

P.ISSN : 2502-2040

E.ISSN : 2581-0138

MACHINE

JURNAL TEKNIK MESIN

Vol. 7 No. 2 Oktober 2021

Jurnal
Teknik Mesin

Vol. 7

No. 2

Hal

Okt 2021

P.ISSN : 2502-2040
E.ISSN : 2581-0138

TERKREDITASI BERDASARKAN KEPUTUSAN DIREKTUR JENDERAL PENGUATAN RISET DAN PENGEMBANGAN KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI REPUBLIK INDONESIA NO. NOMOR 21/E/KPT/2018 TENTANG PERINGKAT AKREDITASI JURNAL ILMIAH PERIODE I TAHUN 2018



Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Bangka Belitung

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Redaktur:
Saparin, S.T., M.Si.

Editor:
Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T. Budi
Santoso Wibowo, S.Pd., M. Eng.

Mitra Bestari:
Dr. Dani Harmanto (University of Derby),
Scopus ID : 55159740800
Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T. (Untirta)
Scopus ID : 57193687510
Sinta ID : 260315
Dr. Ir. Erwin Siahaan, M.Si. (Untar)
Scopus ID : 57199235178
Sinta ID : 5990421
R. Priyoko Prayitnoadi, S.ST., M. Eng., P.hD
(UBB)
Scopus ID : 57212390653
Sinta ID : 6709068
Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D (Untirta)
Scopus ID : 55803690600
Sinta ID : 260203
Dr. Yanuar Burhanuddin, M.T. (Unila)
Scopus ID : 23391898600
Sinta ID :
Suhdi, S.S.T., M.T. (UBB)
Scopus ID : 57223368148
Sinta ID : 5984872
Orchid ID : 0000-0003-0842-1689

Sekretariat:
Said Apreza, S.ST.

Laman Jurnal:
<http://journal.ubb.ac.id/index.php/machine>

Alamat Redaksi:

Gedung Babel IV
Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik Kampus
Terpadu Universitas Bangka Belitung Balunijuk,
Kabupaten Bangka Prov. Bangka Belitung
Laman : mesin.ubb.ac.id
Email : teknikmesinunivbabel@gmail.com

PENGANTAR REDAKSI

Machine; Jurnal Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung diterbitkan sebagai media untuk menampung tulisan-tulisan hasil dari penelitian dosen maupun mahasiswa di bidang Teknik Mesin.

Melalui jurnal ini, tim redaksi mengundang para peneliti di bidang teknik mesin untuk berpartisipasi secara aktif untuk mempublikasikan hasil penelitiannya.

Tak lupa kami mengucapkan terima kasih kepada penulis yang telah ikut berpartisipasi mengirimkan artikel ilmiahnya dalam edisi ini.

Diharapkan tulisan-tulisan di jurnal ini dapat menjadi referensi bagi peneliti-peneliti di masa yang akan datang.

Tim Redaksi
Machine; Jurnal Teknik Mesin

DAFTAR ISI

PERBANDINGAN KINERJA TEORITIS AIR BLAST FREEZER MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROFLUOROKARBON DAN HIDROKARBON	1
Yohanes Viva Servianus, Matheus M. Dwinanto, Muhamad Jafri	1
PENGARUH RASIO GEOMETRI ALUR PASAK POROS TERHADAP KEGAGALAN <i>FATIGUE</i>	8
Bachry Fahmiansyah, Sunardi, Erny Listijorini	8
IDENTIFIKASI KERUSAKKAN MESIN BERDASARKAN SINYAL GETARAN DALAM DOMAIN FREKWENSI, STUDI KASUS DI PT. FREEPORT INDONESIA	15
Ramses Yohannes Hutahaeen	15
PENERAPAN SISTEM PERAWATAN METODE ISMO PADA TURBIN TIPE <i>VERTICAL FRANCIS</i> KAPASITAS 35 MW	22
Arif Rochman Fachrudin ¹ , Fina Andika Frida Astuti ²	22
PENGARUH PARAMETER PADA PROSES 3D PRINTING MENGGUNAKAN FILAMENT EAL-FILL TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN KEKERASAN DENGAN PENDEKATAN METODE TAGUCHI	30
Ahmad Zamheri ¹ , Fatahul Arifin ¹ , Icvan Apriansyah ¹	30
ANALISA PERAWATAN POMPA SENTRIFUGAL <i>INTAKE B</i> DENGAN MENGGUNAKAN METODE RCM DI PERUMDA AIR MINUM TIRTA TERUBUK KAB. BENGKALIS	35
Asril ¹ , dan Bambang Dwi Haripriadi ²	35
KINERJA PUTARAN ROTOR TURBIN AIR SCREW ARCHIMEDES DENGAN VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TURBIN	42
Yudi Setiawan ¹ , Eka Sari Wijianti ^{2*} , Saparin ³ , Budi Santoso Wibowo ⁴ , Priyoko Prayitnoadi ⁵	42

PERBANDINGAN KINERJA TEORITIS AIR BLAST FREEZER MENGGUNAKAN REFRIGERAN HIDROFLUOROKARBON DAN HIDROKARBON

Yohanes Viva Servianus, Matheus M. Dwinanto, Muhamad Jafri

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui, Kupang, Nusa Tenggara Timur

yoh.servianus@gmail.com

Abstrak

Air blast freezer telah digunakan sebagai cara pembekuan cepat di unit pengolahan ikan sebelum dibekukan untuk waktu yang lama di dalam *cold storage*. Untuk itu penggunaan refrigeran hidrokarbon yang lebih ramah lingkungan telah menjadi tuntutan dan isu sentral pada masa yang akan datang. Makalah ini menyajikan studi kinerja teoritis penggunaan R290 dan R600a sebagai pengganti R404A dan R507A. Kinerja teoritis sistem didasarkan pada variasi temperatur evaporasi menggunakan perangkat lunak CoolPack dengan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Besaran-besaran penting yang dianalisis adalah laju aliran massa, rasio tekanan, temperatur keluar kompresor, pelepasan kalor, konsumsi daya, koefisien kinerja, efisiensi refrigerasi, dan konsumsi energi. Hasilnya menunjukkan bahwa pada temperatur evaporator minimum, kinerja sistem yang menggunakan R290 dan R600a rata-rata lebih tinggi $\pm 14\%$ dibandingkan dengan R404A dan R507A. R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat pada R404A dan R507A sehingga lebih sesuai menggantikan kedua refrigeran tersebut dibandingkan dengan R600a. Namun, ini adalah analisis teoritis sistem yang dapat mengarah pada kinerja yang lebih tinggi daripada kondisi normal.

Kata kunci: *air blast freezer*, kinerja, refrigerasi, hidrofluorokarbon, hidrokarbon

Abstract

The air blast freezer has been used as a freezing method in fish processing units before being frozen for a long time in cold storage. For this reason, the use of hydrocarbon refrigerants that are more environmental friendly has become a demand and a central issue in the future. This paper presents a theoretical performance study of the use of R290 and R600a as a drop-in replacement to R404A and R507A. The theoretical performance of the system is based on the evaporation temperature variation using CoolPack software with the condensation temperature maintained constant. The important quantities analyzed are mass flow rate, pressure ratio, temperature discharge, heat rejected, power consumption, coefficient of performance, refrigeration efficiency, and energy consumption. The results show that at minimum evaporation temperature, system performance using R290 and R600a is on average $\pm 14\%$ higher compared to R404A and R507A. R290 has characteristics that are closer to R404A and R507A so it is more suitable to replace the two refrigerants compared to R600a. However, this is a theoretical analysis of the system which can lead to higher performance than normal conditions.

Keywords: *air blast freezer*, performance, refrigeration, hydrofluorocarbon, hydrocarbon

PENDAHULUAN

Unit Pengolahan Ikan (UPI) DKP Kupang merupakan tempat aktifitas pengolahan ikan yang dilengkapi dengan refrigerator untuk menghasilkan produk pengolahan ikan beku maupun segar, sehingga harus dilengkapi dengan fasilitas pengolahan, pembekuan, dan penyimpanan beku

(*cold storage*) bertemperatur ruang -25°C . Ikan yang akan disimpan dalam *cold storage* untuk jangka waktu lama, terlebih dahulu harus dibekukan dalam ruang pembekuan cepat agar temperatur pusat ikan mencapai -18°C dalam waktu yang tidak terlalu lama. Metode pembekuan cepat yang umum digunakan adalah *Air Blast Freezer* (ABF). Dalam ABF produk ikan dibekukan dengan pendinginan cepat selama rentan waktu 8 jam/shift [1].

ABF menggunakan refrigerasi kompresi uap untuk mencapai proses pembekuan dengan fluida kerja adalah R404A atau R507A yang merupakan refrigeran dari golongan hidrofluorokarbon. Refrigeran ini tidak mengandung *chlorine* sehingga tidak merusak lapisan ozon tetapi masih memiliki potensi pemanasan global yang tinggi. Oleh karena itu, pada masa yang akan datang perlu digunakan refrigeran yang memiliki GWP jauh lebih rendah, yaitu dari golongan hidrokarbon seperti R290 dan R600a. Saat ini, kedua jenis refrigeran tersebut mulai digunakan di sistem refrigerasi rumah tangga, dan pengkondisian udara. Tabel 1 menyajikan sifat-sifat dan efek terhadap lingkungan dari R404A, R290, dan R600a [2], [3].



Gambar 1 Air blast freezer tipe batch

Tabel 1 Efek refrigeran terhadap lingkungan[2][3]

Refrigeran	ODP	GWP	Tingkat Keamanan (ASHRAE)
R404A	0	3922	A1
R507A	0	3985	A1
R290	0	3	A3
R600a	0	3	A3

Kinerja termodinamika ABF sangat dipengaruhi oleh refrigeran yang digunakan sebagai fluida kerja karena terdapat beda temperatur yang terbatas antara sistem dan lingkungannya, di mana ini merupakan sumber utama ireversibilitas sistem refrigerasi. Penurunan temperatur evaporasi akan mengakibatkan penurunan kinerja dan efisiensi sistem, begitupun sebaliknya [4], [5]. Hal ini mendorong beberapa peneliti melakukan studi teoritis dan eksperimen penggunaan refrigeran hidrokarbon terhadap kinerja sistem refrigerasi, diantaranya membandingkan kinerja energi dan *exergy* siklus refrigerasi kompresi uap yang menggunakan R404A, R290, dan R744. Hasil studi ini menunjukkan pada berbagai variasi temperatur

evaporasi dan kondensasi, R290 memiliki kinerja yang lebih baik daripada R404A, dan R744 [6].

Penggunaan R290, R600a, dan R1270 sebagai alternatif pengganti R22 di sistem refrigerasi yang menggunakan penukar kalor *subcooling* terhadap kinerja teoritis juga telah dilakukan. Hasil studi ini menunjukkan bahwa sifat termodinamika R290 dan R1270 cocok dengan R22, dan menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada R22. R600a memiliki kinerja sedikit lebih baik dalam hal daya per ton refrigerasi yang lebih rendah, dan COP yang lebih tinggi tetapi tekanan saturasi dan volume spesifiknya menyimpang secara signifikan dari R22 sehingga membutuhkan desain ulang sistem sebelum digunakan sebagai pengganti R22 [7]. Studi eksperimental penggunaan R600a dan R436A (campuran 45% R600a dan 56%R290) sebagai pengganti R134a di refrigerator rumah tangga juga telah dilakukan untuk membandingkan efisiensi energi dari penggunaan ketiga refrigeran tersebut. Hasilnya menunjukkan R600a memiliki efisiensi energi terbesar dibandingkan dengan dua refrigeran lainnya pada berbagai kondisi operasi [8].

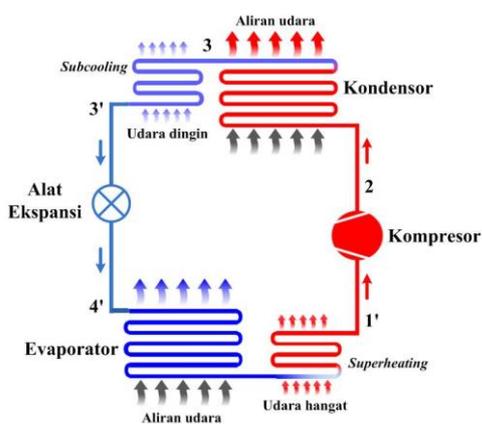
Perangkat lunak CoolPack telah digunakan untuk menganalisis penggunaan tujuh refrigeran diantaranya R404A, R290, dan R600a sebagai alternatif pengganti R22. Hasil simulasi menunjukkan bahwa R290 dan R600a menghasilkan laju aliran massa terkecil sedangkan R404A adalah yang terbesar sehingga konsumsi dayanya paling besar dari semua refrigeran. Secara umum R600a memiliki kinerja tertinggi dibandingkan semua refrigeran yang ditinjau [9]. Efektivitas penukar kalor liquid suction dalam sistem refrigerasi yang menggunakan R22, R404A, dan campuran R290/R600a (50:50) juga telah diteliti secara eksperimen untuk menganalisis pengaruhnya terhadap kinerja cold storage. Hasilnya menunjukkan bahwa dalam keadaan stedi sistem yang menggunakan campuran R290/R600a memiliki kinerja yang lebih baik dari kedua refrigeran lainnya, dan memiliki karakteristik yang sama dengan R404A sehingga dapat digunakan sebagai pengganti R22 dan R404A [10]. Makalah ini membahas analisis termodinamika penggunaan dua refrigeran hidrokarbon yaitu R290 dan R600a sebagai pengganti R404A dan R507A di ABF ketika diaplikasikan di *air blast freezer* pada masa yang akan datang.

METODE PENELITIAN

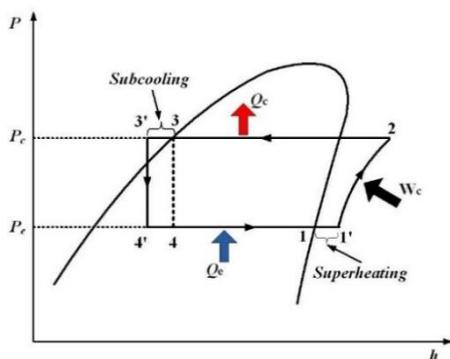
Studi ini menggunakan perangkat lunak CoolPack versi 1.50 yang dapat mensimulasikan dengan baik analisis siklus, perhitungan dimensi sistem, perhitungan kondisi operasi, evaluasi efisiensi sistem dan komponen serta simulasi

transien sistem. CoolPack berisi kumpulan program simulasi yang mudah digunakan dan kuat secara numerik [11].

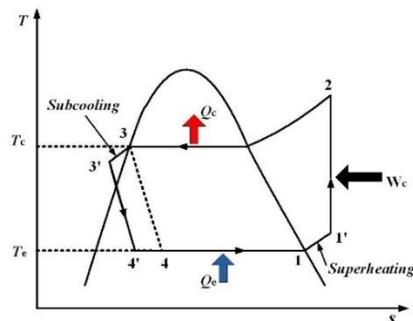
Dalam refrigerator kompresi uap sederhana, uap refrigeran diasumsikan memasuki kompresor sebagai uap jenuh, dan cairan refrigeran sebelum memasuki katup ekspansi diasumsikan sebagai cairan jenuh. Jika dimensi evaporator sedikit diperbesar maka uap jenuh biasanya akan terus menyerap kalor, dan karenanya menjadi uap superheated sebelum mencapai kompresor. Dalam praktiknya, ini dikendalikan oleh katup ekspansi. Jika dimensi kondensor sedikit diperbesar maka cairan jenuh akan terus melepaskan kalor, dan menjadi cairan subcooled sebelum memasuki katup ekspansi (Gambar 2). Superheating dan subcooling diterapkan untuk meningkatkan efisiensi sistem [12].



Gambar 2 Skematik refrigerator kompresi uap dengan subcooling dan superheating



Gambar 3 Diagram P – h



Gambar 4 Diagram T – s

Gambar 3 dan 4 menyajikan perbandingan diagram P-h dan T-s untuk siklus kompresi uap dengan subcooling dan superheating (1'-2-3'-4'-1') dan siklus kompresi uap jenuh (1-2-3-4-1). Kapasitas pendinginan per unit massa lebih besar untuk siklus subcooled dan superheated sehingga laju aliran massa refrigeran per unit kapasitas lebih kecil untuk siklus tersebut daripada siklus jenuh. Disamping itu, peningkatan kapasitas pendinginan secara proporsional lebih besar daripada peningkatan kalor kompresi, sehingga COP siklus subcooled dan superheated lebih tinggi daripada siklus jenuh.

Dari Gambar 3 dan 4 dapat ditentukan laju aliran massa refrigeran dengan menggunakan persamaan:

$$\dot{m} = \frac{Q_e}{h_1' - h_4'} \dots\dots\dots (1)$$

dengan Q_e adalah kapasitas pendinginan. Kalor yang dilepaskan selama proses kondensasi adalah:

$$Q_c = \dot{m}(h_2 - h_3') \dots\dots\dots (2)$$

maka kerja kompresi dapat ditentukan dari:

$$W_c = Q_c - Q_e \dots\dots\dots (3)$$

Kapasitas subcooling dan superheating dapat ditentukan dari persamaan:

$$Q_{SC} = \dot{m}(h_3 - h_3') \dots\dots\dots (4)$$

$$Q_{SH} = \dot{m}(h_1 - h_1') \dots\dots\dots (5)$$

Koefisien kinerja sistem merupakan rasio kapasitas pendinginan terhadap kerja kompresor, yang dihitung menggunakan persamaan:

$$COP = \frac{h_1' - h_4'}{h_2 - h_1'} \dots\dots\dots (6)$$

dan dengan menerapkan hukum kedua termodinamika pada sistem yang dikaji maka efisiensi refrigerasi adalah:

$$\eta_R = \frac{COP}{(COP)_{rev}} = \frac{COP(T_3, -T_1)}{T_1} \dots\dots\dots(7)$$

Konsumsi energi sistem selama satu tahun pengoperasian dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\text{Konsumsi energi/tahun} = WC \times 8760 \dots\dots(8)$$

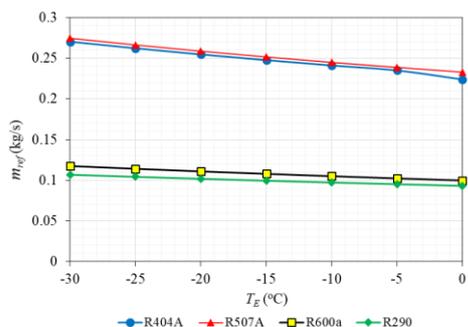
Beberapa parameter dan asumsi dalam studi ini disajikan pada Tabel 2 yang dipilih berdasarkan rentang kerja dari BABF di UPI DKP Kupang.

Tabel 2 Parameter penelitian dan asumsi

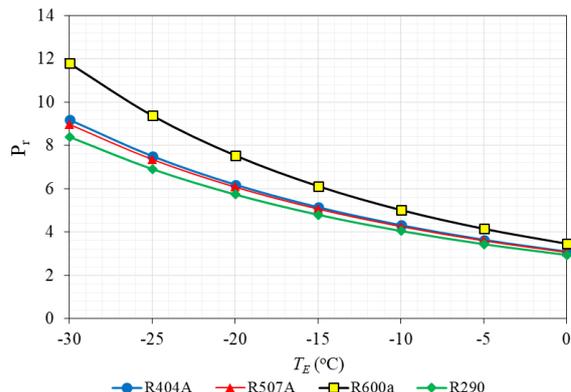
Parameter	Satuan	Nilai
Kapasitas pendinginan	kW	26,79
Temperatur evaporasi	°C	-30 – 0
Temperatur kondensasi	°C	40
Temperatur <i>subcooling</i>	°C	2
Temperatur <i>superheating</i>	°C	8
Efisiensi isentropik	-	0,8
Efisiensi volumetrik	-	0,8
Rugi kalor kompresor	%	10

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menyajikan hubungan antara variasi temperatur evaporasi terhadap laju aliran massa refrigeran untuk kapasitas pendinginan, dan temperatur kondensasi dipertahankan konstan. Terlihat bahwa laju aliran massa refrigeran yang menggunakan R290 dan R600a masing-masingnya lebih rendah ±59,45% dan 56% dibandingkan dengan penggunaan R404A. Hal ini disebabkan oleh densitas R290 dan R600a pada setiap tingkat keadaan jauh lebih rendah. Namun, densitas yang rendah akan mengakibatkan laju aliran volume refrigeran yang lebih tinggi sehingga berdampak pada peningkatan ukuran penukar kalor (kondensor dan evaporator) untuk membatasi penurunan tekanan.



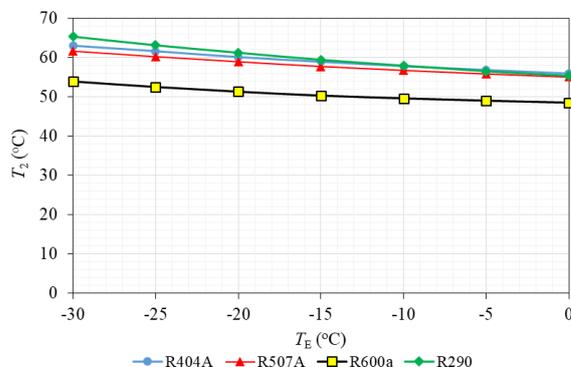
Gambar 5 Temperatur evaporasi vs laju aliran massa refrigeran



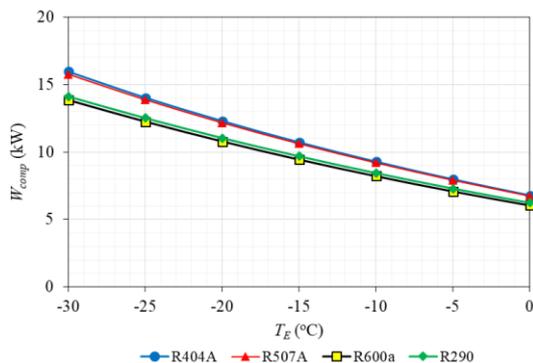
Gambar 6 Temperatur evaporasi vs rasio tekanan kompresor

Selama proses pendinginan berlangsung, penurunan temperatur evaporasi akan mengakibatkan rasio tekanan di kompresor meningkat, begitupun sebaliknya. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 5, dan ini terjadi untuk semua refrigeran yang ditinjau. Rasio tekanan R290 adalah yang paling rendah di mana pada temperatur evaporasi minimum, rasio tekanannya lebih rendah masing-masingnya ±8,6% dan ±6,41% bila dibandingkan dengan penggunaan R404A, dan R507A serta lebih rendah ±28,8% dibandingkan R600a.

Temperatur gas refrigeran keluar kompresor adalah salah satu parameter penting dalam memilih refrigeran alternatif. Temperatur keluar kompresor yang lebih rendah akan meningkatkan umur pakai kompresor karena stabilitas refrigeran dan pelumasan yang lebih baik. Pada Gambar 6 temperatur gas refrigeran keluar kompresor untuk sistem dengan R600a jauh lebih rendah dibandingkan dengan R290, R404A, dan R507A. R290 memiliki temperatur keluar kompresor yang tidak jauh berbeda dengan R404A dan R507A.



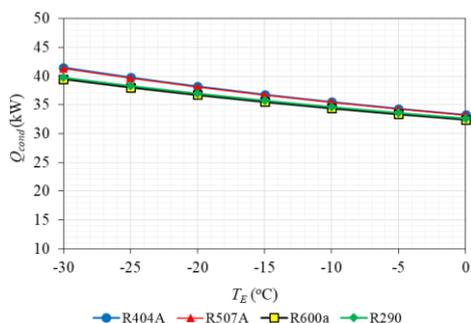
Gambar 7 Temperatur evaporasi vs temperatur gas refrigeran keluar kompresor



Gambar 8 Temperatur evaporasi vs daya kompresor

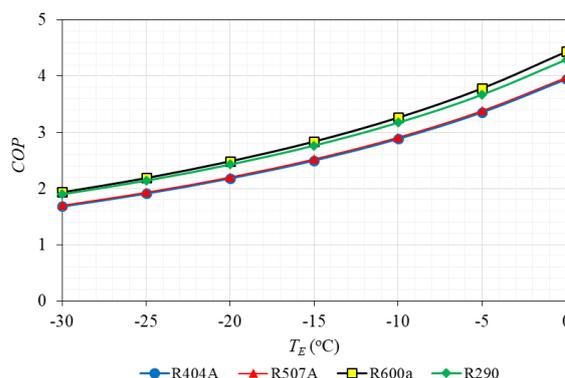
Peningkatan rasio tekanan di kompresor akan berdampak pada kenaikan daya kompresor untuk setiap penurunan temperatur evaporasi, begitupun sebaliknya, dan ini ditunjukkan pada Gambar 7. Pada temperatur evaporasi minimum, daya kompresor sistem yang menggunakan R404A dan R507A relatif sama besar. Namun, penggunaan R290 nilainya rata-rata lebih kecil $\pm 10,97\%$ bila dibandingkan dengan yang menggunakan R404A dan R507A, dan penggunaan R600a lebih kecil $\pm 12,61\%$. Daya kompresor merupakan masukan energi terbesar yang dibutuhkan untuk mensirkulasikan sejumlah tertentu massa refrigeran sehingga proses penyerapan kalor di evaporator dan pelepasan kalor di kondensor dapat berlangsung dalam sistem.

