

Vol. 5 No. 3 (2023)



J-MOVE

JURNAL TEKNIK MESIN



e-ISSN: 2656-1158

FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA

**J-MOVE: JURNAL TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA**

Dewan Editorial

- Pengarah** : Dekan Fakultas Teknik UMI
- Pembina** : Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik UMI
- Ketua Penyunting** : Sattar, S.Pd., S.T., M.Si., Ph.D.
- Wakil Ketua** : Dr. Eng. Kusno Kamil, S.T., M.Eng. Mngt.
- Penyunting Pelaksana** :
- Prof. Dr. Ir. Syukri Himran, MSME.
 - Dr. Ir. Mahmuddin, M.T.
 - Dr. Ir. Muhammad Balfas, M.T.
 - Dr. Ir. Mardin, M.T.
 - Dr. Ir. Muhammad Halim Asiri, M.T.
 - Penyunting Ahli/Mitra Bestari*
- Pelaksana Tata Usaha** :
- Uthamy Syarifah RMZ., S.Pd.
 - Usman, S.T.
- Alamat Redaksi** :
- Kantor Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo, Km. 05,
Kota Makassar, 90231.

*) Pakar External Bidang Rekayasa Teknik Mesin

**J-MOVE: JURNAL TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA**

Daftar Isi

ANALISIS SIFAT MEKANIS <i>TRACK SHOE</i> PADA UNIT <i>EXCAVATOR</i> CAT 390D DI PT. VALE <i>Dedi Senolinggi, Muhammad Balfas, Akhiruddin Pasdah</i>	1-5
PERENCANAAN DAN ANALISA PENGUJIAN ALAT <i>SPRINKLER</i> PENYIRAMAN TANAMAN <i>Dirham Sandy, Hamri, Muhammad Syahrir</i>	6-8
ANALISIS SIFAT MEKNIS DAN STRUKTUR MIKRO BAHAN BAJA SS400 PADA MATERIAL TOWER TRANSMISI <i>Desy Rizkiyani, Mardin, Muhammad Balfas</i>	9-12
ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA MESIN PENDINGIN TERHADAP PENGUNAAN <i>REFRIGERANT</i> R-22 DAN R-410A SEBAGAI MEDIA PENDINGIN <i>Muh. Fakhrol, Sulaiman Borahima, Muhammad Syahrir</i>	13-17
ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN OLI SAE 20W-50 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA PEGAS DAUN DALAM PROSES <i>HARDENING</i> <i>Edi Yanto, Muh. Halim Asiri, Akhiruddin Pasdah</i>	18-21
PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF <i>Achmad Affandi M. S., Hamri, Ahmad Amri</i>	22-25
STUDI EKSPERIMENTAL <i>PERFORMANCE ORIFICIE PLATE</i> PADA BILANGAN <i>REYNOLDS</i> RENDAH <i>Mahmuddin, Muhammad Syahrir, Nurisma Maharani</i>	26-30

ANALISIS SIFAT MEKANIS *TRACK SHOE* PADA UNIT *EXCAVATOR CAT 390D* DI PT VALE

Dedi Senolinggi⁽¹⁾, Muhammad Balfas⁽²⁾, Akhiruddin Pasdah⁽²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui presentase keausan, kekuatan dampak dan nilai kekerasan pada *Track Shoe Excavator CAT 390D*. *Track shoe* adalah bagian dari *undercarriage* yang berfungsi disamping tempat persinggungan dengan tanah juga merupakan alas gerak *crawler excavator*. *Track shoe* adalah bagian yang berfungsi menopang dan meneruskan beban ke permukaan yang dilalui baik permukaan yang keras atau yang lunak, bersama - sama dengan sistem *steering* dan rem untuk menggerakkan *excavator* tersebut. *Track Shoe* dipasang pada *excavator* untuk keperluan operasi di daerah yang berbatu, sedangkan apabila dioperasikan di daerah yang berpasir tingkat keausannya cenderung lebih besar. Penelitian dititik beratkan pada *track shoe excavator CAT 390D* yang dilaksanakan pada PT.Vale dan Laboratorium Material Teknik Universitas Muslim Indonesia. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh presentase keausan yang terjadi pada *grouser track shoe Caterpillar 390 D* pada bulan Januari 2021 *operating hours* SMU 13651 jam dengan presentase pengurangan *grouser* pada sisi kiri sebesar 7,7 % dan kanan 6,9 % sampai bulan April 2022 *operating hours* SMU 23336 jam presentase pengurangan *grouser* pada sisi kiri sebesar 43,6 % dan kanan 45,1%. Kekuatan dampak yang dihasilkan pada *track shoe Caterpillar 390 D* diperoleh pada daerah atas menghasilkan kekuatan dampak sebesar 9982,23 J/cm², bagian tengah menghasilkan kekuatan dampak sebesar 7037,98 J/cm² sedangkan bagian bawah menghasilkan kekuatan dampak sebesar 2951,29 J/cm². Nilai kekerasan rata-rata yang dihasilkan pada *track shoe Caterpillar 390 D* diperoleh D pada bagian bawah sebesar 57,7 N/mm², bagian tengah menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 63,6 N/mm² sedangkan pada bagian atas menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 66,9 N/mm².

