

Analisis Keandalan Sistem Pendingin Mesin Induk Kapal KM. Pangrango

Baharuddin^{1*}, Syerly Klara², Miftahuddin³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Indonesia

*Corresponding Author: baharmarine@gmail.com

Abstract

The cooling system is one of the systems that support engine performance. The cooling system components include a sea chest, pipes, valves, strainers, cooler, freshwater pumps, and seawater pumps. The system must be maintained to keep its excellent performance of the system. However, the performance will be decreased over time. System performance analysis, such as KM. Pangrango, must be conducted, since the ships have been operating since 1996. The critical components can be analysed using Risk Priority Number (RPN) method and reliability analysis using the Weibull distribution method with the reliability index as a benchmark. Based on the RPN value, the component with the highest risk can be identified, and in this case, it is the cooler component with an RPN value of 315. Further, based on the Weibull Distribution method, each component's Mean To Time Failure (MTTF) and reliability value are obtained. The pipe component is 104 hours with a reliability value of 0.6; the valve is 255 hours with a reliability value of 0.6; the sea chest is 172 hours with a reliability value of 0.6; the cooler is 40 hours with a reliability value of 0.6, the freshwater pump is 91 hours with a reliability value of 0.6, and a seawater pump of 91 hours with a reliability value of 0.6. The result of the analysis suggests the ship's crew should pay more attention to the maintenance of the components which have a high level of risk, especially coolers as cooling media, to increase the reliability of the component.

Keywords: Water cooling system; Reliability; Weibull distribution; Risk priority number

Article History:

Received 12 Februari 2023
Revised 10 Maret 2023
Accepted 30 Juni 2023
Available online 30 Juni 2023

1. Pendahuluan

Sistem pendingin mesin induk di kapal terdiri dari banyak dan beragam komponen di dalamnya. Sistem pendingin mesin dipasang untuk mendukung bekerjanya mesin-mesin di atas kapal terutama mesin-mesin yang bertugas menyiapkan tenaga pendorong bagi kapal maupun mesin-mesin lain untuk menyiapkan tenaga listrik untuk kebutuhan operasional kapal dan aktifitas lain di atas kapal [1].

Sistem pendingin ini amat vital kedudukan dan fungsinya mengingat sistem ini mendukung operasional mesin utama maupun mesin bantu secara kontinu baik pada saat kapal berlayar maupun pada saat kapal sedang berlabuh di pelabuhan. Fungsi utama sistem pendingin air laut adalah untuk menyiapkan sistem dan media pendinginan yang memadai untuk mendinginkan bagian-bagian tertentu dari mesin seperti; pendinginan pada ruang bakar mesin, pendinginan minyak lumas, serta bagian-bagian lain dari mesin. Fluida pendingin berupa air laut dimasukkan melalui lubang *seachest* untuk selanjutnya disalurkan melalui pipa *manifold* masuk ke penukar kalor. Selama siklus suplai air pendingin berlangsung secara normal maka selama itu temperatur operasi mesin dapat dipertahankan pada setiap kecepatan kapal dalam segala kondisi operasi. Sebaliknya jika sistem suplai air pendingin mengalami kendala akan dapat menimbulkan kerusakan komponen mesin yang mengakibatkan sistem operasi mesin mengalami gangguan bahkan dapat menyebabkan kegagalan operasi [1, 2].

Menurut Maleev [3], fluida pendingin hanya mampu menyerap 15% - 35% dari panas proses pembakaran di dalam silinder, sedangkan 25% - 35% dari hasil panas pembakaran akan merambat ke dalam dinding silinder dan segera harus dibuang. Oleh sebab itu maka peran sistem penyerapan panas melalui sistem pendinginan mesin sangat penting, sebab apabila terjadi kegagalan pada salah satu komponen sistem

pendinginan mesin, maka seluruh kinerja di atas kapal akan mengalami gangguan sehingga menurunkan efisiensi dan *availability* dari kapal tersebut.