Gambar 8 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi terhadap laju pelepasan kalor di kondensor. Nilai pelepasan kalor diperlukan untuk merancang kondensor, dan menghitung besarnya aliran fluida pendingin kondensor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa meningkatnya temperatur evaporasi maka laju pelepasan kalor di kondensor akan menurun, begitupun sebaliknya. Pada temperatur evaporasi minimum, pelepasan kalor untuk sistem yang menggunakan R600a dan R290 masing-masingnya rata-rata lebih kecil $\pm 4,6\%$ dibandingkan dengan sistem yang menggunakan R404A dan R507A.



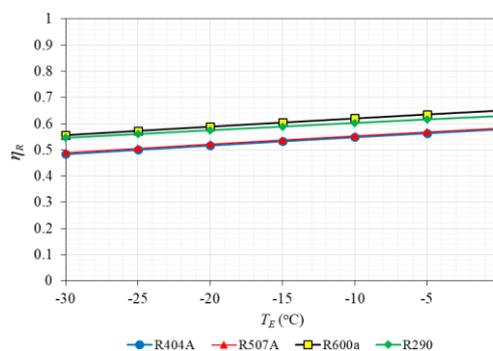
Gambar 9 Temperatur evaporasi vs pelepasan kalor di kondensor

Gambar 9 menyajikan hubungan antara temperatur evaporasi dengan koefisien kinerja (COP). Dalam gambar ini terlihat bahwa dengan menurunnya temperatur evaporasi maka koefisien kinerja sistem juga akan menurun, begitupun sebaliknya. Sistem yang menggunakan R404A, dan R507A pada temperatur evaporasi minimum memiliki COP yang sama besar, dan nilainya lebih kecil dari R290 dan R600a masing-masingnya $\pm 12,31\%$ dan $\pm 14,39\%$. Temperatur evaporasi memiliki pengaruh yang kuat terhadap kinerja sistem refrigerasi.

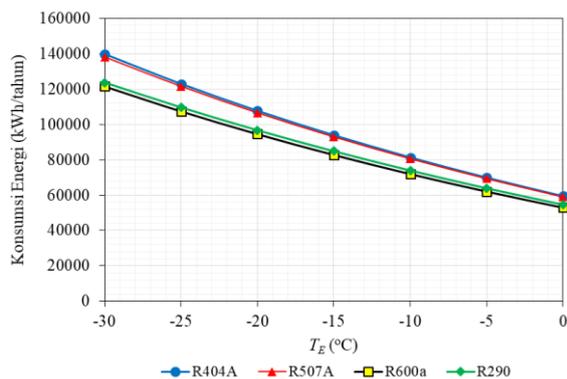


Gambar 10 Temperatur evaporasi vs koefisien kinerja

Sama halnya dengan koefisien kinerja, efisiensi refrigerasi juga akan menurun dengan menurunnya temperatur evaporasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Pada temperatur minimum, efisiensi refrigerasi sistem yang menggunakan R404A dan R507A memiliki nilai yang sama besar, dan nilainya lebih kecil dari R290 dan R600a masing-masingnya $\pm 12,31\%$ dan $\pm 14,39\%$. Temperatur evaporasi memiliki pengaruh yang kuat terhadap efisiensi refrigerasi.



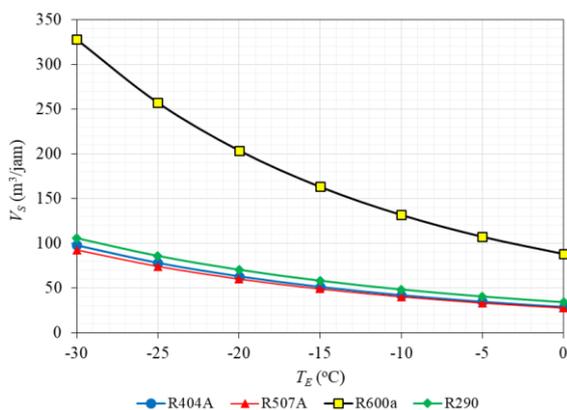
Gambar 11 Temperatur evaporasi vs efisiensi pendinginan



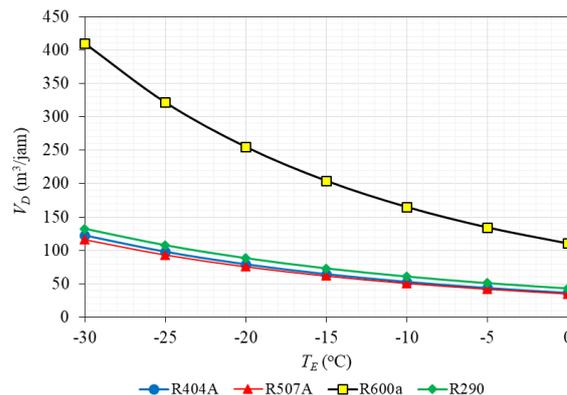
Gambar 12 Temperatur evaporasi vs konsumsi energi

Konsumsi energi sistem selama satu tahun pengoperasian yang menggunakan R404A dan R507A memiliki nilai yang lebih besar daripada yang menggunakan R290 dan R600a. Hal ini ditunjukkan dalam Gambar 11, di mana terlihat bahwa R600a memiliki nilai konsumsi energi yang paling rendah, dan lebih rendah $\pm 1,85\%$ dibandingkan dengan penggunaan R290 pada temperatur evaporasi minimum.

Sebagai tambahan informasi dalam analisis ini disajikan pengaruh temperatur evaporasi terhadap volume hisap dan volume buang refrigeran selama proses refrigerasi. Pada Gambar 12 terlihat bahwa dengan menurunnya temperatur evaporasi maka volume hisap kompresor akan meningkat. Pada temperatur evaporasi minimum, penggunaan R600a memiliki volume hisap yang sangat jauh lebih besar dibandingkan dengan ketiga refrigeran lainnya. Penggunaan R290 memiliki volume hisap lebih besar $\pm 8,12\%$ dibandingkan dengan R404A, dan lebih besar $\pm 14,16\%$ daripada R507A.



Gambar 13 Temperatur evaporasi vs volume hisap kompresor



Gambar 14 Temperatur evaporasi vs volume buang kompresor

Sama seperti volume hisap, untuk volume buang menunjukkan kecenderungan yang sama, yaitu penggunaan R600a memiliki volume buang yang jauh lebih besar dibandingkan dengan ketiga refrigeran lainnya. Penggunaan R290 memiliki volume buang lebih besar $\pm 8,16\%$ daripada R404A, dan lebih besar $\pm 14,22\%$ dibandingkan dengan penggunaan R507A. Karena volume hisap dan buang R290 memiliki nilai yang lebih dekat dengan R404A dan R507A, maka dimensi kompresor ketiga refrigeran tersebut memiliki ukuran yang tidak jauh berbeda.

KESIMPULAN

Secara prinsip studi teoritis ini menunjukkan bahwa penggunaan refrigeran hidrokarbon (R290 dan R600a) akan menghasilkan kinerja sistem yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan refrigeran hidrofluorokarbon (R404A dan R507A).

Pada temperatur evaporator minimum (-30°C) sistem yang menggunakan R290 dan R600a memiliki COP, dan efisiensi refrigerasi rata-rata lebih tinggi $\pm 14\%$ serta konsumsi energi yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan R404A dan R507A.

R290 memiliki karakteristik yang lebih dekat pada R404A dan R507A sehingga lebih sesuai menggantikan kedua refrigeran tersebut dibandingkan dengan R600a. Di samping itu, refrigeran hidrokarbon lebih ramah lingkungan dibandingkan refrigeran hidrofluorokarbon sehingga penggunaannya pada masa yang akan datang lebih dianjurkan, walaupun memiliki sifat lebih mudah terbakar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, Buku Manual *Cold Storage* Kapasitas 100T DKP Kupang, Kementerian Kelautan dan Perikanan, Republik Indonesia, 2017, pp. 11-12, 27.
- [2] El-Sayed A. R., El-Morsi M., and Mahmoud N A., A Review of the Potential Replacements of HCFC/HFCs Using Environmental Friendly Refrigerants, *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration*, Vol. 26, No. 3, 2018, pp. 1-24.
- [3] Bhatkar V. W., Kriplani V. M., and Awari, G. K., Alternative Refrigerants in Vapour Compression Refrigeration Cycle for Sustainable Environment: A Review of Recent Research, *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 10, 2013, pp. 871–880.
- [4] Dwinanto M. M., Koehuan V. A., and Monteiro J. M., Analysis of Dual Evaporator Refrigeration System via Exergetic Performance Coefficient Criterion, *Prosiding SEMNASTEK*, 2015, hal. 1-17.
- [5] Dwinanto M. M., Suhanan, and Prajitno, Exergy Analysis of a Dual-Evaporator Refrigeration Systems, *AIP Conference Proceedings*, 1788, 2017, pp. 030011:1–8.
- [6] Shiliday, J. A., Tassou, S. A., and Shiliday, N., 2009, Comparative Energy and Exergy Analysis of R744, R404A and R290 Refrigeration Cycles, *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 2009, 00: 1–8.
- [7] Bukola O. B., and Zhongjie H., Comparative Analysis of the Performance of Hydrocarbon Refrigerants with R22 in A Sub-Cooling Heat Exchanger Refrigeration System, *Journal of Power and Energy*, Vol. 226, No. 7, 2012, pp. 882–891.
- [8] Rasti M., Aghamiri S. F., and Hatamipour M. S., Energy efficiency enhancement of a domestic refrigerator using R436A and R600a as alternative refrigerants to R134a, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 74, 2013, pp. 86–94.
- [9] Venkataiah S., and Rao G. V., Analysis of Alternative Refrigerants to R22 for Air-Conditioning Applications at Various Evaporating Temperatures, *International Journal of Engineering Research and Applications*, Vol. 4, No. 3, 2014, pp. 39–46.
- [10] Prayudi, Nurhasanah R., and Diantari R. A., 2017, “The Effect the Effectiveness of the Liquid Suction Heat Exchanger to Performance of Cold Storage with Refrigerant R22, R404A and R290/R600a”, *AIP Conference Proceedings*, 1788, 2017, pp. 030067:1–8.
- [11] Jakobsen A, Rasmussen B. D., Skovrup M. J., and Andersen, S. E., *CoolPack—A Collection of Simulation Tools for Refrigeration*, Department of Energy Engineering, Technical University of Denmark (DTU), Denmark, 2001.
- [12] Sencan A., Selbas R., Kizilkan O., and Kalogiru S. A., Thermodynamic analysis of subcooling and superheating effects of alternative refrigerants for vapour compression refrigeration cycles”, *International Journal of Energy Research*, Vol. 30, 2006, pp. 323–347.

PENGARUH RASIO GEOMETRI ALUR PASAK POROS TERHADAP KEGAGALAN *FATIGUE*

Bachry Fahmiansyah, Sunardi, Erny Listijorini

Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jenderal Sudirman Km 3, Kotabumi, Kec. Purwakarta, Kota Cilegon, Banten, Indonesia

bachryfahmi19@gmail.com

Abstrak

Fatigue merupakan salah satu penyebab kerusakan dari suatu poros. Kerusakan *fatigue* tidak dapat diprediksi, bisa terjadi secara tiba-tiba. Oleh karena itu perlu diteliti lebih lanjut tentang penyebab kegagalan *fatigue*. Pada penelitian sebelumnya sudah banyak yang melakukan *improvement* pada material yang biasa digunakan sebagai poros untuk meningkatkan kekuatan *fatigue*, tetapi masih sedikit penelitian yang membahas pengaruh kondisi permukaan pada poros terhadap kekuatan *fatigue*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh rasio geometri alur pasak poros terhadap kegagalan *fatigue* dengan melihat pada rasio kedalaman berapa material akan cepat patah. Metode yang digunakan adalah metode simulasi dengan *software* SolidWorks. Simulasi *fatigue* yang digunakan yaitu tipe *rotary bending* dengan standar pengujian ASTM E466. Varian rasio alur pasak yaitu 3:1 mm, 3:2 mm, dan 3:3 mm dengan masing-masing diberi beban 40%, 50%, 60%, 70%, dan 80% dari *ultimate tensile strength* material. Hasil yang didapat pada beban 40% untuk varian 1,2,3 mencapai lebih dari 1.000.000 siklus sampai patah. Pembebanan 50% sama seperti pembebanan 40%. Pembebanan 60% varian 1 masih mencapai 1.000.000 siklus, sedangkan varian 2 mendapat 402.699 siklus, varian 3 mendapatkan 317.727 siklus sampai material patah. Pembebanan 70% varian 1 mendapatkan 641211, varian 2 mendapatkan 201.348 siklus, varian 3 mendapatkan 166.116 siklus sampai material patah. Pembebanan 80% varian 1 mendapatkan 311.218 siklus, varian 2 mendapatkan 123.921 siklus, varian 3 mendapatkan 102.371 siklus sampai material patah. Dengan posisi patah yang sama pada setiap fillet alur pasak.

Kata kunci : *Fatigue*, Poros, Pasak, Simulasi, SolidWorks.

Abstract

Fatigue is one of the causes of damage for a shaft. Fatigue cannot be predicted, it can happen suddenly. Therefore need further improvement about fatigue causes. In previous studies, many researchers have made improvements for material commonly used as a shaft to increase the strength of fatigue, but there's still a little bit of research that discusses the surface design of the shaft. The purpose of this research is to study the effect of the ratio of the keyway geometry against fatigue by looking at the ratio between the width and depth of the keyway. The method is a simulation method with SolidWorks. The fatigue simulation typed use is rotary bending with ASTM E466 standard. The keyway ratio variants are 3:1 mm, 3:2 mm, and 3:3 mm with each load are 40%, 50%, 60%, 70%, and 80% from ultimate tensile strength material. The results in a 40% load, variants 1,2,3 reach more than 1.000.000 cycles until broken. 50% loading as the same as 40% loading. Until 60% load, variant 1 still reaches 1.000.000 cycles, variant 2 gets 402.699 cycles, variant 3 gets 317.727 cycles until the material is damaged. 70% load, variant 1 gets 641.211 cycles, variant 2 gets 201348 cycles, variant 3 gets 166.116 cycles until the material is damaged. 80% load, variant 1 gets 311.218 cycles, variant 2 gets 123.921 cycles, variant 3 gets 102.371 cycles until the material is damaged. With the same broken position on each round groove keyway.

Key words : *Fatigue, Shaft, Key, Simulation, SolidWorks*

PENDAHULUAN

Fatigue atau kelelahan adalah kerusakan material yang diakibatkan oleh adanya tegangan yang berfluktuasi yang besarnya lebih kecil dari tegangan tarik maksimum (*ultimate tensile strength*) (σ_u) maupun tegangan luluh (*yield*) material yang diberikan beban konstan. Resistensi kelelahan (*fatigue*) adalah kemampuan material untuk menerima pebebanan berulang dan berfluktuasi selama periode tertentu sampai material mengalami perpatahan [1]. Terdapat tiga fase dalam perpatahan fatik yaitu permulaan retak, penyebaran retak, dan patah. Salah satu komponen mesin yang dapat mengalami *fatigue* adalah poros. Poros digunakan untuk meneruskan putaran atau mentransmisikan putaran dari penggerak dan kepada yang digerakkan. Dalam menjalankan tugasnya sebagai sumbu putar, poros memiliki alur pasak untuk tempat diselipkannya pasak yang digunakan untuk kunci dari poros terhadap puli atau semacamnya. Pasak merupakan sepotong baja lunak (*mild steel*) yang berfungsi sebagai pengunci yang disisipkan diantara poros dan *hub* (bos) sebuah roda puli atau roda gigi agar keduanya tersambung dengan pasti sehingga mampu meneruskan momen putar/torsi.

Komponen mesin yang memiliki konsentrasi tegangan akan berpengaruh terhadap performanya. Sunardi et.al [2] melakukan riset tentang bentuk-bentuk konsentrasi tegangan terhadap perubahan kekuatan, kekakuan dan getaran balok. Dari riset ini diketahui bahwa konsentrasi tegangan berbentuk balok memiliki performa yang paling baik jika dibandingkan dengan bentuk lainnya. Jarak antara konsentrasi tegangan juga berpengaruh sangat signifikan terhadap perubahan kinerja balok. Dari riset ini diketahui bahwa semakin dekat jarak antar titik-titik konsentrasi tegangan maka akan semakin besar tegangan, defleksi dan getaran yang terjadi pada balok [3].

Model elemen hingga dari sampel pengujian *fatigue* dari bahan baja berkekuatan tinggi Weldox 960 dibuat dalam program ADINA. Model bahan simulasi sesuai dengan bahan nyata yang digunakan dan didasarkan pada uji tariknya. Pembebanan sampel diterapkan dalam bentuk sudut rotasi (sesuai dengan torsi siklik) dan serangkaian simulasi untuk setiap level pembebanan dilakukan. Nilai tegangan dan regangan diperoleh untuk setiap level beban dan menjadi dasar untuk pengukuran eksperimental *fatigue* pada sampel nyata [4]. Pengujian *fatigue* dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen patah pada siklus tertentu [5].

Material *bronze* diuji dengan mesin *rotary bending* untuk mengetahui kekuatan *fatigue* dari

material tersebut. *Bronze* diuji sebanyak 5 kali dengan pembebanan 10 kg, 15 kg, 20 kg, 25 kg, dan 30 kg. dari hasil penelitian ini akan terlihat hasil bahwa ketahanan *fatigue* dari material *bronze* akan menurun seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan dan siklus putaran akan semakin sedikit. *Fatigue* sangat berbahaya dibanding kegagalan statis karena *fatigue* terjadi tanpa ada peringatan terlebih dahulu atau secara tiba tiba dan menyeluruh [6]. Oleh sebab itu pengujian *fatigue* sangat perlu dilakukan pada sebuah material untuk mengetahui ketanggungan dari sebuah material.

Pasak dan alur pasak adalah salah satu koneksi poros-*hub* yang paling umum. Desain sering diatur oleh standar yang hampir setengah abad, dan sebagian besar hasil yang dilaporkan dalam literatur didasarkan pada analisis fotoelastik eksperimental. Makalah ini menunjukkan bagaimana analisis elemen hingga numerik dapat meningkatkan prediksi konsentrasi tegangan di alur pasak. Dengan menggunakan pengoptimalan bentuk dan bentuk super elips sederhana, ditunjukkan bahwa usia kelelahan alur pasak dapat sangat ditingkatkan dengan pengurangan hingga 50% pada tegangan maksimum [7]. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk alur pasak sangat mempengaruhi kekuatan *fatigue* material.

Isranuri et.al [8] Memodifikasi material dengan mencampurkan 96% aluminium dan 4% magnesium, kemudian material tersebut diuji kekuatan *fatigue* nya dan membandingkan hasil uji *fatigue* sebenarnya dengan hasil uji *fatigue* dengan simulasi. Jenis uji *fatigue* nya adalah *rotary bending*. Simulasi ini menggunakan *software* ANSYS dan didapatkan hasil beban 117,13 N dengan siklus 47.120, beban 74,752 N dengan siklus 82.565, beban 58,5657 N dengan siklus 135.515. Faktor kunci dalam analisis elemen hingga adalah perhitungan numerik dengan maksud memperkirakan semua parameter dan batas yang disepakati [9]. Analisis kegagalan adalah sesuatu yang sangat diperlukan yang digunakan secara luas oleh sektor industri untuk mengembangkan atau meningkatkan desain produk. Kegagalan elemen mesin dipelajari secara luas oleh ilmuwan untuk menemukan metode untuk mengidentifikasi penyebabnya dan untuk mencegahnya terulang kembali. Untuk menentukan mode kegagalan, metode analisis elemen analitik, eksperimental, dan elemen hingga dapat digunakan [10].

Fillet pada poros membawa zona tegangan dari daerah yang dilalui seperti alur pasak dan lubang ke bentuk. Garis-garis gaya yang berubah pada titik ini dan mengubah arah ketajamannya dibulatkan untuk mencoba mengurangi efek takik yang terjadi pada gaya dinamis dan dalam bahan yang ringkih. [11]. Kelelahan logam adalah masalah yang signifikan karena dapat terjadi karena beban

berulang di bawah kekuatan luluh statis. Hal ini dapat mengakibatkan kegagalan yang tidak terduga dan bencana dalam penggunaan karena sebagian besar bahan teknik mengandung diskontinuitas. Sebagian besar retakan fatik berawal dari diskontinuitas di daerah komponen yang sangat tertekan. Kegagalan mungkin disebabkan oleh diskontinuitas, desain, perawatan yang tidak tepat atau penyebab lainnya. Analisis kegagalan dapat menentukan penyebab kegagalan [12]. Kegagalan *fatigue* dimulai dengan terjadinya retakan pada permukaan benda uji. Hal ini membuktikan bahwa sifat – sifat *fatigue* sangat peka terhadap kondisi permukaan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain kekasaran permukaan, perubahan sifat sifat permukaan dan tegangan sisa permukaan [13].

Penelitian ini bertujuan untuk meneliti pada setiap rasio geometri alur pasak poros, yaitu rasio antara lebar pasak dengan kedalaman pasak terhadap kelelahannya (*fatigue*) pada material baja AISI 410. Untuk melihat apakah alur pasak dapat menjadi pemicu adanya permulaan retak pada poros. Serta apakah kedalaman alur pasaka berpengaruh besar terhadap kegagalan *fatigue*.

METODE PENELITIAN

Material

Bahan yang digunakan pada simulasi pengujian ini adalah baja AISI 410. Baja AISI (American Iron and Steel Institute) 410 termasuk ke dalam stainless steel atau baja tahan karat. Dalam SAE International (Society of Automotive Engineers), baja ini juga bernomor 410 karena AISI dan SAE keduanya terlibat dalam upaya untuk membakukan penomoran baja. Kemudian di dalam UNS (Unified Numbering System) baja ini bernomor S41000. Baja AISI 410 termasuk ke dalam stainless steel seri 400 yaitu ferritic and martensitic chromium alloys, dan tipe 410 ini termasuk ke dalam martensitic (high - strength iron / chromium) mempunyai kekuatan aus yang tinggi tetapi ketahanan korosi yang kurang hingga cukup [14]. Karena baja AISI 410 ini mempunyai ketahanan aus yang tinggi, material ini cocok digunakan untuk poros.

Tabel 1 Komposisi Baja AISI 410

	C	Cr	P	S	Ni	Mn	Si
Min	-	11.5	-	-	0.	-	-
Max	0.15	13.5	0.04	0.03	75	1	1

Sumber : www.azom.com

Tabel 2 Mechanical Properties of AISI 410 Steel

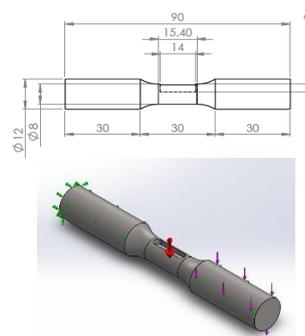
Properties	Value	Unit
Elastic Modulus	200	GPa
Poisson's Ratio	0.28	
Shear Modulus	77.52	GPa
Mass Density	7740	Kg/m³
Tensile Strength	510	MPa
Yield Strength	310	MPa
Thermal Expansion Coefficient	9.9	/K
Thermal Conductivity	18.3	W/(m.K)
Specific Heat	460	J/(Kg.K)

Metode

Metode pengujian menggunakan metode simulasi, yaitu mensimulasikan pengujian *fatigue* dengan menggunakan *software* SolidWorks. Pada metode simulasi material dibentuk dengan *software* SolidWorks mengacu pada dimensi standar ASTM E466 yang mana standar ini juga biasa digunakan pada uji *fatigue* tipe *rotary bending*. Kemudian simulasi pengujian material dilakukan juga dengan *software* SolidWorks menggunakan pembebanan statis dan *fatigue* untuk mendapatkan hasil yang mendekati dengan pengujian *real* di lapangan. Kemudian untuk pembebanan material diberikan beban 40%, 50%, 60%, 70%, dan 80% dari *ultimate tensile strength* material

Standar Pengujian

Standar untuk pengujian *rotary bending* menggunakan ASTM E466 dengan variasi kedalaman celah 1mm, 2mm, dan 3mm. Sedangkan untuk lebar dan panjang di setiap variasi adalah sama yaitu 3 mm x 14 mm.