Kata Kunci: *Track Shoe*, *Wear*/Keausan, kekuatan Dampak, Kekerasan

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi semakin pesat dari masa ke masa. Salah satu teknologi yang perkembangannya cukup pesat adalah teknologi industri alat berat. Hal ini dikarenakan penggunaan alat berat semakin menjadi vital dalam perkembangan dunia industri seperti pertambangan, *property*, *infrastructure* dan lain-lain. Alat berat sendiri terdapat beberapa jenis, tergantung dari fungsi, salah satunya adalah unit *excavator*. *Excavator* mengambil peran paling besar dalam industri alat berat dari semua sektor. *Excavator* adalah alat berat yang biasa digunakan dalam industri konstruksi, pertanian atau perhutanan. *excavator* memiliki fungsi utama untuk menggali dan memuat material seperti tanah, bebatuan kedalam *truck* atau lokasi penumpukan. *Excavator* ada yang mempunyai roda dari ban biasa yang digunakan untuk jalanan padat dan rata disebut "*Wheel Excavators*" dan ada yang mempunyai roda dari rantai besi yang akan memudahkannya untuk berjalan di jalanan yang tidak padat atau mendaki. *excavator* beroda rantai besi ini disebut juga "*Crawler Excavators*, kebanyakan *excavator* bekerja diatas permukaan tanah lunak dan lain - lain sehingga berdasarkan pengalaman menimbulkan problem terhadap *track shoe*. Jika *track shoe* selalu bekerja pada kondisi tempat yang keras, maka kerusakan bagian bawah (*track shoe*) akan menjadi sangat cepat. Sehingga pada pemilihan *excavator*, faktor *track shoe* ini harus sangat diperhatikan dan dipertimbangkan (Prasetya.L, 2014). *Track Shoe* merupakan bagian terluar dari *undercarriage* yang berfungsi sebagai "roda" dari *excavator*. Bagian *track shoe* dibagi menjadi 3 tipe yaitu *triple grouser section*, *double grouser section* dan *single grouser section*. *Track shoe* didesain sedemikian rupa untuk bisa menahan beban dari *excavator* serta

menahan gaya dari tanah saat berjalan (*United Tractor*, 2008).

Undercarriage adalah bagian *excavator* yang terletak pada bagian bawah yang langsung bersentuhan dengan permukaan tanah yang mengakibatkan keausan karena gesekan dari *undercarriage* dengan tanah. Keausan yang terjadi pada komponen mengakibatkan kinerja dan performa menjadi menurun, sehingga perlu dilakukan pemantauan secara berkala pada setiap komponen. Menurut (Akbar & Anhar, 2018), tindakan melakukan *monitoring* dan pengukuran tingkat keausan komponen *undercarriage*, menjadi suatu hal yang sangat penting untuk memprediksi sampai berapa lama komponen tersebut masih bisa dipakai. Komponen utama *undercarriage* yaitu *track shoe*, *track roller*, *carrier roller*, *idler*, dan *sprocket*.