Terjadinya *over-heating* atau panas yang berlebih dapat membahayakan mesin penggerak utama, oleh sebab itu dibutuhkan kemampuan perawatan sistem pendingin yang memadai [4]. Salah satu faktor kegagalan operasi sistem pendingin mesin induk kapal adalah tidak dilakukannya sistem perawatan selama pengoperasian mesin. Mengingat pentingnya sistem pendingin mesin induk di atas kapal maka perlu dilakukan perawatan terjadwal secara berkala agar sistem ini dapat bekerja normal [5].

Oleh karena itu maka dalam penelitian ini dilakukan analisis keandalan sistem pendingin mesin induk KM. Pangrango. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk menguraikan faktor penyebab kegagalan komponen sistem pendingin mesin dan menemukan akar permasalahannya. Sedangkan Distribusi *Weibull* digunakan untuk menghitung nilai parameter skala dan bentuk kegagalan dari komponen sistem pendingin mesin induk itu sendiri. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) komponen-komponen sistem pendingin mesin induk, menentukan waktu perawatan yang tepat berdasarkan indeks *reliability* [6] sebagai tolak ukurnya, serta menentukan komponen kritis dari sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango.

2. Data Kapal dan Metode Penelitian

Objek penelitian adalah pada KM. Pangrango (Tabel 1), dimana pengambilan data dilakukan di PT. IKI (Persero) Makassar, Sulawesi Selatan selama kapal ini menjalani pekerjaan perawatan dan reparasi kapal. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa metode diantaranya adalah analisis kualitatif menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA) dan *Failure Mean Effect* (FME) dan analisis kuantitatif untuk menentukan nilai *Mean Time to Failure* (MTTF) dengan menggunakan software *Isograph Workbench*.

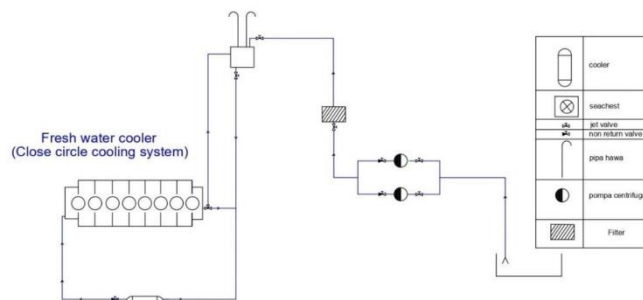
Tabel 1. Data ukuran utama KM Pangrango

Data Ukuran Utama KM Pangrango	Dimensi
Panjang - LOA (m)	78
Kapasitas Muat - GT (ton)	400
Lebar - B (m)	5.9
Sarat - T (m)	3.3
Kecepatan -V (knot)	8.3

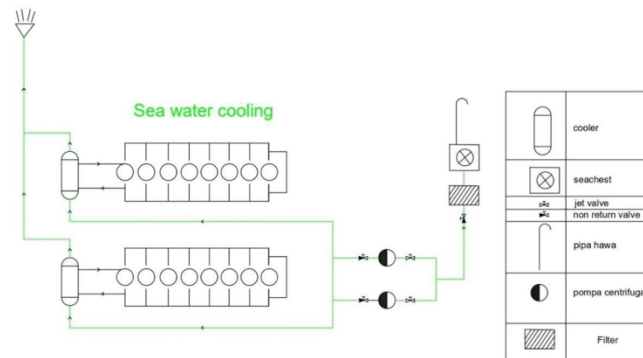
Data komponen sistem pendingin dan tahun perawatannya dapat dilihat pada Tabel 2 sedangkan diagram pipa sistem pendingin air tawar (*freshwater cooling system*) dan diagram pipa sistem pendingin air laut (*seawater cooling system*) dapat dilihat masing masing pada Gambar 1 dan 2.