Gambar 1 Standar ASTM E466

Tumpuan dan beban pada material dibuat agar sama persis dengan kondisi *real* pengujian. Untuk tumpuan menggunakan tumpuan *roll* dan *fix* karena untuk pengujian *fatigue* akan menggunakan jenis *rotary bending*. Untuk tumpuan *roll*

ditunjukkan pada gambar 1 dengan anak panah hijau kecil yang mengarah ke kiri, sedangkan untuk tumpuan *fix* terletak pada penampang kiri spesimen. Untuk beban ditunjukkan oleh panah ungu yang mengarah kebawah, beban diberikan pada tempat yang serupa mungkin dengan pengujian *experimental*. Kemudian untuk beban gravitasi ditunjukkan oleh panah merah besar mengarah kebawah.

Pengujian *fatigue* dilakukan dengan simulasi tipe *rotary bending*. Jika benda uji diputar dan diberi beban, maka akan terjadi momen lentur pada benda uji. Momen lentur ini menyebabkan terjadinya beban lentur pada benda uji. Momen lentur ini menyebabkan terjadinya beban lentur pada permukaan benda uji dan besarnya dihitung dengan persamaan [5].

$$\sigma = \frac{w \times l / 2}{\pi / 32 \times d^3} \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots(1)$$

- σ = Tegangan tarik (kg/cm²)
- w = Beban lentur (kg)
- d = Diameter benda uji (cm)
- l = Panjang benda uji (cm)

Penyajian data *fatigue* rekayasa adalah menggunakan kurva S-N yaitu pemetaan tegangan (S) terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan (N). Kurva S-N ini lebih diutamakan menggunakan skala semi log. Kurva tersebut didapat dari pemetaan tegangan terhadap jumlah siklus sampai terjadi kegagalan pada benda uji. Pada kurva ini siklus menggunakan skala logaritma. Batas ketahanan *fatigue* (*endurance limit*) baja ditentukan pada jumlah siklus N>107 [15].

Pengujian *fatigue* dilakukan dengan cara memberikan *stress level* tertentu sehingga spesimen patah pada siklus tertentu. [15] Menyatakan untuk mendapatkan kurva S-N dibutuhkan 8-12 spesimen. Retak *fatigue* biasanya dimulai pada permukaan di mana lentur dan torsi menyebabkan terjadinya tegangan-tegangan yang tinggi atau di tempat-tempat yang tidak rata menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Oleh karena itu, batas ketahanan (*endurance limit*) sangat tergantung pada kualitas penyelesaian permukaan [16].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Merujuk pada persamaan (1), maka hasil perhitungan beban untuk beban 40%, 50%, 60%, 70%, dan 80% secara berturut-turut adalah sebagai berikut:

Tabel 3 Variasi Nilai Beban

UTS (MPa)	Variasi Pembebanan (%)	σ (MPa)	w (N)
510	40	204	227,76

UTS (MPa)	Variasi Pembebanan (%)	σ (MPa)	w (N)
	50	255	284,69
	60	306	341,632
	70	357	398,571
	80	408	455,509

Setelah menghitung beban yang akan diberikan saat simulasi, selanjutnya adalah melakukan simulasi uji statis dengan memasukkan variasi pembebanan pada setiap variasi rasio alur pasak. Setelah melakukan simulasi uji statis maka akan didapatkan nilai *deformation*. Spesimen yang sudah melakukan simulasi uji statis selanjutnya melakukan simulasi uji *fatigue* untuk mendapatkan nilai *life* dan *safety factor* dari spesimen uji ASTM E466 dengan variasi rasio alur pasak. Berikut ini adalah hasil dari simulasi pengujian statis dan *fatigue*:

Tabel 4 Hasil Simulasi Rasio Alur 3:1

Keterangan	Variasi Rasio Alur Pasak 3:1 mm				
	40	50	60	70	80
Beban (%)	40	50	60	70	80
σ (MPa)	204	255	306	357	408
Deformasi (mm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
	2	5	8	1	24
Siklus	1e06	1e06	1e06	641.211	311.218
Safety Factor	1,66	1,33	1,11	0,95	0,8

Tabel 5 Hasil Simulasi Rasio Alur 3:2

Keterangan	Variasi Rasio Alur Pasak 3:1 mm				
	40	50	60	70	80
Beban (%)	40	50	60	70	80
σ (MPa)	204	255	306	357	408
Deformasi (mm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
	2	5	8	1	24
Siklus	1e06	1e06	402.699	201.348	123.921
Safety Factor	1,32	1,06	0,88	0,76	0,66

Tabel 6 Hasil Simulasi Rasio Alur 3:3

Keterangan	Variasi Rasio Alur Pasak 3:1 mm				
	40	50	60	70	80
Beban (%)	40	50	60	70	80
σ (MPa)	204	255	306	357	408
Deformasi (mm)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,0
	3	6	9	2	25
Siklus	1e06	1e06	317.727	166.116	102.371

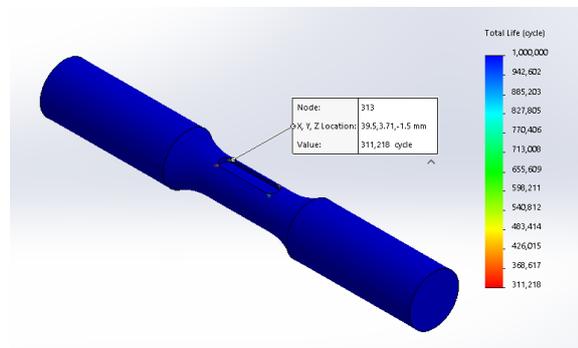
Safety Factor	1,25	1,00	0,84	0,72	0,6 3
----------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	------------------------

Dari hasil pengujian yang terdapat pada tabel 4, 5 dan 6 masing – masing memiliki nilai yang berbeda, semakin dalam kedalaman alur dan semakin besar pembebanannya maka umur material akan semakin pendek dilihat dari minimum siklus yang di dapat. Nilai siklus minimal tertinggi terdapat pada simulasi fatigue dengan variasi rasio alur pasak 3:1 yaitu mencapai 1.000.000 siklus sedangkan nilai siklus minimal terendah terdapat pada rasio alur pasak 3:3 yaitu 102.371 siklus.

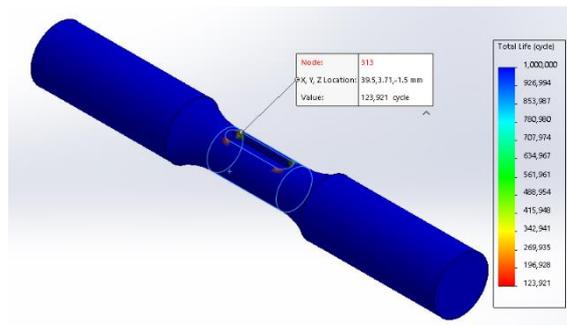
Kemudian dari tabel di atas dapat kita lihat bahwa terdapat 3 varian pengujian yaitu 3:1 mm, 3:2 mm, dan 3:3 mm dengan 5 variasi pembebanan.

Untuk varian 1, 2, dan 3 pada pembebanan 204 MPa dan 255 MPa dapat mencapai di atas 1.000.000 siklus sampai material patah. Hingga pembebanan 306 MPa untuk varian 1 masih bisa mencapai 1.000.000 siklus, sedangkan varian 2 hanya dapat mencapai 402.699 dan varian 3 hanya mencapai 317.727 siklus sampai material patah. Kemudian pada pembebanan 357 MPa untuk varian 1 mendapatkan 641.211 siklus, varian 2 mendapatkan 201.348 siklus, dan varian 3 mendapatkan 166.116 siklus sampai material patah. Pada variasi pembebanan terakhir yaitu 408 MPa untuk varian 1 mendapatkan 311.218 siklus, varian 2 mendapatkan 123.921, sedangkan varian 3 mendapatkan 102.371 siklus sampai material patah.

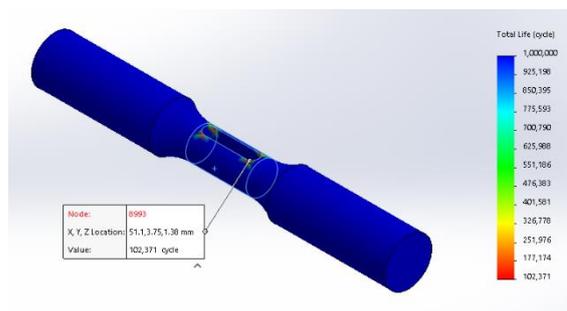
Dari tabel 4, 5, 6 juga dapat dilihat nilai *safety factor* dari setiap hasil simulasi. Untuk hasil simulasi yang memiliki nilai *safety factor* di bawah 1, maka dari hasil simulasi tersebut dapat mengindikasikan pada konsisi *real* pengujian dengan beban yang diberikan sama, material akan mengalami kerusakan sebelum 1.000.000 siklus. Namun jika nilai *safety factor* masih di atas atau sama dengan 1 maka pada kondisi *real* pengujian material masih dinyatakan aman dan tidak mengalami kerusakan sampai 1.000.000 siklus [17].



Gambar 2 Simulasi Uji Fatigue Rasio Alur Pasak 3:1



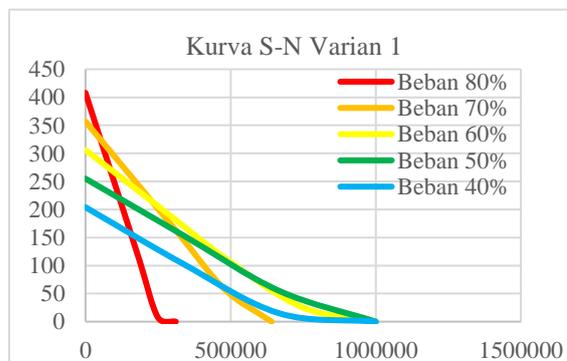
Gambar 3 Simulasi Uji Fatigue Rasio Alur Pasak 3:2



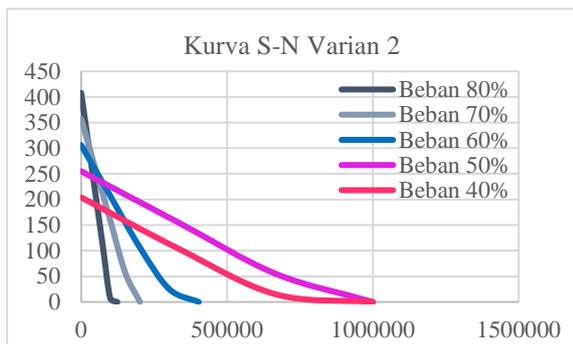
Gambar 4 Simulasi Uji Fatigue Rasio Alur Pasak 3:3

Dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4 bahwa daerah yang mengalami kelelahan *fatigue* ditunjukkan oleh daerah yang berwarna merah yang terdapat pada *radius fillet* dari alur pasak. Semakin dalam alur pasak maka daerah *fillet* tersebut akan semakin berwarna merah, hal ini menunjukkan bahwa di daerah tersebut terjadi takik dan akan menimbulkan kerusakan saat digunakan sebagai poros.

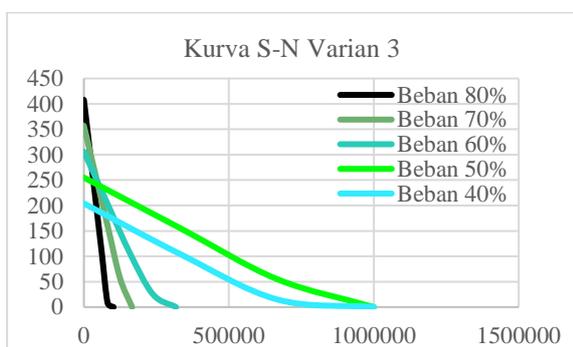
Setelah melakukan simulasi uji *fatigue* maka selanjutnya akan didapatkan kurva S-N dari hasil pengujian. Kurva S-N ini dibagi sesuai variannya.



Gambar 5 Kurva S-N Varian 1

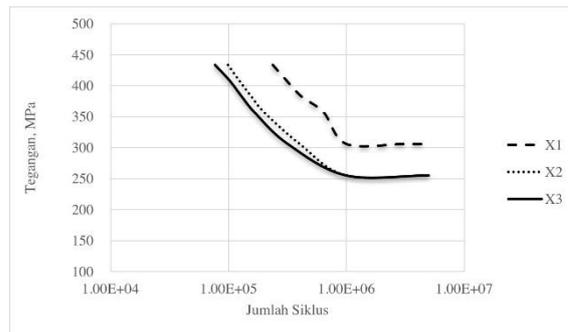


Gambar 6 Kurva S-N Varian 2



Gambar 7 Kurva S-N Varian 3

Kurva S-N ini menunjukkan sampai pada siklus ke berapa material mengalami kerusakan. Pada kurva S-N hasil simulasi dapat dilihat bahwa variasi rasio alur pasak yang paling kuat terhadap *fatigue* adalah rasio 3:1 pada pembebanan 70% menerima beban sebesar 357 MPa mendapat siklus minimal 641.211 siklus. Pada variasi rasio alur pasak 3:2 material akan mengalami kerusakan pada pembebanan 60% dengan menerima beban sebesar 306 MPa dan mendapat siklus minimal 402.699 siklus. Sedangkan nilai kekuatan *fatigue* terendah didapat pada variasi rasio alur pasak 3:3 pada pembebanan 60% menerima beban sebesar 306 MPa mendapatkan siklus minimal 317.727 siklus. Jadi pada simulasi dengan variasi rasio alur pasak ini semakin besar rasio nya dan beban sudah melebihi 50% dari *ultimate tensile strength* material maka material tersebut terindikasi akan mengalami kerusakan akibat kegagalan *fatigue*.



Gambar 8 Kurva S-N Beban 80%

Grafik di atas menunjukkan perbedaan umur material pada pembebanan yang sama yaitu 80% dengan varian rasio alur pasak yang berbeda. Terlihat bahwa varian 3 atau X3 umurnya lebih pendek dibandingkan dengan varian 2 atau X2 dan varian 1 atau X1. Umur varian 1 bisa menjadi lebih panjang dikarenakan konsentrasi tegangan yang bekerja lebih sedikit dibandingkan varian 2 dan varian 3. Untuk perhitungan tegangan yang bekerja pada setiap varian adalah gaya yang bekerja dibagi dengan luas penampang yang terdampak. Untuk luas penampangnya adalah luas permukaan silinder bagian tengah dikurangi dengan luas permukaan dinding alur pasak. Untuk itu pada varian 1 didapatkan tegangan yang bekerja sebesar 1,28 MPa, varian 2 tegangan yang bekerja sebesar 1,41 MPa, sedangkan varian 3 tegangan yang bekerja sebesar 1,56 MPa. Dari hasil perhitungan tegangan ini dapat dilihat bahwa varian 1 tegangan yang bekerjanya nilainya paling kecil, oleh sebab itu untuk varian 1 umur *fatigue* nya akan lebih lama dibandingkan dengan varian 2 dan varian 3.

KESIMPULAN

1. Kedalaman alur pasak sangat berpengaruh terhadap umur *fatigue* material. Semakin dalam alur pasak maka umur lelah material akan semakin pendek.
2. Rasio alur pasak yang lebih cepat mengalami kegagalan *fatigue* adalah 3:3 yaitu 3 mm lebar pasak dan 3 mm kedalaman pasak dengan pembebanan 80% sebesar 408 MPa mendapatkan siklus minimal 102.371 dan nilai *safety factor* 0,63 yang mana nilai *safety factor* di bawah 1 mengindikasikan akan terjadi kegagalan *fatigue* pada material sebelum mencapai 1.000.000 siklus.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sunardi, R. Lusiani, and R. Santoso, "Effect of airflow speed as cooling media in the hardening process against hardness, corrosion rate and fatigue life of medium carbon steel," *Bull. Mater. Sci.*, vol. xx, No. x, no. x, pp. 1–8, 2017, doi: 10.1007/sxxxx-0xx-1xyz-8.
- [2] S. Sunardi, E. Listijorini, and R. Sandro, "Pengaruh Bentuk Buka-an Terhadap Kekuatan dan Getaran Balok," *Sintek J. Mesin Teknol.*, vol. 12, no. 2, pp. 107–112, 2018.
- [3] Sunardi, E. Listijorini, and M. Sahroni, "Pengaruh Jarak Sel Buka-an Balok Terhadap Kekuatan Material dan Karakteristik Getaran," *Mach. ; J. Tek. Mesin*, vol. 2, no. 2, pp. 6–10, 2016.
- [4] M. Blatnická, M. Sága, P. Kopas, and M. Handrik, "Numerical simulation and experimental verification of torsion fatigue tests for material Weldox," *Transp. Res. Procedia*, vol. 40, pp. 631–638, 2019, doi: 10.1016/j.trpro.2019.07.090.
- [5] E. Budiyanto, E. Nugroho, and A. Zainudin, "Uji Ketahanan Fatik Aluminium Scrap Hasil Remelting Piston Bekas Menggunakan Alat Uji Fatik Tipe Rotary Bending," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 7, no. 1, 2018, doi: 10.24127/trb.v7i1.717.
- [6] R. Rahmatullah and R. Ahmad, "Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine," *J. ReKayasa Mater. Manufaktur dan Energi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2018, doi: 10.30596/rmme.v1i1.2430.
- [7] N. L. Pedersen, "Stress concentrations in keyways and optimization of keyway design," *J. Strain Anal. Eng. Des.*, vol. 45, no. 8, pp. 593–604, 2010, doi: 10.1243/03093247JSA632.
- [8] I. Isranuri, S. Abda, F. Ariani, D. T. Mesin, F. Teknik, and U. S. Utara, "Penguujian Fatik Pada Material Paduan Aluminium," no. 3, pp. 51–59, 2017.
- [9] S. O. Afolabi, B. I. Oladapo, C. O. Ijagbemi, A. O. M. Adeoye, and J. F. Kayode, "Design and finite element analysis of a fatigue life prediction for safe and economical machine shaft," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 8, no. 1, pp. 105–111, 2019, doi: 10.1016/j.jmrt.2017.10.007.
- [10] S. S. H. A.-M. B. Engel, "Failure Analysis and Fatigue Life Estimation of a Shaft of a Rotary Draw Bending Machine," *Int. Sch. Sci. Res. Innov.*, vol. 11, no. 11, pp. 1785–1790, 2017.
- [11] M. T. Ozkan and F. Erdemir, "Determination of stress concentration factors for shafts under tension," *Mater. Test.*, vol. 62, no. 4, pp. 413–421, 2020, doi: 10.3139/120.111500.
- [12] S. P. Raut and L. P. Raut, "A review of various methodologies used for shaft failure analysis," *Int. J. Eng. Res. Gen. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 159–171, 2014.
- [13] B. Pratowo and N. Apriansyah, "Analisis Kekuatan Fatik Baja Karbon Rendah SC10 Dengan Tipe Rotary Bending," *J. Tek. Mesin Univ. Bandar Lampung*, vol. 2, no. 1, pp. 49–58, 2016.
- [14] AzoM, "Stainless Steel - Grade 410 (UNS S41000)," pp. 1–5, 2001.
- [15] G. E. Dieter, *Mechanical metallurgy*. 2011.
- [16] V. L. H. Vlack, *Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam)*. 1994.
- [17] J. Marta, "Simulasi Pengujian Fatigue Pada Fork Racing Bicycle Menggunakan Standar Cen 14781," 2016.

IDENTIFIKASI KERUSAKKAN MESIN BERDASARKAN SINYAL GETARAN DALAM DOMAIN FREKWENSI, STUDI KASUS DI PT. FREEPORT INDONESIA

Ramses Yohannes Hutahaean

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Kebumian,

Universitas Sains dan Teknologi Jayapura,

Jl Raya Sentani-Padang Bulan, Abepura, Jayapura Telp (0967), 581659, 582449, 583259, FAX,
(0967)582550

ramses.yh@gmail.com

Abstrak

Strategi pemeliharaan mesin sangat penting dalam industri pertambangan, industri produksi semen atau industri lain sehingga diperlukan strategi perawatan yang sesuai berdasarkan kondisi operasi industri. Strategi pemeliharaan untuk untuk produksi 24 jam tentu saja tidak sama dengan strategi pemeliharaan dalam kondisi kerja normal. Pada makalah ini disajikan strategi pemeliharaan pro aktif, dimana pada strategi pemeliharaan pro aktif mensyaratkan berbagai investigasi kerusakan mesin, investigasi kerusakan mesin pada makalah ini menggunakan analisa sinyal getaran, dimana sinyal getaran tersebut dapat memberikan informasi kondisi kesehatan mesin sebelum mengalami kegagalan. Analisa sinyal getaran dapat dilakukan dengan menggunakan analisa getaran dalam domain frekwensi atau analisa getaran dalam domain waktu. Analisa getaran dalam domain frekwensi umumnya dilakukan untuk melakukan analisa getaran dalam kasus ketidakseimbangan, misalignment, cacat bantalan, kavitasi, kerusakan motor listrik. Sedangkan analisa getaran dalam domain waktu digunakan analisa cacat roda gigi dengan putaran dibawah 600 rpm. Pada makalah ini ditemukan kasus baru pada bantalan yaitu kondisi terjadinya gesekan antara inner race dengan poros puli yang menyebabkan getaran tersebut teredam dan tidak memberikan informasi yang tepat, hal tersebut diketahui setelah memeriksa turunnya amplitudo getaran setelah pemeriksaan satu bulan sebelumnya, kemudian amplitudo getaran tiba tiba menurun, dan terjadi kerusakan secara tiba tiba tanpa dapat diprediksikan.

Kata kunci : Bantalan, domain frekwensi, domain waktu, sinyal getaran

Abstract

The maintenance strategy of machines is very important in the mining industry, the cement production industry or other industries so that an appropriate maintenance strategy is needed based on industrial operating conditions. The maintenance strategy for 24-hour production is certainly not the same as the maintenance strategy under normal working conditions. In this paper a pro-active maintenance strategy is presented, where the pro-active maintenance strategy requires various investigations of failure of machine components, investigation of machine failures in this paper using vibration signal analysis, where the vibration signal can provide information on the health condition of the machine before failure. Vibration signal analysis can be done using vibration analysis in the frequency domain or vibration analysis in the time domain. Vibration analysis in the frequency domain is generally carried out to conduct vibration analysis in cases of imbalance, misalignment, bearing defects, cavitation, damage to electric motors. While the vibration analysis in the time domain is used to analyze gear defects with rotation under 600 rpm. In this paper a new case was found in the bearing which is the condition of friction between inner race bearing with the pulley shaft which causes the vibration to be damped and does not provide precise information, and damage occurs suddenly without being able to predict.

Key words : Bearing, frequency domain, time domain, vibration signal

PENDAHULUAN

Proses pemeliharaan mesin adalah hal yang sangat penting dalam industri manufaktur, pertambangan atau industri lainnya. Pemilihan strategi pemeliharaan yang salah dapat menyebabkan kerugian berupa kehilangan produksi. Jika kita menerapkan metode pemeliharaan berdasarkan break down maintenance, maka akan ditemui kehilangan produksi, karena kita tidak dapat memastikan kondisi mesin, selain itu diperlukan gudang yang luas untuk penyimpanan komponen komponen pengganti, sedangkan jika kita menerapkan strategi dengan memeriksa kondisi mesin dan dapat memperkirakan waktu penggantian komponen, maka resiko kehilangan produksi dapat di minimalisir dan tidak diperlukan gudang yang luas, karena jika kita dapat memperikan umur komponen, kita dapat memesan dari vendor atau supplier.

Secara umum filosofi untuk sistem pemeliharaan (maintenance) dibagi dalam empat kategori.

- **Breakdown maintenance** proses maintenance dilakukan hingga mesin mengalami kerusakan. Kerugian metode ini adalah kita tidak dapat mengantisipasi kapan kerusakan bisa terjadi, dan dapat menyebabkan kerusakan sekunder yang terjadi, umumnya kerusakan suatu komponen yang sudah parah akan mengakibatkan kerusakan komponen lainnya. Misalkan suatu susunan pompa dengan motor, dan jika pompa tersebut sudah rusak, dan dibiarkan sampai gagal maka terdapat kemungkinan motor yang menggerakkan pompa tersebut ikut rusak.
- **Preventive maintenance** atau maintenance berdasarkan waktu, biasanya dilakukan jadwal perawatan dalam waktu tertentu, kerugian metode ini adalah sering ditemui bahwa terjadi kerusakan sebelum dilakukan perbaikan pada jadwal yang telah ditentukan, atau pada saat dilakukan pergantian komponen mesin ditemui bahwa kondisi komponen tersebut dalam keadaan baik.
- **Predictive maintenance** atau maintenance berdasarkan kondisi (condition-based maintenance). Metode ini dilakukan dengan melakukan pemeriksaan berkala, sehingga dapat ditentukan pada jadwal perawatan terdekat komponen komponen apa saja yang dilakukan, pemeriksaan yang dilakukan dapat berupa oil analysis, vibration analysis, thermographi.
- **Proactive maintenance** atau prevention maintenance. Maintenance tipe ini adalah dengan melakukan continuous improvement, dengan melakukan analisa penyebab kerusakan, dan kemudian melakukan perancangan untuk

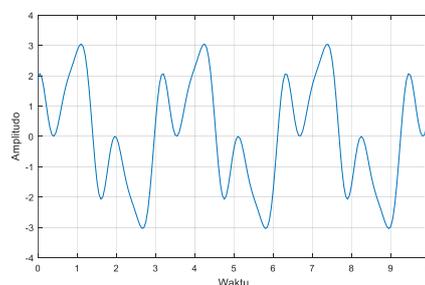
membuat agar komponen mesin mempunyai lifetime yang lebih lama.

