusa tenggara barat, dan sebagian Sulawesi memiliki potensi energi rata-rata  $5,1 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ . Berdasarkan data dari Dewan Energi Nasional potensi energy matahari diindonesia mencapai rata-rata sekitar  $4,8 \text{ kWh}$  permeter persegi perhari atau setara dengan  $112.000 \text{ GWp}$  [21].

Untuk wilayah Sulawesi selatan nilai radiasi bernilai sekitar  $1607 \text{ kWh/m}^2/\text{tahun}$ . Energi matahari yang sampai ke permukaan bumi biasanya dihitung oleh iradiasi horizontal global (GHI). Untuk nilai rata-rata dalam jangka panjang dari *Photovoltaic power production potential* (PVOUT) ditentukan oleh berbagai faktor termasuk garis lintang, elevasi, bentuk lahan dan banyak variabel meteorologi lainnya [18]. Jumlah PVOUT pada tahun 2017 di indonesia ditunjukkan pada Gambar. 2 yang telah diperkirakan oleh SolarGIS [22].



Gambar 2. Long-term average of photovoltaic power production potential.

### 2.3. Kestabilan Tegangan Sistem Tenaga Listrik

Kestabilan tegangan sangat berhubungan dengan kemampuan sistem tenaga untuk tetap stabil pada semua bus, tidak hanya dibawah kondisi normal operasi, tetapi juga setelah terjadinya gangguan. Kestabilan tegangan merupakan masalah penting dalam sistem daya

modern saat ini. Kebutuhan daya yang sangat besar memungkinkan terjadinya pendekatan batas titik tegangan jatuh dalam sistem.

Dengan meningkatnya kebutuhan daya pada masyarakat, dapat memiliki efek negatif terhadap kestabilan tegangan. Jika ada sedikit kenaikan pada kebutuhan beban, maka permintaan daya reaktif akan lebih besar dari suplai, dan tegangan akan menurun. Dengan menurunnya nilai tegangan, perbedaan antara suplai daya reaktif dan permintaan menjadi meningkat, dan saat tegangan terus menurun maka akan menjadi nilai yang sangat kecil, kejadian ini biasa disebut sebagai tegangan jatuh.

Dalam sistem tenaga listrik yang baik maka harus memenuhi 3 syarat yaitu; 1. *Reliability* adalah kemampuan suatu sistem untuk menyalurkan daya atau energi secara terus menerus. 2. *Quality* adalah kemampuan sistem tenaga listrik untuk menghasilkan besaran-besaran standar yang ditetapkan untuk tegangan dan frekuensi. 3. *Stability* adalah kemampuan dari sistem untuk kembali bekerja secara normal setelah mengalami suatu gangguan. Jika semua terpenuhi maka sistem mampu memberi pasokan listrik secara terus menerus dengan standar besaran untuk tegangan dan frekuensi sesuai dengan aturan yang berlaku dan harus segera kembali normal bila sistem terkena gangguan [23].

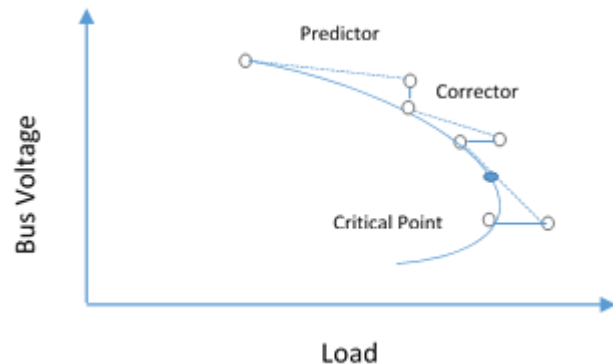
### 3. Metode Penelitian

#### 3.1. Continuation Power Flow

Pada umumnya *Continuation Power Flow* menggunakan metode newton raphson untuk menghitung aliran daya dari sebuah sistem tenaga yang digunakan sebagai data awal yang selanjutnya akan diolah untuk membentuk kurva P-V dengan adanya penambahan beban secara terus menerus, namun dalam kondisi penggunaan metode newton raphson pada sistem tertentu matriks Jacobian yang dihasilkan menjadi singular.

Metode CPF adalah salah satu metode untuk menganalisis stabilitas voltase quasi-statis. Tujuan metode CPF adalah untuk mendapatkan solusi aliran daya terhadap beban yang diberikan. Metode CPF yang dijelaskan dalam makalah ini

merupakan hasil kajian oleh Ajarapu dan Christy. Seperti pada Gambar 3 memperlihatkan prosedur analisis dimulai dari hasil yang telah diketahui kemudian dilanjutkan nilai parameter beban yang berbeda[24].



Gambar 3. Skema Predictor-corrector pada CPF

Hal pertama yang dilakukan adalah, dimisalkan  $\phi$  sebagai parameter beban, maka  $\delta$  didefinisikan sebagai :

$$0 \leq \phi \leq \phi_{critical} \tag{1}$$

Dimana  $\phi = 0$  memiliki hubungan dengan beban dasar dan  $\phi = \phi_{critical}$  dan berhubungan dengan beban kritis. Parameter beban ini kemudian dimasukkan kedalam persamaan daya aktif dan reaktif, sehingga:

$$0 = P_{GiO} (1 + \lambda_{kGi}) - P_{LiO} - \phi (k_{Li} S_{\Delta base}) \cos \theta_i - P_{Ti} \tag{2}$$

$$0 = Q_{GiO} - Q_{LiO} - \phi (k_{Li} S_{\Delta base} \sin \theta_i) - Q_{Ti} \tag{3}$$

Dimana:

$P_{LiO}, P_{GiO}$  merupakan beban pasti pada bus  $i$ , *active* dan *reactive load*.

$k_{Li}$  merupakan indicator yang menunjukkan tingkat perubahan beban pada bus  $i$  terhadap perubahan  $\phi$

$\theta_i$  merupakan sudut daya dari perubahan beban terhadap bus  $i$

$S_{\Delta base}$  merupakan kualitas dari daya semu yang dipilih untuk menginjeksikan skala yang tepat dari  $\phi$

$P_{GiO}$  merupakan daya aktif pada generator terhadap bus  $i$  sebagai studi kasus

$k_{Gi}$  merupakan nilai konstan pada generator untuk menentukan tingkat perubahan yang bervariasi pada generator terhadap  $\phi$

$P_{Ti}, Q_{Ti}$  merupakan parameter daya aktif dan reaktif yang di berikan pada sistem.

Setelah langkah pertama dilakukan maka dilanjutkan dengan komputasi pada algoritma menggunakan persamaan aliran daya sebagai berikut:

$$F(\delta, V, \phi) = 0 \tag{4}$$

dimana adalah  $\delta$  vektor sudut generator,  $V$  adalah vektor magnitude tegangan bus dan  $\phi$  adalah parameter pembebanan.

Metode CPF menjabarkan sebuah skema langkah korektor prediktor untuk mencari solusi persamaan aliran daya yang direformulasi. Di prediksi pada tangen vektor dihitung dengan menurunkan kedua sisi persamaan aliran daya, sehingga:

$$\begin{bmatrix} F_\delta & F_V & F_\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\delta \\ dV \\ d\phi \end{bmatrix} = 0 \tag{5}$$

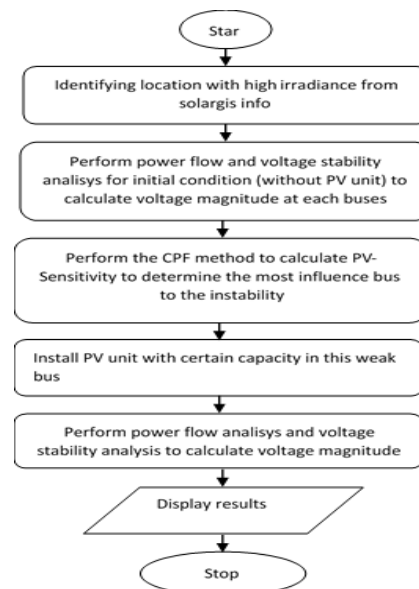
Selanjutnya,

Dari persamaan lima di lakukan koreksi dengan memperluas parameterisasi yang telah di indentifikasi dari setiap solusi yang telah didapatkan setelah dilakukan proses komputasi. Hasil yang di peroleh akan menunjukkan setiap bus terlemah pada system. Bus yang paling sensitife memiliki rasio besaran perubahan diferensial tegangan terhadap perubahan diferensial perubahan beban. Oleh Karena itu, dalam penelitian ini kami memformasikan PV-Sensitivity untuk menentukan lokasi PV sebagai berikut :

$$PV \text{ Sensitivity } j = \left| \frac{dV_j}{dP_{total}} \right| = \left| \frac{dV_j}{Cd_\phi} \right| = \max \left\| \left| \frac{dV_1}{Cd_\phi} \right|, \left| \frac{dV_2}{Cd_\phi} \right|, \dots, \left| \frac{dV_n}{Cd_\phi} \right| \right\| \tag{6}$$

### 3.2. Flowchart of the proposed method

Gambar 4 memperlihatkan sebuah diagram alir dari PV yang coba diusulkan dengan menggunakan metode CPF dan info iradiance. Setelah dilakukan studi aliran daya dan analisis stabilitas tegangan langkah selanjutnya adalah menjalankan CPF dan menghitung PV - Sensitivitas dalam menentukan ketidakstabilan pada sistem. Hasil yang menunjukkan nilai tegangan yang terlemah kemudian dijadikan prioritas penempatan PV kemudian dilakukan proses komputasi untuk melihat nilai perubahan tegangan yang ada. Jika kendala terpenuhi maka, akan didapatkan lokasi yang optimal dalam pemasangan PV.



Gambar 4. Flowchart penempatan PV dengan metode CPF [25].

## 4. Hasil dan Analisis

Berdasarkan data solarGis, daerah Sulawesi Selatan khususnya kota makassar yang memiliki *irradiance* yang baik dan menjadi input pada sistem jaringan yaitu Tallo Lama, Panakukang, dan Daya.

Metode yang diusulkan dilakukan pada sistem interkoneksi sistem tenaga di Sulawesi Selatan terdiri dari 44 Bus, 47 line dan 7 Generator yang dimodelkan untuk dilakukan riset penempatan PV guna mencari titik optimal dari setiap PV berdasarkan data SolarGis. Daya pembangkitan setiap PV yang disimulasikan sebesar 20 MW yang akan di uji pada sistem. Pada Tabel 1 memperlihatkan nama – nama Bus yang memiliki

*irradiance* yang tinggi berdasarkan data solarGis. Berdasarkan data solarGis, kota makassar merupakan salah satu daerah yang memiliki *irradiance* yang baik. Di Makassar sendiri terdapat beberapa gardu induk. Mengingat Makassar merupakan ibukota propinsi dan sangat padat, maka untuk penelitian ini, perhitungan sensitivitas di makassar diwakili oleh 3 substansions : yaitu; Tallo Lama, Panakukang, dan Daya.

Diperoleh data bahwa penempatan PV yang memiliki *irradiance* yang baik dan sensitivitas yang paling baik adalah terdapat pada Tallo Lama, disusul panakukang, dan selanjutnya adalah daya. Dan pada Tabel 2 memperlihatkan nilai sensitivitas di setiap substation yang memiliki *irradiance* yang baik setelah dilakukan simulasi pemasangan PV pada sistem.

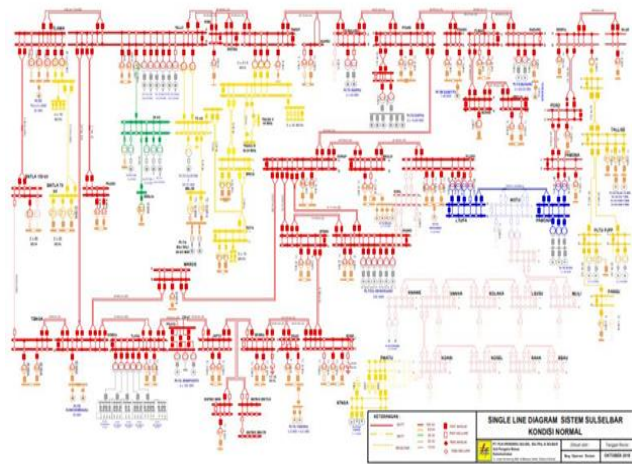
Tabel 1. Bus yang memiliki *irradiance* tinggi

Buses/Substations
Tallo Lama
Panakukang
Daya

Tabel 2. Nilai Sensitivitas PV

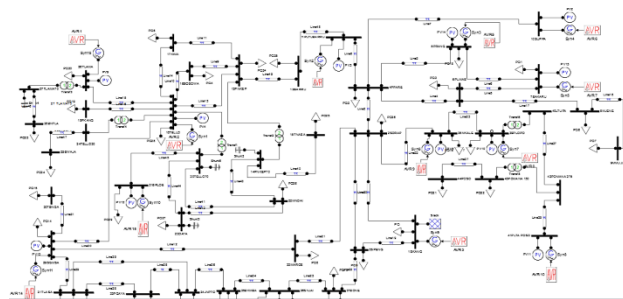
Unit	PV-Sensitivity
Tallo Lama	0.94158
Panakukang	0.79649
Daya	0.12497

Dari data didapatkan Tallo Lama memiliki sensitivitas yang paling tinggi yaitu sebesar 0.94158, disusul Panakukang sebesar 0,79649.. Sementara unit yang memiliki sensitivitas rendah terdapat pada Daya 0,12497. Pada gambar 5 memperlihatkan Gambar *schema single line* subbagsel oktober 2016 dari PLN.



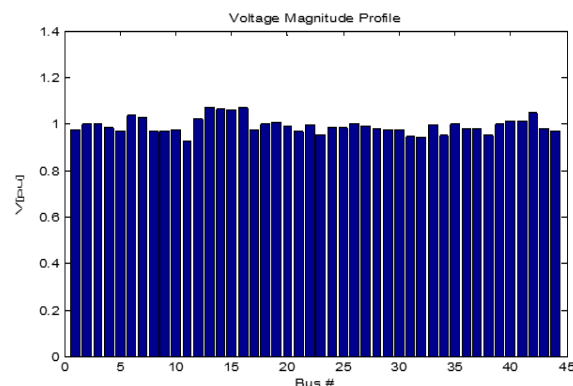
Gambar 5. Single line subbagsel

Sebelum dilakukan simulasi penempatan PV, maka terlebih dahulu menjalankan *power flow* dalam keadaan normal. Gambar 6 memperlihatkan skema aliran daya dalam keadaan normal (tanpa PV).

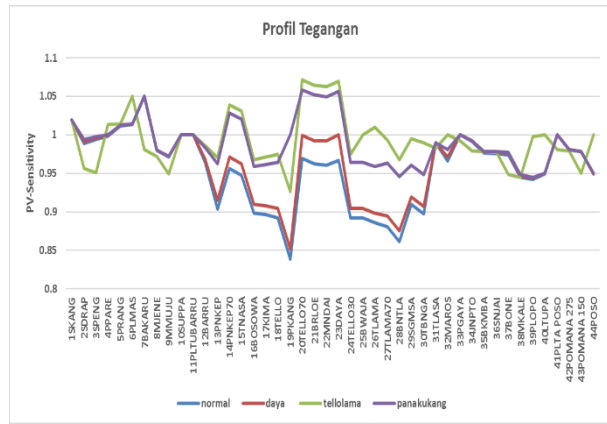


Gambar 6. Skema aliran daya kondisi normal

Saat dilakukan simulasi pemasangan PV dari beberapa *buses/substations* sesuai data solarGis yang memiliki *irradiance* baik, maka terlihat hasil pada Gambar 7 voltage magnitude profil Tallo Lama yang memiliki sensitivitas yang baik.