Tabel 2. Komponen sistem pendingin mesin induk

No.	Komponen Utama	Tahun Data Perawatan
1.	Seachest	2019, 2020 dan 2021
2.	Pipe	2019, 2020 dan 2021
3.	Valve	2019, 2020 dan 2021
4.	FW pump	2019, 2020 dan 2021
5.	SW pump	2019, 2020 dan 2021
6.	Cooler	2019, 2020 dan 2021
7.	Thermostat	2019, 2020 dan 2021
8.	FW. Pump Standby	2019, 2020 dan 2021
9.	SW. Pump Standby	2019, 2020 dan 2021
10.	Filter Strainer	2019, 2020 dan 2021



Gambar 1. Diagram Pipa *Freshwater Cooling System* KM. Pangrango



Gambar 2. Diagram Pipa Seawater Cooling System KM. Pangrango

Sistem pendingin mesin penggerak utama kapal KM. Pangrango adalah sistem pendinginan tertutup, dimana media pendingin air tawar yang disuplai masuk ke mesin melalui kisi-kisi mesin. Setelah menyerap panas mesin, air tawar tersebut kemudian dialirkan ke alat penukar kalor. Selanjutnya kalor yang terserap oleh air tawar tadi didinginkan kembali oleh air laut juga melalui alat penukar kalor. Siklus air laut untuk mendinginkan air tawar terjadi secara terbuka dimana setelah menyerap panas air laut selanjutnya dibuang kembali ke laut.

3. Hasil dan Pembahasan

Analisa *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) (Tabel 3) pada komponen sistem pendingin KM. Pangrango dilakukan untuk menemukan penyebab suatu komponen mengalami kegagalan, bentuk-bentuk kegagalan, serta dampak yang ditimbulkannya [7]. Penentuan nilai *Risk Priority Number* (RPN) komponen dilakukan melalui analisa data kegagalan dan perawatan komponen selama masa pemakaian.

Table 3. Analisa Kualitatif dengan menggunakan FMEA

Komponen	Penyebab Kerusakan	Komponen	Akibat Kerusakan Lanjutan	Akhir	Deteksi
Pipa	Korosi dan penyumbatan	Kebocoran	Kehilanganlaju aliran	Deformasi	Visual dan PMS
Valve	Korosi dan penyumbatan	Katup tidak berfungsi dengan normal	Lengket di bagian ulir valve	Pompa kehilangan pressure	Visual dan PMS
Seachest	Korosi dan penyumbatan akibatbiota laut	Kerusakanpada filter	Pipa tersumbat	Suplai air laut berkurang	PMS
Cooler	Korosi, pengapuran, sedimen air/lumpur	Kisi-kisi tersumbat	Proses pendinginan tidak optimal	Overheatengine	Visual dan PMS
Fresh water pump	Kerusakan pada seal bearing, gland packing	Kebocoran	Temperature mesin meningkat	Mesin tidak bekerja secara norml	Visual dan PMS
Sea Water Pump	Kerusakan pada seal, bearing, glanpacking	Kebocoran pada gasket	Keausan pada shaft pompa	Malfungsi	Visual dan PMS

PMS = *Plan Maitenance System*

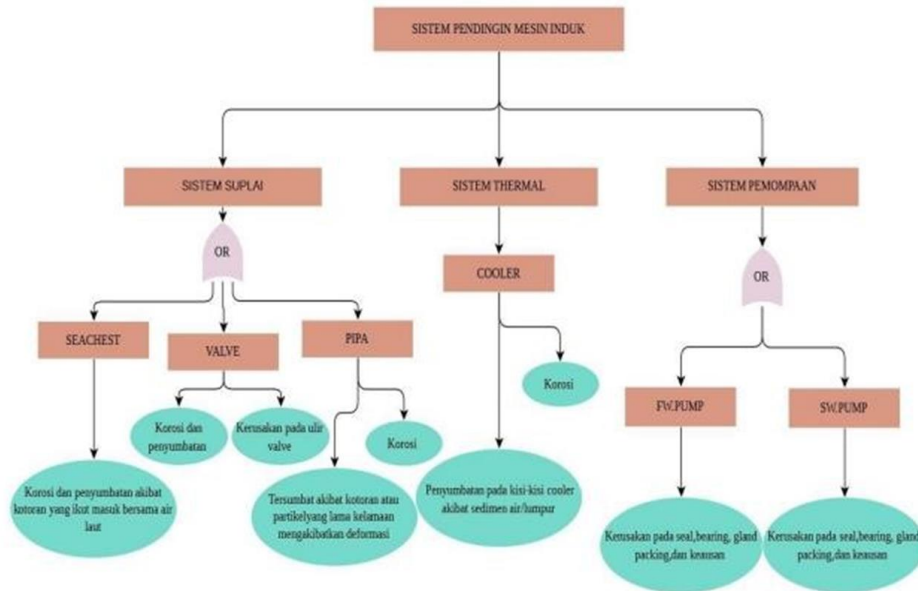
Analisis hubungan antara faktor penyebab kegagalan ditampilkan dalam bentuk bagan pohon kegagalan yang melibatkan gerbang logika sederhana yaitu gerbang AND dan gerbang OR. Penggunaan gerbang AND apabila kejadian kegagalan disebabkan oleh faktor yang terjadi secara bersamaan, dan gerbang OR di gunakan apabila kejadian disebabkan oleh salah satu faktor yang paling dominan terjadi [8, 9]. Bagan FTA sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.