Pada makalah ini ditunjukkan metode proactive maintenance, yaitu dengan melakukan investigasi suatu kerusakan suatu mesin yang tidak terprediksi sebelumnya dan dilakukan analisa sinyal getaran, kemudian memberikan beberapa rekomendasi agar kejadian kerusakan yang sama tidak terulang lagi.

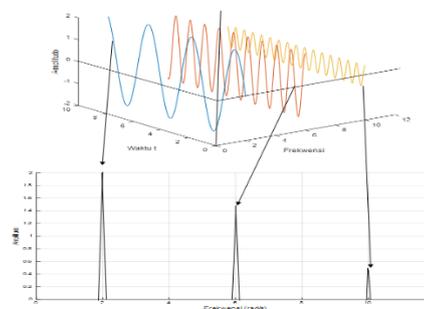
DASAR TEORI

Transformasi Fourier

Pada praktek dilapangan apakah itu di industri pertambangan minyak, pertambangan mineral ataupun alat berat, sinyal getaran yang terjadi pada peralatan bukan berupa sinyal harmonik yang tidak sederhana, maka kita perlu melakukan identifikasi sinyal frekwensi berapa saja yang ada. Untuk melakukan investigasi kerusakan kita biasanya akan melihat bentuk sinyal dalam domain frekwensi, pada domain frekwensi kita dapat mengidentifikasi penyebab getaran mesin, apakah karena misalignment, bearing defect, unbalance dan lain lain. Sinyal dalam domain waktu dapat kita transformasikan kedalam domain frekwensi dengan menggunakan transformasi Fourier. Seperti ditunjukkan pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1 Fungsi $y = 2 \sin(2t) + 1.5 \cos(6t) + 0.5 \cos(10t)$ dalam domain waktu



Gambar 2 Fungsi $y = 2 \sin(2t) + 1.5 \cos(6t) + 0.5 \cos(10t)$ dalam domain frekwensi

Transformasi Fourier dapat berupa, CFT (Continuous Fourier Transform), DFT (Discrete Fourier Transform), FFT (Fast Fourier Transform). Pada makalah ini hanya ditunjukkan transformasi Fourier kontinu, seperti ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \cos n\omega t dt \quad n = 1, 2, \dots \dots \dots (1)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T F(t) \sin n\omega t dt \quad n = 1, 2, \dots \dots \dots$$

Dimana :

a_n = Koefisien cosinus

b_n = Koefisien sinus

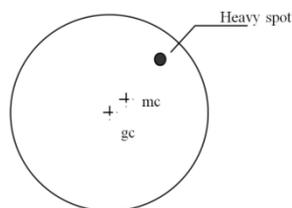
Identifikasi Kerusakan Mesin Berdasarkan Sinyal Getaran

Identifikasi kerusakan berdasarkan sinyal getaran secara umum terbagi dua, yang pertama adalah dengan mengidentifikasi berdasarkan frekwensi getaran, umumnya digunakan untuk melakukan identifikasi yang disebabkan oleh kasus unbalance, misalignment, kavitasi, turbulensi, kerusakan pada bantalan, motor listrik dan lain lain. Sedangkan identifikasi berdasarkan domain waktu atau waveform, umumnya digunakan untuk melihat kerusakan pada pasangan roda gigi.

Identifikasi Kasus Unbalance Dan Misalignment

Unbalance

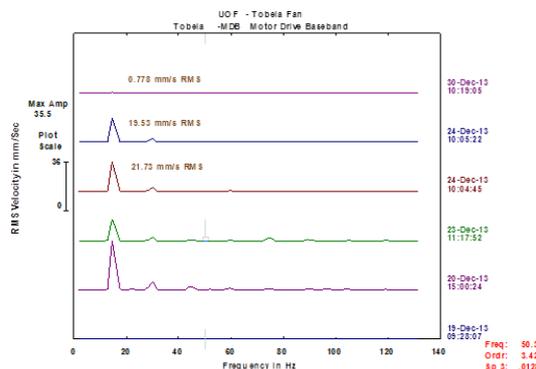
Massa tak balans adalah salah satu penyebab utama getaran, kondisi tak balans (unbalance) adalah suatu kondisi dimana pusat massa tidak berimpit dengan pusat rotasi, seperti ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Kondisi unbalance

Sedangkan dalam bentuk domain frekwensi, bentuk spektrum getaran akibat unbalance ditunjukkan

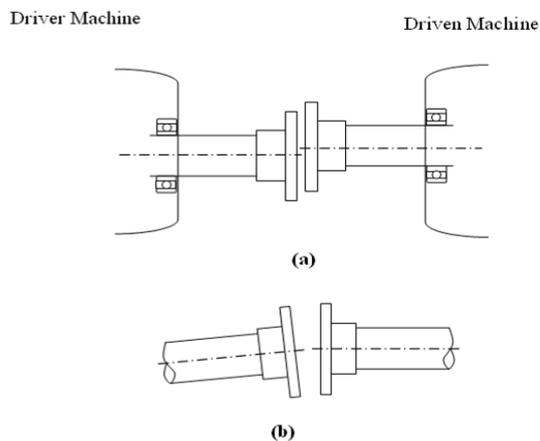
pada gambar 4, seperti terjadi pada kasus tobelo fan di PT.Freeport Indonesia.



Gambar 4 Bentuk sinyal getaran kasus unbalance dalam domain frekwensi.

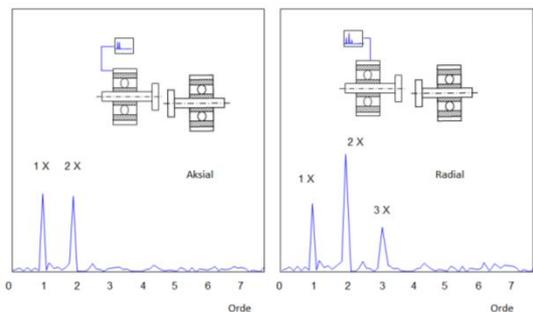
Missalignment

Missalignment adalah kondisi dimana poros pada motor penggerak tidak membentuk sebuah garis lurus dengan komponen yang digerakkan, misalkan pompa, puli dan lain lain. Bentuk missalignment terdapat dua jenis, missalignment paralel dan missalignment angular seperti ditunjukkan pada gambar 5.

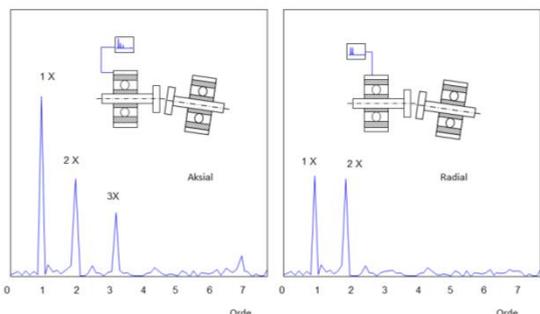


Gambar 5 Kondisi missalignment. (a) Paralel (b) Angular

Sedangkan bentuk sinyal getaran kasus missalignment paralel dalam domain frekwensi ditunjukkan pada gambar 6, dan untuk missalignment angular ditunjukkan pada gambar 7. Satuan orde adalah menunjukkan kelipatan dari kecepatan putaran poros.



Gambar 6 Spektrum misalignment paralel



Gambar 7 Spektrum misalignment angular

Identifikasi Kerusakan Bantalan

Kegagalan bearing (Bantalan) disebabkan oleh beberapa penyebab dasar yaitu :

- Kontaminasi, termasuk kelembaban
- Overstress (tegangan yang berlebih)
- Cacat produk
- Lifetime

Getaran pada bantalan terjadi pada beberapa frekwensi. Dengan mengetahui frekwensi getaran maka kita dapat melakukan diagnosa masalah. Bantalan roller mempunyai frekwensi dan tones yang spesifik. Bantalan roller mempunyai 4 jenis tones :

- Fundamental train frequency (FTF)
- Ball spin frequency (BS)
- Outer race (OR)
- Inner race (IR)

Rumus rumus untuk menghitung frekuensi spesifik tersebut adalah :

$$FTF = \frac{rps}{2} \left[1 - \frac{Bd}{Pd} \cos \phi \right] \dots\dots\dots(2)$$

$$BS = \frac{Pd}{2Bd} (rps) \left[1 - \left(\frac{Bd}{Pd} \right)^2 \cos^2 \phi \right] \dots\dots\dots(3)$$

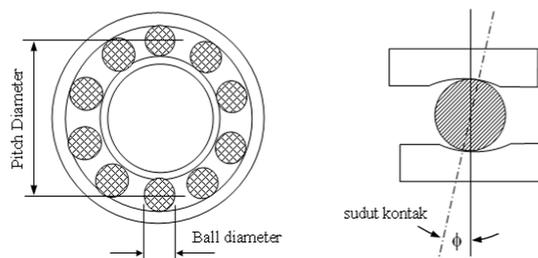
$$OR = N(FTF) \dots\dots\dots(4)$$

$$IR = N(rps - FTF) \dots\dots\dots(5)$$

dimana
rps = putaran per detik.

Bd = diameter bola/roller
Pd =Diameter pitch.
N = Jumlah bola/roller
 ϕ = Sudut kontak

Rumus-rumus tersebut adalah teoritis dan perbedaan antara perhitungan dan pengukuran dapat terjadi pada beberapa Hz. Beban awal dapat menyebabkan berubahnya sudut kontak, perubahan sudut kontak menyebabkan frekwensi outer race yang aktual lebih tinggi dari hasil perhitungan.



Gambar 8 Bantalan

Namun produsen bantalan telah mengeluarkan tabel tabulasi frekwensi bantalan (bearing) , seperti ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 7 Faktor Frekuensi Bantalan

Merk Bantalan	FTF	BS	OR	IR
FAG 6311	0.378	1.928	3.024	4.976
SKF 6311	0.382	2.003	3.057	4.943
NTN 6311	0.384	2.040	3.072	4.928

Jika tabel bantalan tidak tersedia, maka frekwensi bantalan dapat didekati dengan rumus sederhana sebagai berikut :

$$FTF = 0.4 \times Speed \dots\dots\dots(6)$$

$$OR = 0.4 \times Speed \times N \dots\dots\dots(7)$$

$$IR = 0.6 \times Speed \times N \dots\dots\dots(8)$$

STUDI KASUS

Fakta Fakta Yang Di Kumpulkan

Pada tanggal 17 September 2009 jam 07.02 terjadi penghentian operasi conveyor 64, hal ini disebabkan terbakarnya bantalan sebelah kiri puli

pada Drive A. Kemudian dilakukan investigasi dengan mengumpulkan bukti bukti fisik sebagai berikut.

1. Bantalan pada puli drive A sebelah kiri mengalami kegagalan.
2. Karena rusak terjadi pada inner race (gambar 10), maka yang perlu kita hitung adalah nilai frekwensi inner race. Nilai IR dengan data data $N=20$, kecepatan 62.5 rpm adalah
3. $IR = 0.6 \times 62.5 \times 20 = 750 \text{ rpm}$ atau 12.5 Hz.
4. Ditemukan kondisi pelumas yang masih penuh, seperti ditunjukkan pada gambar 9.
5. Terdapat retakan pada bagian inner race seperti ditunjukkan pada gambar 10.
6. Terdapat bekas gesekan pada poros yang berkontak dengan inner race, seperti ditunjukkan pada gambar 11.
7. Amplitudo getaran dalam arah radial pada saat terakhir pengukuran tanggal 9 September 2009 adalah 0.65 mm/sec dan terjadi pada frekwensi 62.5 Hz yang merupakan harmonik ke 5 dari frekwensi inner race (12.5 Hz x 5 = 62.5 Hz), namun belum signifikan, seperti ditunjukkan pada gambar 12.
8. Amplitudo getaran dalam arah aksial memiliki amplitudo terbesar pada tanggal 27 April 2009 sebesar 0.243 mm/sec pada harmonik pertama, dan sebesar 0.8 mm/sec pada harmonik ke 5, namun pada pengukuran berikut tanggal 16 Juni 2009, getaran pada harmonik pertama hingga harmonik ke 10, turun secara signifikan, seperti ditunjukkan pada gambar 13.



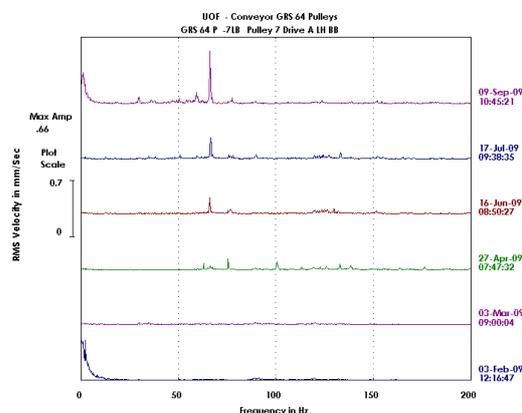
Gambar 9 Kondisi bantalan yang masih terisi pelumas



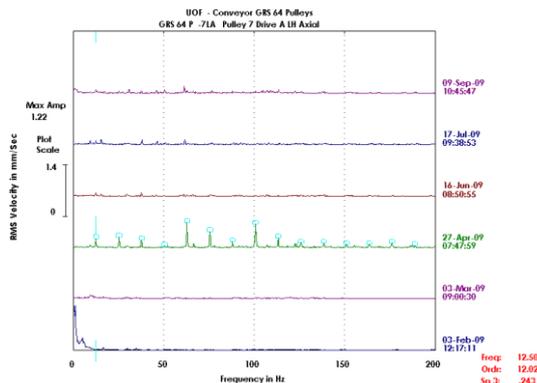
Gambar 10 Retakan pada Inner race bantalan



Gambar 11 Bekas gesekan pada poros



Gambar 12 Histori getaran dalam arah radial



Gambar 13 Histori getaran dalam arah aksial

Analisa Kegagalan Bantalan Pada Conveyor 64.

Terdapat beberapa kemungkinan penyebab kegagalan bantalan, pertama kemungkinan kurangnya pelumas, namun kemungkinan ini dipatahkan oleh fakta no 3 dan gambar 9, dimana masih ditemukan jumlah pelumas yang cukup. Kemungkinan kedua, merusakkan outer race, dari perhitungan frekwensi, frekwensi yang cocok adalah frekwensi inner race seperti ditunjukkan fakta nomor 2, 4, gambar 13, dimana pada gambar 13 ditunjukkan frekwensi inner race yang diperoleh dari hasil pengukuran. Kemudian dari gambar 13 dapat diketahui bahwa amplitudo pada frekwensi inner race, nilai maksimumnya terjadi pada tanggal 27 April 2009, kemudian amplitudo getaran menurun pada pengukuran berikutnya, dan secara logika tidak mungkin bantalan bisa memperbaiki diri sendiri, sehingga amplitudo getaran menurun, dan berdasarkan fakta nomor 4 dan 5 telah terjadi gesekan antara inner race dan poros yang menyebabkan getaran teredam dan mengakibatkan amplitudo getaran menurun.

Rekomendasi Untuk Bantalan Pada Conveyor

Berdasarkan hasil analisa, maka diberikan rekomendasi yang harus diterapkan pada seluruh bantalan pada conveyor sebagai berikut :

1. Terjadi gesekan antara inner race dan poros puli, dimana inner race seharusnya tidak berputar terhadap poros, hal ini menyebabkan getaran tersebut teredam seperti ditunjukkan pada gambar 13. Dan jika terjadi simpton seperti ditunjukkan pada gambar 13, dimana terjadi penurunan amplitudo getaran secara signifikan, segera direncanakan penggantian bantalan pada jadwal terdekat.
2. Pada saat pemasangan bantalan dilakukan suaian yang lebih ketat antara inner race dan poros conveyor.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Analisa getaran pada bantalan dilakukan dengan menggunakan domain frekwensi.
2. Pada kasus bantalan, jika terjadi penurunan amplitudo getaran secara signifikan pada inner race, maka telah terjadi gesekan antara inner race dan poros sehingga menyebabkan getaran tersebut teredam, dan terlihat pada spektrum yang ditunjukkan pada gambar 5 dimana spektrum getaran harmonik menghilang atau berkurang pada tanggal 27 April 2009.
3. Jika ditemukan kasus penurunan amplitudo getaran secara signifikan, maka harus segera dilakukan penggantian bantalan pada overhaul terdekat.
4. Investigasi kerusakan bantalan dengan menggunakan analisa getaran dalam domain frekwensi dapat diterapkan pada industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abele E., Altintas Y. and Brecher C. (2010), "Machine Tool Spindle Units," CIRP Annals-Manufacturing Technology, vol. 59, no. 2, pp. 781-802.
- [2] Cunha, E. Caetano, P. Ribeiro, G. Müller (eds.), Proceedings of the 9th International Conference on Structural Dynamics, EURO DYN 2014, Porto, Portugal, 30 June - 2 July 2014,
- [3] Dimarogonas. Andrew D., Sam Hadad, "Vibration for Engineers" Prentice Hall, New York, 1992.
- [4] Girdhard. Paresh., Scheffer, C. "Practical Machinery Vibration Analysis and Predictive Maintenance". Elsevier 1998.
- [5] Inman J. Daniel." Engineering Vibrations " .Pearson Education International, 3rd edition, New Jersey 2008.
- [6] ISO 10816-1: Mechanical vibration—Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts—Part 1: General guidelines. ISO Switzerland, 1995.
- [7]
- [8] ISO 10816-3: Mechanical vibration—Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts—Part 3: Industrial machines with nominal power above 15 kW and nominal speeds between 120 r/min and 15,000 r/min when measured in situ. ISO Switzerland, 2009.
- [9] ISO 7919-1: Mechanical Vibration of non-reciprocating machines - Measurements on

- rotating shafts and evaluation criteria—Part 1: General guidelines.* ISO Switzerland, 1996.
- [10] ISO/TR 230-8:2009 (2009), “*Test code for machine tools -- Part 8: Vibrations*”.
- [11] Martin K. F. (1994), “*A Review by Discussion of Condition Monitoring and Fault Diagnosis in Machine Tools*,” International Journal of Machine Tools and Manufacture, vol. 34, no. 4, pp. 527-551.
- [12] Mobius Institute (2016), “*Vibration Analysis Training Course Book*”.
- [13] Mobius Institute (2017), “*Vibration Analysis Definitions*”, Available at: <http://mobiusinstitute.com/>.
- [14] Morando, L. (1996), “*Technology overview: Shock Pulse Method*,” Proceedings of a Joint Conference, Mobile, Alabama.
- [15] Randall, R. B. (2011), “*Vibration-based condition monitoring: industrial, aero-space and automotive applications*”, John Wiley & Sons.
- [16] Rastegari A. and Bengtsson M. (2014), “*Implementation of Condition Based Maintenance in Manufacturing Industry*”, IEEE International Conference on Prognostics and Health Management, Washington, USA.
- [17] Rastegari, A., and Bengtsson, M. (2015), “*Cost Effectiveness of Condition Based Maintenance in Manufacturing Industry*”, IEEE 61st Annual Reliability and Maintainability Symposium, Florida, USA.
- [18] Rastegari, A., Archenti, A., and Mobin, M. (2017), “*Condition Based Maintenance of Machine Tools: Vibration Monitoring of Spindle Units*”, IEEE 63rd Annual Reliability and Maintainability Symposium, Florida, USA.
- [19] Singiresu Rao.S.” *Mechanical Vibrations*”. 5th Edition, Prentice Hall, 2011.
- [20] Sundström, T. (2013), “*The Shock Pulse Method and the Four Failure Stages of Rolling Element Bearings*”, Technical report, SPM Instrument AB.
- [21] Wovk, Victor .” *Machinery Vibration, Measurement And Analysis* “ McGraw-Hill 1991.

PENERAPAN SISTEM PERAWATAN METODE ISMO PADA TURBIN TIPE VERTICAL FRANCIS KAPASITAS 35 MW

Arif Rochman Fachrudin¹, Fina Andika Frida Astuti²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No 09 Malang

arfachrudin@gmail.com

Abstrak

Metode perawatan ISMO merupakan metode perawatan yang dilakukan pada saat performa mesin sudah mulai menurun, histori dari mesin terbatas dan kurangnya informasi dengan *manual book*. Metode ini menggunakan acuan derajat kerumitan untuk menentukan penjadwalannya. Metode perawatan ini diterapkan pada turbin tipe vertikal Francis kapasitas 35 MW. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi perawatan yang berupa jadwal perawatan dan estimasi biaya perawatan dari turbin tipe *vertical francis* kapasitas 35 MW. Dari penelitian ini dihasilkan jadwal perawatan secara komprehensif dan besaran biaya yang dibutuhkan mulai dari kegiatan inspeksi, *small repair*, *medium repair* dan *overhoule* beserta besaran biaya. Dalam satu siklus, kegiatan inspeksi dilakukan sebanyak 9 kali, *medium repair* 6 kali dan *overhoule* 1 kali. Total biaya yang dibutuhkan untuk melakukan perawatan turbin tipe *vertical francis* dalam jangka waktu 3 tahun adalah sebesar Rp. 97.937.000,-

Kata kunci: metode ismo, perawatan, turbin francis

Abstract

The ISMO maintenance method is a maintenance method that is carried out when the machine performance has started to decline, the history of the machine is limited and there is a lack of information with the manual book. This method uses a reference degree of complexity to determine the scheduling. This maintenance method is applied to the Francis vertical type turbine with a capacity of 35 MW. The purpose of this study is to obtain maintenance information in the form of maintenance schedules and estimated maintenance costs of the francis vertical type turbine with a capacity of 35 MW. From this research, a comprehensive maintenance schedule and cost targets are produced, starting from inspection, small repair, medium repair and over-houle activities along with the amount of costs. In one cycle, inspection activities are carried out 9 times, medium repair 6 times and overhoule 1 time. The total cost required to maintain the turbine of vertical francis type for a period of 3 years is IDR 97.937.000,-

Key words: ismo method, maintenance, francis turbines

PENDAHULUAN

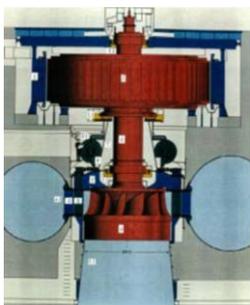
Perawatan merupakan kegiatan untuk memelihara atau menjaga peralatan dan mengatasi kerusakan-kerusakan untuk dapat mengembalikan keadaan semula.[1]. Berbagai macam perawatan yang diterapkan dalam merawat suatu mesin. Salah satu metode yang sering digunakan adalah metode ISMO. Perawatan ISMO adalah perawatan terencana sesuai dengan penjadwalan yang terbagi atas inspeksi, *small repair*, *medium repair*, dan *overhoule*[2]. Perawatan ISMO biasanya dilakukan pada saat performa mesin sudah mulai menurun,

histori dari mesin terbatas dan kurangnya informasi dari manual book mesin tersebut. Perawatan ISMO diawali dengan penentuan derajat kerumitan suatu mesin, kemudian penentuan jenis produksi, dan waktu produksi.

Untuk menjaga performa mesin agar tetap baik pada PT XYZ dan untuk mengestimasi biaya perawatan beberapa tahun kedepan, maka diterapkan perawatan metode ISMO dalam merawat komponen mesinnya. PT. XYZ merupakan perusahaan yang menghasilkan listrik dengan memanfaatkan turbin

air. Turbin air yang digunakan adalah turbin francis. Turbin francis merupakan salah satu turbin reaksi. Turbin ini dipasang antara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin francis menggunakan sudu pengarah. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Turbin francis bekerja dengan memakai proses tekanan lebih. Pada waktu air masuk ke runner sebagian energi potensial bekerja di dalam sudu pengarah diubah sebagai kecepatan air masuk. Sisa energi tinggi jatuh dimanfaatkan dalam sudu jalan, dengan adanya pipa isap memungkinkan energi tinggi jatuh bekerja di sudu jalan dengan semaksimal mungkin. Energi mekanik turbin berasal dari penjumlahan energi kinetik dan energi potensial.[3]

Turbin yang dikelilingi dengan sudu pengarah semuanya terbenam dalam air. Air yang masuk ke dalam turbin dialirkan melalui pengisian air dari atas turbin (schact) atau melalui sebuah rumah yang berbentuk spiral (rumah keong). Daya yang dihasilkan turbin diatur dengan cara mengubah posisi pembukaan sudu pengarah. Dengan demikian kapasitas air yang masuk ke dalam roda turbin bisa diperbesar atau diperkecil. Hal ini ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Turbin Francis

METODE PENELITIAN

Metode perawatan yang digunakan adalah metode ISMO, yaitu Inspeksi, *Small Repair*, *Medium repair* dan *Overhoule*. Ada beberapa langkah dalam metode ISMO yaitu:

1. Identifikasi Kerusakan komponen dan langkah untuk perawatan dan perbaikan.
Identifikasi dilakukan untuk mendapatkan data data kerusakan komponen untuk dilakukan perawatan dan perbaikan dan untuk mengklasifikasikan kegiatan pada kegiatan perawatan metode ISMO.
2. Menentukan derajat kerumitan.
Derajat kerumitan ditentukan dengan melihat tabel yang telah ditentukan. Setiap mesin

mempunyai derajat kerumitan yang berbeda sesuai dengan klasifikasinya.