Track Shoe harus memiliki daya pakai yang baik terhadap material seperti tanah basah dan batu serta terhadap medan yang memiliki sifat abrasif yang diakibatkan sifat alami tanah saat *track shoe* berperan menggilas material. Deere menyebutkan bahwa 50% biaya perawatan terbesar pada *excavator* adalah pada bagian *undercarriage* (Deere. J, 2007). *Track shoe* merupakan salah satu bagian pada *undercarriage* yang perlu perhatian lebih dikarenakan bagian ini merupakan bagian utama yang bersentuhan dengan jalan atau *ground* dengan tanah/batu yang keras, Itu artinya aktualisasi dan perubahan pergerakan unit, perubahan tingkat kecepatan oleh transmisi, dan segala aspek perubahan pada mesin baru akan memiliki efek apabila *undercarriage* bekerja khususnya pada *track shoe*.

Semakin bertambah umur komponen pada *undercarriage*, maka komponen tersebut mengalami penurunan performansi. Kerusakan yang sering terjadi pada *track shoe* akibat dari faktor luar seperti sering unit beroperasi di daerah yang memiliki struktur tanah batuan keras menyebabkan keausan pada *track shoe*.

Jika Keausan *track shoe* sudah parah, sehingga fungsi *shoe* untuk mengurangi beban unit kepermukaan tanah langsung diterima oleh mata link, Shoe bolts ada yang hilang, sehingga terjadi tumbukan terus menerus pada mata link dan shoe saat unit beroperasi dan Kegagalan bertemunya *teeth sprocket* dengan bushing link karena terjadinya perpanjangan *link pitch*. Hal ini bisa menyebabkan hentakan keras yang diteruskan ke *track link*. Kerusakan atau keausan komponen adalah hal yang besar karena jika komponen mengalami keausan atau kerusakan yang parah akan berpengaruh pada asset fisik unit, dan tidak kalah pentingnya adalah bisa juga menjadi penyebab terhambatnya suatu pekerjaan. setiap industri memiliki strategi untuk mengatasi kerusakan yaitu, maintenance atau perawatan unit, jenis perawatan yang biasa dilakukan antara lain: *preventive maintenance, reactive maintenance, predictive testing and inspection, dan proactive maintenance*

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan Sumardi Hadi Suryo dkk (2018) *Track shoe* merupakan *crawler* atau roda terluar pada *excavator* yang berfungsi sebagai penggerak pada *excavator*. Bagian ini selalu berkontak langsung pada tanah sehingga dapat menyebabkan keausan Dalam penelitian ini akan dibahas mengenai perbandingan material *track shoe* sebelum di heat treatment dan setelah di quenching dengan media oli. Material yang digunakan adalah AISI 1526. Analisa yang dilakukan adalah uji mikorgrafi dimana untuk material non heat treatment terdapat fasa ferit dan pearlit, sedangkan untuk material yang di heat treatment berubah mejadi fasa martensit, uji kekerasan yang dilakukan pada matrial non heat treatment bernilai 41 HRC sedangkan untuk material heat treatment bernilai 45,3 HRC, uji keausan yang dilakukan pada material non heat treatment bernilai 1,28 mm³/day, lalu untuk material heat treatment bernilai 1,12 mm³/day dan uji korosi. Untuk material non heat treatment meiliki nilai laju keausan sebesar 0,51 mm/yr dan untuk material heat treatment 0,34 mm/yr. Pemeriksaan struktur mikro dari sampel dilakukan dengan mikroskop optik, uji kekerasan sampel dilakukan dengan menggunakan *rockwel hardness tester*, uji keausan dilakukan menggunakan metode *Ogoshi High Speed Universal Wear*, dan uji korosi menggunakan metode polarisasi potensio dinamik. Dari hasil analisa didapat nilai kekerasan berbanding terbalik dengan nilai keausan dan nilai korosi, semakin keras material nya, semakin kecil tingkat keausannya

Martinus Tegar Praditya (2021) melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui persentase keausan dan usia pakai *undercarriage* pada komponen *track shoe, track roller* dan *carrier roller excavator PC200-2 Komatsu*. Pada penelitian ini analisa yang digunakan untuk menggambarkan persentase keausan dan usia pakai komponen *undercarriage* pada komponen *track shoe, track roller* dan *carrier roller* dengan diagram *fishbone*. Hasil perhitungan persentase keausan dan usia pakai komponen *undercarriage*, didapat hasil persentase keausan komponen *track shoe* pada 240 jam yaitu 22,0%, *track roller* 15,8%, dan *carrier roller* 13,0%. Untuk persentase keausan pada 480 jam komponen *track shoe* yaitu 46,0%, *track roller* 35,0%, dan *carrier roller* 31,0%. Sedangkan persentase keausan untuk 720 jam komponen *track shoe* yaitu 77,0%, *track roller* 63,3%, dan *carrier roller* 57,0%.