3.1 Analisa Kuantitatif dengan Distribusi Weibull

Dalam distribusi *Weibull* terdapat tiga parameter yaitu parameter bentuk (η), parameter skala (β), dan parameter lokasi (γ) dimana parameter-parameter tersebut didapatkan dengan menggunakan aplikasi *isograph work bench 4.0*. Berdasarkan tabel di atas didapatkan parameter skala dan bentuk dari setiap komponen (Tabel 4).

3.2 Nilai MTTF (Mean Time to Failure) dan Reliability Komponen

Berdasarkan parameter distribusi *Weibull* yang diperoleh pada setiap komponen sistem pendingin, selanjutnya dapat dilakukan analisis nilai MTTF dan nilai *reliability* masing-masing komponen sebagaimana yang terdapat pada Tabel 5 dibawah ini.



Gambar 3. Bagan FTA Sistem Pendingin Mesin Utama KM. Pangrango

Tabel 4. Parameter Distribusi Isograph Workbench 4.0

Komponen	Skala (β)	Bentuk (η)
Cooler	64.8	1.413
Freshwater pump	161.3	1.184
Seawater pump	161.3	1.184
Seachest	359.5	0.913
Pipe	292	0.649
Valve	392.6	1.567
Filter Strainer	-	-
Thermostat	-	-
Freshwater pump standby	-	-
Seawater pump standby	-	-

Tabel 5. Perhitungan Reliability berdasarkan Nilai MTTF

Komponen	$R(1+(1/\beta))$	Skala	MTTF	Realibility
Seachest	104.145	359.5	374.401	0.354
Valve	0.897	392.6	352.256	0.430
Pipe	136.779	292	399.394	0.293
Cooler	0.908	64.8	58.879	0.417
Freswater pump	0.942	161.3	152.043	0.393
Seawater pump	0.942	161.3	152.043	0.393
Filter strainer	-	-	-	-
Thermostat	-	-	-	-
Freshwater pump standby	-	-	-	-
Seawater pump standby	-	-	-	-

Sebagian diantara komponen sistem pendingin tidak memiliki nilai seperti *filter strainer*, *thermostat*, *Freshwater Pump Standby* dan *Seawater Pump Standby* disebabkan karena tidak tersedia data *maintenance* pada logbook kapal KM. Pangrango.

Tabel 5. Keandalan Komponen Sistem Pendingin Mesin Induk

Komponen	TTF (Jam)	MTTR (Jam)	Availability	Failure Rate
Cooler	40	10	0.801	0.0179
Pipe	104	12	0.896	0.0031
Valve	255	9	0.966	0.0031
Seachest	172	25	0.873	0.0066
Freswater pump	91	10	0.901	0.0066
Seawater pump	91	10	0.901	0.0066

Nilai keandalan yang diperoleh berbeda-beda pada setiap komponen disebabkan oleh adanya perbedaan periode waktu perbaikan (MTTR) setiap komponen (Tabel 5). Dengan demikian, setiap komponen sistem pendingin memiliki tingkat keandalan yang berbeda-beda disebabkan perbedaan jumlah jam operasional terhadap waktu kegagalan yang juga berbeda-beda. Selanjutnya nilai MTTF dan nilai keandalan komponen berturut-turut diperoleh sebagai berikut; pipa yaitu 104 jam dengan nilai keandalan 0,6, *valve* yaitu 255 jam

dengan nilai keandalan 0,6, *seachest* yaitu 172 jam dengan nilai keandalan 0,6, *cooler* yaitu 40 jam dengan nilai keandalan 0,6, *freshwater pump* yaitu 91 jam dengan nilai keandalan 0,6, dan *seawater pump* yaitu 91 jam dengan nilai keandalan 0,6.