3. Menentukan siklus perawatan
Siklus perawatan ditentukan berdasarkan derajat kerumitan yang sudah didapatkan, berdasarkan tipe produksi (unit ; seri ; massal) , bahan produksi (Baja carbon dan Cor ; Aluminium ; Perunggu ; Baja konstruksi) dan waktu produksi (1 Shift ; 2 Shift ; 3 Shift). Dari data tersebut akan dihasilkan berapa banyak kegiatan dari Inspeksi, *Small Repair*, *Medium Repair* dan *Overhoule*. Selain itu akan didapatkan berapa waktu masa antara 2 perawatan (Bulan) dan masa antar *Overhoule* (Tahun)
4. Kegiatan perawatan dan perbaikan
Kegiatan perbaikan diklasifikasikan ke dalam kegiatan I (*Inspection*), S (*Small Repair*), M (*Medium Repair*), dan O (*Overhoule*).
5. Menentukan Jadwal Perawatan
Jadwal perawatan dibuat satu siklus dan berdasarkan kegiatan perawatan yang dilakukan.
6. Membuat Estimasi Biaya Perawatan
Estimasi biaya terdiri dari biaya bahan habis pakai, biaya peralatan, biaya komponen dan biaya tenaga kerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi kerusakan dan tindakan

Tabel 1 Spesifikasi Turbin tipe *Vertical Francis*

Output	35 MW
Head	78 m
Discharge	53,5 m ³ /s
Speed runner	250 Rpm
Standart specification	JEC – 151(1968)
Serial No	3600664 - C
Manufactured in	1975

Kerusakan kerusakan komponen yang sering terjadi adalah:

1. Guide vane
Guide vane adalah komponen yang digunakan untuk mengatur besar kecilnya aliran air yang melalui runner untuk mendapatkan beban pembangkit sesuai kebutuhan. Tindakan: Pembongkaran turbin dan penggantian guide vane. Guide van ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Guide Van

2. Shear Pin

Shear pin merupakan komponen yang menghubungkan antara guide vane dengan servo motor agar guide vane bisa diatur seberapa bukaan yang dibutuhkan agar putaran runner stabil 250 Rpm. Kerusakan yang sering terjadi shear pin patah yang disebabkan adanya benda padat yang menabrak guide vane. Tindakan: Dilakukan pembongkaran dan penggantian shear pin. Shear pin ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Shear Pin

3. Servomotor

Servomotor sebagaimana pada gambar 4, berfungsi sebagai motor penggerak yang menggerakkan guide vane seberapa yang dibutuhkan agar putaran runner tetap stabil. Kerusakan yang terjadi seal bocor. Tindakan: melakukan penggantian seal.



Gambar 4 Servo Motor

4. Turbin Guide Bearing

Turbin guide bearing berfungsi untuk menjaga gaya radial dari poros turbin. Turbin guide bearing ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5 Turbin Guide Bearing

Kerusakan yang terjadi adalah bearing gosong dikarenakan pelumasan tidak merata ke semua bagian turbin dan bearing aus karena kurangnya pelumasan. Tindakan: pemeriksaan ke saluran pelumasan apakah ada yang tersumbat dan pemeriksaan pada pompa pelumasan, apakah masih berfungsi normal.

5. Runner

Runner adalah alat yang digunakan untuk mengubah energi kinetik dari air menjadi energi mekanik. Lalu, tenaga putarannya diteruskan melalui poros vertikal ke generator. Runner ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6 Runner

Kerusakan yang terjadi adalah aus karena disebabkan adanya kavitasi. Tindakan: Membersihkan saluran admission valve agar udara bisa masuk ke ruang spiral casing

Menentukan Derajat Kerumitan (Repair Complexity).

Derajat kerumitan merupakan indikator kerumitan suatu mesin yang akan dirawat. Derajat kerumitan dibagi menjadi beberapa bagian dijelaskan di tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2 Derajat kerumitan

No	Type of Production	Average Repair Complexity of Equipment
1	Rolling Mills (steel)	15
2	Turbine (Steam and Hydro)	14

No	Type of Production	Average Repair Complexity of Equipment	No	Type of Production	Average Repair Complexity of Equipment
3	Boiler	12	14	Tools and Cutters	7,5
4	Steam Turbine for Ships	11,5		Textile, Food Industries	
	Aviation Engines, Heavy			Later, Fire, Protection	
	Diesel Engines, Heavy		15	Equipment	7,5
5	Machine Tools	11	16	Gas Apparatus	7
	Automobile, Heavy		17	Low Voltage Apparatus	7
6	Tractors, Ship, Aircraft	10	18	Weighting Instrument	7
7	Tractor	9,5	19	Electrical Instrument	7
8	Railway Wagon	9		Earth Moving Machinery	
9	Machine Tool (Medium)	9	20	Showers, Bulldozer ect.	6
	Ball of Roller Bearing Motor			Watches and Light	
10	Cycle	8,5	1	Instrument	5,5
	Heavy Electrical Machines,				
	Electrical Trains, Precision				
11	Instrument	8,5			
	Cycles Tractor Spare Parts,				
	Machine for Chemicals,				
	Industrial Paper from Wood				
12	Pulp	8			
	Compressor, Hydraulic,				
	Machine, Light Machine				
13	Tools	8			

Dari tabel kerumitan diatas, turbin mempunyai derajat kerumitan sebesar 14. Derajat kerumitan dijadikan sebagai dasar penentuan siklus dan penentuan jumlah waktu yang dibutuhkan dalam kegiatan perawatan.

Tabel 3 Siklus Perawatan derajat kerumitan 0 s/d 30

Derajat Kerumitan Perawatan	Siklus Perawatan (<i>Repair Cycle</i>)			Periode Antara Dua Masa Perawatan Dalam Bulan (t)			Periode Antara <i>Overhaul</i> Dalam Tahun (T)			
	Siklus	Jumlah			Giliran Kerja /Hari			Giliran Kerja/Hari		
		M	S	I	1	2	3	1	2	3
0 s/d 30	O-I ₁ -S ₁ -I ₂ -S ₂ -I ₃ -M ₁ -I ₄ -	2	6	9	6.0	3.0	2.0	9.5	4.5	3.0
	6.5				3.5	2.5	10.0	5.0	3.5	
	7.0				3.5	2.5	10.0	5.5	3.5	
	8.5				4.5	3.0	13.0	6.5	4.5	

Setelah menentukan derajat kerumitan, selanjutnya menentukan siklus perawatan sesuai dengan tabel 3. Berdasarkan nilai derajat kerumitan didapat untuk turbin adalah 14 yang terletak range 0 s/d 30. Dari tabel 2 menunjukkan bahwa karena tipe produksi masal, bahan benda produksi adalah baja karbon dan cor, sifat waktu produksi 3 shift maka siklus perawatan yang dihasilkan adalah terdiri dari 9 kegiatan inspeksi, 6 kegiatan *small repair*, 2 kegiatan *medium repair* dan satu kegiatan *overhoule*. Periode antara 2 masa perawatan adalah 2 bulan. Periode untuk antar *overhoule* adalah 3 tahun. Siklus tersebut

adalah : O-I₁-S₁-I₂-S₂-I₃-M₁-I₄-S₃-I₅-S₄-I₆-M₂-I₇-S₅-I₈-S₆-I₉-O

Kegiatan Pemeliharaan

Kegiatan pemeliharaan terdiri Inspeksi, *Small Repair*, *Medium Repair* dan *Overhoule*.

Kegiatan Inspeksi:

- a. Pemeriksaan secara visual

- b. Pemeriksaan pemakaian oli pelumas pada *governor sump tank, lubrication oil tank*
- c. Pembersihan bagian – bagian yang ada disekitar turbin.
- d. Pembuangan oli yang tercampur dengan pelumas pada *governor sump tank* dan *lubrication oil tank*.
- e. Pembersihan bagian – bagian yang ada disekitar turbin.

- b. Penggantian turbin guide bearing
- c. Penggantian runner
- d. Penggantian guide vane
- e. Pembersihan drafe Tube
- f. Penggantian pipa- pipa sisitem pelumasan, dan sistem pendinginan pada turbin

Kegiatan Small Repair:

- a. Melakukan semua kegiatan Inspeksi.
- b. Pengkalibrasian dial termo turbin bearing.
- c. Pemeriksaan panel – panel control dan motor pada *lubrication oil, governor sump tank, dan grase pump*.

Kegiatan Medium Repair:

- a. Melaksanakan semua kegiatan small Repair
- b. Penggantian oli pelumas pada turbin bearing, *governor sump tank, dan lubrication oil tank*.
- c. Penggantian shear pin, main shaft seal, main shaft sleeve, main turbin bearing, paking draft tube dan oring P-80 for draft tube

Kegiatan Overhoule:

- a. Melaksanakan semua kegiatan Medium Repair

Jadwal Perawatan

Tabel 4 merupakan jadwal perawatan pada tahun pertama. Kegiatan perawatan pada tahun pertama terdiri dari *inspeksi, small repair* dan *medium repair*. Inspeksi dilakukan pada awal bulan, bulan ke 5 dan bulan ke 9. *Small repair* dilakukan pada bulan ke 3 dan bulan ke 7. *Medium repair* dilakukan pada bulan ke 11.

Tabel 5 menunjukkan perawatan pada tahun ke dua. Kegiatan perawatan pada tahun kedua terdiri dari *inspeksi, small repair* dan *medium repair*. Inspeksi dilakukan pada bulan ke 13, bulan ke 17 dan bulan ke 21. *Small repair* dilakukan pada bulan ke 15 dan bulan ke 19. *Medium repair* dilakukan pada bulan ke 23.

Tabel 6 menunjukkan perawatan pada tahun ke tiga. Kegiatan perawatan pada tahun ketiga terdiri dari *inspeksi, small repair* dan *overhoule*. Inspeksi dilakukan pada bulan ke 25, bulan ke 29 dan bulan ke 33. *Small repair* dilakukan pada bulan ke 27 dan bulan ke 31. *Overhoule* dilakukan pada bulan ke 35. *Overhoule* merupakan puncak perawatan pada turbin francis ini.

Tabel 4 Siklus perawatan tahun pertama

Komponen	Bulan ke											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Runner	I		S		I		S		I		M	
Upper liner Runner	I		S		I		S		I		M	
Lower liner Runner	I		S		I		S		I		M	
Top Facing Plate Runner	I		S		I		S		I		M	
Bottom Facing plate Runner	I		S		I		S		I		M	
Flush Bolt For Facing Runner	I		S		I		S		I		M	
Guide Vane	I		S		I		S		I		M	
Upper bush for guide vane	I		S		I		S		I		M	
Lower bush for guide vane	I		S		I		S		I		M	
Shear pin	I		S		I		S		I		M	
Main shaft seal	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for main shaft seal	I		S		I		S		I		M	
Main shaft sleeve	I		S		I		S		I		M	
Main Turbin bearing	I		S		I		S		I		M	
Paking draft tube	I		S		I		S		I		M	
O Ring type P-80 for draft tube	I		S		I		S		I		M	
Dial Thermo Meter for Turbin Bearing	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M16x35	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M12x30	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M16x40	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M30 x 35 and nut M30	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M42 x 130 and nut M42	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M64 x 140 and nut M64	I		S		I		S		I		M	

Keterangan: I = Inspeksi, S=Small Repair, M=Medium Repair, O = Overhoule.

Tabel 5 Siklus Perawatan Tahun kedua

Komponen	Bulan ke											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Runner	I		S		I		S		I		M	
Upper liner Runner	I		S		I		S		I		M	
Lower liner Runner	I		S		I		S		I		M	
Top Facing Plate Runner	I		S		I		S		I		M	
Bottom Facing plate Runner	I		S		I		S		I		M	
Flush Bolt For Facing Runner	I		S		I		S		I		M	
Guide Vane	I		S		I		S		I		M	
Upper bush for guide vane	I		S		I		S		I		M	
Lower bush for guide vane	I		S		I		S		I		M	
Shear pin	I		S		I		S		I		M	
Main shaft seal	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for main shaft seal	I		S		I		S		I		M	
Main shaft sleeve	I		S		I		S		I		M	
Main Turbin bearing	I		S		I		S		I		M	
Paking draft tube	I		S		I		S		I		M	
O Ring type P-80 for draft tube	I		S		I		S		I		M	
Dial Thermo Meter for Turbin Bearing	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M16x35	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M12x30	I		S		I		S		I		M	
Flush bolt for cover liner M16x40	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M30 x 35 and nut M30	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M42 x 130 and nut M42	I		S		I		S		I		M	
Hex. HD Bolt M64 x 140 and nut M64	I		S		I		S		I		M	

Keterangan: I = Inspeksi, S=Small Repair, M=Medium Repair, O = Overhoule.

Tabel 6 Siklus Perawatan Tahun ketiga

Komponen	Bulan											
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Runner	I		S		I		S		I		O	
Upper liner Runner	I		S		I		S		I		O	
Lower liner Runner	I		S		I		S		I		O	
Top Facing Plate Runner	I		S		I		S		I		O	
Bottom Facing plate Runner	I		S		I		S		I		O	
Flush Bolt For Facing Runner	I		S		I		S		I		O	
Guide Vane	I		S		I		S		I		O	
Upper bush for guide vane	I		S		I		S		I		O	
Lower bush for guide vane	I		S		I		S		I		O	
Shear pin	I		S		I		S		I		O	
Main shaft seal	I		S		I		S		I		O	
Flush bolt for main shaft seal	I		S		I		S		I		O	
Main shaft sleeve	I		S		I		S		I		O	
Main Turbin bearing	I		S		I		S		I		O	
Paking draft tube	I		S		I		S		I		O	
O Ring type P-80 for draft tube	I		S		I		S		I		O	
Dial Thermo Meter for Turbin Bearing	I		S		I		S		I		O	
Flush bolt for cover liner M16x35	I		S		I		S		I		O	
Flush bolt for cover liner M12x30	I		S		I		S		I		O	
Flush bolt for cover liner M16x40	I		S		I		S		I		O	
Hex. HD Bolt M30 x 35 and nut M30	I		S		I		S		I		O	
Hex. HD Bolt M42 x 130 and nut M42	I		S		I		S		I		O	
Hex. HD Bolt M64 x 140 and nut M64	I		S		I		S		I		O	

Keterangan: I = Inspeksi, S=Small Repair, M=Medium Repair, O = Overhoule.

Estimasi Biaya

Dalam estimasi biaya ada beberapa hal yang harus diketahui, yaitu berapa lama melakukan perawatan dan berapa jumlah man power yang terlibat perawatan. Menurut [4], ada tabel dalam penentuan hal tersebut berdasarkan derajat kerumitan.

Tabel 7 Waktu Perawatan

Kategori perawatan prefentif	Jumlah hari yang diizinkan per unit dari repair complexity
Inspection (I)	0,15
Small Repair (S)	0,25
Medium Repair (M)	0,65
Overhaul (O)	1,00

Tabel 8 Jumlah Man Power

Kategori perawatan	Jumlah orang per tingkat kerumitan
<i>Inspection (I)</i>	1
<i>Small Repair (S)</i>	5
<i>Medium Repair (M)</i>	18
<i>Overhaul (O)</i>	30

Biaya perawatan terdiri dari biaya *man power*, biaya komponen dan biaya bahan habis pakai (BHP). Berikut biaya masing masing kegiatan:

1. Biaya inspeksi adalah sebagai berikut:

Untuk mendapatkan biaya Inspeksi harus diketahui waktu perawatan dan jumlah tenaga kerja.

- Waktu perawatan :
 - = derajat kerumitan x hari yang diizinkan
 - = $14 \times 0,15 = 2,1$ hari = 16,8 jam
 - Jumlah orang yang diperlukan: $8/16,8 = 0,47$ orang/jam = 1 orang
 - Biaya tenaga kerja dengan asumsi Rp. 35.000/jam
 - = Rp 35.000 x 1 orang x 16,8 jam x 9 kali
 - = Rp. 5.292.000,-
 - Biaya peralatan dan BHP: Majun dan sarung tangan 4 kg dengan harga Rp. 20.000 rupiah per kg, sehingga = 80.000. inspeksi sebanyak 9 kali sehingga: 9×80.000 rupiah = Rp. 720.000
- Total biaya inspeksi : Rp. 5.292.000 + Rp. 720.000 = Rp. 6.012.000,-

2. Biaya Small Repair

- Waktu perawatan:
= $14 \times 0,25 = 3,5$ hari = 28 Jam
 - Jumlah orang yang diperlukan:
= $5 \times 8/28 = 1,4$ orang/jam = 2 orang
 - Biaya tenaga kerja:
=Rp. 35.000 x 2 orang x 28 jam x 6 kali
= Rp. 11.760.000,-
 - Biaya peralatan dan BHP:
 - Majun dan sarung tangan 4 kg dengan harga Rp, 20.000 per kg, sehingga= Rp. 80.000. Karena small repair ada 6, sehingga $80.000 \times 6 =$ Rp. 480.000
 - Oli Pelumas Mobil DTE Oil Heavy Medium ISO VG 68(4 liter) x Rp. 124.000 = Rp. 496.000
 - 496.000×6 kegiatan = Rp. 2.976.000
 - Total biaya BHP dan peralatan: Rp. 2.976.000 + Rp. 480.000 = Rp. 3.456.000,-
- Total biaya Small Repair = Rp. 11.760.000 + Rp. 3.456.000 = Rp. 15.216.000,-

3. Biaya Medium Repair

- Waktu perawatan:

$$= 14 \times 0,65 = 9,1 \text{ hari} = 72,8 \text{ Jam}$$

- Jumlah orang yang diperlukan:
 $18 \times 8/72,8 = 2$ orang
- Biaya tenaga kerja:
=Rp.35.000 x 2 orang x 72,8 jam x 2 Kali
= Rp.10.192.000,-
- Biaya peralatan dan BHP:
 - Majun dan sarung tangan 4 kg dengan harga Rp. 20.000 per kg, sehingga= Rp. 80.000. Karena medium repair ada 2, sehingga Rp. 80.000 x 2 = Rp. 160.000
 - Oli Pelumas Mobil DTE Oil Heavy Medium ISO VG 68(4liter) x Rp. 124.000 = Rp. 496.000.
Rp. 496.000 x 2 kegiatan = Rp. 992.000.
 - Penggantian peralatan:
 - o Penggantian shear pin, Rp. 180.000 x 2 =Rp. 360.000
 - o main shaft seal, Rp. 320.000 x 2 = Rp. 640.000
 - o main shaft sleeve, Rp. 260.000 x2 = Rp. 520.000
 - o paking draft tube Rp. 30.000x2 = Rp. 60.000
 - o Oring P-80 for draft tube Rp. 8000 x 2 = Rp. 16.000

Total biaya BHP dan peralatan:

$$\text{Rp.992.000} + \text{Rp.160.000} + \text{Rp. 360.000} + \text{Rp.640.000} + \text{Rp.520.000} + \text{Rp.60.000} + \text{Rp.16.000} = \text{Rp. 2.750.000.}$$

$$\text{Total biaya Medium Repair} = \text{Rp.10.192.000} + \text{Rp.2.750.000} = \text{Rp. 12.942.000,-}$$

4. Biaya Overhoul

- Waktu perawatan:
= $14 \times 1 = 14$ hari =112 Jam
- Jumlah jam orang yang diperlukan: $8 \times 30/112 = 2,1$ orang/jam = 3 orang/ jam
- Biaya tenaga kerja:
=Rp. 35.000 x 112 x 3
= Rp. 11.760.000
- Biaya peralatan dan BHP:
 - Majun dan sarung tangan 8 kg dengan harga Rp.20.00 per kg, sehingga = Rp.160.000.
 - Oli Pelumas Mobil DTE Oil Heavy Medium ISO VG 68 (20 liter) x Rp.124.000 = Rp. 1.240.000
 - Penggantian peralatan dan komponen:
 - o Grease: 1 kg x Rp.70.500 = Rp. 70.500
 - o Runner 1 buah = Rp 12.000.000.
 - o Upper Liner Runer 1 buah = Rp. 200.000.
 - o Lower liner Runer 1 buah = Rp. 200.000.
 - o Top Facing Plate Runer = Rp. 200.000.
 - o Bottom Facing Liner = Rp. 25.000.

- Flush Bolt for Facing Runner = Rp. 25.000.
- Guide Van 20 buah= 20 x Rp 1.250.000 = Rp.25.000.000
- Upper bush for guide vane 20 buah = 20xRp. 32.000 = Rp. 640.000.
- Lower bush for guide vane 20 buah = 20 x Rp. 32.000 = Rp. 640.000.
- Shear pin 20 buah,= 20 x Rp. 180.000 =Rp. 3.600.000.
- Main shaft seal, Rp. 320.000 = Rp. 320.000.
- Flush bolt for main shaft seal, 20 buah = Rp.500x20 = Rp. 100.000.
- Main shaft sleeve, Rp.260.000 = Rp. 260.000.
- Main Turbin bearing, 1 buah =Rp. 2.300.000.
- Paking draft tube Rp.30.000 = Rp. 30.000,-
- Oring P-80 for draft tube 4 buah = 4 x Rp.8000 = Rp. 32.000.
- Dial Thermo Meter for Turbin Bearing = Rp. 2.400.000.
- Flush bolt for cover liner M16x35 32 buah = 32 x Rp. 5000 = Rp. 160.000.
- Flush bolt for cover liner M12x30 32 buah = 32 x Rp. 5000 = Rp. 160.000.
- Hex. HD Bolt M30 x 35 and nut M30 8 buah = 8 x Rp.5000 = Rp. 40.000.
- Hex. HD Bolt M42 x 130 and nut M42 6 buah= 6 x Rp. 5000 = FRp. 30.000.
- Hex. HD Bolt M64 x 140 and nut M64 2 buah = 2 x Rp. 5000 = Rp. 10.000.
- Penetran WD 40 412 ml = Rp. 71.000,-
- Bensin 4 liter = 4 x Rp. 11.000 = Rp. 44.000.
- Amplas 10 lembar = 10 x Rp. 5000 = Rp. 50.000.
- Pipa tembaga sistem pendingin 10 m = 10 x Rp. 100.000 = Rp. 1.000.000.
- Pipa besi pendingin 10 meter = 10 x Rp. 100.000 = Rp. 1.000.000.

Total Biaya peralatan dan BHP : Rp. 52.007.5

Total Biaya keseluruhan dalam satu siklus :
 = Biaya Inspeksi + Biaya Small Repair + Biaya Medium Repair + Biaya Overhoule
 = Rp. 6.012.000 + Rp.15.216.000,- + Rp. 12.942.000,- + Rp. Rp 63.767.000,-
 = Rp.97.937.000,-
 Jadi biaya total keseluruhan biatya peralatan selama 3 tahun adalah Rp.97.937.000.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan dan analisis Perawatan turbin francis kapasitas 35 MW dengan metode ISMO dapat disimpulkan :

1. Perawatan turbin Francis pada perusahaan XYZ mempunyai siklus 3 tahun, yang terdiri dari kegiatan Inspeksi sebanyak 9 kali, small repair sebanyak 6 kali, medium repair sebanyak 2 kali dan overhoule sebanyak 1 kali.
2. Total biaya perawatan selama satu siklus adalah: 97.937.000 rupiah

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Astuti FAF, Sugiono, Choiron MA. Journal of Engineering and Management Industrial System Vol. 5 No . 1 Year 2017 Strategies of Maintenance Model for Exercise Book Manufacturing Machine on Paper Industry By Implementing Journal of Engineering and Management. 2017;5(1):1-7.
- [2] GARD H. *Industrial Maintenance*. S Chand; 1976.
- [3] Fachrudin AR, Purwono BS. *Termodinamika*. I. (Muqit A, ed.). NN Press; 2015.
- [4] Suparlan S. *Perawatan Mesin*. ITB; 2001.