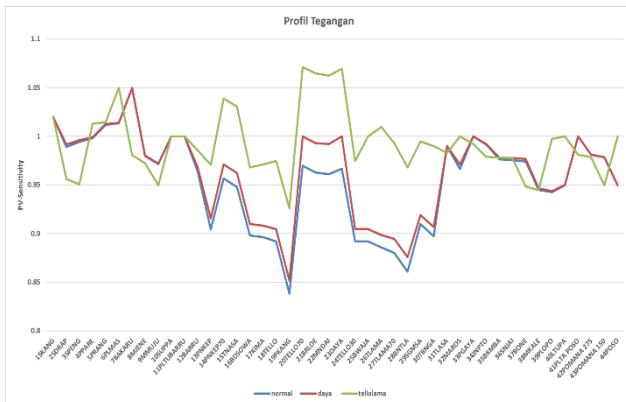


Gambar 7. Grafik magnitude tegangan bus Tallo Lama



Gambar 8. Profil Tegangan untuk semua skenario

Gambar 8 memperlihatkan profil tegangan untuk semua skenario pemasangan PV. Secara umum, terlihat sistem tegangan untuk simulasi pemasangan PV 20 MW di bus paling baik yang ditunjukkan oleh grafik dengan warna hijau. Untuk lebih jelasnya, Gambar 9 memperlihatkan grafik tegangan untuk kondisi awal dan tegangan pada scenario dengan sensitivitas tertinggi (Tallo Lama) dan sensitivitas rendah (Doso). Dan pada gambar ini terlihat sangat jelas perbandingan substation yang memiliki sensitivitas tinggi dan rendah.



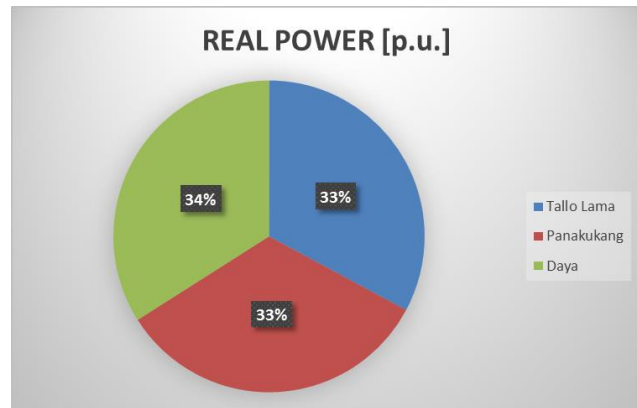
Gambar 9. Profil Tegangan dengan sensitivitas tinggi dan rendah

Setelah dilakukan pemasangan PV pada sistem berdasarkan data SolarGis, didapatkan pula nilai losses jaringan disetiap substations yang dijadikan untuk penempatan PV pada sistem Sulbagsel. Tabel 3 dan Gambar 9a dan 9b menunjukkan total losses tertinggi berada pada substation Daya, dimana untuk rugi daya aktif yaitu sebesar 0,44882 p.u dan rugi daya reaktif sebesar 2.20639 p.u. Sementara Tallo Lama dengan PV-Sensitivitas tertinggi memiliki losses

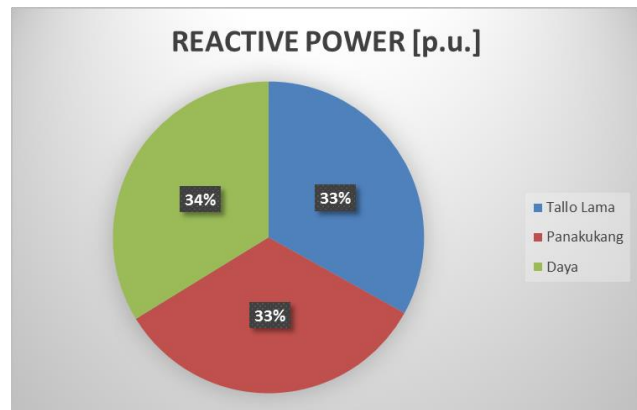
terkecil dibanding skenario lainnya, yakni 0.43348 p.u untuk rugi daya aktif dan 2.16255 p.u untuk rugi daya reaktif.

Tabel 3. Rugi-rugi daya setiap scenario

PV Location	REAL POWER [p.u.]	REACTIVE POWER [p.u.]
Tallo Lama	0.43348	2.16255
Panakukang	0.43774	2.16786
Daya	0.44882	2.20639



Gambar 9a. Losses Real power



Gambar 9b. Losses Reactive power

Tabel 4 memperlihatkan rugi-rugi daya dari setiap skenario yang di compare dengan daya losses saat normal. Hasil menunjukkan penurunan rugi-rugi daya pada setiap skenario setelah pemasangan PV. Tallo Lama menghasilkan nilai rugi yang terkecil dibanding unit lainnya, yakni - 0,07727 p.u untuk daya aktif dan -0,40726 untuk daya reaktif. Sementara Panakukang menyumbang nilai rugi-rugi daya sebesar yakni - 0.07301 p.u untuk daya aktif dan -0,40196 untuk daya reaktif, sedangkan Daya memiliki rugi-rugi daya terbesar diantara yang lainnya yakni sebesar

-0,06193 p.u untuk daya aktif dan -0,36342 p.u daya reaktif.

**Tabel 4. Rugi-rugi daya setelah dibandingkan sebelum pemasangan PV**

PV Location	REAL POWER [p.u.]	REACTIVE POWER [p.u.]
Tallo Lama	-0.07727	-0.40726
Panakukang	-0.07301	-0.40196
Daya	-0.06193	-0.36342

## 5. Kesimpulan

Penempatan PV yang tepat pada sistem interkoneksi di Sulbagsel dapat mengurangi rugi-rugi daya yang terjadi dan meningkatkan kestabilan sistem. Makalah ini mengusulkan sebuah algoritma baru untuk penempatan PV dengan menggunakan data solarGis. Dari solarGis, diperoleh daerah makassar memiliki irradiance bagus, dimana makassar di wakili 3 substansions.

Hasil penelitian ini memperlihatkan substansions yang berada dikota Makassar (Tallo Lama, Panakukang, dan Daya) memiliki irradiance dan PV sensitivitas yang tinggi, dan berdasarkan hasil ini menjadi tempat yang direkomendasikan untuk penempatan PV karena dapat meningkatkan profil tegangan dan mengurangi rugi-rugi secara signifikan.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Ibu Ardiaty Arief, dan Bapak Muhammad Bachtiar Nappu, selaku pembimbing. Terimakasih juga yang sebesar-besarnya kepada Bapak dan Ibu Dosen yang telah memberikan banyak masukan dan bimbingannya, dan terimakasih juga kepada suami atas doa dan dukungannya, dan juga terimakasih buat semua teman-teman yang selalu membantu selama penulis melakukan penelitian.

## Referensi

- [1] A. Arief, Z. Dong, M. B. Nappu, and M. Gallagher, "Under voltage load shedding in power systems with wind turbine-driven doubly fed induction generators," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 96, pp. 91–100, 2013.
- [2] S. Microgrid, "Analisis dan Evaluasi Kestabilan Tegangan dengan Metode Continuation Power Flow," 2016, vol. 5, no. 2, pp. 528–533.
- [3] U. Sultana, A. B. Khairuddin, M. M. Aman, A. S.

- Mokhtar, and N. Zareen, "A review of optimum DG placement based on minimization of power losses and voltage stability enhancement of distribution system," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 63, no. September, pp. 363–378, 2016.
- [4] M. Bachtiar and A. Arief, "Network Losses-Based Economic Redispatch for Optimal Energy Pricing in a Congested Power System," *Energy Procedia*, vol. 100, no. September, pp. 311–314, 2016.
- [5] A. W. H. Sie, I. Z. Abidin, and H. Hashim, "A methodology to determine suitable placement of solar photovoltaic sources in the transmission system taking into account Voltage Stability Index (VSI)," in *Conference Proceeding - 2014 IEEE International Conference on Power and Energy, PECon 2014*, 2014, pp. 226–230.
- [6] S. Kabir, O. Krause, and A. Haider, "Design of an optimal placement algorithm for large scale photovoltaic in sub-transmission networks," *3rd Int. Conf. Dev. Renew. Energy Technol.*, pp. 1–6, 2014.
- [7] G. Guerra and J. A. Martinez, "A Monte Carlo method for optimum placement of photovoltaic generation using a multicore computing environment," *IEEE Power Energy Soc. Gen. Meet.*, vol. 2014–October, no. October, pp. 1–5, 2014.
- [8] S. Essallah, A. Bouallegue, and A. Khedher, "Optimal placement of PV-distributed generation units in radial distribution system based on sensitivity approaches," *2015 16th Int. Conf. Sci. Tech. Autom. Control Comput. Eng.*, pp. 513–520, 2015.
- [9] P. Dinakara Prasad Reddy, V. C. Veera Reddy, and T. Gowri Manohar, "Optimal renewable resources placement in distribution networks by combined power loss index and whale optimization algorithms," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, pp. 1–17, 2017.
- [10] A. Arief and M. B. Nappu, "DG placement and size with continuation power flow method," in *Proceedings - 5th International Conference on Electrical Engineering and Informatics: Bridging the Knowledge between Academic, Industry, and Community, ICEEI 2015*, 2015, pp. 579–584.
- [11] I. Ben Hamida, "Optimal Integration of Solar Distributed Generations in Distribution Network Using SPEA2," pp. 368–373, 2016.
- [12] Suresh Kumar Sudabattula, "ScienceDirect Optimal allocation of solar based distributed generators in distribution system using Bat algorithm," *Perspect. Sci.*, vol. 8, pp. 270–272, 2016.
- [13] S. Liu, F. Liu, T. Ding, and Z. Bie, "Optimal Allocation of Reactive Power Compensators and Energy Storages in Microgrids Considering Uncertainty of Photovoltaics," *Energy Procedia*, vol. 103, no. April, pp. 165–170, 2016.
- [14] S. A. S. Mustafa, I. Musirin, M. M. Othman, and N. H. Rosli, "Multi DGPV installation in transmission system for loss minimization," *2017 4th Int. Conf. Ind. Eng. Appl. ICIEA 2017*, pp. 350–354, 2017.
- [15] H. Outhred and M. Retnanestri, "Insights from the Experience with Solar Photovoltaic Systems in

- Australia and Indonesia,” in *Energy Procedia*, 2015, vol. 65, pp. 121–130.
- [16] T. M. Razykov, C. S. Ferekides, D. Morel, E. Stefanakos, H. S. Ullal, and H. M. Upadhyaya, “Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 8, pp. 1580–1608, 2011.
- [17] L. Serrano-Luján, N. Espinosa, J. Abad, and A. Urbina, “The greenest decision on photovoltaic system allocation,” *Renew. Energy*, vol. 101, pp. 1348–1356, 2017.
- [18] M. R. Rashel, A. Albino, T. Goncalves, and M. Tlemcani, “Sensitivity analysis of parameters of a photovoltaic cell under different conditions,” *Ski. 2016 - 2016 10th Int. Conf. Software, Knowledge, Inf. Manag. Appl.*, 2017.
- [19] S. Daud, A. Fazliana, A. Kadir, C. K. Gan, and A. R. Abdullah, “Optimal allocation and sizing of Photovoltaic-based distributed generation for voltage dip improvement,” pp. 89–94, 2016.
- [20] Mochammad and Y. Elfita, “Pengaruh Suhu Permukaan Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor dengan Variasi Sudut 0, 50, 60, 70, 80,” *Rotasi*, vol. 12, no. 4, pp. 14–18, 2010.
- [21] S. D. E. Nasional, *Issn 2527-3000 issn 2527-3000*. 2016.
- [22] Solargis, “Global Horizontal Irradiation,” *accessed*, 2017.
- [23] L. Hakim, E. Komalasari, and H. Gusmedi, “Studi kemampuan pembebanan maksimum sistem interkoneksi sumbagsel.”
- [24] V. Ajjarapu and C. Christy, “The continuation power flow: A tool for steady state voltage stability analysis,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 416–423, 1992.
- [25] H. Hedayati, S. A. Nabaviniaki, and A. Akbarimajd, “A new method for placement of DG units in distribution networks,” *2006 IEEE PES Power Syst. Conf. Expo. PSCE 2006 - Proc.*, vol. 23, no. 3, pp. 1904–1909, 2006.

# Analisa Tahanan Pembumian Peralatan Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan Yang Menggunakan Elektrode Pasak Tunggal Panjang 2 Meter

Achmad Budiman\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Borneo Tarakan

Jalan Amal Lama No.1 Tarakan

\*Email : achmad1177@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.11

## Abstrak

Sistem pembumian yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan listrik. Resiko yang ditimbulkan adalah arus lebih tidak dapat disalurkan secara maksimal kembali ke bumi. Semakin kecil nilai tahanan pembumian maka semakin baik sistem pembumiannya. Pada kondisi tanah tertentu, nilai tahanan pembumian juga dipengaruhi oleh kedalaman penanaman elektroda. Hasil pengukuran nilai tahanan pembumian elektroda pasak tunggal dengan panjang 2 m, diameter 0,045 m, kedalaman 3,25 m pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan diperoleh nilai  $R_{(pembumian)} = 12 \Omega$  sedangkan hasil perhitungan diperoleh nilai  $R_{(pembumian)} = 12,10 \Omega$  dengan nilai rata-rata tahanan jenis tanah liat berlumpur ( $\rho$ ) = 38,84  $\Omega$ -m. Untuk pencapaian nilai tahanan pembumian  $\leq 5 \Omega$  seperti yang dipersyaratkan dalam Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL 2000) maka diperlukan minimal 3 buah elektrode pasak.

## Abstract

**Earthing Resistance Analysis of Engineering Laboratory Building Equipment of Borneo University which Uses 2 Meter Single Rod Electrode.** Earthing systems are less well able to cause damage to electrical equipment. The risks are more current can not be optimally channeled back to earth. The smaller the resistance value, The better the earthing system. In certain soil conditions, grounding resistance value is also influenced by the depth of planting electrodes. The measurement results one ground rod resistance value with a length of 2 m, a diameter of 0.045 m, a depth of 3,25 m in Building Engineering Laboratory of the Borneo Tarakan University obtained value  $R_{(earth)} = 12 \Omega$ , while the calculation of  $R_{(earth)} = 12,10 \Omega$  with the average value of muddy clay resistivity ( $\rho$ ) = 38,84  $\Omega$ -m. For the attainment of the grounding resistance value  $\leq 5 \Omega$  as required in the General Terms Electrical Installation (PUIL 2000) will require a minimum of three ground rod.

**Kata-kunci :** elektroda pasak tunggal, tahanan jenis, tahanan pembumian.

## 1. Pendahuluan

Sistem pembumian yang kurang baik dapat mengakibatkan arus bocor tidak dapat disalurkan secara maksimal kembali ke bumi sehingga menimbulkan resiko keamanan dalam hal penggunaan peralatan listrik sehingga sistem pembumian yang baik sangatlah penting.

Pembumian menurut Persyaratan Umum Instalasi Listrik adalah penghubungan suatu titik sirkuit listrik atau suatu penghantar yang bukan bagian dari sirkuit listrik, dengan bumi menurut cara tertentu dan Nilai tahanan pembumian yang dipersyaratkan adalah  $\leq 5 \Omega$  [1].

Elektroda pembumian adalah penghantar yang ditanam dalam tanah dan membuat kontak

langsung dengan tanah. Penghantar pembumian yang tidak berisolasi ditanam dalam tanah dianggap sebagai elektroda pembumian. Ukuran minimum elektroda pembumian dapat dilihat pada Tabel 1 [1].

**Tabel 1. Ukuran minimum elektroda pentanahan**

Bahan jenis elektrode	Baja digalvanisasi dengan proses pemanasan	Baja berlapis tembaga	Tem-baga
Elektrode batang	Pipa baja 25 mm Baja profil (mm) L 65 x 65 x 7 U 6,5 T 6 x 50 x 3	Baja berdiameter 15 mm dilapisi tembaga	



Batang profil lain yang setaraf	setebal 250 $\mu\text{m}$
------------------------------------	------------------------------

Elektroda batang terbuat dari batang logam bulat atau baja profil yang dipancang/ditancapkan kedalam tanah dan salah satunya lancip dengan kelancipan  $(45 \pm 5)^\circ$  [2].