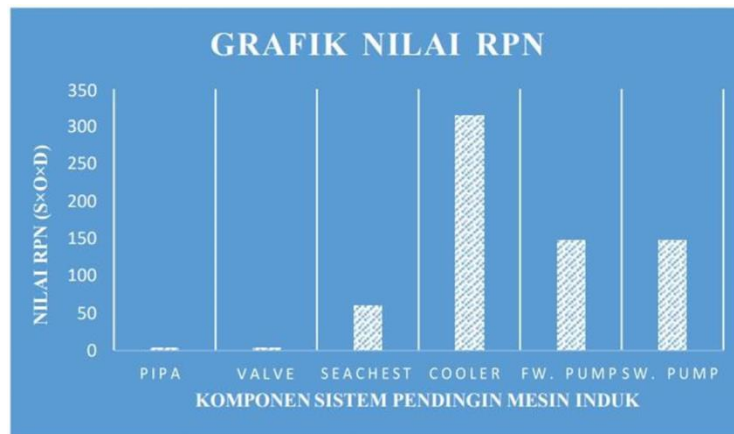
3.3 Penentuan Risk Priority Number (RPN)

Risk Priority Number adalah ukuran yang digunakan untuk menilai risiko dengan mengidentifikasi nilai “critical failure mode”. RPN merupakan ukuran kuantitatif yang ditentukan oleh 3 (tiga) kriteria kegagalan yakni; *Severity* (S), *Occurrence* (O) dan *Detection* (D). Nilai RPN yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6 dibawah ini.

Tabel 6. Perhitungan Nilai RPN Komponen

Komponen	S	O	D	S x O x D	Keterangan	Tindakan
<i>Pipe</i>	3	1	1	3	Resiko rendah	Memerlukan pengawasan
<i>Valve</i>	3	1	1	3	Resiko rendah	Memerlukan pengawasan
<i>Seachest</i>	4	3	5	60	Resiko sedang	Memerlukan pengawasan dan perawatan
<i>Cooler</i>	9	7	5	315	Resiko sangat tinggi	Memerlukan pengawasan, perawatan, perbaikan dan pergantian
<i>Freshwater pump</i>	7	7	3	147	Resiko sangat tiinggi	Memerlukan pengawasan, perawatan, perbaikan dan pergantian
<i>Seawater Pump</i>	7	7	3	147	Resiko sangat tiinggi	Memerlukan pengawasan, perawatan, perbaikan dan pergantian

Komponen *cooler* memiliki nilai S x O x D yang paling tinggi yaitu 315 poin, yang berarti bahwa komponen cooler merupakan komponen paling kritis sehingga memerlukan langkah-langkah pengawasan, perawatan, perbaikan dan pergantian secara berkala. Gambar 4 dibawah ini menunjukkan grafik nilai RPN masing-masing komponen sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango.



Gambar 4. Grafik Nilai RPN Komponen Sistem Pendingin Mesin Utama KM. Pangrango

3.4 Rekomendasi Perawatan dan Perbaikan Komponen

Sistem pendingin mesin induk kapal terdiri dari komponen dan bagian yang memerlukan tindakan perawatan dan perbaikan yang berbeda-beda. Rekomendasi untuk kegiatan perawatan dan perbaikan komponen berdasarkan hasil analisis yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Rekomendasi perawatan dan perbaikan komponen