PENGARUH PARAMETER PADA PROSES 3D PRINTING MENGGUNAKAN FILAMENT EAL-FILL TERHADAP AKURASI DIMENSI DAN KEKERASAN DENGAN PENDEKATAN METODE TAGUCHI

Ahmad Zamheri¹, Fatahul Arifin¹, Icvan Apriansyah¹

¹ Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

Palembang, 30139, Indonesia

farifinus@polsri.ac.id¹

Abstrak

Teknologi 3D printing pada dunia manufaktur memberikan perubahan besar pada dunia. Teknologi yang lebih dikenal dengan istilah Additive Layer Manufacturing ini sudah ada sejak tahun 1980-an. Munculnya teknologi 3D Printing sangat berpengaruh pada beberapa bidang industri. Oleh karena itu Studi kali ini dilakukan untuk mengetahui dan menambah pengetahuan tentang filament eAl-fill yang akan di uji dengan menggunakan pengujian akurasi dimensi dan kekerasan pada filament tersebut. Adapun dalam pengambilan data yaitu mengambil dengan menggunakan pendekatan metode taguchi yaitu L9(34). Dan dilakukan pengujian kekerasan dengan Metode Uji Brinnel. Kemudian dianalisis dengan ANOVA. Hasil analisis of varians (anova) menyatakan bahwa parameter yang paling berpengaruh pada dimensi akurasi adalah layer height dengan nilai kontribusi sebesar 64,233%. Sedangkan untuk kekerasan parameter yang sangat berpengaruh adalah print temperatur dengan nilai kontribusi sebesar 41,929%.

Kata kunci : 3D Printing, Dimensi Akurasi, Kekerasan dan Taguchi

Abstract

3D printing technology in the world of manufacturing has brought big changes to the world. This technology, which is also known as Additive Layer Manufacturing, has actually been around since the 1980s. The emergence of 3D Printing technology is very influential in several industrial fields. Therefore, this study was carried out to find out and increase knowledge about the eAl-fill filament which will be tested using dimensional accuracy and hardness testing on the filament using the Taguchi method. As for the data retrieval that is taking by using the Taguchi method approach, namely L9(34). And the hardness test was carried out using the Brinnel Test Method. Then analyzed by ANOVA. The result of analysis of variance (ANOVA) states that the parameter that has the most influence on the dimension of accuracy is the layer height with a contribution value of 64.233%. Meanwhile, the most influential parameter of hardness is the print temperature with a contribution value of 41.929%.

Key words : 3D Printing, Dimensional Accuration, Hardness and Taguchi

PENDAHULUAN

Teknologi 3D Printing disebut juga dengan Additive Layer Manufacturing ini sudah dikenal sejak tahun 1980-an. 3D Printing adalah sebuah terobosan yang baru di dunia teknologi. Terobosan ini terkenal di seluruh belahan dunia, khususnya di lingkungan akademisi dan industri. Dengan adanya teknologi 3D Printing sangat berpengaruh pada

beberapa bidang industri, terutama di segi ekonomi. [1].

Ada berbagai macam jenis teknologi rapid prototyping yang sering digunakan saat ini serta memiliki kelemahan dan kelebihan yang berbeda-beda, terkhusus parameter proses seperti Layer Thickness, System Accuracy, Dan Operation Speed [2].

Kualitas produk dari mesin 3D Printing berbasis deposisi lelehan material (FDM), pada

umumnya dibuat dalam bentuk (a) kehalusan detail permukaan produk termasuk jika permukaan bertekstur (Surface Finish), (b) ketelitian dan kepresisian ukuran produk (akurasi dimensi), (c) jumlah warna yang dapat ditawarkan (warna dari materialnya bukanlah pewarnaan tambahan yang dilakukan di luar proses), dan (d) densitas dan kesesuaian spesifikasi (densitas, kuat tarik/tekan, kuat impak, keuletan, fleksibilitas, dan sebagainya sesuai dengan kebutuhan) dengan desain awal dipengaruhi pada optimasi parameter proses [3].

Salah satu permasalahan pada proses Pencetakan 3D Fused Deposition Modeling (FDM) adalah bahwa filamen plastik yang diekstrusi cenderung menyusut. Karena penyusutan menjadi masalah yang tidak dapat dihindari untuk proses FDM, sulit untuk mendapatkan bagian yang sangat akurat dengan pengulangan yang memuaskan. Ketika parameter fabrikasi dioptimalkan, efek penyusutan dapat dikurangi.

Shrinkage adalah salah satu cacat yang sering ditemui pada produk plastik. Shrinkage (penyusutan) akan muncul bila terjadi perubahan densitas dari temperatur proses produksi ke temperatur ruangan, cacat shrinkage (penyusutan) tidak dapat kita hilangkan tetapi bisa dieliminir atau dikurangi persentasenya pada sebuah produk. Penyusutan material biasa terjadi pada termoset dan muncul selama transisi dari cairan ke kondisi padat setelah pencetakan. Ketika bahan PLA menyusut secara seragam, itu hanya akan menjadi sedikit lebih kecil. Namun ketika bagian dari model yang menyusut, itu akan menjadi masalah besar karena model tersebut akan bengkok. Model yang bengkok akan menekuk dari pelat penahan pada printer, sehingga medel dapat retak atau berubah bentuk [4].

METODE PENELITIAN

Uji Kekerasan Brinell

Metode uji kekerasan pertama kali dikenalkan oleh J.A. Brinell pada tahun 1900 yang merupakan uji kekerasan lekukan, yang pertama kali banyak digunakan serta disusun sebagai standard [5].

Uji kekerasan adalah membuat cekungan di permukaan logam dengan menggunakan bola baja yang dikeraskan, yang ditekan dengan beban tertentu. Beban diaplikasikan selama waktu tertentu sekitar 30 detik, kemudian diameter cekungan diukur dengan mikroskop, setelah beban itu dihilangkan. Permukaan yang akan dilakukan penekanan harus halus dan rata serta bersih dari debu atau kotoran.

Metode pengujian Brinell ini dilakukan dengan menekan sebuah bola baja yang terbuat dari baja krom yang dikeraskan dengan diameter tertentu

dengan gaya tekan secara statis ke dalam permukaan logam yang diuji tanpa beban kejut. Setelah gaya tekan dihilangkan dan bola baja dibebaskan dari bekas cekungan, maka diameter yang terjadi itu diukur secara teliti menggunakan alat ukur khusus. Nilai uji kekerasan Brinell biasa disingkat dengan HB atau BHN (Brinell Hardness Number). Dengan makin keras logam yang diuji, maka semakin tinggi nilai HB [6].

Metode Taguchi

Metode Taguchi pertama kali dipromisikan oleh Dr. Genichi Taguchi adalah metodologi baru pada bidang keteknikan, bertujuan untuk memperbaiki kualitas produk dan proses serta untuk menekan biaya dan resources sekecil mungkin. Metode Taguchi adalah salah satu cara yang efektif untuk menemukan parameter pemrosesan yang lebih baik secara eksperimental, dan itu akan digunakan dalam penelitian ini untuk menemukan pemrosesan terbaik kombinasi parameter [7]

Dengan orthogonal array yang merupakan pemilihan kombinasi level dari variable-variabel input untuk masing-masing level percobaan. Taguchi berpendapat ada 2 (dua) bagian umum kualitas yaitu kualitas rancangan dan kualitas kesamaan. Kualitas rancangan adalah variasi tingkat kualitas yang ada pada suatu produk yang memang disengaja, sedangkan kualitas kesamaan adalah seberapa baik produk itu sesuai dengan kekhususan dan kelonggaran yang dibutuhkan oleh rancangan [8].

Desain parameter adalah bagian yang dioptimalkan dari metode Taguchi dan sering digunakan untuk meningkatkan desain produk dan proses. Tujuannya adalah untuk menemukan sekumpulan kombinasi level parameter yang optimal, sehingga nilai target rata-rata dapat dicapai dengan varian terkecil yang berarti hilangnya karakteristik kualitas dapat diminimalkan [9].

Karakteristik kualitas yaitu hasil suatu proses berkaitan pada kualitas produk yang ada pada proses tersebut. Menurut Taguchi, karakteristik kualitas yang terukur dibagi menjadi tiga kategori adalah:

1. Nominal is the Best
Karakteristik kualitas yang mempunyai suatu target nilai yang tepat pada suatu nilai tertentu.
2. Smaller the Better
Pencapaian karakteristik apabila semakin kecil (mendekati nol; nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik.
3. Larger the Better.
Pencapaian karakteristik kualitas semakin besar akan semakin baik (tak terhingga sebagai nilai idealnya)

Alat

Peralatan yang digunakan adalah:

1. 3D Printing yang adalah Tipe FDM Cartesian
2. Mesin uji kekerasan dengan merk dagang ALBERT GNHEM HORGEM dan Profil Proyektor dengan merk dagang PJ-A3000 Mitutoyo
3. Alat ukur yang digunakan adalah digimatic Vernier Caliper dengan merk dagang Mitutoyo Absolute.

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah filament eAl-fill yang berunsur dasar polimer-termoplastik.

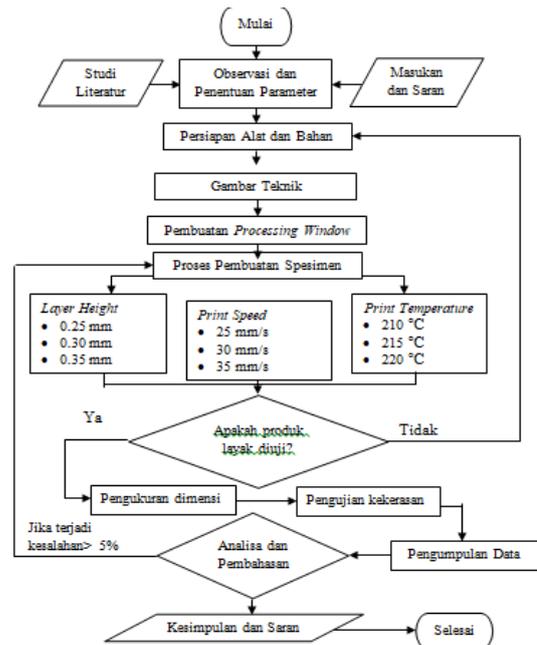
Karakteristik FilamenteAl-Fill

1. Ramah lingkungan dan tidak berbau saat mencetak;
2. Kurang Penyusutan, mencetak produk tanpa ujung melengkung;
3. Suhu cetakan lebih rendah, mobilitas lebih baik, dan pemrosesan mudah
4. Permukaan produk cetakan yang dicetak menunjukkan tekstur logam setelah dipoles.

Beberapa langkah yang diusulkan oleh Taguchi untuk melakukan eksperimen secara sistematis, yaitu:

1. Menentukan level setiap faktor
2. Memilih Orthogonal Array
3. Melakukan eksperimen dan menganalisa hasil dengan ANOVA
4. Analisa data
5. Konfirmasi.

Dalam melakukan riset ini dilakan tahapan-tahapan Seperti pada gambar 1. Dimulai dengan study literatur, kemudian membuat disain produk yang akan diuji, melakukan pencetakan benda uji, melakukan pengukuran serta pengujian kekerasan.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menentukan Jumlah Level Setiap Faktor

1. Print speed

Print Speed diseting pada pengujian ini adalah 25 mm/s, 30 mm/s, dan 35 mm/s.

2. Layer Height

Layer Height yang digunakan adalah 0.25 mm, 0.30 mm dan 0.35 mm

3. Print Temperature

Print Temperature yang diatur adalah 210°C, 215°C dan 220°C

Tabel 1 Faktor dan Level yang dipilih dalam pembuatan spesimen

Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Print speed (mm/s)	25	30	35
Layer Height (mm)	0.25	0.30	0.35
Print temperature (°C)	210	215	220

Matriks Ortogonal Standar dengan 3 Level

Susunan matrik ortogonal merupakan suatu matriks yang bagian-bagiannya diatur menurut baris

dan kolom. Kolom adalah faktor yang dapat diubah dalam eksperimen. Baris merupakan kombinasi level dari faktor dalam eksperimen. [11].

Tabel 2 menunjukkan matrik ortogonal matriks $L_9(3^4)$, yang mempunyai 3 faktor dan 3 level.

Tabel 2 Matriks Ortogonal $L_9(3^4)$

Nomor Eksperimen	Nomor Kolom			
	1	2	3	4
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1
Basic mark	A	B	Ab	ab ²
Assigment	A	B	C	E

Signal Noise to Ratio Dimensi akurasi (SN Ratio)

Rasio S/N (Signal to Noise) dimanfaatkan untuk mendapatkan level faktor yang mempunyai pengaruh pada hasil percobaan. Karakteristik rasio S/N digunakan untuk Dimensi Akurasi adalah smaller the better [10].

Adapun data yang didapat dalam pengukuran dimensi nanti akan di oleh untuk mendapatkan nilai dimensi akurasi dengan menggunakan formula:

$$\frac{\text{Dimensi hasil pengukuran}}{\text{Dimensi Disain}} \times 100 \% \dots\dots\dots (1)$$

Tabel 3 Faktor dan Level yang dipilih dalam pembuatan spesimen

Dimensional accuracy eAL-FILL (%)					
No. Eks	LH (mm)	PS (mm/s)	PT (C)	Average DA (%)	S/N Ratio
1	0,25	25	210	1,061111	-2,6238
2	0,30	25	215	3,394445	-11,7211
3	0,35	25	220	1,922223	-8,5358
4	0,25	30	220	1,638889	-7,0071
5	0,30	30	210	0,977778	-1,8381
6	0,35	30	215	2,138889	-7,9791
7	0,25	35	215	0,911111	-1,1551
8	0,30	35	220	0,422222	5,6057
9	0,35	35	210	1,083334	-0,7209

1. Signal Noise to Ratio Kekerasan (SN Ratio)

Rasio S/N (Signal to Noise) dipakai untuk mengetahui level faktor mana yang berpengaruh pada hasil percobaan. Karakteristik Rasio S/N yang dipakai pada Dimensi Akurasi adalah large the better.

Tabel 4 Faktor dan Level yang dipilih dalam pembuatan spesimen

Kekerasaan eAl-fill					
No. Eks	LH (mm)	PS (mm/s)	PT (°C)	Ave. BHN	S/N Ratio
1	0,25	25	210	10,308	20,0909
2	0,30	25	215	9,546333	19,1682
3	0,35	25	220	9,09	19,0599
4	0,25	30	220	9,536667	19,1593
5	0,30	30	210	9,645	19,6517
6	0,35	30	215	7,424333	17,4015
7	0,25	35	215	10,93667	20,6769
8	0,30	35	220	8,787333	18,8760
9	0,35	35	210	7,593333	17,5249

2. ANOVA Variabel Respon dimensi akurasi dan kekerasan

Metode ANOVA digunakan untuk mendapatkan faktor mana yang mempunyai pengaruh terhadap respon yang diharapkan serta untuk mendapatkan persentase kontribusi untuk masing-masing faktor.

Tabel 5 Hasil dari pengambilan data Anova pengukuran akurasi dimensi pada fillamen eAl-fill

Source	DF	Seq	Adj	Adj	F	P
		SS	SS	MS		
Layer Height	2	4,216	4,216	2,108	2,19	64,233
Print Speed	2	0,040	0,040	0,020	0,02	0,623
Print Temperature	2	0,377	0,377	0,188	0,20	5,752
Residual Error	2	1,929	1,929	0,964		29,390
Total	8	6,564				100%

Tabel 6 Hasil dari pengambilan data Anova Kekerasan (Hardness) pada fillamen eAl-fill

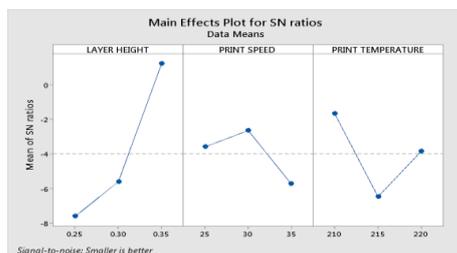
Source	DF	Seq	Adj	Adj	F	P
		SS	SS	MS		
Layer Height	2	1,333	1,333	0,666	7,29	30,449
Print Speed	2	1,026	1,026	0,513	5,62	23,446
Print Temperature	2	1,835	1,835	0,917	10,04	41,929

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Residual Error	2	0,182	0,182	0,091		4,174
Total	8	4,378				100%

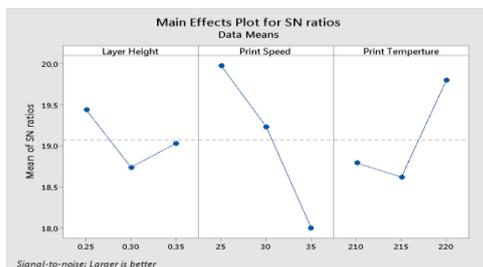
Konfirmasi

Sesudah analisa data didapat, maka akan dihasilkan nilai prediksi optimal, nilai ini merupakan prediksi parameter terbaik yang selanjutnya digunakan untuk eksperimen konfirmasi.

Nilai konfirmasi menggunakan metode taguchi dengan aplikasi minitab 19 dapat di lihat pada tabel



Gambar 2 Main Effect Plot for SN Ratios Dimensional Accuration



Gambar 3 Main Effect Plot for SN Ratios Hardness

KESIMPULAN

Setelah melakukan percobaan proses produksi dengan metode pendekatan Taguchi dan menganalisisnya menggunakan *analysis of variants* (ANOVA) maka didapatkan bahwa faktor yang berpengaruh untuk mendapatkan Dimensi Akurasi pada proses produksi dengan 3D printing ini adalah Layer height yaitu sebesar 64.233%, sedangkan untuk kekerasan yaitu print temperature dengan nilai kontribusi sebesar 41.929 %.

Parameter terbaik untuk proses produksi dengan menggunakan filament eAl-fill untuk keakuratan dimensi yaitu dengan mengatur layer

height 0,35 mm, Print Speed 30 mm/s dan Print Temperature 210°C, sedangkan parameter terbaik untuk kekerasan adalah dengan menggunakan Layer Height 0,25 mm, Print Speed 25mm/s dan Print Temperature 220°C.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Garlotta, D., 2011, A Literature Review of Poly (Lactic Acid), *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 9, no. 2, pp. 63 – 84.
- [2] Pham D, Gault R., 1998. A comparison of rapid prototyping technologies, *IntJ Mach Tools Manuf.*, 1998;38:1257–87.
- [3] Tontowi, A, E. 2017. Optimization of 3D-Printer Process Parameters for Improving Quality of Polylactic Acid Printed Part, *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, Vol 9 No 2 Apr-May 2017
- [4] Firdaus dan Soejono T., 2002. *Studi Eksperimental Pengaruh Parameter Proses Pencetakan Bahan Plastik Terhadap Cacat Penyusutan (Shrinkage) Pada Benda Cetak Pneumatics Holder*. Jurnal Teknik Mesin, 4(2): 75-85.
- [5] Dieter, G.E., 1987, *Metalurgi Mekanik*, terj. Sriati D., Erlangga, Jakarta, hal. 6.
- [6] Furqon, G.R., Firman, S.M., Sugeng, A.P., analisa uji kekerasan pada poros baja ST 60 dengan media pendingin berbeda. Jurnal teknik mesin unsika. Vol. 01 no. 02. 2016.
- [7] Wang, M.W., Arifin, F., Huang, J.Y., 2019. Optimaziation of micro molding of a bicon cave structure, *international journal of technology*, 10 (2) : 269-279
- [8] Taguchi, G., Chowdhury, S. and Wu, Y, *Taguchi's Engineering Quality Handbook*, 1st ed, John Willey dan Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 2005. Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.
- [9] Wang, M.W., Arifin, F., and Kuo, H.L., (2019): Study on micromoulding of a high viewing angle LED lens, *Plastics, Rubber and Composites*, DOI:10.1080/14658011.2019.1685803.
- [10] Jenarthanan, M. P., dan Jeyapaul, R. (2018). Optimisation of machining parameters on milling of GFRP composites by desirability function analysis using Taguchi method. *International Journal of Engineering, Science and Technology*. <https://doi.org/10.4314/ijest.v5i4.3>
- [11] Soejanto, I. 2009, *Desain Eksperimen Dengan Metode Taguchi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

ANALISA PERAWATAN POMPA SENTRIFUGAL INTAKE B DENGAN MENGGUNAKAN METODE RCM DI PERUMDA AIR MINUM TIRTA TERUBUK KAB. BENGKALIS

Asril¹, dan Bambang Dwi Haripriadi²

^{1,2}Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Sarjana Terapan Teknik Mesin Produksi dan Perawatan

Politeknik Negeri Bengkalis, Bengkalis, 28711, Indonesia

Email: asrilboy200897@gmail.com

Abstrak

Pompa adalah suatu alat (mesin fluida) yang banyak digunakan dalam suatu industri khususnya di industri Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab Bengkalis. Pompa merupakan suatu alat yang dapat memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain melalui suatu media perpipaan dengan cara menambahkan energi pada fluida yang dipindahkan dan berlangsung secara kontinyu. Pompa sentrifugal ini sering mengalami kerusakan kecil maupun besar khususnya di bagian komponen. Penelitian ini menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Untuk melakukan analisa perawatan pompa sentrifugal yang di gunakan di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab Bengkalis. Metode RCM adalah metode yang di gunakan untuk menganalisa perawatan pada komponen-komponen yang mungkin menyebabkan kerusakan pada pompa sentrifugal. Hasil dari analisa didapatkan bahwa komponen-komponen pompa yang kritis berdasarkan diagram yaitu pareto dan *fishbone* yang terdapat 5 kerusakan dengan nilai Rpn tertinggi. Satu masalah terbesar yang jadi prioritas, prioritas utama dalam menentukan masalah potensi kegagalan pada proses kerusakan komponen pompa yang dipilih berdasarkan diagram pareto. Satu masalah terbesar yang jadi prioritas adalah *raber kopleng* rusak RPN (300) yang berpotensi menjadi kegagalan proses kerusakan komponen pompa

Kata Kunci: RCM, Pareto dan *Fishbone*, Pompa Sentrifugal

Abstract

Pump is a tool (fluid machine) that is widely used in an industry, especially in the Perumda Terubuk Tirta Terubuk drinking water industry in Bengkalis Regency. A pump is a device that can move fluid from one place to another through a piping medium by adding energy to the fluid that is moved and takes place continuously. These centrifugal pumps often experience minor or major damage, especially in the component parts. This study uses the Reliability Centered Maintenance (RCM) method. To analyze the maintenance of centrifugal pumps used in Perumda Tirta Terubuk Drinking Water, Bengkalis Regency. The RCM method is a method used to analyze maintenance on components that may cause damage to a centrifugal pump. The results of the analysis show that the critical pump components based on the diagram are Pareto and Fishbone which have 5 defects with the highest Rpn value. One of the biggest problems that become priority, the main priority in determining the problem of potential failure in the process of damage to pump components selected based on the Pareto diagram. One of the biggest problems that become a priority is the damaged clutch raber RPN (300) which has the potential to fail the pump component damage process.

Keywords: RCM, Pareto and *Fishbone*, Centrifugal Pump

PENDAHULUAN

Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis adalah Perusahaan Daerah Air Minum yang berperan khusus menyalurkan air bersih kepada seluruh kalangan masyarakat yang berada di Kota

Bengkalis. Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab Bengkalis melakukan proses produksi secara terus-menerus selama 24 jam, sehingga peran penting yang harus dilakukan adalah mengutamakan perawatan pompa yang menjadi kunci utama dalam produk air bersih yang harus diberikan kepada seluruh kalangan konsumen. Kegiatan pengecekan kondisi pompa dilakukan sesuai dengan jadwal yaitu 1 minggu

sekali. Berbagai uraian aktivitas pengolahan air bersih yang dijalankan dan banyak pompa-pompa yang digunakan untuk mengolah air baku menjadi air bersih. Dari data yang didapatkan diketahui bahwa pompa sentrifugal sering mengalami masalah kerusakan terhadap komponen-komponen di akibatkan kurang adanya sistem perawatan. Permasalahan yang dihadapi saat ini menjadi perhatian oleh PERUMDA Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis adalah persoalan pada pompa sentrifugal, terutama pada perawatan komponen-komponen yang sering mengalami kerusakan. Potensi kemungkinan kerusakan pada pompa sentrifugal akan berakibat serius pada suplai air yang dapat merugikan perusahaan itu sendiri. Hal inilah yang menjadi alasan perlu menggunakan metode yang mampu menyediakan daftar potensi kerusakan pompa sentrifugal di PERUMDA Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis.

Adapun salah satu *tool* yang akan digunakan untuk membantu pengendalian pada pompa sentrifugal adalah dengan penerapan *Reliability Centered Maintenance* (RCM). RCM yaitu dengan cara mengumpulkan data yang menunjang proses analisis tersebut seperti data *downtime* dan produk yang paling berpengaruh dan pompa-pompa yang digunakan. (Azis, M. T., Suprawhardana, M.S., & Purwanto, T.P. (2010) [1]. Merancang kegiatan pemeliharaan yang tepat dengan menggunakan metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM). Pompa adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan dari suatu tempat ke tersebut digunakan untuk mengatasi berbagai hambatan pengaliran. Hambatan pengaliran itu dapat berupa perbedaan tekanan, perbedaan ketinggian atau hambatan gesek, pada prinsipnya, pompa mengubah energi mekanik motor menjadi energi aliran fluida, Energi yang diterima oleh fluida akan digunakan untuk menaikkan tekanan dan mengatasi tahanan yang terdapat pada saluran yang dilalui.