Pencapaian dalam penelitian ini adalah mengetahui kedalaman optimal elektroda pasak tunggal Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan dengan nilai tahanan pembumian  $\leq 5 \Omega$  dan selisih antara pengukuran dan perhitungan tidak lebih dari 1%.

Tingkat kehandalan sebuah *grounding* ada dinilai konduktivitas logam terhadap tanah yang ditancapinya. Semakin konduktif tanah terhadap benda logam maka semakin baik. Kelayakan *grounding* harus bisa mendapatkan nilai tahanan sebaran maksimal 5 ohm dengan menggunakan *earth grunding tester*.

Untuk mengetahui nilai-nilai tahanan jenis tanah yang akurat harus dilakukan pengukuran secara langsung pada lokasi yang digunakan untuk sistem pembumian karena struktur tanah yang sesungguhnya tidak sederhana yang diperkirakan, untuk setiap lokasi berbeda mempunyai tahanan jenis yang berbeda [3]. Semakin kecil nilai tahanan pembumian maka semakin baik sistem pembumiannya. Pada kondisi tanah tertentu, nilai tahanan pembumian juga dipengaruhi oleh kedalaman penanaman elektroda [4].

Tujuan utama pembumian adalah menciptakan jalur yang *low impedance* (tahanan rendah) terhadap permukaan bumi untuk gelombang listrik dan *transient voltage*. Penerangan, arus listrik, *circuit switching* dan *electrostatic discharge* adalah penyebab umum dari adanya sentakan listrik atau *transient voltage* [5].

Untuk melakukan perhitungan tahanan pentanahan elektroda pasak tunggal menggunakan persamaan dalam IEEE Std 142-2007 yang dikembangkan oleh Profesor H. B. Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts [6]:

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left( \text{Ln} \left[ \frac{4L}{a} \right] - 1 \right)$$

Dengan,

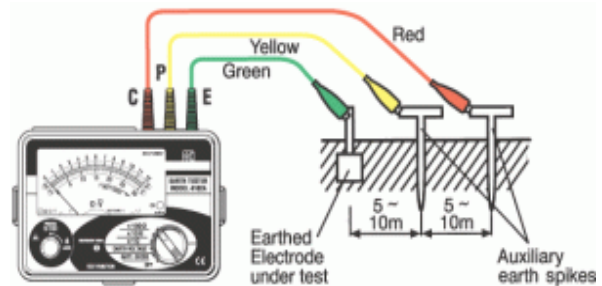
$\rho$  = Tahanan jenis tanah (ohm-cm)

$L$  = Panjang elektroda pasak (cm)

$a$  = Jari-jari elektroda pasak (cm)

$R$  = Tahanan pentanahan untuk elektroda pasak (ohm)

Cara menggunakan alat ukur tahanan pembumian dengan *Earth Tester*:



Gambar 1. Alat ukur *grounding earth tester*

1. Periksa kondisi kabel *grounding* BC yang akan diukur. Bila kotor bersihkan dahulu permukaan kabel tersebut dengan lap bersih/kertas amplas, agar jepitan kabel probe dapat menyentuh langsung bagian permukaan tembaga yang sudah bersih dan untuk mencegah terjadinya kesalahan pembacaan pada alat ukur.
2. Periksa kondisi dan perlengkapan penunjang alat ukur digital earth resistance digital.
3. *Earth Tester* mempunyai tiga kabel diantaranya adalah kebel merah, kuning dan hijau.
4. Silahkan hubungkan kabel ke *Earth Tester* dengan warna yang sudah di tentukan pada alat ukur.
5. Hubungkan kabel merah serta kuning ke tanah dengan masing-masing jarak kurang lebih 5-10 meter dari pentanahan atau *grounding*.
6. Hubungkan juga kabel hijau ke *grounding* yang sudah terpasang.
7. Lakukan pengukuran *grounding* (tahanan pentanahan) dengan memutar knob alat ukur pada posisi 200 ohm atau 2000 ohm tergantung dari kondisi tanah pada area setempat yang akan diukur.
8. Kemudian tekan tombol *Tester* untuk mengetahui resistansi *grounding* biasanya

berwarna kuning/ merah dan pada displai alat ukur akan muncul nilai tahanan pentanahan.

9. Selesai, nilai resistansi *grounding* sudah diketahui.

## 2. Metodologi Penelitian

Obyek penelitian ini adalah Tanah di Halaman Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan Propinsi Kalimantan Utara dengan fokus pada Sistem Pembumian Elektroda Pasak Tunggal. Alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan pengukuran pada obyek penelitian adalah:

- 1) Digital *Earth Tester* model 4105A;
- 2) Satu buah Pasak Elektroda dengan panjang 2 m berdiameter 0,045 m;
- 3) Palu / Martil, Tang Jepit, Meteran, Bor Tangan (*Hand Boring*);
- 4) Satu set pengujian kadar air (*w*);
- 5) Satu unit komputer.

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut :

- 1) Studi pustaka dengan mengadakan studi literatur baik dari buku-buku maupun penelitian sebelumnya.
- 2) Observasi keadaan di lapangan untuk koleksi data.
- 3) Melakukan pengujian kadar air dari sampel tanah di laboratorium.
- 4) Melakukan pengukuran tahanan pembumian di lapangan.
- 5) Analisa data dan melakukan perbandingan hasil antara pengukuran data perhitungan.
- 6) Kesimpulan dan Saran.

## 3. Hasil Dan Pembahasan

Hasil pengujian kadar air (*w*) yang dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan adalah 274,18% pada Tabel 2 dan Tabel 3 memiliki hasil 300,84%, sedangkan pada Tabel 4 memiliki hasil 350,22%, menunjukkan bahwa kadar air (*w*) semakin tinggi pada kedalaman tanah tertentu.

Berikut ini tabel hasil uji kadar air tanah liat berlumpur di lokasi penelitian.

**Tabel 2. Hasil uji kadar air (*w*) tanah liat berlumpur untuk kedalaman 1 m.**

Nomor Sampel	I	II	III
Berat Cawan + Tanah Basah (W1) gram	154,5	156,3	153,7
Berat Cawan + Tanah Kering (W2) gram	118,5	118,7	110,5
Berat Air (W1 – W2) gram	36	37,6	43,2
Berat Cawan (W3) gram	10,1	10,2	9,9
Berat Tanah Kering (W2 – W3) gram	108,4	108,5	100,6
Kadar Air (W) = (W1 – W2) / (W2 – W3) x 100%	301,11%	288,56%	232,87%
Rata-rata		274,18%	

Sumber : Laboratorium Teknik FT-UBT

**Tabel 3. Hasil uji kadar air (*w*) tanah liat berlumpur untuk kedalaman 2 m.**

Nomor Sampel	I	II	III
Berat Cawan + Tanah Basah (W1) gram	175,8	157,2	146,9
Berat Cawan + Tanah Kering (W2) gram	131,5	125,8	109,9
Berat Air (W1 – W2) gram	44,3	31,4	37

Nomor Sampel	I	II	III
Berat Cawan (W <sub>3</sub> ) gram	10,9	11,3	11,7
Berat Tanah Kering (W <sub>2</sub> – W <sub>3</sub> ) gram	120,6	114,5	98,2
Kadar Air (W) = (W <sub>1</sub> – W <sub>2</sub> ) / (W <sub>2</sub> – W <sub>3</sub> ) x 100%	272,23%	364,65%	265,65%
Rata-rata	300,84%		

Sumber : Laboratorium Teknik FT-UBT

**Tabel 4. Hasil uji kadar air (w) tanah liat berlumpur untuk kedalaman 3 m.**

Nomor Sampel	I	II	III
Berat Cawan + Tanah Basah (W <sub>1</sub> ) gram	153,3	156,2	138,7
Berat Cawan + Tanah Kering (W <sub>2</sub> ) gram	118,1	119,2	115,8
Berat Air (W <sub>1</sub> – W <sub>2</sub> ) gram	35,2	37	22,9
Berat Cawan (W <sub>3</sub> ) gram	11,4	10,8	11,7
Berat Tanah Kering (W <sub>2</sub> – W <sub>3</sub> ) gram	106,7	108,4	104,1
Kadar Air (W) = (W <sub>1</sub> – W <sub>2</sub> ) / (W <sub>2</sub> – W <sub>3</sub> ) x 100%	303,12%	292,97%	454,58%
Rata-rata	350,22%		

Sumber : Laboratorium Teknik FT-UBT

Kadar air pada tanah dapat mempengaruhi nilai R<sub>(pembumian)</sub>, menunjukkan bahwa penempatan elektroda pembumian pada kedalaman tanah yang memiliki kadar air (w) tinggi maka memperkecil

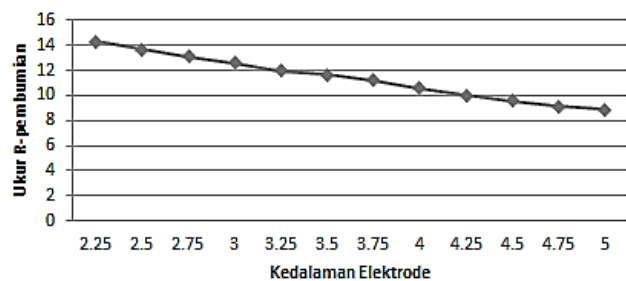
nilai tahanan pembumian dan air merupakan konduktor yang baik dalam mengalirkan arus listrik.

Pengukuran tahanan tanah liat berlumpur pada lokasi Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan dilakukan dengan cara membenamkan elektroda pasak yang memiliki panjang elektroda pasak 2 m berdiameter 0,045 m dalam beberapa variasi kedalaman dan membaca hasil pengukuran tersebut pada alat ukur Digital Earth Tester model 4105A seperti yang disajikan dalam Tabel berikut ini :

**Tabel 5. Hasil pengukuran R<sub>(pembumian)</sub> untuk elektroda pasak tunggal 2 m.**

Kedalaman Elektroda (m)	Nilai Pengukuran R <sub>(pembumian)</sub> (Ω)			
	I	II	III	Rata-rata
2,25	14,6	14,1	14,3	14,33
2,5	13,5	13,7	13,8	13,66
2,75	13	13,1	13,3	13,13
3	12,4	12,6	12,9	12,63
3,25	11,9	12	12,2	12
3,5	11,5	11,7	11,8	11,66
3,75	11	11,2	11,4	11,2
4	10,3	10,8	10,7	10,6
4,25	9,9	10,2	10	10
4,5	9,5	9,7	9,5	9,56
4,75	9	9,4	9,1	9,16
5	8,7	9,1	8,8	8,86

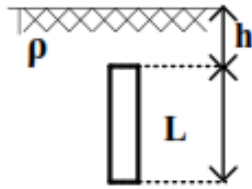
**Nilai Ukur R-pembumian vs Kedalaman Elektrode**



**Gambar 2. Grafik nilai ukur tahanan pembumian**

Data hasil pengukuran diuji dengan melakukan perhitungan menggunakan persamaan tahanan pentanahan elektroda pasak tunggal yang dikembangkan oleh Profesor H. B. Dwight dari Institut Teknologi Massachusetts :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \cdot \left( \ln \left[ \frac{4L}{a} \right] - 1 \right)$$



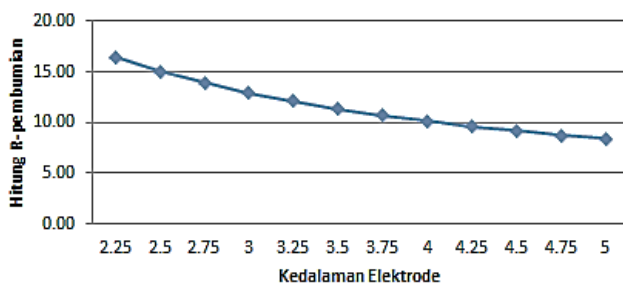
Gambar 3. Desain pemasangan elektroda pasak

Hasil perhitungan nilai rata-rata tahanan jenis tanah liat berlumpur ( $\rho$ ) dengan variasi kedalaman di lokasi Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan diperoleh sebesar 38,84  $\Omega$ -m dan hasil perhitungan Nilai  $R_{(pembumian)}$  disajikan dalam bentuk berikut :

Tabel 6. Hasil nilai perhitungan  $R_{(pembumian)}$  untuk elektroda pasak tunggal 2 m.

Kedalaman Elektroda (m)	Hasil Nilai Perhitungan $R_{(pembumian)}$ ( $\Omega$ )
2,25	16,46
2,5	15,08
2,75	13,92
3	12,94
3,25	12,10
3,5	11,37
3,75	10,72
4	10,15
4,25	9,64
4,5	9,19
4,75	8,77
5	8,40

Nilai Hitung R-pembumian vs Kedalaman Elektrode



Gambar 4. Grafik nilai hitung tahanan pembumian

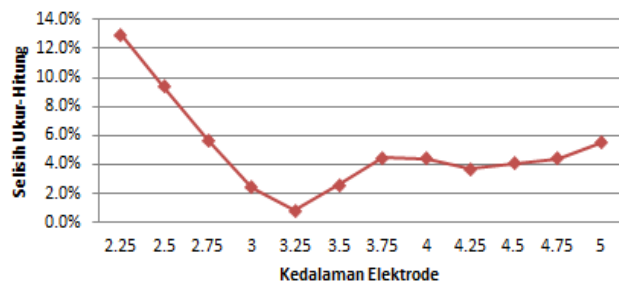
Untuk perbandingan nilai ukur dan hasil perhitungan  $R_{(pembumian)}$  untuk elektroda pasak 2 m dapat dilihat pada Tabel berikut ini :

Tabel 7. Hasil perbandingan  $R_{(pembumian)}$  untuk elektroda pasak tunggal 2 m.

Kedalaman Elektroda (m)	Hasil Nilai Ukur $R_{(pembumian)}$ ( $\Omega$ )	Hasil Nilai Hitung $R_{(pembumian)}$ ( $\Omega$ )	Selisih (%)
2,25	14,33	16,46	13,0%
2,5	13,66	15,08	9,4%
2,75	13,13	13,92	5,7%
3	12,63	12,94	2,4%
3,25	12	12,10	0,8%
3,5	11,66	11,37	2,6%
3,75	11,2	10,72	4,5%
4	10,6	10,15	4,4%
4,25	10	9,64	3,7%
4,5	9,56	9,19	4,1%
4,75	9,16	8,77	4,4%
5	8,86	8,40	5,5%

Dari Tabel perbandingan, diketahui selisih terkecil antara pengukuran dan perhitungan  $R_{(pembumian)}$  elektroda pasak 2 m adalah 0,8 % pada kedalaman 3,25 m.

Selisih Ukur-Hitung vs Kedalaman Elektrode



Gambar 5. Grafik prosentase selisih nilai ukur dan hitung tahanan pembumian

Untuk mencapai  $R_{(pembumian)} \leq 5 \Omega$  yang sesuai dengan Persyaratan Umum Instalasi Listrik [1] maka dipasang minimal 3 buah elektrode pasak 2 m yang jarak minimumnya sebesar dua kali panjang elektrode.

#### 4. Kesimpulan

- 1) Kadar air tinggi pada tanah dapat memperkecil nilai tahanan pembumian dan air merupakan konduktor yang baik dalam mengalirkan arus listrik.