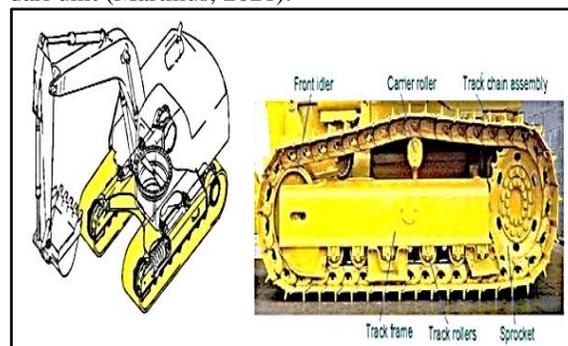
Sisa usia pakai dari komponen *track shoe* adalah 215 jam, *track roller* adalah 265 jam dan *carrier roller* adalah 389 jam.

Aries dkk, (2022) melakukan penelitian pada *buldozerr* yang bertujuan untuk mengetahui tingkat keausan *undercarriage segmen sprocket bulldozer Komatsu D85bESS-2*. Analisis data dilakukan di PT. Wirataco Mitra Mulia. Periode penelitian dimulai dari Desember 2021 hingga Januari 2022. Keausan ini sering terjadi ketika bushing bersentuhan dengan sproket segmen gigi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa penggunaan bulldozer selama 160 jam memiliki tingkat keausan sebesar 11,3%, untuk 320 jam memiliki tingkat keausan sebesar 19,56%, dan untuk penggunaan selama 480 jam memiliki tingkat keausan sebesar 31,3%. Sedangkan penggunaan segmen sproket adalah 1.533 jam.

Penelitian yang dilakukan Angkila Krishna Ellbana (2020), yaitu permasalahan yang terdapat pada sistem *undercarriage* yang meliputi keausan pada komponen grouser dan track link (*pitch* dan bushing). Maka dari itu diperlukan perawatan yang lebih terjadwal. Metode yang digunakan untuk menganalisa keausan pada komponen grouser, track link (*pitch* dan bushing) adalah menggunakan metode FMEA. Hasil dari penelitian ini berupa prosentase tingkat keausan, dan prediksi usia pakai komponen *undercarriage*. Didapat tingkat keausan grouser sebesar 68% dengan sisa usia pakai 1408 jam, link pitch 59 % dengan sisa usia pakai 1066 jam, dan bushing 53,5% dengan sisa usia pakai 863 jam. Dari metode FMEA juga didapat upaya pencegahan berupa perawatan berkala yang terjadwal dan dilakukan setiap 500, 1000, hingga 2000 jam. Melalui perawatan tersebut maka nilai RPN akan turun dan harapannya komponen akan jadi lebih awet.

A. Undercarriage

Undercarriage assembly (kerangka bawah) adalah sekumpulan komponen yang digunakan untuk menopang beban unit yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Salah satu fungsinya adalah untuk menyalurkan daya torsi mesin dan menghasilkan gaya cengkram untuk menggerakkan unit untuk maju ataupun mundur. Disamping itu juga mampu untuk menjaga kesetabilan dari unit (Martinus, 2021).