Pompa memiliki dua kegunaan utama tempat lain dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut. Kenaikan tekanan cairan:

1. Memindahkan cairan dari satu tempat ke tempat lainnya (misalnya air dari *aquifer* bawah tanah ke tangki penyimpanan air).
2. Mensirkulasikan cairan sekitar sistem (misalnya air pendingin atau pelumas yang melewati mesin dan komponen).

Pompa juga dapat digunakan pada proses yang membutuhkan tekanan hidraulik yang besar. Hal ini bisa dijumpai antara lain pada alat berat. Dalam operasi, mesin alat berat membutuhkan tekanan *discharge* yang besar dan tekanan isap yang rendah. Akibat tekanan yang rendah pada sisi isap pompa maka fluida akan naik dari kedalaman tertentu, sedangkan akibat tekanan yang tinggi pada sisi

discharge akan memaksa fluida untuk naik sampai pada ketinggian yang diinginkan. Pompa secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu pompa kerja positif (*positive displacement pump*) dan pompa kerja dinamis (*non positive displacement pump*).

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, peneliti tidak menggunakan bahan hanya saja menggunakan alat untuk mendapatkan data-data. Tetapi data yang di dapatkan untuk melakukan penelitian bersumber dari hasil observasi lapangan, yaitu dari data yang di miliki oleh pihak perusahaan dan data yang di himpun dari hasil wawancara dilapangan yaitu di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis. Rangkaian kegiatan penelitian dilakukan dengan metode RCM (*Reliability Centered Maintenance*) perawatan dilakukan pada Pompa sentrifugal *intake* B unit Waduk Di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis. Penelitian ini dilakukan pada bulan maret sampai bulan juni 2020.

Alat dan Bahan

Pengujian dilakukan pada Pompa sentrifugal *intake* B unit Waduk Di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis. Alat dan bahan pada penelitian ini di tampilkan pada gambar 1 dan pada gambar 2.

1. Vibration meter



Gambar 1 *Vibration Meter*

2. Pompa Sentrifugal



Gambar 2 Pompa Sentrifugal Intake B

Tabel 1 Spesifikasi Pompa

NO P171994-25	
MODEL 125X100 FS4KA	
CAP	145
HEAD	30
KW	1450RPM
BEARINGS 6307 ZZ	

Adapun bahan dan Spesifikasi yang dilakukan perawatan yaitu pompa sentrifugal intake B unit Waduk di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis. Spesifikasi pompa sentrifugal yang saya teliti di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis dengan no seri No P171994-25 dan ukuran *Empeller* 125x100 dengan type atau model yang digunakan FS4KA, kapasitas debit air 145 permenit, dengan sekali putaran akan menghasilkan tekanan 30 meter dengan kecepatan putaran pompa sebesar 1450 RPM dengan menggunakan jenis *Bearing* 6307 ZZ sesuai dengan standar pompa yang digunakan.

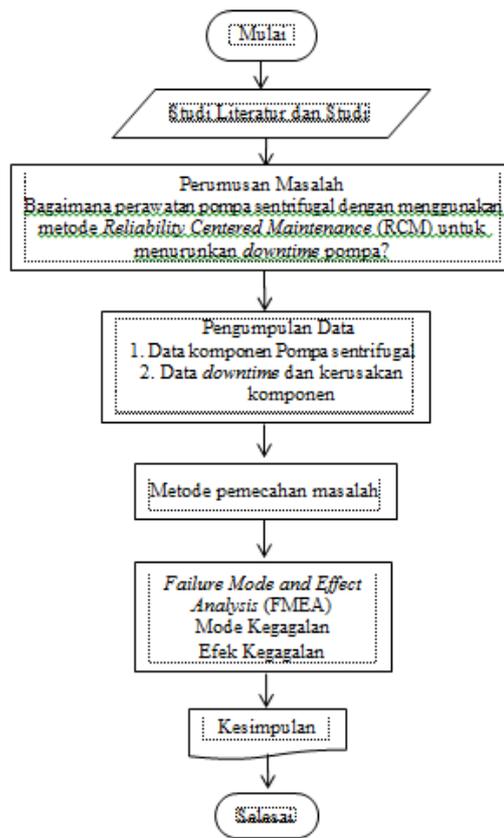
3. Diagram Alir

Adapun diagram alir yang digunakan untuk mejelaskan proses yang di kerjakan dalam penelitian ini yang dikerjakan diperlihatkan pada gambar 3.

Teknik pengumpulan dan analisa data

Teknik pengumpulan data dilakukan pada Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis. Teknik yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Observasi
Teknik observasi adalah teknik pengumpulan data dengan cara melakukan pengamatan secara langsung dilapangan.
2. Interview
Metode interview yaitu metode pengumpulan data dengan cara melakukan diskusi dengan operator dan maentenance lapangan.



Gambar 3 Diagram Alir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis dengan mengamati kelengkapan pada pompa sentrifugal intake B untuk mengetahui mode kegagalan dan faktor penyebab pada pompa sentrifugal intake B dengan menggunakan metode RCM untuk memperkirakan potensi dampak yang akan terjadi sehingga dapat mencari jalan keluar dari kegagalan pada pompa sentrifugal intake B. Pengolahan data ini menggunakan metode RCM bertujuan untuk memastikan beberapa sistem fisik berfungsi terus menerus sesuai keinginan operator sekarang ini. Keuntungan pendekatan RCM adalah kegiatan perawatan yang di lakukan menjadi lebih efektif dikarenakan waktu downtime yang berkurang dan waktu penggunaan pompa akan semakin maksimal di gunakan. Untuk mendapatkan komponen-komponen yang kritis yang merupakan resiko-resiko yang akan di analisa lebih lanjut.

Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui penyebab kegagalan yang terjadi pada pompa sentrifugal *intake* B di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis.
2. Untuk mengetahui apa saja upaya yang dilakukan untuk mengurangi tingkat kegagalan pompa sentrifugal *intake* B di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis.
3. Untuk mengetahui bahwa metode RCM dapat digunakan untuk menganalisa perawatan pompa sentrifugal *intake* B di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kab. Bengkalis.
4. Membuat usulan perawatan berdasarkan analisa diagram *fishbone*/tulang ikan.

Pengambilan Data

Berdasarkan dokumen-dokumen perawatan pompa sentrifugal *intake* B didapatkan data seperti Tabel berikut.

Tabel 2 Potensi Kegagalan

No	Potensi Kegagalan	Bulan	Jam
1	<i>Bearing</i> goyang	8	5.760
2	<i>Impeller</i> penyok/bengkok	18	12.960
3	<i>Gland packing</i> bocor	6	4.320
4	<i>Rubber coupling</i>	10	7.200
5	<i>Shaft</i> (poros)	15	10.800

Hasil Nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection* dan *RPN* pada komponen Pompa Sentrifugal *Intake* B.

Tabel 3 Nilai *Severity*, *Occurrence*, *Detection* dan *RPN*

No	Potensi Kegagalan	<i>Severity</i>	<i>Occurance</i>	<i>Detection</i>	<i>RPN</i>
1	<i>Bearing</i> goyang	8	7	1	56
2	<i>Impeller</i> penyok/bengkok	3	7	6	126
3	<i>Gland packing</i> bocor	4	8	3	96
4	<i>Rubber coupling</i> rusak	10	10	3	300
5	<i>Shaft</i> (poros) lecet	2	3	2	36

Tabel.2 menunjukkan hasil pemberian skor *Severity*, *Occurance*, *Detection*. Dalam aspek $S=Severity$ untuk masing-masing potensi kegagalan proses dan potensi akibatnya dari empat fungsi utama komponen pompa berdasarkan penyebab kegagalan yang terjadi dalam skor 1-10 didapatkan nilai *severity* tertinggi (nilai 10) pada *Raber* kopling yang rusak, sedangkan nilai terkecil (nilai 2) jatuh pada empat

fungsi komponen pompa. Semakin besar nilainya, maka semakin tinggi resiko kegagalan sehingga membutuhkan perhatian dan tindakan pencegahan. Langkah selanjutnya adalah penilaian dalam aspek $O=Occurance$. Pada hasil pemberian skor dalam aspek $O=Occurance$ untuk masing-masing potensi kegagalan proses dan potensi akibatnya dari empat fungsi utama komponen pompa berdasarkan pertimbangan yang sama dengan pemberian nilai *Severity* dalam rangking skor 1-10 didapatkan Nilai *Occurance* tertinggi (nilai 10) pada fungsi *rubber coupling* rusak. Hal yang sama dengan hasil penelitian Suryanto Nasution (2019). [2], yang mengatakan nilai 10 adalah nilai kerusakan tertinggi.

Pada tabel.2, diatas dalam rangking skor 1-10 didapatkan Nilai *Detection* tertinggi (nilai 6) pada *Impeller* penyok/bengkok dan *shaft* (poros) lecet pada pompa. Sedangkan nilai terkecil (nilai 1) jatuh pada *bearing* goyang pada pompa. Semakin besar nilainya, maka semakin tinggi resiko kegagalan sehingga membutuhkan perhatian dan tindakan pencegahan. Dari hasil penggabungan penilaian *Severity*, *Occurance* dan *Detection* ditempatkan secara bersama-sama. Dari 5 data hasil penilaian S, O dan D dikalikan ($S \times O \times D$). Selanjutnya, hasil perkalian ($S \times O \times D$) diurut berdasarkan rangking dari urutan terbesar sampai yang terkecil sehingga didapatkan satu daftar potensi kegagalan terbesar yaitu kerusakan pada pompa (300). Sedangkan 5 daftar potensi kegagalan dengan nilai terkecil yaitu jatuh pada empat fungsi komponen pompa.

Dari tabel 2. Diatas menunjukkan pada nilai *RPN* yg tertinggi adalah pada *rubber coupling* rusak (300). *Rubber coupling* rusak yang di sebabkan terjadinya getaran yang berlebihan, dengan keadaan tanah yang mudah mengalami penurunan maka *rubber coupling* tidak cocok untuk di gunakan pada pompa sentrifugal *intake* B di sebabkan kondisi tanah tidak sesuai dengan keadaan yang di butuhkan karena getaran yang berlebih. Maka *rubber coupling* yang di gunakan harus di ganti dengan menggunakan selendang kopling untuk mencegah terjadi kerusakan akibat kondisi tanah yang mudah menurun. Sedangkan Dari table 5 di atas menunjukkan pada nilai *RPN* yang terkecil adalah pada *shaf*/poros lecet (36). *shaf*/poros lecet yang di sebabkan adanya penumpukkan kontoran akibat tidak adanya pembersihan secara terjadwal untuk menjaga kondisi komponen selalu baik.

Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) pada Pompa Sentrifugal *Intake* B

Dengan metode FMEA ini kita bisa menganalisa permasalahan yang bakal muncul pada suatu produk yang akan dibuat atau suatu proses yang akan dilakukan, kemudian karena masalah yang

berpotensi muncul sudah ditemukan terlebih dahulu maka kita bisa menentukan tindakan pencegahannya. Dari kacamata dunia industri, istilah FMEA tersebut bisa diartikan sebagai suatu metode analisa potensi kegagalan yang dilakukan sebelum *design* produk direalisasikan dan atau sebelum produksi massal dimulai.

FMEA merupakan salah satu bentuk analisa kualitatif resiko dan secara umum bertujuan penyusunan. FMEA adalah proses untuk membantu dalam *pemilihan desain alternative* yang memiliki kehandalan dan keselamatan potensial tinggi, menjamin bahwa semua mode kegagalan yang dapat diperkirakan dan dampak yang ditimbulkannya terhadap kesuksesan operasional sistem telah dipertimbangkan.

Untuk membuat daftar pemeriksaan sistem sebagai analisa kualitatif kehandalan dan ketersediaan, sebagai dokumentasi untuk referensi pada masa yang akan datang untuk membantu menganalisa kegagalan yang terjadi di lapangan serta membantu bila sewaktu-waktu terjadi perubahan desain sebagai data input untuk *study banding* serta sebagai basis untuk menentukan prioritas pemeliharaan dan perawatan. Salah satu faktor yang penting dalam suksesnya penerapan FMEA adalah (*timelines*) yaitu melakukan sebelum kegagalan yang terjadi (*before the event*) adalah dan bukan melakukan sesudah terjadi.

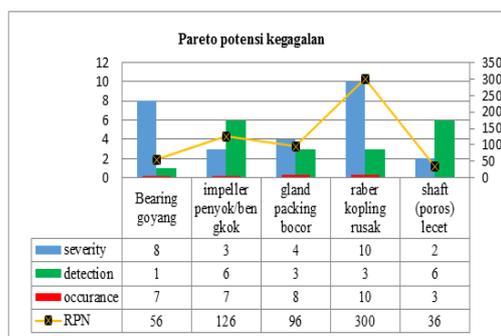
Analisa Data Kerusakan pada Pompa Sentrifugal Intake B

Hasil pengolahan data pada tabel 4 maka dibuatlah grafik Pareto sebagai mana ditampilkan pada gambar diagram 4 yang menunjukkan secara visual urutan potensi kegagalan proses kerusakan komponen pompa dari nilai terbesar sampai dengan nilai terkecil. Informasi ini dijadikan sebagai bahan pertimbangan dalam memutuskan perioritas resiko yang harus diatasi secara efektif. Salah satu yang dapat membantu dalam proses analisa penyebab potensi kegagalan di FMEA adalah dengan diagram isikawa atau “fishbone”. Urutan perioritas resiko seperti ditampilkan oleh diagram pareto, penentuan kemungkinan penyebab potensi kegagalan diangkat pada saat penelitian, perioritas utama dalam menentukan masalah potensi kegagalan pada proses kerusakan komponen pompa yang dipilih berdasarkan data grafik pareto. Satu masalah terbesar yang jadi prioritas, prioritas utama dalam menentukan masalah potensi kegagalan pada proses kerusakan komponen pompa yang dipilih berdasarkan diagram pareto. Satu masalah terbesar yang jadi perioritas adalah rubber coupling rusak (300) yang berpotensi menjadi kegagalan proses kerusakan komponen pompa sebagai mana terlihat pada gambar Diagram 2.

Tabel 4 Analisa Data Kerusakan Dengan FMEA

No	Komponen	Model kegagalan	Penyebab kegagalan	Efek kegagalan	Tindakan yang Dilakukan
1	Bearing	Hancur/tidak sempurna	Getaran yang berlebihan	Hasil kerja pompa tidak stabil dan bisa menyebabkan komponen lain mudah rusak	Ganti dan usahakan memperkecil getaran
2	Impeller	Penyot (bengkok)	Kavitasi dan kotoran air yg ikut mengalir	Mengurangi kecepatan debit air	Melakukan perawatan dan memasang filter/saringan terhadap air masuk
3	Gland packing	Bocor	Getaran yang berlebihan dan kotoran yang menempel	Terjadinya kebocoran yang menyebabkan kinerja pompa tidak maksimal	Ganti dan melakukan pembersihan terhadap kawasan gland packing
4	Rubber coupling	Hancur (rusak)	Hancur akibat getaran berlebihan	Bisa merusak komponen lain dan pompa tidak bisa berfungsi	Ganti dan lakukan perbaikan pada lantai agar di beton untuk mengurangi getaran terhadap pompa maupun motor.
5	Shaft (poros)	Lecet	Penumpukan kotoran	Kotoran akan merusak komponen seal didalam gland packing	Melakukan pembersihan terhadap poros

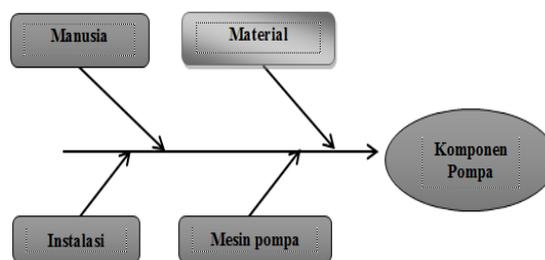
3.5. Diagram Pareto (Diagram Batang)



Gambar 4 Diagram Pareto Potensi Kegagalan

Diagram Fishbone (Tulang Ikan)

Berikut ini adalah diagram sebab akibat yang paling patal kerusakan yaitu kerusakan komponen pompa sentrifugal intake B. Adapun penjelasan Diagram fishbone dapat di lihat pada Diagram di bawah ini.



Gambar 5 Sebab Akibat Kerusakan Komponen Pompa.

Pada gambar 5 diatas diperlihatkan berbagai kemungkinan penyebab potensi kerusakan pada komponen pompa sentrifugal intake B. Pada Diagram *fishbone* ditunjukkan bahwa dari berbagai penyebab ditetapkan kerusakan terhadap komponen pompa yang mengalami kerusakan, yaitu komponen tidak bisa di gunakan lagi.

Recommnded Action :Lakukan perbaikan dengan cara menggantikan komponen dengan yang baru, kemudian melakukan pemasangan komponen sesuai standar yang di tentukan.Kurangi getaran antara pompa dan motor sesuai prosedur dengan menggunakan pengecekan alat *vibration* meter.

Berikut ini adalah penjelasan sebab akibat kerusakan komponen Pompa Sentrifugal.

1. Material

- Sudah mengalami korosi, kerusakan terhadap komponen.
- Jenis material tidak sesuai contohnya seperti *rubber coupling* dengan kondisi tanah yang mudah menurun maka harus di ganti dengan selendang *coupling*.

2. Manusia

- Tidak mempunyai tekniksi khusus maintenance pompa.
- Dalam pemasangan, maintenance mengalami kekurangan peralatan yang di butuhkan. Namun hanya menggunakan peralatan seadanya.

3. Mesin pompa

- *Getaran yang berlebihan tidak sesuai dengan prosedur. Seharusnya getaran pada pompa 0.71 Hz sedangkan getaran yang saya dapatkan pada pompa 10.5 Hz dan 2.2 Hz.*
- *Lantai atau pondasi yang sudah mengalami keropos atau berkarat.*

4. Instalasi

Tidak ada *filter* atau penyaringan air di pipa masuk, yang menyebabkan batu-batu kecil maupun sampah akan terhisap dan bisa merusak *empeller*.

Mengalami kekurangan peralatan hanya menggunakan peralatan sederhana untuk melakukan pemasangan komponen pompa.

Usulan Perawatan

Berdasarkan hasil penelitian antara rata-rata kerusakan komponen kritis dengan kerusakan maka dapat disimpulkan bahwa rata-rata pergantian komponen sebelum kerusakan lebih baik. Maka

Sistem perawatan yang di usulkan diharapkan dapat menurunkan *downtime* terhadap pompa dari komponen pompa sentrifugal intake B. Sebelum terjadinya kerusakan perlu dilakukan perawatan secara preventif untuk menghindari terjadinya *downtime* pada saat proses produksi.

Tabel 5 Form perawatan per 1 bulan

Form Perawatan 1 Bulan						
No	Mesin Pompa	Pompa Sentrifugal	Kondisi Pompa			Catatan
	Kode Pompa	Intake B				
	Tanggal					
	Spesifikasi Pekerjaan	Ketentuan	Cara	Baik	Tidak	
1	Priksa getaran pada pompa	Getaran pompa mengikuti standar	Hidupkan pompa cek dengan menggunakan <i>vibration</i> meter			
2	priksa kondisi <i>raber</i>	Raber terpasang dengan sempurna dan tidak rusak	Cek ketika pompa sudah di matikan lihat kondisi <i>raber</i>			
3	Priksa kondisi <i>glanul packing</i>	Tidak ada kebocoran yang berlebihan	Hidupkan pompa lalu liat kondisi bocor			
4	Priksa getaran pada motor	Getaran motor mengikuti standar	Hidupkan motor cek dengan menggunakan <i>vibration</i> meter			
5	Priksa keamanan pemasangan motor utama	Motor utama dapat di lepas dan di pasang dengan baik	Cek pada saat akan melepas motor			
NAMA PEMERIKSA:						
			TTD PEMERIKSA			TTD KEPALA WORKSHOP

Perawatan *Preventif* yang dilakukan dengan menerapkan perawatan per-bulan terhadap pompa sentrifugal. Perawatan pada Pompa Sentrifugal yang diterapkan terhadap beberapa komponen utama pompa, untuk melakukan perawatan perlu adanya form perawatan yang mana sebagai acuan dan sebagai informasi untuk perawatan yang dilakukan. Form ini juga akan memudahkan dalam menyampaikan informasi riwayat perawatan sehingga mudah untuk dilakukan pengontrolan kinerja pompa sentrifugal. Form perawatan satu bulan ini dibuat untuk komponen utama pompa sentrifugal di Perumda Air Minum Tirta Terubuk Kabupaten Bengkulu.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang dilakukan, maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemeliharaan dengan metode RCM (*Realibility Centered Maintenance*) didapatkan bahwa nilai

RPN *rubber coupling* sebesar 300 sehingga perawatan khusus perlu dilakukan pada *rubber coupling*.

2. Laju kerusakan yang terjadi pada komponen utama pompa sentrifugal yang mana *rubber coupling* merupakan komponen yang sering terjadinya kerusakan, yang mana kerusakan yang dialami adalah pecah/hancur yang diakibatkan getaran yang berlebihan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azis, M. T., Suprawhardana, M. S., (2010). Penerapan Metode *Reliability Centered Maintenance* (RCM) Berbasis Web Pada Sistem Pendingin Primer Di Reaktor Serba Guna Ga. Siwabessy. In *Jurnal Forum Nuklir* (Vol. 4, No. 1, pp. 81-98).
- [2] Nasution Suryanton. (2019) Analisa Kegagalan *Cylinder Head* Mesin Diesel Komatsu Dengan Menggunakan Metode *Failure Mode And Effect Analysis* (Fmea) *Dimegapower* Pltd Bengkalis *jurnal teknik mesin*

KINERJA PUTARAN ROTOR TURBIN AIR SCREW ARCHIMEDES DENGAN VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TURBIN

Yudi Setiawan¹, Eka Sari Wijianti^{2*}, Saparin³, Budi Santoso Wibowo⁴, Priyoko Prayitnoadi⁵

¹²³⁴⁵Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Bangka Belitung

*E-mail: ekasari@ubb.ac.id

Abstrak

Turbin Air Screw Archimedes merupakan salah satu pembangkit listrik mikro hidro yang bekerja untuk menghasilkan energi listrik. Sumber aliran air dari pembangkit listrik ini memiliki head yang rendah sehingga sangat cocok digunakan pada aliran kecil seperti irigasi dan sungai kecil. Turbin didesain kemudian dibangun membentuk prototipe dengan panjang screw 1 m, diameter luar 0,3 m, jumlah sudu 15, dan jarak pitch masing-masing 13 cm. Penelitian dilakukan dengan variasi sudut kemiringan turbin adalah 30°, 35°, dan 40°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa putaran rotor terbaik dihasilkan oleh sudut 40°. Putaran yang mampu dibangkitkan dengan head 0,67 m, debit aliran 7 liter/detik adalah sebesar 930 Rpm dengan potensi daya listrik sebesar 43,95 watt.

Kata kunci: PLTMH, Turbin Air Archimedes, Turbin screw

Abstract

The Archimedes Screw Turbine is a micro hydropower plant that works to generate electrical energy. The source of water flow from this power plant has a low head so it is suitable for use in small flows such as irrigation and small rivers. The turbine is designed and then built to form a prototype with a screw length of 1 m, an outer diameter of 0.3 m, a number of blades 15, and a pitch distance of 13 cm each. The research was conducted with variations of the turbine inclination angle of 30°, 35°, and 40°. The results showed that the best rotor rotation was produced by an angle of 40°. The rotation that can be generated with a head of 0.67 m, the flow rate of 7 liters/second is 930 Rpm with an electric power potential of 43.95 watts.

Keywords: PLTMH, Archimedes Screw Turbine, Screw Turbine

PENDAHULUAN

Daya aliran air adalah salah satu parameter yang menjadi acuan dalam menentukan efisiensi sebuah turbin. Hakikatnya air selalu mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah baik secara alami maupun bantuan sebuah media dengan lintasan yang bervariasi, bisa lurus atau miring dimana kondisi tersebut sangat mempengaruhi aliran air. Sejatinya, aliran air tersebut merupakan sumber energi potensial untuk dijadikan pembangkit listrik tenaga air atau PLTA. PLTA bekerja melalui sebuah turbin yang digerakkan oleh tenaga air. Untuk PLTA dengan skala besar, dapat memanfaatkan air terjun atau sungai-sungai besar dan waduk besar kemudian

membendungkannya tersebut agar aliran air dapat terkonsentrasi dan menghasilkan debit aliran yang tinggi. Namun, untuk sungai-sungai dengan aliran rendah pembangkit listrik yang dibuat umumnya dinamakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro atau PLTMH.