- 2) Hasil pengukuran nilai tahanan pembumian elektroda pasak tunggal dengan panjang 2 m, diameter 0,045 m, kedalaman 3 m pada Gedung Laboratorium Teknik Universitas Borneo Tarakan diperoleh nilai  $R_{(\text{pembumian})} = 12 \Omega$  sedangkan hasil perhitungan diperoleh nilai  $R_{(\text{pembumian})} = 12,10 \Omega$  dengan nilai rata-rata tahanan jenis tanah liat berlumpur ( $\rho$ ) = 38,84  $\Omega$ -m.
- 3) Untuk pencapaian nilai tahanan pembumian  $\leq 5 \Omega$  maka diperlukan minimal 3 buah elektrode pasak tunggal.
- [1] Badan Standarisasi Nasional (BSN). 2000. *Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2000 (PUIL 2000)*. Jakarta: Yayasan PUIL.
- [2] Managam Rajagukguk, (2012), *Studi Pengaruh Jenis Tanah dan Kedalaman Pembumian Driven Rod terhadap Resistansi Jenis Tanah*, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- [3] Hutauruk, T.S. (1991). *Pengetanahan Netral Sistem Tenaga dan Pengetanahan Peralatan*. Erlangga, Jakarta.
- [4] Muhammad Taqiyyuddin Alawiy. (2013). *Pengaruh Kedalaman Penanaman dan Jarak Elektrode Tambahan Terhadap Nilai Tahanan Pembumian*, Universitas Islam, Malang.
- [5] Linda Pasaribu. (2011). *Studi Analisis Pengaruh Jenis Tanah, Kelembaban, Temperatur dan Kadar Garam Terhadap Tahanan Pentanahan Tanah (Tesis)*. Universitas Indonesia, Jakarta.
- [6] IEEE Std 142-2007. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems.

### Daftar Pustaka

# Tarif Pelayanan Pandu Pada PT. Pelindo IV (Persero) Cabang Parepare

Rahmawati Djunuda\*<sup>1</sup>, Syamsul Asri<sup>1</sup>, Andi Sitti Chairunnisa Mappangara<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan

\*E-mail: rahma\_limola@yahoo.co.id

DOI: 10.25042/jpe.052017.12

## Abstrak

Jasa pemanduan diberikan sewaktu kapal memasuki alur pelayaran menuju dermaga untuk menjaga keselamatan kapal dan muatannya ketika memasuki alur pelabuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan tarif pelayanan pandu di pelabuhan Parepare jika ditinjau dari sisi operator. Data dianalisis dengan metode RFR (*Required Freight Rate*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tarif variabel pelayanan pandu yang berlaku sekarang sudah layak. Dari hasil perhitungan didapatkan tarif minimal yaitu Rp. 8,38 per GT/gerakan lebih kecil dari tarif yang berlaku sekarang yaitu Rp. 76,78 per GT/gerakan. Ini berarti bahwa tarif yang berlaku sekarang sudah mampu menutupi biaya operasional. Sedangkan tarif tetap pelayanan pandu yang berlaku dianggap belum layak. Karena dari hasil perhitungan diperoleh tarif minimal Rp. 251.797 per gerakan lebih besar dari tarif yang berlaku sekarang yaitu Rp. 175.175 per gerakan, yang berarti bahwa tarif tetap yang berlaku sekarang belum mampu menutupi biaya operasional. Tarif ini bisa dinaikkan oleh pihak operator dengan lebih meningkatkan pelayanan kepada pengguna jasa.

## Abstract

**Scout Service Tariff of PT. Pelindo IV (Persero) Parepare Branch.** The scout the service is given when a ship enters the cruise line to a pier to maintain the ship safety and its cargo when it enters the port line. The research aimed at investigating the feasibility of the scout service tariff in Parepare port a viewed from the operator side. Data were analysed using the RFR (Required Freight Rate) method. The research result indicates that the tariff variable of the scout service that is valid now has been feasible. The calculation result is obtained the minimal tariff of Rp 8,38 GT/movement, smaller than the tariff that is valid at the moment namely Rp 76,78 GT/movement. This means that the tariff being valid now has been able to cover the operational expenditure. Whereas the valid permanent tariff of the scout service is assumed not to be feasible because the calculation result obtained the minimal tariff of Rp 251.797 /movement, bigger than the tariff that is valid now namely Rp 175.175 /movement, which means that the permanent tariff being valid at the moment has not been able to cover the operational expenditure. The tariff can be increased by the operator side by increasing the service quality to the service users.

**Kata-kunci:** Frekuensi, GT, RFR, tarif

## 1. Pendahuluan

Pelabuhan mempunyai peran penting dan strategis untuk pertumbuhan industri dan perdagangan serta dapat memberikan kontribusi bagi pembangunan nasional. Hal ini membawa konsekuensi terhadap pengelolaan segmen usaha pelabuhan agar pengoperasiannya dapat dilakukan secara efektif, efisien dan profesional sehingga pelayanan pelabuhan menjadi lancar, aman, dan cepat dengan biaya yang terjangkau [1].

Pelabuhan Parepare sebagai pelabuhan pengumpul sangat mendukung pusat kegiatan regional dan daerah yang berpotensi untuk

berkembang dengan cepat [2]. Adapun fasilitas pokok pelabuhan terdiri dari alur pelayaran, kolam pelabuhan, serta dermaga. Sedangkan fasilitas penunjang diantaranya lapangan penumpukan untuk petikemas, terminal dan jalan untuk memperlancar perpindahan kendaraan di pelabuhan.

Pelayanan jasa pelabuhan Parepare antara lain pelayanan jasa kapal, barang, dan penumpang. Untuk pelayan jasa kapal terdiri atas jasa pandu, jasa tunda, jasa tambat dan jasa air. Jasa kepelabuhanan memiliki peranan masing-masing dan memiliki keterkaitan satu dengan lainnya demi menunjang kelancaran aktifitas

kapal dalam kegiatannya mendistribusikan barang [3].

Menurut PM 57 tahun 2015 pasal 28 tentang Pemanduan dan Penundaan Kapal bahwa pada perairan yang ditetapkan sebagai perairan wajib pandu, kapal berukuran tonase kotor paling rendah GT 500 atau lebih wajib menggunakan pelayanan jasa pemanduan kapal. Dan kapal yang berukuran tonase kurang dari GT 500 pelayanan pemanduan diberikan pada kapal atas permintaan Nakhoda atau atas perintah pengawas pemanduan setempat.

Jasa pemanduan diberikan sewaktu kapal memasuki alur pelayaran menuju dermaga untuk menjaga keselamatan kapal dan muatannya ketika memasuki alur pelabuhan. Pemanduan memberikan bantuan kepada Nakhoda kapal agar navigasi saat melewati alur atau daerah wajib pandu dapat dilaksanakan dengan selamat, tertib dan lancar [4].

Tarif pelayanan pandu merupakan harga jasa dari pelayanan yang diberikan terhadap kapal pada saat akan masuk dan keluar pelabuhan. Tarif pelayanan harus ada keseimbangan antara besaran tarif dengan tingkat pelayanan yang diterima oleh pengguna jasa, meliputi keselamatan, keamanan, kelancaran dan kenyamanan.

Untuk menghitung tarif terlebih dahulu ditentukan berapa besar biaya operasional kapal sebagai dasar dalam menentukan tarif. Komponen biaya operasional kapal berasal dari biaya langsung dan biaya tidak langsung [5].

Penentuan tarif yang terlalu kecil dapat mengakibatkan kerugian bagi perusahaan karena biaya operasional tidak tertutupi, namun tarif yang terlalu tinggi dapat merugikan pengguna jasa [6]. Oleh karena itu dalam menentukan tarif, perusahaan mengambil keputusan berdasarkan biaya yang dikeluarkan. Kesesuaian penentuan tarif dianggap penting demi keseimbangan antara pengguna jasa dan penyedia jasa, sehingga tidak ada pihak yang merasa dirugikan [7]. Jika tarif yang diberlakukan tidak mampu menutupi biaya operasional berarti pihak operator mengalami kerugian. Untuk mengurangi kerugian dapat direspon dengan cara menaikkan tarif jasa pelayanan, namun proses pengajuan usulan tarif ke pemerintah memerlukan pertimbangan yang matang, karena pengguna jasa akan merasa

keberatan dengan adanya kenaikan tarif [8]. Formula tarif berdasarkan variable biaya operasional akan sangat memudahkan penetapan tarif, baik statis maupun dinamis [5].

Menurut pengguna jasa bahwa beberapa tahun terakhir mereka tidak mendapatkan pelayanan yang maksimal sesuai dengan tarif yang dibayarkan, seperti keterlambatan penjemputan pandu dan tunda di pintu masuk pelabuhan dan pas pelabuhan yang dianggap terlalu mahal. Sedang di awal tahun 2017 pihak pelabuhan Parepare telah menaikkan tarif jasa pelabuhanan. Pelabuhan Parepare bertekad dan komitmen mengutamakan pelayanan jasa kepelabuhanan dan memberikan kepuasan terhadap pengguna jasa serta berjanji akan segera membenahi masalah-masalah yang terjadi dalam lingkungan pelabuhan. Peningkatan kualitas layanan yang diharapkan juga akan bermanfaat bagi mentalitas penduduk setempat dan dapat membantu mereka dalam kemajuan lainnya [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan tarif pelayanan pandu yang berlaku sekarang jika ditinjau dari sisi operator.

## 2. Metode *Required Freight Rate* (RFR)

RFR adalah penghasilan dari muatan perunit yang harus dikumpulkan pemilik kapal untuk mendapatkan pengembalian yang ekuivalen terhadap pembayaran kembali investasinya pada suku bunga yang rendah [2]. Nilai RFR banyak ditentukan oleh produksi jasa transportasi. Kriteria RFR dapat digunakan untuk menilai kelayakan tarif yang berlaku atau sebagai dasar penentuan tarif yang akan ditawarkan kepada pihak pengguna jasa angkutan.

Adapun bentuk umum persamaan RFR adalah sebagai berikut:

$$RFR = \frac{AAC + (CRF \times I)}{C} \quad (1)$$

Dimana :

AAC	= Biaya rata-rata kapal pertahun
CRF	= <i>Capital Recovery Factor</i>
I	= Investasi kapal
C	= Kapasitas

## 3. Hasil dan Pembahasan

Frekuensi pelayanan pandu diperoleh dengan membagi antara waktu yang tersedia dalam

setahun dengan pelayanan kapal, dan hasilnya selanjutnya dikali dengan jumlah kapal yang bisa bertambat di pelabuhan. Rata-rata waktu pelayanan pandu pergerakan yaitu 1 jam sedang waktu kapal bertambat yaitu 41 jam. Tonase kapal (GT) diperoleh dari frekuensi pelayanan kapal dikalikan dengan tonase dasar. Tonase dasar merupakan rata-rata total tonase kapal yang masuk ke pelabuhan Parepare.

Hasil perhitungan frekuensi pelayanan pandu dan tonase kapal dari berbagai variasi frekuensi

pelayanan (60% sampai 100%) dapat dilihat pada Tabel 1. Untuk pelayanan pandu pada frekuensi pelayanan 60% yaitu sebanyak 122 gerakan/bulan dengan 724.608 GT/bulan atau 1.469 gerakan/tahun dengan 8.695.296 GT/tahun. Sedangkan pada frekuensi pelayanan 100% yaitu sebanyak 204 gerakan/bulan dengan 1.207.680 GT/bulan atau 2448 gerakan/tahun dengan 14.492.160 GT/tahun.

**Tabel 1. Frekuensi pelayanan pandu dan tonase kapal (Hasil analisis data, 2017)**

No	Pelayanan (%)	Pelayanan Kapal (Gerakan)		GT Kapal	
		(Gerakan/Bulan)	(Gerakan/Tahun)	(GT/bulan)	(GT/Tahun)
1	60	122	1.469	724.608	8.695.296
2	65	133	1.591	784.992	9.419.904
3	70	143	1.714	845.376	10.144.512
4	75	153	1.836	905.760	10.869.120
5	80	163	1.958	966.144	11.593.728
6	85	173	2.081	1.026.528	12.318.336
7	90	184	2.203	1.086.912	13.042.944
8	95	194	2.326	1.147.296	13.767.552
9	100	204	2.448	1.207.680	14.492.160

Sebelum menghitung tarif, terlebih dahulu ditentukan berapa besar biaya operasional kapal sebagai dasar dalam menentukan tarif. Unsur-unsur biaya terdiri atas biaya tetap dan biaya variable serta biaya langsung dan tidak langsung. Biaya tetap (*Fixed Cost*) merupakan biaya yang tidak berubah ketika ada perubahan jasa yang dihasilkan. Biaya tidak tetap (*variabel cost*) merupakan biaya yang berubah secara proporsional dengan kuantitas volume produksi.

Tabel 2 menunjukkan biaya operasional pelayanan pandu yang terdiri dari biaya tetap sebesar Rp. 574.817.371 dan biaya variabel sebesar Rp. 79.868.104. Jumlah biaya operasional untuk pelayanan pandu dalam setahun yaitu sebesar Rp. 656.685.475.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan No PM 6 Tahun 2013 bahwa tarif pelayanan pandu diperoleh dari hasil kali antara jumlah biaya operasional pelayanan pandu dalam setahun

dengan tingkat keuntungan kemudian dibagi dengan jumlah tonase kapal yang dilayani pandu dalam setahun. Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak operator bahwa rata-rata tingkat keuntungan perusahaan yaitu sebesar 3%. Hasil analisis tarif pelayanan pandu dari berbagai variasi dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa pada frekuensi pelayanan 60% tarif variabel pelayanan pandu sebesar Rp. 9,46 per GT/gerakan sedangkan tarif tetap sebesar Rp. 403.092 per gerakan. Pada frekuensi pelayanan 100% tarif variabel sebesar Rp. 5,68 per GT/gerakan sedangkan tarif tetap sebesar Rp. 241.855 per gerakan.

Gambar 1 dan 2 menunjukkan grafik tarif pelayanan pandu. Semakin rendah frekuensi pelayanan maka semakin tinggi tarif dan sebaliknya semakin tinggi frekuensi maka semakin rendah tarif yang harus dibayarkan.

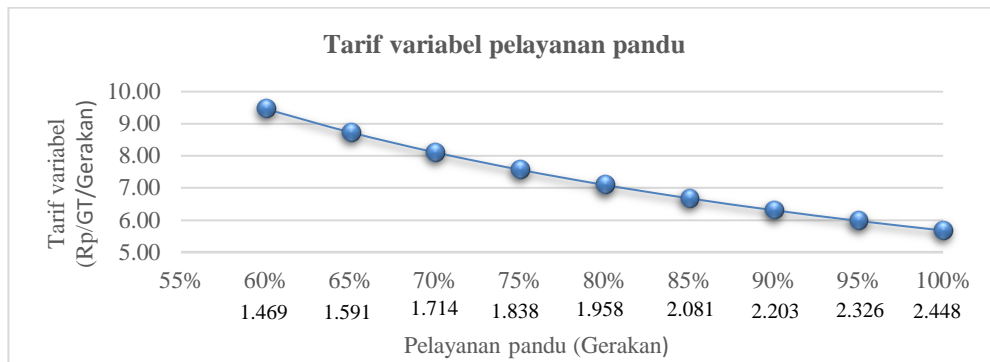


**Tabel 2. Biaya operasional pelayanan pandu (Hasil Olahan Data, 2017)**

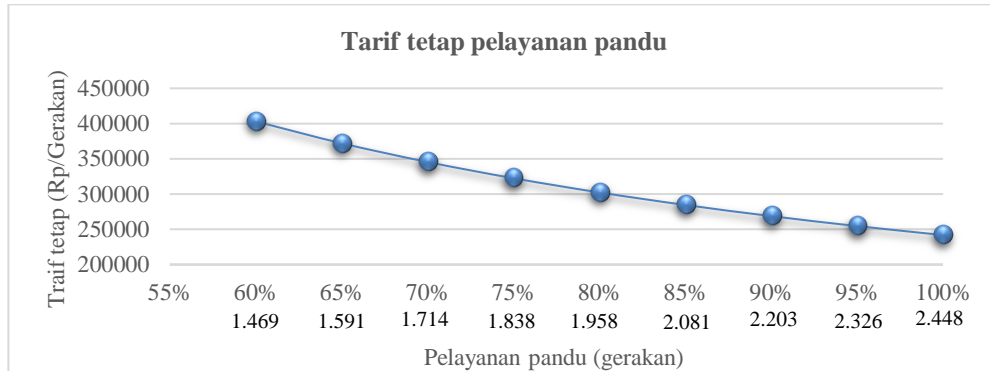
No	Jenis Biaya	Biaya Tetap (Rp)	Biaya Variabel (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Biaya Operasional Langsung			
	Gaji Pegawai	85.644.000	-	
	Tunjangan	167.020.800	-	
	Insentif Operasional	-	43.200.000	
	Bahan Makanan	9.120.000		
	Bahan Bakar	-	33.596.104	
	Bahan Pelumas	-	3.072.000	
	Biaya Perlengkapan	7.504.000	-	
	Penyusutan kapal pandu	27.427.355	-	
	Asuransi kapal pandu	2.020.963	-	
	Asuransi Kecelakaan kerja	1.455.948	-	
	Pakaian Dinas dan Kerja	1.000.000	-	
	Biaya Kesehatan Pegawai Aktif	14.229.135	-	
	Total	315.422.201	79.868.104	395.290.305
2	Biaya Operasional Tidak Langsung			
	Gaji pegawai	167.291.496	-	
	Pemeliharaan peralatan	658.000	-	
	pemeliharaan Kapal Pandu	845.000	-	
	Pemeliharaan Kantor Pandu	2.850.000	-	
	Biaya Perjalanan Dinas	34.000.000	-	
	Biaya Pendidikan & Latihan	12.600.000	-	
	penyusutan jalan & bangunan	4.999.352	-	
	Pemeliharaan jalan & bangunan	2.6642.500	-	
	Total	249.886.348	-	249.886.348
3	Biaya Penunjang Operasi			
	Sumbangan dana pensiun	9.508.822	-	9.508.822
4	Biaya Pengelolaan Kantor	2.000.000	-	2.000.000
	Total keseluruhan	574.817.371	79.868.104	656.685.475