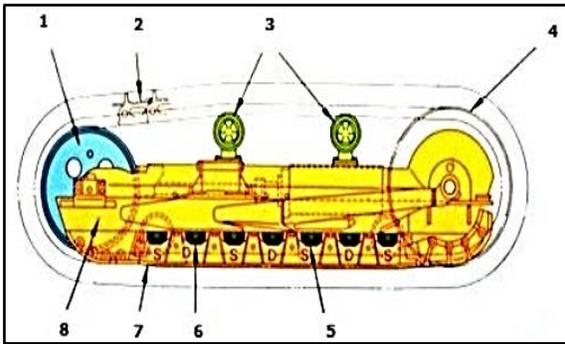


Gambar 1. *Undercarriage excavator*

Undercarriage dapat diklasifikasikan kedalam dua tipe, yaitu: tipe rigid dan tipe semi rigid yaitu :

1) *Undercarriage Tipe Rigid*

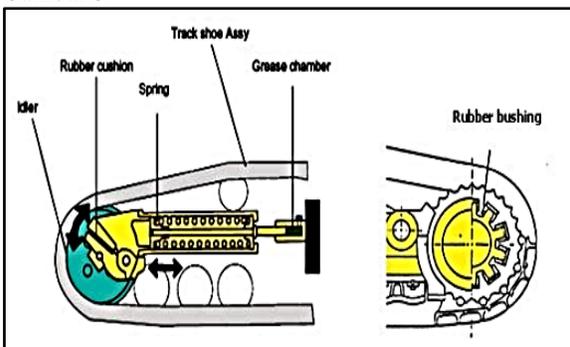
Pada *undercarriage tipe rigid*, *front idler* tidak dilengkapi dengan *rubber pad*. *Final drive* juga tidak dilengkapi dengan *rubber bushing* dan *equalizing beam* hanya menempel pada *main frame*. Secara detail *undercarriage tipe rigid* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Track frame tipe rigid

2) *Undercarriage Tipe Semi Rigid*

Tipe kerangka pada *track framenya* dilengkapi dengan *rubber pad* dan pada sprocket dilengkapi dengan *rubber bushing*. *Undercarriage* tipe ini *equalizing beam* nya diikat dengan pin pada frame. *Undercarriage tipe semi rigid* dapat dilihat pada Gambar 3.

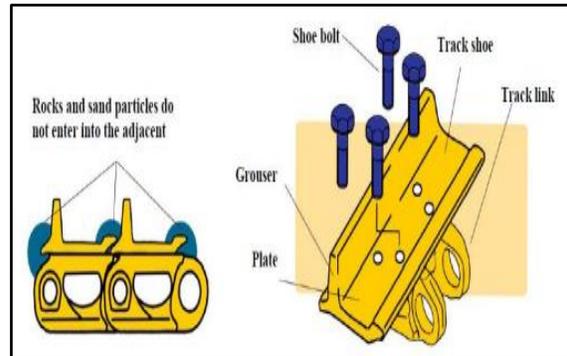


Gambar 3. Track frame tipe semi rigid

B. Track Shoe

Track shoe adalah bagian dari *undercarriage* yang berfungsi disamping tempat persinggungan dengan tanah juga merupakan alas gerak *crawler excavator*. *Track shoe* adalah bagian yang berfungsi menopang dan meneruskan beban ke permukaan yang dilalui baik permukaan yang keras atau yang lunak, bersama - sama dengan sistem *steering* dan rem untuk menggerakkan *excavator* tersebut. *Track Shoe* dipasang pada *excavator* untuk keperluan operasi didaerah yang berbatu, sedangkan apabila dioperasikan didaerah yang berpasir tingkat keausannya cenderung lebih besar. Pada *track shoe*, dilengkapi dengan *rib* dengan tujuan untuk mengurangi gesekan kesamping dan dilengkapi dengan *bolt guard* bertujuan untuk mengurangi kerusakan pada kepala *bolt*.

Track Shoe adalah bagian U/C yang berfungsi disamping tempat persinggungan dengan tanah juga merupakan alas gerak *Crawler Tractor*. *Track Shoe* merupakan pembagi berat unit ke permukaan tanah dapat dilihat pada Gambar 4. *Structure of track shoe* adalah *track shoe* terikat *fixed* pada *track link* melalui *shoe bolt* dan *nut*, umumnya satu *track shoe* diikat oleh 4 bolt dan 4 nut. *Track shoe* terdiri dari plat yang menopang berat unit dan *grouser* yang menyalurkan traksi ke permukaan tanah. Selama beroperasi *track shoe* mengalami tekanan yang bervariasi yang menimbulkan *bending force* serta *friction force* dimana akan mengakibatkan keausan dan kerusakan. Oleh karena itu *track shoe* di desain tidak hanya untuk mengatasi beban berat, namun juga tahan terhadap keausan. Ditambah lagi desain dibuat untuk mencegah batu dan pasir terperangkap di sela-sela *shoe*