Energi hidro merupakan sumber energi terbarukan yang sangat ekonomis dan bebas polusi. Energi ini dapat digunakan dan diubah menjadi listrik. Konversi energi ini dilakukan melalui pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik jenis ini tidak meninggalkan emisi gas rumah kaca seperti yang dihasilkan oleh pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil. Tidak seperti sumber energi terbarukan lainnya, air akan terus menghasilkan energi tanpa henti dan ketersediaannya akan terus dihasilkan oleh siklus hidrologi. Pembangkit listrik tenaga air dihasilkan

dari energi potensial air yang diubah menjadi energi mekanik oleh turbin. Dengan memanfaatkan ketinggian dan kecepatan air, energi tersebut kemudian diubah menjadi energi listrik dengan bantuan generator.

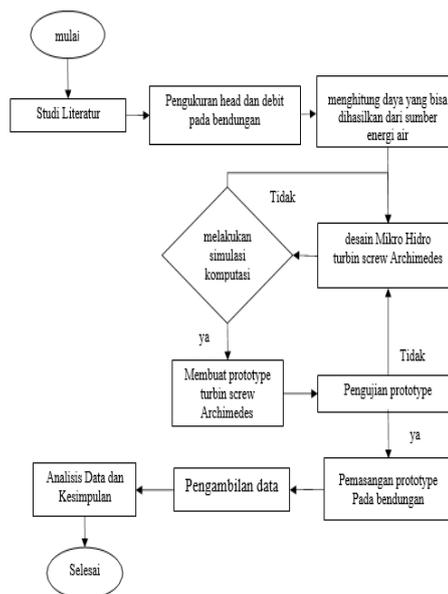
Turbin air tipe ulir atau dikenal juga dengan Archimedes Screws Turbine merupakan salah satu jenis turbin air yang berpotensi sebagai pembangkit listrik skala kecil [1]. Turbin air tipe ulir ini sangat ramah lingkungan, dilengkapi dengan sudu berbentuk heliks yang mengelilingi sebuah poros [2]. Selain itu turbin ini dapat beroperasi pada head yang rendah, hingga 10m [3][4][5], sehingga sangat cocok diterapkan pada sungai-sungai yang ada di wilayah Indonesia. Hal ini mampu mengatasi permasalahan transmisi listrik jarak jauh yang sulit untuk dijangkau oleh Pemerintah.

Penelitian tentang turbin angin ulir Archimedes sudah banyak dilakukan, namun masih belum memiliki desain yang tetap untuk kondisi tertentu [5]. Beberapa penelitian dilakukan secara eksperimental untuk menemukan hubungan antara pengaruh beberapa variabel kinerja turbin, seperti pengaruh pitch, kemiringan turbin, dan sudut ulir untuk menentukan kecepatan putar yang dihasilkan turbin. [6]. Bentuk, jumlah, pitch dan kemiringan, serta dimensi sudu Screw Archimedes mempengaruhi daya yang dihasilkan [7][8]. Juliana dkk [9] mengatakan bahwa kinerja turbin sangat dipengaruhi oleh jatuhnya air, dalam hal ini adalah kemiringan sudut ulir. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini akan menguji pengaruh variasi kemiringan sudut, tujuannya adalah untuk melihat pengaruh antara debit, kemiringan sudut dan desain turbin terhadap kinerja prototipe turbin air screw archimedes.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode eksperimental. Penelitian dilakukan pada aliran air yang berpotensi untuk menggerakkan turbin. Pengujian unjuk kerja turbin dilakukan pada aliran air di dekat pemukiman penduduk yang terletak di kelurahan Parit Lalang Kota Pangkalpinang, Provinsi Bangka Belitung. Penelitian dilakukan secara alamiah berdasarkan aliran air yang terjadi di lapangan. Pengukuran debit aliran dilakukan tiga kali agar diketahui rata-rata debit yang nominalnya digunakan sebagai justifikasi debit aliran yang terjadi.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1 berikut ini:

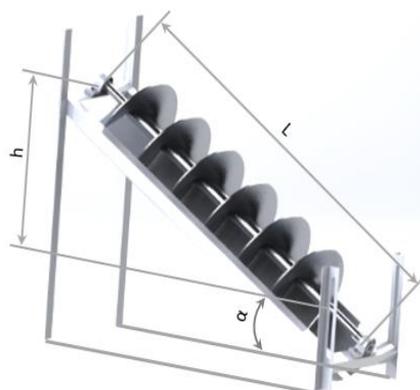


Gambar 1 Alir penelitian

Turbin didesain menggunakan software gambar dengan dengan mempertimbangkan berbagai aspek, parameter desain turbin dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini:

Tabel 1 Parameter desain turbin

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang turbin (L)	1	meter
Diameter luar poros	0.3	meter
Diameter dalam poros	0.254	meter
Sudut kemiringan (α)	30, 35, 40	Derajat
Pitch	0.13	meter



Gambar 2 Desain Instalasi turbin

Gambar 2 menunjukkan penelitian prototipe turbin air screw archimedes. Prinsip kerja PLTMH adalah air mengalir masuk ke dalam tabung ulir. Perbedaan ketinggian yang terjadi antara upstream dan downstream akan menimbulkan gaya tekan yang mendorong dinding ulir untuk menghasilkan putaran rotor. Putaran rotor ditransmisikan menggunakan pully dan belt menuju poros generator dengan perbandingan 1:5. Putaran poros generator diukur menggunakan tachometer.

Daya teoritis turbin dihitung menggunakan rumus berikut ini:

$$P = \rho \cdot h \cdot g \cdot Q \dots\dots\dots (1)$$

- Dimana:
 P = Daya teoritis turbin (watt)
 h = head (m)
 g = gravitasi (m/dtk²)
 Q = debit aliran (m³/dtk)

Untuk menghitung debit aliran digunakan formula berikut ini [9]:

$$Q = \frac{\text{Volume wadah}}{\text{waktu untuk memenuhi wadah}} \dots\dots\dots (2)$$

Sedangkan untuk mengukur head, menggunakan formula [10]:

$$\sin \alpha = \frac{y}{L} \dots\dots\dots (3)$$

- Dimana:
 Tan α = kemiringan sudut (derajat)
 Y = jarak vertical (m)
 L = panjang screw (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian prototipe Turbin Air Screw Archimedes telah dilakukan pada aliran iar yang terletak di Kelurahan Paritlalang Pangkalpinang. Berdasarkan hasil pengukuran debit air didapat debit alir pada penelitian ini adalah sebesar 7 liter/detik atau 0,007 m³/detik. Sedangkan head turbin dapat dilihat pada tabel 2 berikut:

Tabel 2 Data hasil Eksperimen

Type Turbin	Sudut (Derajat)	Head (m)
Screw	30	0,5
Archimedes	35	0,57
	40	0,65

Instalasi pengujian dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini:



Gambar 3 Pengujian turbin di lapangan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemiringan sudut turbin screw Archimedes memberikan pengaruh terhadap putaran yang dihasilkan. Berikut ini data hasil penelitian:

Tabel 3 Data hasil Eksperimen

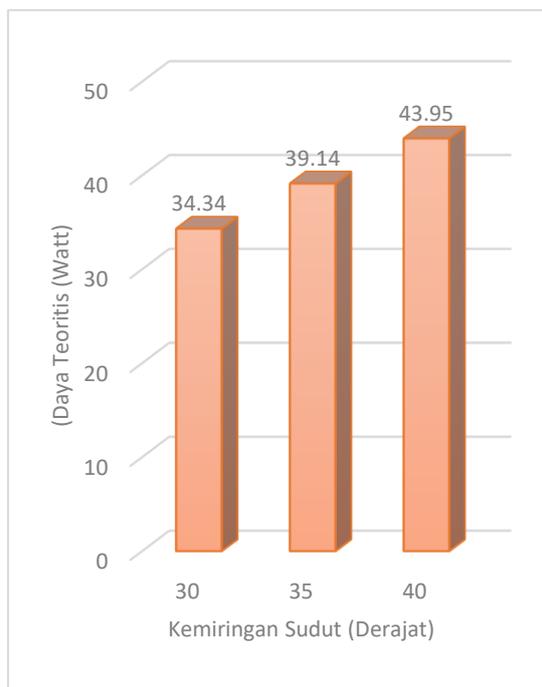
Type Turbin	Sudut (Derajat)	Putaran (rpm)
Screw	30	794
Archimedes	35	885
	40	930

Dari tabel 3 dapat dilihat bahwa kemiringan sudut yang berimbas pada jatuhnya air memberikan pengaruh signifikan. Pada sudut 30° putaran rotor yang dihasilkan adalah 794 Rpm, sedangkan pada 40°, putaran poros yang dihasilkan adalah 885 rpm, putaran tertinggi dihasilkan oleh sudut 40° yaitu sebesar 930 Rpm.

Secara signifikan didapatkan bahwa semakin besar kemiringan sudut screw turbin, maka putaran poros semakin tinggi. Hal ini memungkinkan daya yang dihasilkan juga akan naik. Besarnya debit alir juga sangat mempengaruhi putaran rotor turbin yang dihasilkan. Posisi jatuhnya air yang mengenai dinding screw untuk memberikan daya dorong juga sangat mempengaruhi putaran rotor yang dihasilkan.

Perhitungan daya teoritis dari turbin akan dihitung dengan property densitas air 1000 g/m³, gravitasi 9,81m/dtk². Dengan head yang semakin

tinggi, maka secara teori potensi daya turbin juga akan naik. Perhitungan potensi daya turbin teoritis dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4 Grafik kemiringan sudut Vs Daya Teoritis Turbin

Dari gambar 4 dapat dilihat bahwa turbin memiliki potensi daya yang mampu dibangkitkan hingga 43,95 watt. Potensi terbesar ini didapat pada turbin yang diletakkan dengan kemiringan 40 derajat.

KESIMPULAN

Penelitian tentang pengaruh kemiringan sudut screw turbin Archimedes terhadap kinerja turbin dapat telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kemiringan sudut turbin memberikan hasil yang bervariasi. Untuk sudut 30°, 35° dan 40° menunjukkan bahwa semakin tinggi sudut kemiringan maka semakin tinggi pula putaran rotor screw. Pada debit alir 7 liter/detik, kinerja terbaik turbin didapat dari kemiringan sudut 40° dengan besar putaran 930 Rpm dengan potensi daya listrik sebesar 43,95 watt.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Bangka Belitung melalui

Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat yang telah mendanai penelitian ini dengan skema Penelitian Dosen Tingkat Jurusan (PDTJ) Tahun 2021 dengan nomor kontrak PDTJ 255.F/UN50/L/PP/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yoosef Doost A and Lubitz W D, Archimedes screw turbines: A sustainable development solution for green and renewable energy generation-a review of potential and design procedures *Sustain*, 2020, **12**.
- [2] Müller G and Senior J, 2009, Simplified theory of Archimedean screws *J. Hydraul. Res.* **47** 666–9.
- [3] Gogoi P, Handique M, Purkayastha S and Newar K, 2018, Potential of Archimedes Screw Turbine in Rural India Electrification: A Review *ADBU J. Electr. Electron. Eng.* **2** 30–5.
- [4] Dellinger G, Garambois P A, Dellinger N, Dufresne M, Terfous A, Vazquez J and Ghenaim A, 2018, Computational fluid dynamics modeling for the design of Archimedes Screw Generator *Renew. Energy* **118** 847–57.
- [5] Siswantara A I, Warjito, Budiarto, Harmadi R, Gumelar M H and Adanta D, 2019, Investigation of the α angle's effect on the performance of an Archimedes turbine *Energy Procedia* **156** 458–62.
- [6] Budiarto, Warjito, Dendy Adanta, M.H.G. Syafei, 2017, Development of Archimedes Turbine Research: Review Paper *Proceeding Semin. Nas. Tah. Tek. Mesin XVI (SNTTM XVI)* 177–81.
- [7] Rorres C, The Turn of the Screw: Optimal Design of an Archimedes Screw *J. Hydraul. Eng.*, 2000, **126** 72–80
- [8] Nugroho A D, Kajian Teoritik Pengaruh Geometri Dan Sudut Kemiringan Terhadap Kinerja Turbin Archimedes Screw *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, 2017, **3**
- [9] Julianan I Putu, Weking Ibi Antonio, Jasa Lie, 2018, Pengaruh Sudut Kemiringan Head Turbin Ulir dan Daya Putar Turbin Ulir dan Daya Output Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro, *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, Vol. 17, No.3 pp 393-400.

- [10] Karim M, Wildan, Hermawan, Aditya Chandra, Haryudo subuh Isnur, Kajian Kemiringan Blade dan Head Turbin Archimedes terhadap Daya Keluaran Generator AC 1 Phase 3 kW, 2021, Jurnal Teknik Elektro, Vol.10. No.1, pp 219-228.

Petunjuk Umum

Panjang maksimal sebuah jurnal ilmiah adalah 6 - 8 halaman dengan penulisan spasi tunggal, *justify*, huruf Times New Roman ukuran 10 point *regular* dan format penulisan kolom *double*. Artikel ilmiah menggunakan kertas ukuran A4 (210 x 297 mm) dengan penulisan batas tepi kiri, atas, kanan, dan bawah, secara berurutan masing-masing adalah 3 cm, 2.5 cm, 2.5 cm, dan 2.5 cm. Batas kepala dan kaki area tulisan (*header* dan *footer*) adalah 1.5 cm dan 1.3 cm. Permulaan alinea ditulis menjorok ke dalam 1 cm. Semua istilah asing dicetak miring (*italic form*).

Petunjuk Penulisan

Petunjuk penulisan antara lain sebagai berikut:

1. Judul Jurnal Ilmiah

Memberi gambaran penelitian yang telah dilakukan. Berisi maksimal 15 kata. Times New Roman 11, spasi 1, spacing after 6 pt dan ditebalkan (*Bold*).

2. Nama penulis

- Nama penulis tanpa menggunakan gelar, ditulis di bawah judul. Jarak antara judul dan nama penulis diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, *Bold*.
- Nama program studi dan fakultas (nama lembaga) ditulis di bawah nama penulis. Jarak antara nama penulis dan lembaga diberi satu spasi kosong, dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt, spacing after 6 pt.
- Email penulis pertama ditulis di bawah nama lembaga. Email ditulis dengan ukuran huruf Times New Roman 10 pt dan dicetak miring (*italics*). Jarak antara nama lembaga dan email spacing after 6 pt., dengan ukuran huruf Times New Roman 11 pt.

3. Abstrak

Abstrak hanya satu paragraf maksimum 250 kata, memuat uraian singkat mengenai masalah dan tujuan penelitian, metode yang digunakan, dan hasil penelitian. Tekanan penulisan abstrak terutama pada hasil penelitian. Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia dan Bahasa Inggris. Kata kunci perlu dicantumkan untuk menggambarkan ranah masalah yang diteliti dan istilah-istilah pokok yang mendasari pelaksanaan penelitian. Kata-kata kunci dapat berupa kata tunggal atau gabungan kata. Jumlah kata kunci 3-5 kata. Kata kunci ini diperlukan untuk komputerisasi. Pencarian judul penelitian dan abstraknya dipermudah dengan kata-kata kunci tersebut. Pengetikan abstrak dilakukan dengan spasi tunggal, huruf Times New Roman 10, spacing before 12 pt, after 2 pt.

4. Pendahuluan

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang dilakukan dapat dinyatakan. Pengetikan menggunakan huruf Times New Roman 10, spasi 1, spacing before 12 pt, after 2 pt.

5. Metode penelitian

Pada dasarnya bagian ini menjelaskan bagaimana penelitian itu dilakukan. Materi pokok bagian ini adalah : (1) rancangan penelitian; (2) populasi dan sampel (sasaran penelitian); (3) teknik pengumpulan data dan pengembangan instrumen; (4) dan teknik analisis data. Untuk penelitian menggunakan alat dan bahan, perlu dituliskan spesifikasi alat dan bahannya. Spesifikasi alat menggambarkan kecanggihan alat yang digunakan sedangkan spesifikasi bahan menggambarkan bahan yang digunakan.

Untuk penelitian kualitatif seperti penelitian tindakan kelas, etnografi, fenomenologi, studi kasus dan lain-lain, perlu ditambahkan kehadiran peneliti, subjek penelitian, informan yang ikut membantu beserta cara-cara menggali data-data penelitian, lokasi dan lama penelitian serta uraian mengenai pengecekan keabsahan hasil penelitian.

6. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengaitkan studi empiris atau teori interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak bisa mencapai 50% atau lebih.

7. Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dapat dibuat dalam sub bagian terpisah. Kesimpulan menjawab tujuan, bukan mengulang teori, berarti menyatakan hasil penelitian secara ringkas. Saran merupakan penelitian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil penelitian

supaya berdaya guna. Penelitian tentunya tidak selalu berdaya guna bagi masyarakat dalam satu kali penelitian, tapi merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan.

8. Daftar Pustaka

Bagian ini hanya memuat referensi yang benar-benar dirujuk. Dengan demikian, referensi yang dimasukkan pada bagian ini akan ditemukan tertulis pada bagian-bagian sebelumnya. Sistematika penulisannya adalah mengikuti format Mendeley

9. Penulisan persamaan

Penulisan persamaan dalam *font* Times New Roman atau *font* Symbol menggunakan ukuran 11 point dengan menuliskan Nomor Persamaan yang diletakkan di dalam kurung pada akhir margin kanan yaitu (1), (2) dan seterusnya. Nomor persamaan harus berurutan. Penulisan persamaan diberi jarak satu spasi pada sebelum dan sesudah penulisannya.

10. Penyajian Gambar dan Tabel

Nama Tabel ditulis di atas tabel pada sisi kiri dan bernomor urut dengan huruf tebal (*bold*). Antara Nama Tabel dan tabel tidak ada spasi. Tabel dibuat rata tengah, hanya terdiri dari tiga garis horisontal dengan ketentuan satu garis di atas tulisan kepala tabel dan satu garis yang mengapitnya, serta satu garis lagi berada pada bagian paling bawah dari isi tabel. Antara tabel dengan teks dibawahnya diberi jarak satu spasi, demikian juga sebelumnya.

Gambar dibuat rata tengah dengan Nomor Urut dan Nama Gambar diletakkan di bawah gambar. Jarak gambar dengan Nama Gambar adalah satu spasi, demikian juga dengan jarak antara Nama gambar dengan teks dibawahnya. Penulisan Nama Gambar dengan huruf tebal dan rata tengah. Jika Tabel atau Gambar diambil dari sumber lain atau bukan hasil penelitian penulis, harus dicantumkan sumber kutipannya.

Template Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung

JUDUL (Style JUDUL :Times New Roman, 11 pt, Bold, huruf kapital, Maks 15 Kata, Line Spacing Single, Spacing After 6 point)

<Style normal : font 10 point, Line Spacing Single>

Nama penulis ¹, nama penulis² (Style Penulis :11 pt, Bold, Line Spacing Single, Spacing After 6 point)

¹ Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan :11 pt, Line Spacing Single, Spacing After 6 point)

Alamat Universitas

² Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis ¹

<Style normal>

Abstrak (Style Absrak: 10 pt, Bold)

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Indonesia, terdiri dari satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

Kata kunci : maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee. (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

Abstract (10 pt, Bold) (Style Absrak: 10 pt, Bold, Italic)

<Style normal>

Abstrak ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil. (Style Isi Abstrak :10 pt, Italic, Line Spacing Single)

<Style normal>

Key words : maksimum lima kata kunci. aaaa, bbbb, cccc, dddd, eeee. (Style Isi Abstrak :10 pt, Line Spacing Single)

<Style normal>

PENDAHULUAN (SEMUA JUDUL BAB MENGGUNAKAN (STYLE JUDUL BAB: 10 PT, BOLD, LINE SPACING SINGLE, SPACING BEFORE 24 POINT, SPACING AFTER 12 POINT)

Pendahuluan memuat latar belakang penelitian secara ringkas dan padat, dan tujuan. Dukungan teori tidak perlu dimasukkan pada bagian ini, tetapi penelitian sejenis yang sudah dilakukan dapat dinyatakan. (Isi jurnal menggunakan (Style Isi Jurnal: 10 pt, Line Spacing Single)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan prosedur dan teknik penelitian. Antara satu penelitian dengan penelitian yang lain, prosedur dan tekniknya akan berbeda. Kalau tidak berbeda, berarti penelitian itu hanya mengulang penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tapi bukan berarti harus berbeda semuanya. Untuk penelitian sosial misalnya, populasi

penelitian mungkin saja sama, tapi teknik samplingnya berbeda, teknik pengumpulan datanya berbeda, analisis datanya berbeda, dan lain.lain. Mohon diuraikan dengan jelas, bukan hanya mengopi dari penelitian lain. Kalau mau disertakan penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam kategori penelitian yang mana, mohon diperhatikan dengan baik, jangan asal mengopi. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak, bisa mencapai 50% atau lebih. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

Jika menggunakan tabel, maka penulisannya seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Nama Tabel (Style Captiom: 10 pt, Bold, Line Spacing Single, Aligment center, Spacing Before 6 point, Spacing after 6 point)

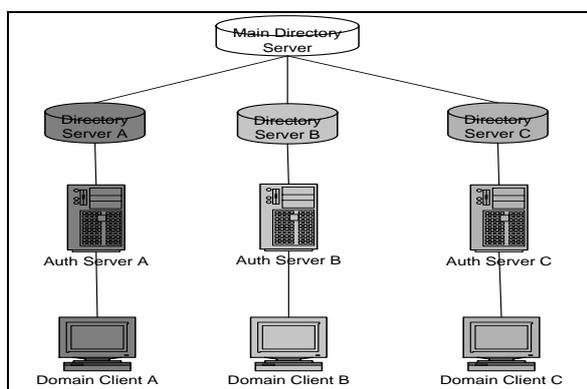
| Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 |
|---------|---------|---------|---------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Sumber : xxxxxxxx

<Style normal>

Jika menggunakan gambar, maka penggambarannya dibuat sebagai berikut:

<Style normal>



(Style Posisi Gambar: Line Spacing Single, Aligment center, Spacing Before 12 point)

Gambar 1 Nama Gambar (Style Caption: 10 pt, Bold, Aligment center, Line Spacing Single, Spacing Before 6 point, Spacing after 6 point)

Rumus menggunakan (style Rumus: 10 pt, Indentation left 0,63, Line Spacing Single, Spacing after 6 point, Tab stops 7,5 cm Right leader) dengan bentuk sebagai berikut:

$$Y=ax+bx \dots\dots\dots(1)$$

Citation And Reference List

Penunjukan sitasi dengan menggunakan tanda kurung [1]. Tanda baca kalimat mengikuti tanda kurung [2]. Berbagai referensi [2], [3] masing-masing diberi nomor dengan kurung terpisah [1] - [3]. Saat mengutip bagian dalam buku, tolong berikan nomor halaman yang relevan. Dalam kalimat, merujuk hanya ke nomor referensi, seperti pada [3]. Jangan gunakan "Ref. [3]" atau "referensi [3]" kecuali pada awal kalimat: "Hossain [3] menunjukkan ..."

Cobalah untuk menghindari catatan kaki. Berikan semua nama penulis; jangan gunakan "et al." Gunakan spasi setelah inisial penulis. Makalah telah dikirimkan untuk publikasi atau yang belum diterima atau dipublikasikan tidak perlu dikutip. Makalah yang telah diterima untuk publikasi, tetapi belum ditentukan untuk masalah ini harus terdaftar sebagai "Dalam pers" [5]. Referensi adalah lekukan gantung 5mm.

KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan hasil dari pembahasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diperkenankan bagi penulis dengan memberikan ucapan terima kasih kepada lembaga yang membiayai penelitian tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Moghal A. A. B., Dafalla M. A., Elkady T. Y., and Al-Shamrani M.A., Lime Leachability Studies on Stabilized Expansive Semi-Arid Soil. International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 18, 2015, pp.1467-1471.
- [2] Awal A.S.M.A, Hosseini H. and Hossain M.Z., Strength, Modulus of Elasticity and Shrinkage Behaviour of Concrete Containing Waste Carpet Fiber, International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 17, 2015, pp. 1441-1446.
- [3] Hossain M.Z., For Chapter in a Book, Soil Mechics, 4th ed. Vol. 2, Sakai, Ed. Sankeisha Publisher's Name, Year, pp. 11–60.
- [4] Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.
- [5] Annnn B., Unpublished Work but Accepted, Vol., Issue, Year.
- [6] Kimura S., Journal Paper Title, J. of Computer Science, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp. 23-49.
- [7] Islam M.R., Conference proceedings, in Proc. 2nd Int. Conf. on GEOMATE, 2011, pp. 8-13.
- [8] Hossain M.Z. and Awal A.S.M.A., Experimental Validation of a Theoretical Model for Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, Const. Build. Mat., Vol.25, No.3, 2011, pp.1460-1465.



MACHINE Jurnal Teknik Mesin

Alamat Redaksi :

Gedung Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik
Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung
Balujuk, Kab. Bangka, Prov. Kep. Bangka Belitung
Laman : journal.ubb.ac.id/index.php/mesin
e-Mail : mesinubb@yahoo.com