**Tabel 3. Tarif pelayanan pandu (Hasil olahan data, 2017)**

No	Frekuensi (%)	Pelayanan Pandu (Gerakan)	Tarif Variabel (Rp/GT/Gerakan)	Tarif Tetap (Rp/Gerakan)
1	60	1.469	9,46	403.092
2	65	1.591	8,73	372.085
3	70	1.714	8,11	345.508
4	75	1.836	7,57	322.474
5	80	1.958	7,10	302.319
6	85	2.081	6,68	284.536
7	90	2.203	6,31	268.728
8	95	2.326	5,98	254.585
9	100	2.448	5,68	241.855



Gambar 1. Grafik tarif variabel pelayanan pandu



Gambar 2. Grafik tarif tetap pelayanan pandu

RFR digunakan untuk menilai kelayakan tarif yang berlaku atau sebagai dasar penentuan tarif yang akan ditawarkan kepada pihak pengguna jasa. RFR merupakan hasil bagi antara biaya rata-rata kapal pertahun dengan kapasitas kapal. Biaya rata-rata pertahun merupakan jumlah dari biaya operasional pelayanan pandu dalam setahun dengan hasil kali antara tingkat suku bunga

dengan biaya investasi kapal pandu. Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode RFR diperoleh tarif variabel yang berlaku sekarang lebih besar dibanding hasil perhitungan, sedang tarif tetap yang berlaku sekarang lebih kecil dari hasil perhitungan. Selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Tarif minimal pelayanan pandu (Hasil olahan data, 2017)

Tarif Minimal Pelayanan Pandu	
Biaya variabel pelayanan pandu pertahun	Rp 79.868.104
Biaya tetap pelayanan pandu pertahun	Rp 574.817.371
Capital recorvery factor	0,144027293
Investasi kapal Pandu	Rp 288.709.000
Tonase Kapal (GT kapal pelayanan 100%)	14.492.160
Frekuensi per tahun	2448
RFR Tarif Variabel	Rp 8,38
RFR Tarif Tetap	Rp 251.797

Tabel 4 di atas memperlihatkan tarif minimal pelayanan pandu. Dengan tonase kapal (GT) 100% diperoleh tarif variabel minimal sebesar Rp. 8,38 per GT/gerakan dan tarif tetap sebesar Rp. 251.797 per gerakan. Sedangkan tarif variabel

yang berlaku sekarang di pelabuhan Parepare adalah Rp. 76,87 per GT/gerakan dan tarif tetap sebesar Rp. 175.175 per gerakan.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan metode RFR diperoleh tarif variabel yang berlaku

sekarang lebih besar dibanding hasil perhitungan, sedang tarif tetap yang berlaku sekarang lebih kecil dari hasil perhitungan.

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa tarif variabel pelayanan pandu yang berlaku sekarang sudah layak jika ditinjau dari sisi operator. Dengan metode RFR didapatkan tarif minimal yaitu Rp. 8,38 per GT/gerakan lebih kecil dari tarif yang berlaku sekarang yaitu Rp.76,78 per GT/gerakan. Ini berarti bahwa tarif yang berlaku sekarang sudah mampu menutupi biaya operasional. Sedangkan tarif tetap pelayanan pandu yang berlaku sekarang jika ditinjau dari sisi operator dianggap belum layak. Karena dari hasil perhitungan diperoleh tarif minimal Rp. 251.797 per gerakan lebih besar dari tarif yang berlaku sekarang yaitu Rp. 175.175 per gerakan. Ini berarti bahwa tarif tetap yang berlaku sekarang belum mampu menutupi biaya operasional. Tarif ini bisa dinaikkan oleh pihak operator dengan lebih meningkatkan pelayanan kepada pengguna jasa.

#### Referensi

- [1] Simarmata F. A. (2015). *Studi kelayakan investasi pengadaan peralatan PT Pelabuhan Indonesia IV*

- (Persero) di Makassar (Tesis). Universitas Udayana. Denpasar
- [2] Idrus M., Sitepu G., Asri S., Chairunnisa S. A., & Djalante H. (2015). Identification of role of feeder, collecting and local ports in Sulawesi corridor in supporting the national connectivity. *International Journal of Engineering and Science Applications*, 2406-9833.
- [3] Saleh F. E. (2011). *Analisis pengaruh kualitas layanan terhadap kepuasan pelanggan (studi di PT Pelindo III cab. Tg. Emas Semarang)*. (Skripsi). Semarang. Universitas Diponegoro.
- [4] Kusuma D. G., Pitana T., & Gurning S. O. R. (2013). Aplikasi data Automatic Identification System (AIS) dan shipping database untuk memonitor pelayanan kapal di pelabuhan berbasis internet secara real time. Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Sitepu G., Muhammad. H., & Muslihati. (2011). Formulasi tarif angkutan penyeberangan perintis. Makassar. Teknik Perkapalan. Universitas Hasanuddin
- [6] Djalante H. A., Farianto., Wijaya H. (2011). Analisa kelayakan tarif kapal ferry Ro-Ro KMP. AwuAwu lintasan Barru-Batulicin, Prosiding, Makassar.
- [7] Afriyanah R. S. (2014). Perhitungan biaya angkutan penyeberangan lintas Tarakan-Toli Toli. *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, 16 : 2.
- [8] Karles H., Santoso D. (2013). Analisis komponen biaya dan tarif angkutan penyeberangan dengan simulasi model dinamis pada angkutan lintasan Sibolga –Teluk Dalam PT ASDP Indonesia Ferry (persero). *Jurnal MIX*, 2: 160-174.
- [9] Zlatoudis E. A. (2016). Urbans sea transportation in grece, the case of skiathos. *Transportation Research Procedia*, 24:418–424

# Parameterisasi Kendali PID pada Konverter DC/DC Penurun Tegangan dengan Kriteria Domain Waktu dan Efisiensi Daya

Andy Lukman Affandy\*<sup>1</sup>, Faizal Arya Samman<sup>1</sup>, Rhiza S. Sadjad<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar  
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Tamalanrea Indah, Makassar

\*Email: luckyxco@gmail.com

DOI: 10.25042/jpe.052017.13

## Abstrak

Paper ini menampilkan pemodelan, rancangan dan hasil simulasi rangkaian konverter DC/DC tipe penurun tegangan, dengan percobaan kendali menggunakan kontroler P, PI, dan PD terkompensasi. Sistem dirancang untuk tujuan penyediaan saluran DC di rumah-rumah modern masa depan yang dilengkapi dengan saluran DC selain saluran AC. Hasil rancangan menunjukkan kendali P, PI, dan PD yang digunakan untuk mempertahankan tegangan luaran DC dari converter telah memberikan kinerja yang cukup baik. Walaupun antara menggunakan kendali P, PI, dan PD tidak memiliki perbedaan yang sangat signifikan terhadap pengendalian pada beban RL dan RC. Penggunaan penggabungan kendali PI dan PD terlihat mampu meningkatkan nilai Efisiensi Daya yang disalurkan dari pada hanya menggunakan kendali P saja. Nilai Efisiensi yang didapatkan PI yaitu 84.72 dan PD yaitu 84.616. Sedangkan dengan hanya menggunakan kendali P nilai efisiensi terbaik yang didapatkan yaitu 84.283. Nilai-nilai parameter pengendali yang diperoleh antara lain  $K_P = 8191$ ,  $K_I = 63$ , dan  $K_D = 7 \times 10^{-6}$ . Secara umum perubahan parameter  $K_P$  dan  $K_I$  tidak begitu memberikan perubahan kinerja yang signifikan. Sedangkan nilai  $K_D$  mesti ditentukan secara hati-hati agar dapat memberikan kinerja yang lebih baik. Kontroler PID juga secara umum masih mampu mengendalikan level tegangan DC pada batas yang dapat diterima pada pengujian dengan berbagai nilai beban resistive.

## Abstract

**PID Control Parameterisation on Voltage Regulator DC/DC Converter with Time Domain and Power Efficiency Criteria.** This paper presents modeling, concepts and simulation DC/DC buck converter, using P, PI, and PD compensated controllers. Operating system for the purpose of providing DC in future modern homes equipped with DC channels other than AC channels. The result of P, PI, and PD control commands used to maintain the DC output of the converter has performed well. The equations between using P, PI, and PD controls do not have a very significant difference to controls in RL and RC. The use of PI and PD coupling controls is seen to increase the carrying capacity of power supplied rather than using only P controls. Efficiency value obtained by PI is 84.72 and PD is 84.616. Using only the best P efficient control is 84.283. Other parameter parameters are  $K_P = 8191$ ,  $K_I = 63$ , and  $K_D = 7 \times 10^{-6}$ . Generally, the change of  $K_P$  and  $K_I$  parameters does not give significant performance change. While  $K_D$  must be determined carefully in order to provide better performance. PID controllers are also generally still capable of voltage levels. At various acceptable tests with various resistive values.

**Kata-kunci:** Energi terbarukan, Konverter DC/DC, Kontroler PID.

## 1. Pendahuluan

Energi merupakan kebutuhan dasar manusia, yang terus meningkat sejalan dengan tingkat kehidupannya. Bahan bakar minyak/energi fosil merupakan salah satu sumber energi yang bersifat tak terbarukan (*non renewable energy sources*) yang selama ini merupakan andalan untuk memenuhi kebutuhan energi di seluruh sektor kegiatan.

Perhatian dunia terhadap pembangunan energi terbarukan semakin meningkat. Tahun-tahun

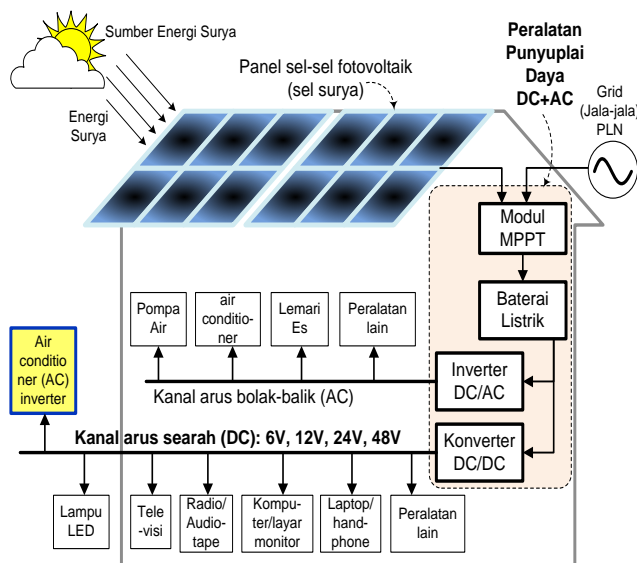
belakangan ini, misalnya, lebih dari 40% dari seluruh penambahan kapasitas pembangkit listrik di dunia dilakukan untuk memanfaatkan energi terbarukan. Hal ini semakin membuktikan bahwa energi terbarukan merupakan solusi dengan biaya yang efektif untuk memenuhi kebutuhan energi dunia.

Salah satu energi terbarukan adalah energi surya yang mencakup penggunaannya dalam pembangkit listrik. Namun pembangkit ini memiliki tegangan keluaran yang tidak tetap. Hal ini disebabkan radiasi matahari dan suhu yang

dirasakan oleh panel surya untuk setiap waktu. Sementara alat elektronik membutuhkan tegangan yang tetap pada level tertentu.

Disisi lain penggunaannya pada konsumen tidaklah selalu sama, sehingga peyaluran daya dari pembangkit ke beban juga berubah-ubah. Dan juga kebutuhan tegangan pada perangkat elektronik juga berbeda-beda. Sebagai contoh untuk peralatan elektronik seperti laptop diperlukan tegangan DC 19-20V, sedangkan untuk handphone diperlukan tegangan DC 5V. Untuk itu di butuhkan suatu konverter yang dapat menjaga tegangan keluaran tetap pada level tertentu sesuai kebutuhan beban, walaupun tegangan masukan dan penggunaan daya berubah-ubah.

Selain itu isu mengenai saluran DC di rumah-rumah yang disuplai oleh sumber energi terbarukan sudah ramai dibicarakan di forum-forum internet, dan pada beberapa forum resmi oleh industri dan akademika. Dalam forum-forum tersebut, pertanyaan yang paling mendasar adalah berapa tegangan DC yang terbaik untuk distandardkan, dan bagaimana kesiapan seluruh produsen produk-produk elektrik dan elektronika untuk menyediakan terminal suplai DC pada produk mereka.



Gambar 1. Sistem listrik rumah tangga modern dengan saluran daya listrik DC dan AC

## 2. Deskripsi Permasalahan

Perubahan daya listrik langsung dari sumber energi terbarukan, maupun yang secara tidak

langsung melalui baterai menyebabkan terganggunya suplai tegangan DC konstan yang diperlukan oleh beberapa peralatan-peralatan listrik DC rumah tangga. Perubahan beban juga memberikan andil terhadap perubahan tersebut. Selain itu, tidaknya adanya standard atas nilai tegangan DC, mendorong kebutuhan akan produk regulator tegangan yang keluaran tegangan DC-nya dapat direkonfigurasi.

Paper ini akan menunjukkan rancangan konverter DC/DC [1, 2] tipe buck menggunakan model SPICE dengan percobaan menggunakan kontrol P, PI, dan PD yang mampu secara fleksibel didesain untuk bekerja pada beberapa level tegangan DC. Agar dapat mensimulasikan rangkaiannya, maka model SPICE dari kendali P, PI, dan PD mesti diturunkan terlebih dahulu [3]. Percobaan menggunakan ketiga kontrol tersebut yaitu kontrol P, PI, dan PD dimaksudkan untuk mencari kontrol yang terbaik yang memberikan efisiensi daya yang signifikan.

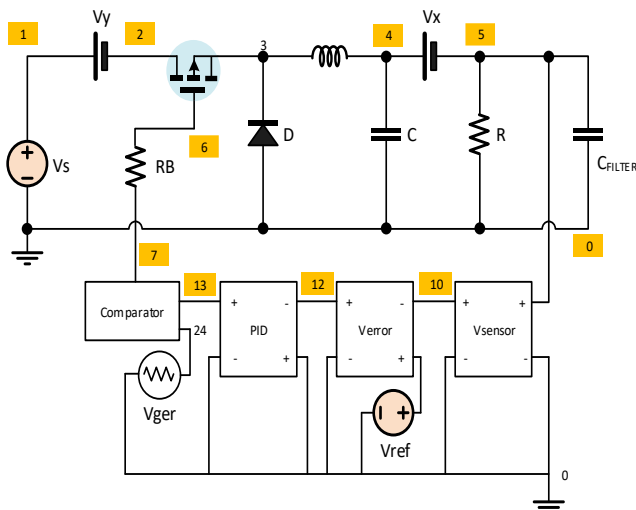
## 3. Hasil Perancangan

Sistem Kendali PID telah banyak dan paling lazim digunakan untuk mengendalikan Konverter DC/DC [4, 5, 6, 7, 8]. Kontroler PID ini dapat direalisasikan secara analog atau pun secara digital [5]. Masalah paling mendasar dalam perancangan ini adalah bagaimana memilih parameter PID terbaik. Banyak metode yang dapat digunakan misalnya dengan teknik polinomial [6], teknik adaptif dikombinasikan dengan metode *fuzzy logic* [7], atau menggunakan teknik optimisasi khusus [8].