Komponen	Rekomendasi perawatan dan perbaikan
<i>Pipe</i>	Perawatan dan perbaikan dilakukan jika pipa mengalami kegagalan berupa tersumbat dan bocor akibat korosi, biasanya pipa bisa dilapisi cat anti karat dan dilakukan pengelasan
<i>Valve</i>	Katup/valve dilakukan pemeriksaan setiap beberapa jam sekali oleh ABK kapal yang bertugas setiap kapal beroperasi. Kegagalan katup dapat berupa lengket dan korosi. Perawatan dan perbaikan katup dilakukan dengan pemberian pelumas pada bagian ulir katup dan juga pelapisan komponen dengan cat anti karat
<i>Seachest</i>	Pengecekan kondisi seachest dilakukan setiap kapal tidak beroperasi. Kegagalan Seachest dapat berupa tersumbat oleh kotoran yang masuk bersama dengan air laut dan berkarat. Perawatan dan perbaikan dilakukan dengan membersihkan bagian saringan pada seachest dan pengecatan anti karat
<i>Cooler</i>	Pengecekan kondisi cooler dilaksanakan setiap beberapa jam sekali setiap mesin induk dioperasikan.
<i>Pump</i>	Pada pengecekan kondisi pompa biasa ditemukan kegagalan berupa kerusakan pada bagian bearing, seal, dan kebocoran pada bagian Gland Packing pompa berupa kebocoran air, dan juga keausan komponen akibat kavitasi
<i>Thermostat</i>	Perbaikan pada thermostat dilakukan dengan pergantian langsung komponen setiap mengalami kegagalan
<i>Filter/Strainer</i>	Perbaikan pada filter biasa dengan mengganti bagian filter yang rusak atau penggantian dengan filter yang baru

4. Kesimpulan

Berdasarkan nilai *mean time to failure* (MTTF) setiap komponen pada sistem pendingin mesin induk KM. Pangrango diperoleh informasi bahwa jadwal perawatan untuk komponen *pipe* yaitu 399 jam, *valve* yaitu 352 jam, *seachest* yaitu 374 jam, *cooler* yaitu 58 jam, *freshwater pump* yaitu 152 jam, dan *seawater pump* yaitu 152 jam. Nilai RPN menunjukkan hasil bahwa komponen paling kritis dari sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango adalah *cooler* dengan nilai RPN terbesar yakni 315 poin.

Untuk mempertahankan keandalan sistem pendingin mesin induk kapal KM. Pangrango maka perlu dilakukan tindakan perawatan sistem seperti yang direkomendasikan sebelum mencapai batas waktu pengoperasian masing-masing komponen.

Daftar Pustaka

- [1] Billinton, R., and Allan, R.N., Failure Modes and Effect Analysis, Saskatoon, Saskatchewan, Canada, 1992.
- [2] Febrian, S., Manulang, S.L., Oloan, A.C.P., Analisa Kegagalan Sistem Pendingin Kapal X Double Engine, 2017, Prosiding Seminar Hasil Penelitian Semester Ganjil 2016/2017, Vol. 5, No. 1.
- [3] Rausan, M., Barros, A., Hoyland, A., System Reliability Theory: Models and Statistical Methods, and Applications, 3rd Edition, John Willey & Son Willey, 2021.
- [4] Sroyer, D.W., Abrori, M.Z.L., Sidhi, S.D.P., Perawatan Fresh Water Cooler Pada sistem Pendingin Mesin Diesel Penggerak Generator litrik Kapal Navigasi Milik Distrik Navigasi Kelas I Ambon, 2019, Aurelia Journal, Vol. 1, No. 1, pp. 1-11.
- [5] Hidayat, A.N., Analisa Indeks Keandalan Sistem Penunjang Mesin Utama Pada Kapal, Skripsi, Universitas Hasanuddin, Makassar, 2022.
- [6] Kececioglu, D.B., Reliability Engineering Handbook Volume I. Amerika, Department of Aerospace and Mechanical Engineering, The University of Arizona, 2002.
- [7] Stamatis, D.H., Failure Mode and Effect Analysis - FMEA from Theory to Execution, 2nd Edition, American Society for Quality, 1995.
- [8] Mustika, A.F., Hasyim, M.H., Unas, S.E., Analisa Keterlambatan Proyek Menggunakan Fault Tree Analysis (FTA) (Studi Kasus Pada Proyek Pembangunan Gedung Program Studi Teknik Industri Tahap II Universitas Brawijaya Malang), Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya, Malang, 2014.
- [9] Priyanta, D., Keandalan dan Perawatan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2000.