Paper ini akan mencoba mengkaji hasil rancangan dengan pendekatan simulasi PID analog menggunakan SPICE, dimana PID parameter akan dapat ditemukan melalui teknik eksplorasi simulasi parameter. Melalui teknik simulasi dengan variasi parameter ini, maka nilai-nilai PID terbaik dapat diestimasi. Ada dua kriteria yang digunakan dalam paper ini yaitu Nilai *Average Absolute Error* dan Efisiensi Daya dari setiap simulasi parameter nilai PID. Nilai konstanta kendali P, I dan D terbaik, tentu saja adalah yang memiliki nilai terkecil dari kedua kriteria tadi.

### 3.1. Pemodelan SPICE

Perangkat keras yang akan dibangun didasarkan pada model rancangan. Contoh alur desain skematik rangkaian converter DC/DC tipe buck ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram kotak kontroler and skematika rangkaian converter DC/DC tipe buck.

### 3.2. Perangkat Kendali PID

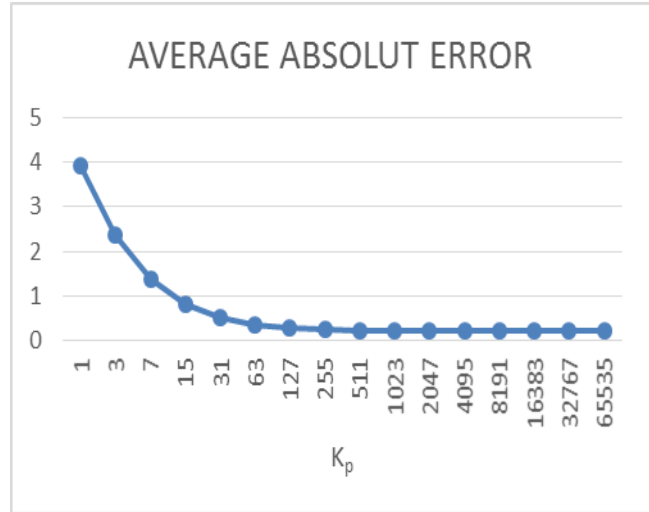
Gambar 1 memperlihatkan skematik rangkaian kendali PID. Kendali PID termodifikasi digunakan untuk mengendalikan level tegangan DC pada luaran konverter DC/DC. Selisih antara data sensor tegangan pada luaran konverter dan tegangan referensi  $V_{ref}$  digunakan sebagai acuan untuk membangkitkan PWM.

## 4. Hasil Simulasi

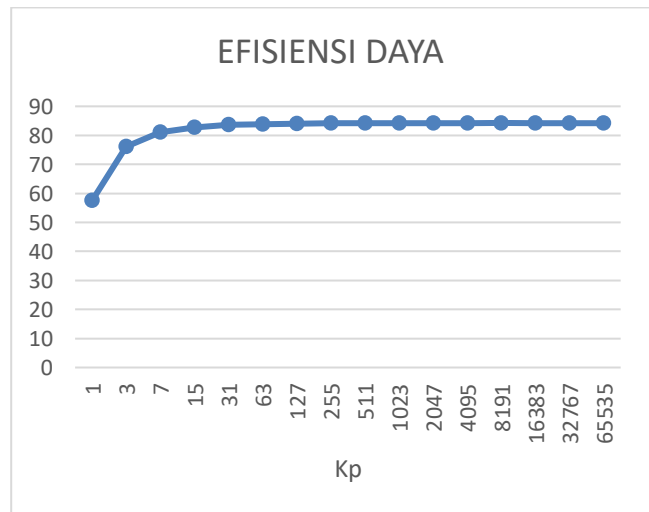
Gambar 3 memperlihatkan pengukuran *Average Absolute Error* dan Efisiensi Daya dari hasil simulasi dengan hanya menggunakan kendali P dengan variasi nilai  $K_P$  untuk tegangan 12V. Nampak terlihat bahwa nilai *Average Absolute Error* cenderung berubah ketika diberikan nilai  $K_P$  yang berbeda. Hal yang sama juga terlihat pada Efisiensi Daya, bahwa nilai efisiensi cenderung meningkat pada nilai  $K_P$  tertentu.

Gambar 4 memperlihatkan pengukuran *Average Absolute Error* dan Efisiensi Daya dari hasil simulasi menggunakan kendali PI dan dengan variasi nilai  $K_I$  terhadap nilai  $K_P$  untuk tegangan 12V. Nampak terlihat bahwa nilai *Average Absolute Error* cenderung berubah

ketika diberikan nilai  $K_I$  yang berbeda. Hal yang sama juga terlihat pada Efisiensi Daya, bahwa nilai efisiensi cenderung meningkat pada nilai  $K_I$  dan  $K_P$  tertentu. Sementara itu, perubahan nilai  $K_P$  yang lebih besar cenderung menurunkan nilai pengukuran kedua parameter tadi.



(a)



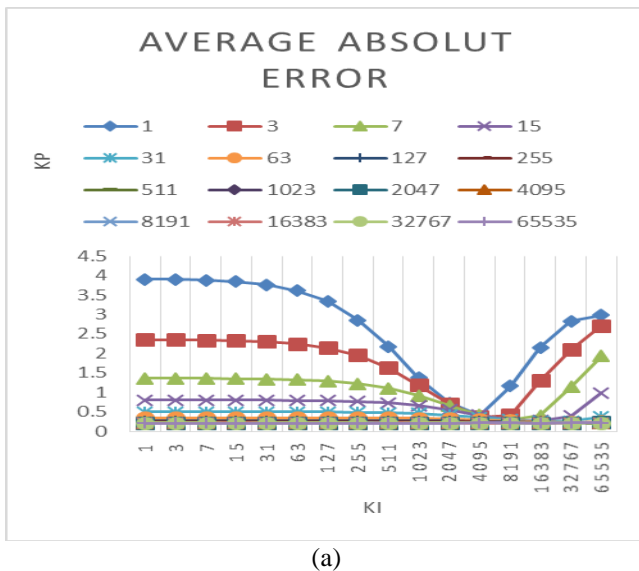
(b)

Gambar 3. (a) *Average Absolute Error* dan (b) Efisiensi Daya dari hasil simulasi menggunakan kendali P yang nilainya bervariasi untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V

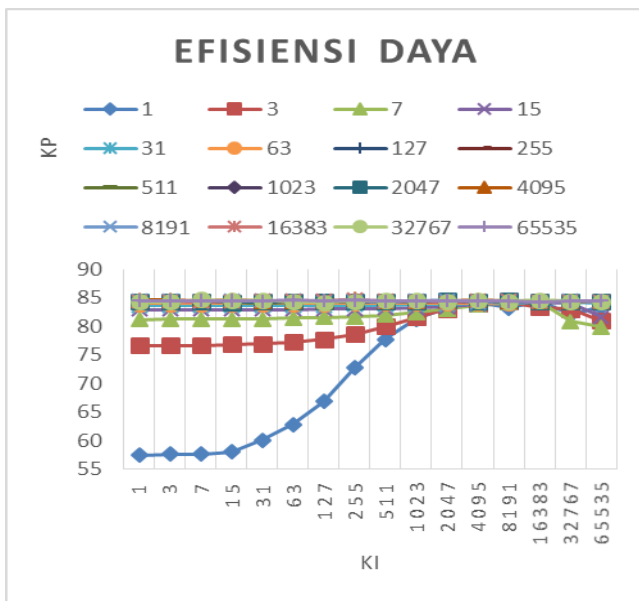
Gambar 5 memperlihatkan pengukuran *Average Absolute Error* dan Efisiensi Daya dari hasil simulasi menggunakan kendali PD dan dengan variasi nilai  $K_D$  terhadap nilai  $K_P$  untuk tegangan 12V. Nampak terlihat bahwa nilai *Average Absolute Error* cenderung naik pada setiap kenaikan nilai  $K_D$ . Hal yang yang bervariasi terlihat pada Efisiensi Daya, bahwa nilai efisiensi

cenderung meningkat pada nilai  $K_P$   $K_D$  tertentu, dan cenderung menurun pada  $K_P$   $K_D$  tertentu pula. Sementara itu, kecenderungan nilai Efisiensi Daya terendah terjadi pada  $K_P$  yang semakin kecil.

sedangkan untuk beban RC (10  $\Omega$ , 2000u) terlihat terjadi perubahan level tegangan, walaupun demikian kendali P dapat segera mengendalikan ke level yang sesuai dengan referensi yang diberikan.



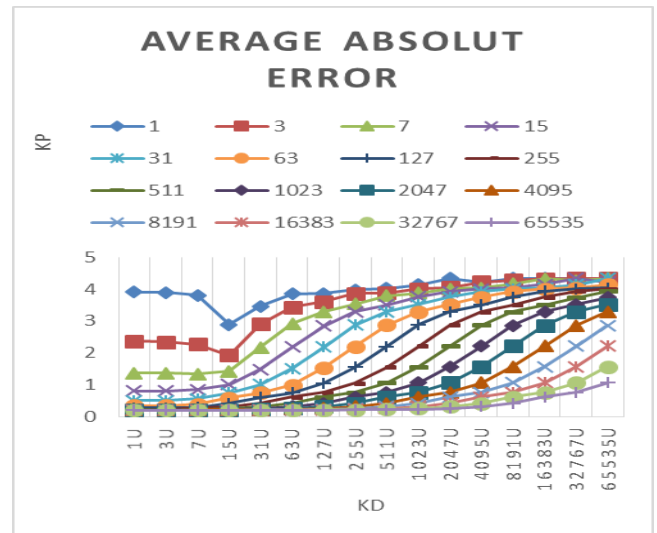
(a)



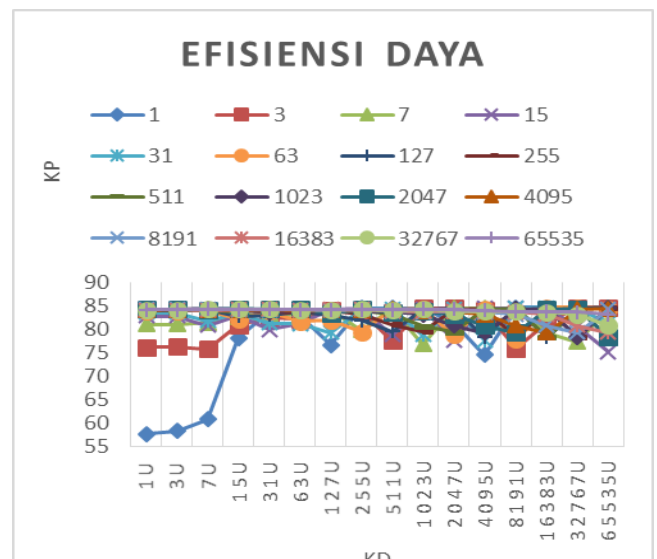
(b)

**Gambar 4. (a) Average Absolut Error dan (b) Efisiensi Daya dari hasil simulasi menggunakan kendali P dan I yang nilainya bervariasi untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V**

Gambar 6 memperlihatkan hasil pengujian DC/DC Konverter tipe buck dengan kendali P dengan memberikan beban RL pada waktu 4ms dan beban RC pada waktu 7ms. Nampak terlihat bahwa Konverter tipe buck dengan kendali P mampu mengendalikan level tegangan sesuai referensi untuk beban RL (100 $\Omega$ , 20m),



(a)

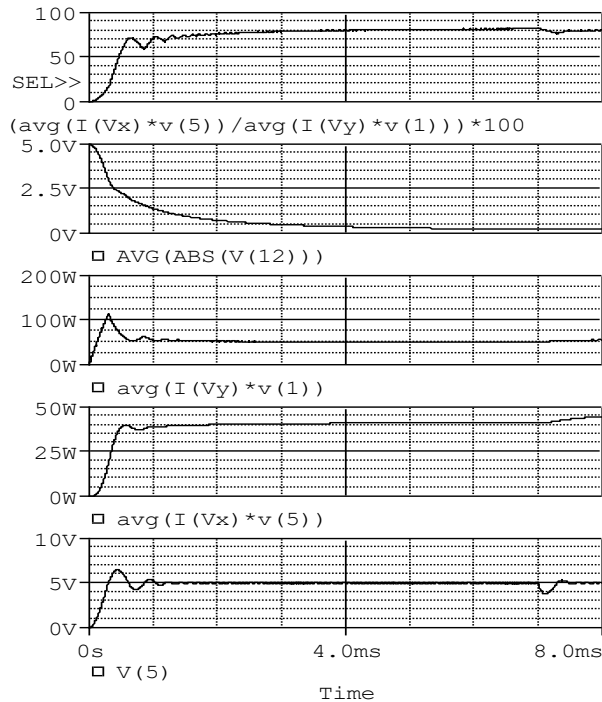


(b)

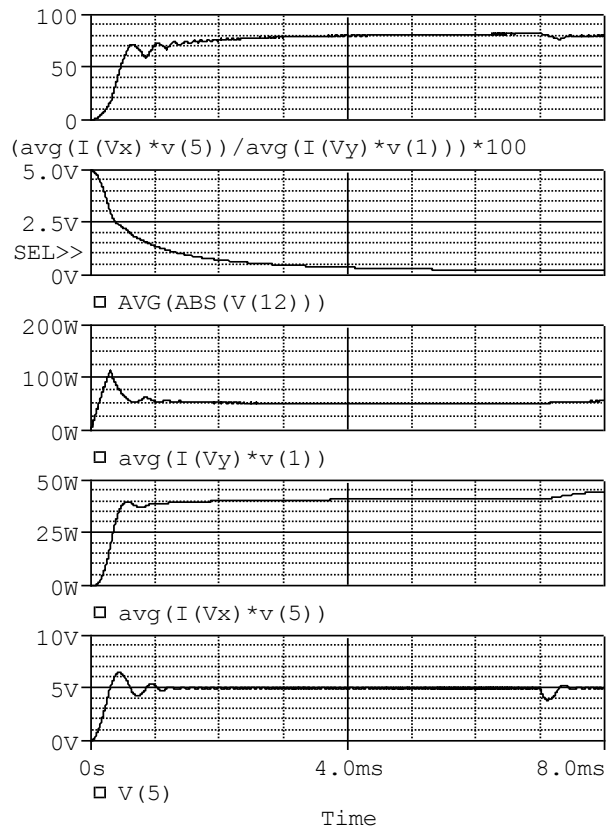
**Gambar 5. (a) Average Absolut Error dan (b) Efisiensi Daya dari hasil simulasi menggunakan kendali P dan D yang nilainya bervariasi untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V**

Gambar 7 memperlihatkan hasil pengujian DC/DC Konverter tipe buck dengan kendali PI dengan memberikan beban RL pada waktu 4ms dan beban RC pada waktu 7ms. Nampak terlihat bahwa Konverter tipe buck dengan kendali PI

mampu mengendalikan level tegangan sesuai referensi untuk beban RL (100Ω, 20m), sedangkan untuk beban RC (10 Ω, 2000u) terlihat terjadi perubahan level tegangan, walaupun demikian kendali PI dapat segera mengendalikan ke level yang sesuai dengan referensi yang diberikan.



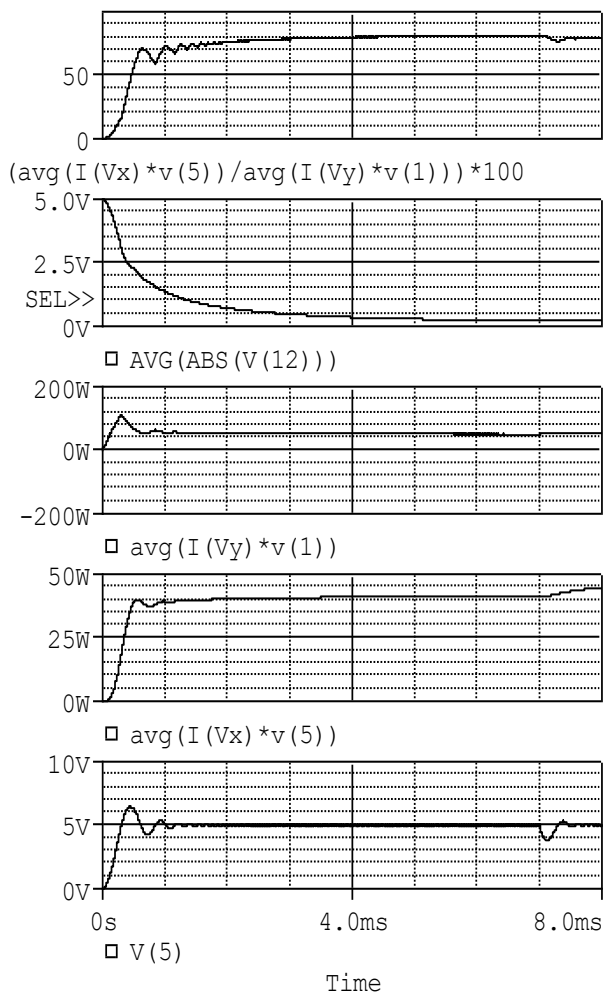
**Gambar 6. Pengujian kendali P terhadap beban RL(4ms) RC(7ms) untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V**



**Gambar 7. Pengujian kendali PI terhadap beban RL(4ms) RC(7ms) untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V**

Gambar 8 memperlihatkan hasil pengujian DC/DC Konverter tipe buck dengan kendali PD dengan memberikan beban RL pada waktu 4ms dan beban RC pada waktu 7ms. Nampak terlihat bahwa Konverter tipe buck dengan kendali PD mampu mengendalikan level tegangan sesuai referensi untuk beban RL(100Ω, 20m), sedangkan untuk beban RC(10 Ω, 2000u) terlihat terjadi perubahan level tegangan, walaupun demikian kendali PD dapat segera mengendalikan ke level yang sesuai dengan referensi yang diberikan.





**Gambar 8. Pengujian kendali PD terhadap beban RL(4ms) RC(7ms) untuk tegangan input 12V dan tegangan referensi 5V**

## 5. Kesimpulan

Pencobaan simulasi kendali P, PI, PD pada Konverter tipe Buck dengan domain isyarat kesalahan yang dibatasi telah ditunjukkan pada paper ini. Hasil rancangan menunjukkan kendali P, PI, PD yang digunakan untuk mempertahankan tegangan luaran DC dari converter telah memberikan kinerja yang cukup baik. Walaupun antara menggunakan kendali P, PI, dan PD tidak memiliki perbedaan yang sangat signifikan terhadap pengendalian pada beban RL dan RC.

Penggunaan penggabungan kendali PI dan PD terlihat mampu meningkatkan nilai Efisiensi Daya yang disalurkan dari pada hanya menggunakan kendali P saja. Nilai Efisiensi yang didapatkan PI

yaitu 84.72 dan PD yaitu 84.616. Sedangkan dengan hanya menggunakan kendali P nilai efisiensi terbaik yang didapatkan yaitu 84.283.

Nilai-nilai parameter pengendali terbaik yang diperoleh untuk tegangan Input 12V dan Referensi 5V antara lain  $K_P=8191$ ,  $K_I=63$ , dan  $K_D=7 \times 10^{-6}$  merupakan contoh-contoh nilai yang dapat digunakan sebagai acuan untuk dua buah kriteria yang telah digunakan yaitu minimisasi *Average Absolute Error* dan meningkatkan Efisiensi Daya. Penggunaan tegangan Input dan Referensi yang lain tentunya membutuhkan nilai-nilai konstanta kendali PID yang berbeda pula. Oleh karena itu, kajian lebih lanjut mengenai pemilihan nilai-nilai parameter dan multi kriteria yang berbeda-beda masih terus kami lakukan.

## Referensi

- [1] Muhammad H. Rashid. "Power Electronics Handbook Third Edition". University of West Florida.
- [2] Mohan, Ned, Undeland, T.M., and Robbins, P. W., "Power Electronics Converters Applications and Design", Second Edition, John Wiley and Sons.
- [3] Muhammad H. Rashid, Hasan M. Rashid, "SPICE for Power Electronics And Electric Power Second Edition". University of West Florida. Taylor & Francis CRC.ISBN 0-8493-3418-7.
- [4] Chao-Ying Wang. 2015, "A Voltage-Mode DC-DC Buck Converter with Digital PID Controller". 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). Electronic ISBN: 978-1-4673-7682-2.
- [5] Zhou Chu. 2014. "A general digital PID controller based on PWM for buck converter". IEEE World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA), Page(s):4596-4599.
- [6] MadhuKiran, E.R.C.S. 2012. "Control of Buck converter by Polynomial, PID and PD controllers". IEEE Asia Pacific Conference on Postgraduate Research in Microelectronics and Electronics (PrimeAsia). Page(s): 94-99.
- [7] Rabbani, M. 2012. "Fuzzy logic driven adaptive PID controller for PWM based buck converter". IEEE International Conference on Informatics, Electronics & Vision (ICIEV). Page(s): 985-962.
- [8] Sridhar Seshagiri, 2016, "Optimal PID Design for Voltage Mode Control of DC-DC Buck Converters" 2016 IEEE 13th International Conference on Networking, Sensing, and Control (ICNSC). Electronic ISBN: 978-1-4673-9975-3.

# Pengaruh Bahan Pengisi (*Filler*) Eceng Gondok dan Sekam Padi Pada Material Isolasi Listrik (*Polymer Epoxy*)

Trisna Amelia Fitriah<sup>\*1</sup>, Salama Manjang<sup>1</sup>, Ikhlas Kitta<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin  
Jl. Poros Malino km.6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92171

\*Email: ameliafitriah26@yahoo.co.id

DOI: 10.25042/jpe.052017.14

## Abstrak

Penggunaan serat alam sebagai *filler* dalam bidang industri masih terus dikembangkan, mengingat sifatnya yang ramah lingkungan dan mengandung material yang besar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh eceng godok dan sekam padi sebagai *filler* pada material *resin epoxy*. Pembuatan spesimen menggunakan metode hand lay-up dengan masing-masing variasi filler 10%-40% dari berat total bahan uji dan spesimen tanpa filler 0% sebagai pembandingan. Bahan polimer yang digunakan yaitu *resin epoxy*. Pengujian yang dilakukan yaitu uji tarik, uji resistivitas permukaan dan resistivitas volume. Uji tarik dilakukan menggunakan standar ASTM D-638 dan uji resistivitas menggunakan standar ASTM D 257. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *resistivitas volume* maksimum dicapai dalam kadar eceng gondok 20% sedangkan pada sekam padi peningkatan *resistivitas volume* terus terjadi sampai kadar 40% dari *resin epoxy*. Peningkatan *resistivitas* permukaan berlanjut hingga kadar eceng gondok mencapai 20 % pada *resin epoxy* begitupun dengan penambahan *filler* sekam padi. Kekuatan tarik dari material *resin epoxy* mengalami penurunan dengan penambahan eceng gondok dan sekam padi. Nilai kekuatan tarik maksimum dicapai pada komposisi filler 20% . Dengan bertambahnya kadar eceng gondok dan sekam padi didalam *resin epoxy*, sifat getas dari material *resin epoxy* semakin meningkat atau terjadi peningkatan kekerasan dari *resin epoxy* sehingga mengakibatkan kerapuhan

## Abstract

**The Effect of Boiled Water and Rice Husk as Filler on Electrical Isolation Material (*Polymer Epoxy*).** The use of natural fibers as a filler in the industry still continue to be developed, given its eco-friendly and contains material which is great. This research was conducted to find out the influence of boiled water and rice husk as filler material in epoxy resins. The making of the specimen using the method of hand lay-up with each variation of filler 10%-40% of the total weight of material test and the specimen without filler 0% for contrast. Polymer materials used i.e. epoxy resins. Testing is done namely pull-test, test volume resistivity and surface resistivity. Pull-test is performed using standard ASTM D-638 and resistivity test using standard ASTM D 257. The test results showed that the maximum volume resistivity values reached in the levels of water hyacinth 20% whereas on rice husk volume resistivity increase continues to occur until levels of 40% of the epoxy resins. Surface resistivity continues to increase in the levels of water hyacinth reaches 20% on epoxy resins as well as the addition of a filler rice husk. The tensile strength of the epoxy resins materials has decreased with the addition of water hyacinth and rice husk. The value of the maximum attainable tensile strength on the composition of the filler is 20%. With increasing levels of water hyacinth and rice husk in epoxy resins, the nature of the material brittle epoxy resins increase or an increase in the hardness of epoxy resin resulting in fragility.

**Kata-kunci:** Eceng gondok, *Filler*, karakteristik mekanis dan elektrik sekam padi, *resin epoxy*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan industri dengan adanya kemajuan teknologi telah memberikan sumbangan besar terhadap perekonomian Indonesia. Di lain pihak hal tersebut juga memberi dampak pada lingkungan akibat limbah industri maupun eksploitasi sumber daya yang semakin intensif dalam pengembangan industri. Efisiensi bahan dan energi dalam pemanfaatan,

pemrosesan dan daur ulang akan menghasilkan keunggulan kompetitif dan manfaat ekonomi. Permasalahan lingkungan yang harus diperhatikan salah satunya adalah pencemaran pada permukaan air. Eutrofikasi merupakan salah satu penyebab pencemaran tersebut, Eutrofikasi adalah pencemaran air yang disebabkan oleh munculnya nutrient yang berlebihan ke dalam ekosistem air. Berdasarkan hal di atas pengembangan industri harus dibarengi dengan

upaya pengelolaan lingkungan dalam bentuk penanganan limbah yang dilepaskan atau dengan cara mencari bahan baku industri yang ramah lingkungan sebagai bahan alternatif.

Bahan baku eceng gondok (*Eichornia crassipes*) dan sekam padi merupakan bahan alternatif pilihan untuk isolasi tegangan tinggi. Eceng gondok merupakan jenis tumbuhan air yang memiliki laju pertumbuhan tinggi, sehingga dianggap sebagai gulma yang dapat mengganggu ekosistem perairan [1]. Permasalahan yang timbul dari tingginya populasi eceng gondok adalah berkurangnya jumlah keanekaragaman hewan air, terjadinya pendangkalan, menurunnya kualitas air karena berkurangnya oksigen akibat menurunnya intensitas cahaya matahari yang masuk ke badan air, meningkatnya vector penyakit, gangguan irigasi, transportasi, dan berkurangnya nilai estetika pada perairan [1, 2]. Eceng gondok diketahui memiliki kandungan lignoselulosa yang tinggi. Lignoselulosa terdiri dari lignin, selulosa dan hemiselulosa. Sekam padi memiliki kandungan 24,3% hemiselulosa, 34,4% selulosa, dan 19,2% lignin [3].

Salah satu contoh polimer yang dapat digunakan sebagai bahan dasar isolator pemasangan luar dalam bidang ketenagalistrikan adalah resin epoksi. Bahan *resin epoxy* memiliki beberapa kelebihan antara lain : cairan *epoxy* memiliki sifat kekentalan yang rendah sehingga mudah bercampur (masuk tahap termoset) didalam pembuatannya, tetapi resin epoksi mempunyai kombinasi antara lain : Sifat kekentalan rendah, mudah dibentuk, penyusutan rendah, kerekatan tinggi, sifat mekanis tinggi, isolasi listrik yang tinggi, ketahanan kimia baik [4].

Selulosa dan lignin merupakan salah satu kriteria yang menunjukkan kekuatan serat. Selulosa merupakan penyusun utama dinding sel dan termasuk polimer glukosa dengan ikatan  $\beta$ -1,4 glukosida dalam rantai panjang lurus. Rantai selulosa terhubung dengan ikatan hidrogen dan gaya *van der Waals* [5]. Lignin merupakan komponen yang sangat sulit didegradasi. Komposisi lignin terdiri dari polimer aromatik yang unitnya dihubungkan oleh ikatan eter dan karbon-karbon. Fungsi utama lignin pada

tumbuhan adalah memperkuat struktur tumbuhan [6].

Lignoselulosa juga terkandung dalam limbah agrikultural, salah satunya adalah sekam padi. Ketika sekam padi dibakar kadar abu yang diperoleh adalah 17-26%, jauh lebih tinggi daripada bahan bakar lainnya (kayu 0,2-2%, batu bara 12,2%). Sekam padi memiliki nilai kalori tinggi rata-rata dari 3410 kkal / kg dan dapat digunakan sebagai salah satu sumber energi terbarukan [7]. Sekam padi merupakan residu agrikultural yang ketersediaannya sangat melimpah dan dapat memproduksi bioetanol karena mengandung struktur lignoselulosa.

Sekam padi pada umumnya hanya digunakan sebagai bahan bakar utama atau tambahan pada industri pembuatan bata, media penyemai bibit tanaman, sedangkan abunya sebagian kecil untuk abu gosok dan lainnya dibuang begitu saja. Padahal, apabila abu sekam padi dipanaskan diatas temperatur 500°C dengan waktu 105 menit atau lebih akan memberikan kandungan silika amorf optimum sedikitnya 86% [8]. Penggunaan abu sekam padi sebesar 15% berat semen akan memberikan peningkatan kuat tekan beton sedikitnya 20%. Kaitannya dengan ketenagalistrikan silika biasanya digunakan sebagai bahan pengisi dalam pembuatan isolator tegangan tinggi. Mengingat tingginya kandungan silika dalam abu sekam padi maka dilakukan suatu upaya untuk memanfaatkan abu sekam padi sebagai bahan dalam pembuatan nano material ( $\text{SiO}_2$ ) yang akan digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*) pembuatan nano komposit. Berdasarkan uraian tersebut, dapat disimpulkan bahwa selulosa dan silika dari sekam padi dapat dimanfaatkan sebagai *filler*.

Isolator sebagai salah satu peralatan listrik memegang peranan penting dalam proses penyaluran energi listrik. Isolator pemasangan luar yang populer dikembangkan saat ini adalah isolator berbahan polimer, dikarenakan bahan polimer mempunyai banyak kelebihan dibandingkan bahan porselin dan gelas. Di antaranya adalah mempunyai sifat hidrofobik yang tinggi, mempunyai rapat massa yang lebih rendah, mudah dibuat karena tidak memerlukan suhu yang sangat tinggi dalam proses

pembuatannya, dan mempunyai tingkat kerekatan yang tinggi [9].

Selain kelebihan yang dimiliki oleh resin epoksi terdapat pula beberapa kelemahan yaitu, Mudah mengalami proses penuaan (*aging*) dan degradasi pada permukaan akibat adanya *stress* listrik dan termal. Kinerja sifat tolak airnya rendah, sangat sensitif jika digunakan didaerah yang bersuhu tinggi, berkelembaban tinggi, dan adanya radiasi UV dengan intensitas tinggi yang akan menurunkan kinerjanya [10]. Untuk meningkatkan kinerja resin epoksi sehingga dapat digunakan dalam aplikasi luar ruangan, penyediaan aditif seperti *filler* ditambahkan.

Adapun jenis *filler* yang akan digunakan pada resin epoksi adalah Silika dan selulosa. Silika memiliki kekuatan mekanik yang tinggi dan memiliki daya tahan yang tinggi terhadap bahan dan serat. Silika dan serat dapat meningkatkan karakteristik mekanik dan elektrik dari *resin epoxy*. Dengan pemanfaatan eceng gondok dan sekam padi ini diharapkan mampu mengurangi biaya produksi dengan kualitas mekanik dan listrik yang baik, disamping dapat mengoptimalkan pengendalian gulma serta mengurangi limbah dari sekam padi.

## 2. Bahan dan Metode Analisa

### 2.1. Resin Epoxy

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah Lem *epoxy* dengan type RTV (Room Temperature Vulcanization) atau mengeras dalam suhu ruang. *Resin epoxy* diperoleh dari PT. AVIA AVIAN, adapun merek dagangnya adalah avian 2 komponen yang terdiri dari 2 bagian yaitu *resin* dan *hardener*.

### 2.2. Eceng Gondok

Eceng gondok yang dimaksud disini adalah Eceng gondok dengan bahasa latin *Eichornia Crassipes* diperoleh dari perairan kota makassar. Sebelum di haluskan, tanaman tersebut di cuci bersih dan diambil daunnya untuk dikeringkan

**Tabel 1. Hasil pengujian ligniselulosa pada eceng gondok**

No	Nama Senyawa	Persentase (%)
1	Lignin	3,97
2	Selulosa	23,54
3	Hemiselulosa	28,19

### 2.3. Sekam Padi

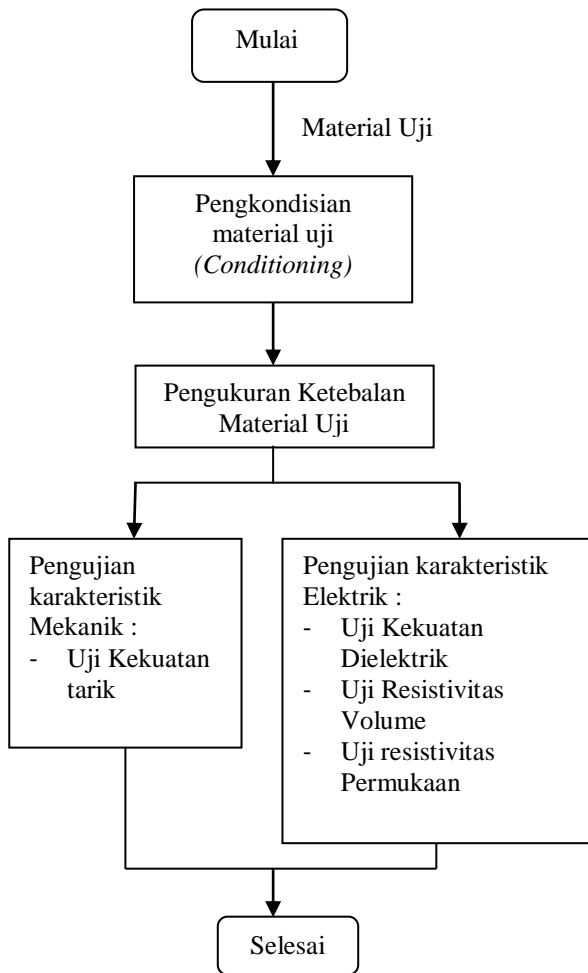
Sekam padi diperoleh dari kabupaten Sidrap yang telah di panaskan diatas 500 °C.

**Tabel 2. Hasil pengujian komposisi kimia pada sekam padi**

No	Nama Senyawa	Persentase (%)
1	SiO <sub>2</sub>	97,99
2	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,50
3	CaO	0,496
4	K <sub>2</sub> O	0,491
5	MnO	0,268
6	Cl	0,179
7	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,038
8	ZnO	0,0124
9	Rb <sub>2</sub> O	0,0076

## 3. Metode Penelitian

Pengujian karakteristik material *resin epoxy* dalam keadaan standar yaitu tanpa perlakuan khusus. Pengujian karakteristik elektrik terdiri dari 3 jenis pengujian yaitu, resistivitas permukaan, resistivitas volume dan kekuatan dielektrik. Untuk Pengujian mekanik yaitu pengujian karakteristik kekuatan tarik. Pengujian dilakukan pada beberapa laboratorium dengan menggunakan alat uji yang telah terstandarisasi atau dengan menggunakan metode uji berstandar internasional dimana dalam penelitian ini digunakan standar ASTM. Setelah data-data pengujian diperoleh selanjutnya dilakukan analisa data. Pada tahap ini karakteristik elektrik dan mekanis dari material dibuat berdasarkan data-data yang diperoleh dari pengukuran yang telah dilakukan. Karakteristik tersebut kemudian dianalisa mengenai sebab-sebab perubahan karakteristik yang telah didapatkan juga dicari nilai optimum untuk masing-masing jenis pengujian yang telah dilakukan untuk kemudian dijadikan sebagai parameter penentu apakah eceng gondok dan sekam padi layak dijadikan *filler* untuk material insulasi *resin epoxy*.



Gambar 1. Diagram alir dari prosedur dan jenis pengujian material uji

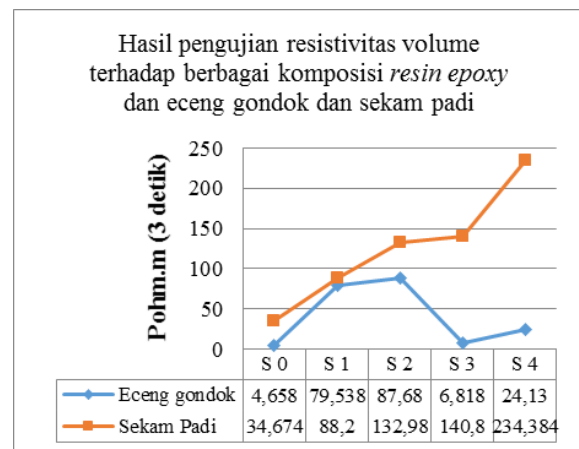
## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Resistivitas Volume

Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa penambahan Eceng gondok dalam *resin epoxy* meningkatkan resistivitas volume dari *resin epoxy* tersebut hingga pada komposisi *filler* 20%. Setelah itu penambahan eceng gondok akan membuat resistivitas volume dari material *resin epoxy* menjadi menurun kemudian tidak linear. Pada komposisi *filler* 20% peningkatan resistivitas volume dari material *Resin epoxy* adalah sekitar 87,68% dibandingkan dengan material *resin epoxy* tanpa pemberian *filler*.

Penambahan sekam padi dalam *resin epoxy* meningkatkan resistivitas volume dari *resin epoxy* tersebut hingga pada komposisi *filler* 40% tanpa mengalami penurunan. Pada komposisi *filler* 40% peningkatan resistivitas volume dari material

*resin epoxy* adalah sekitar 234,384% dibandingkan dengan material *resin epoxy* tanpa pemberian *filler*. Ada beberapa faktor yang dapat mempengaruhi resistivitas volume bahan terutama jika bahan diuji pada tegangan tinggi DC impuls. Mineralogi bahan pengisi, ikatan kimia, distribusi molekul dan banyak faktor kimia lainnya akan memberikan kontribusi pada resistivitas material.



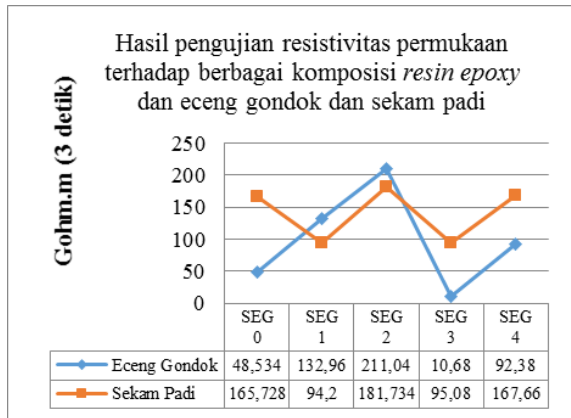
Gambar 2. Pengaruh penambahan Eceng gondok dan sekam padi dalam *resin epoxy* terhadap resistivitas volume dari material.

### 4.2. Resistivitas Permukaan

Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa dengan penambahan kadar eceng gondok pada *resin epoxy*, resistivitas permukaan dari material *resin epoxy* menjadi meningkat. Peningkatan resistivitas permukaan berlanjut hingga kadar *eceng gondok* mencapai 20% pada *resin epoxy*. Penambahan kadar sekam padi pada *resin epoxy*, resistivitas permukaan dari material *resin epoxy* mengalami penurunan dibanding *resin epoxy* tanpa *filler*. Peningkatan resistivitas permukaan meningkat pada penambahan *filler* 20% .

Nilai resistansi dari suatu material akan bergantung pada jenis tegangan/medan yang dikenakan pada material tersebut. Pada material dengan kandungan partikel semikonduktif yang tinggi, resistansi dari *resin epoxy*. Material akan berubah tergantung besar dan jenis tegangan/medan yang diberikan. Pada besar tegangan/kuat medan tertentu yang diberikan pada material, nilai resistansi material dapat berubah hal itu tergantung dari lebar celah pita

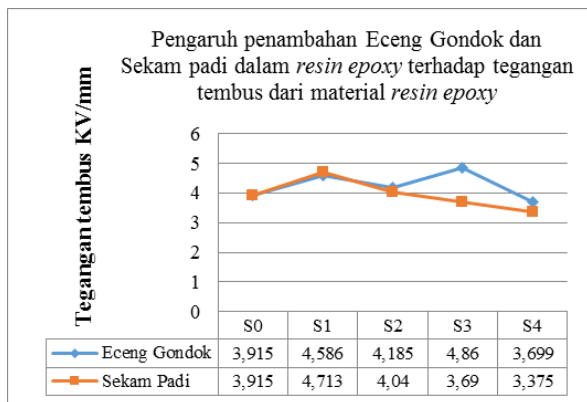
(band gap) antara pita valensi dan konduksi dari senyawa-senyawa penyusun material tersebut.



Gambar 3. Pengaruh penambahan eceng gondok dan sekam padi dalam resin epoxy terhadap resistivitas permukaan dari material.

### 4.3. Kekuatan Dielektrik

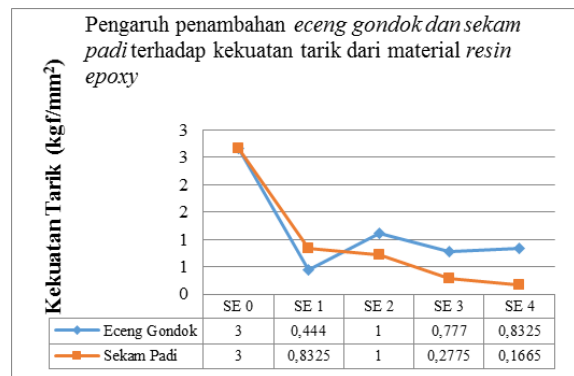
Penambahan eceng gondok ke dalam resin epoxy akan meningkatkan kekuatan dielektrik dari material resin epoxy. Peningkatan kekuatan dielektrik maksimum terjadi pada komposisi eceng gondok sebesar 30% terhadap berat resin epoxy. Peningkatan kekuatan dielektrik maksimum terjadi pada komposisi sekam padi sebesar 10% terhadap berat resin epoxy dan mengalami penurunan seiring penambahan filler. Tegangan tembus bahan yang diuji dapat dipengaruhi oleh sifat intrinsik dari bahan tersebut dan juga faktor ekstrinsik. Adapun faktor intrinsik yang mempengaruhi tegangan tembus material adalah struktur kimia, ketidakteraturan struktur, kehadiran aditif, pergerakan molekular (zat cair) dan sebagainya.



Gambar 4. Pengaruh penambahan eceng gondok dalam resin epoxy terhadap tegangan tembus dari material resin epoxy

### 4.4. Kekuatan Tarik

Penambahan filler eceng gondok dan sekam padi pada resin epoxy menurunkan kekuatan tarik material, hal ini terlihat jika dibandingkan terhadap komposisi resin epoxy tanpa pemberian filler. Kekuatan tarik maksimum dicapai pada komposisi eceng gondok dan sekam padi 20% yaitu sebesar 1 kgf/mm<sup>2</sup>. Setelah itu terjadi perubahan kekuatan tarik yang tidak linear pada komposisi diatas 30 dan 40%.



Gambar 5. Pengaruh penambahan eceng gondok dan sekam padi dalam resin epoxy terhadap kekuatan tarik dari material resin epoxy

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa karakteristik eceng gondok dan sekam padi sebagai filler dalam resin epoxy dapat meningkatkan beberapa parameter elektrik dari material resin epoxy. Peningkatan maksimum karakteristik elektrik dari material resin epoxy seperti kekuatan dielektrik, resistivitas volume dan resistivitas permukaan mengalami peningkatan.

Peningkatan maksimum terjadi pada komposisi filler eceng gondok secara berturut sebesar 30%, 20% dan 20% dari material resin epoxy. Peningkatan maksimum terjadi pada komposisi filler sekam padi secara berturut sebesar 10%, 20% dan 20% dari material resin epoxy. Kekuatan tarik dari material resin epoxy menunjukkan terjadi penurunan kekuatan. Penurunan kekuatan tersebut dapat dilihat dari material resin epoxy dengan penambahan eceng gondok dan sekam padi dibandingkan dengan material tanpa filler. Kekuatan tarik tanpa filler memiliki kekuatan 3 kgf/mm<sup>2</sup> setelah dilakukan penambahan filler eceng gondok kekuatan tarik

menunjukkan 0,444 kgf/mm<sup>2</sup>, 1 kgf/mm<sup>2</sup>, 0,777 kgf/mm<sup>2</sup>, 0,8325 kgf/mm<sup>2</sup>. Penambahan filler sekam padi kekuatan tarik menunjukkan 0,8325 kgf/mm<sup>2</sup>, 1 kgf/mm<sup>2</sup>, 0,2775 kgf/mm<sup>2</sup>, 0,1665 kgf/mm<sup>2</sup>. Hal ini disebabkan kurangnya homogenitas bahan padat yang diuji.

## Referensi

- [1] Cheng, J, Xie, B., Zhou, J., Song, W., dan Cen, K. (2008). *Cogeneration of H<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from Water Hyacinth by Two-Step Anaerobic Fermentation*. International Journal of Hydrogen Energy 35, 3029-3025.
- [2] Gunnarson, C. G. dan Peterson, C. M. (2007). *Water Hyacinth as a Resource and Energy Production: a Literature Review*. Journal of Waste Management 27, 117-129.
- [3] Soltani, N., Bahrami, A., Pech-Ganul, M. I., dan Gonzalez, L. A. (2015). *Review on the Physicochemical Treatments of Rice Husk for Production of Advanced Materials*. Chemical Engineering Journal 264, 899-935.
- [4] Prasojo, Winarko Ari, Abdul Syakur, dan Yuningtyastuti, Analisis Partial Discharge pada Material Polimer Resin Epoksi dengan Menggunakan Elektroda Jarum Bidang, Penelitian, Universitas Diponegoro, Semarang, 2009.
- [5] Perez, J., Dorado, J. M., Rubia, T., dan Martinez, J. (2002). *Biodegradation and Biological Treatments of Cellulose, Hemicellulose, and Lignin: An Overview*. Int. Microbiol 5, 53-63.
- [6] Girisuta, B. (2007). *Levulinic Acid from Lignocellulosic Biomass*. Proefschrift University of Groningen.
- [7] Andy Chandra, S.T., M.M. 2012. *Isolasi Dan Karakterisasi Silika Dari Sekam Padi*. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Katolik.
- [8] Hasyim Asy'ari (2008) "The Effect Of Industrial Pollution to The Mechanical Performance Of Epoxy Resin Insulation Material Using Silicone Rubber and Rice Husk Ash As Filler". Jurnal Penelitian Sains & Teknologi, 9(1): 94-106.
- [9] Manjang, Salama, and Masayuki Nagao. "Characteristics of high voltage polymer insulator under accelerated artificial tropical climate multi stress aging." *Electrical Insulating Materials (ISEIM), Proceedings of 2011 International Conference on*. IEEE, 2011.
- [10] Kitta, Ikhlas. 2015. *Seminar Nasional Teknik Energi dan Ketenagalistrikan SNTEK 2015 Pengaruh Fly Ash Batubara Terhadap Perilaku Hydrophobicity Isolator Polimer*.