Gambar 4. Struktur track shoe

C. Wear (keausan)

Keausan umumnya didefinisikan sebagai kehilangan material secara progresif atau pemindahan sejumlah material dari suatu permukaan sebagai suatu hasil pergerakan relatif antara permukaan tersebut dan permukaan lainnya. Keausan telah menjadi perhatian praktis sejak lama, tetapi hingga beberapa saat lamanya masih belum mendapatkan penjelasan ilmiah yang besar sebagaimana halnya pada mekanisme kerusakan akibat pembebanan tarik, dampak, puntir atau *fatigue*. Pembahasan mekanisme keausan pada material berhubungan erat dengan gesekan (*friction*) dan pelumasan (*lubrication*). Telaah mengenai ketiga subyek ini yang dikenal dengan nama ilmu Tribologi. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan mekanisme yang beragam.

1) Perhitungan Presentase Keausan *Undercarriage*

Untuk menentukan berapa (%) keausan dari komponen *undercarriage* maka dapat menggunakan (Syaeiful Akbar, Randis Baharrudin. 2019)

$$W_r = \frac{S_v - M_w}{S_v - W_l} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

Dengan :

- W_r = (*Wear rate*) laju persentase keausan (%)
- S_v = (*Standard value*) standar minimum keausan (mm)
- M_w = (*Measured wear rate*) hasil pengukuran keausan (mm)
- W_l = (*Wear limit*) standar maksimal keausan (mm)

2) Memprediksi Usia Pakai Komponen *Undercarriage*

Untuk memprediksi usia pakai komponen *undercarriage* sangat penting, agar efisiensi biaya maintenance dan efisiensi produksi dapat tercapai.

$$W_r = a \times X^k \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

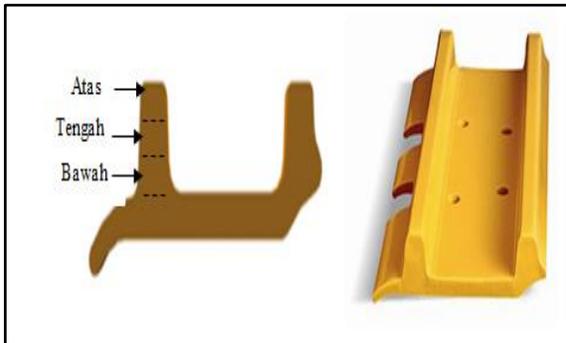
- W_r = (*Wear rate*) laju usia pakai (jam)
- a = Constanta
- X = *Operating hours* (jam)
- K = *Factor component*

3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses penelitian ini digunakan sebuah unit excavator CAT 390 D dengan merek *Caterpillar*. Komponen-komponen *undercarriage* antara lain *track shoe type double grouser* dapat dilihat pada Gambar 5.

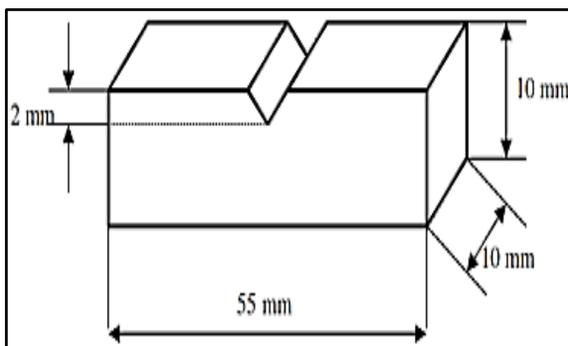


Gambar 5. Track Shoe CAT 390 D



Gambar 6. Track Shoe type double grouser CAT 390 D

Spesimen uji dampak dengan dimensi 10 x 10 x 55 mm (tinggi x lebar x panjang) dengan kedalaman takikan 2 mm sesuai dengan standar (ASTM E-23).

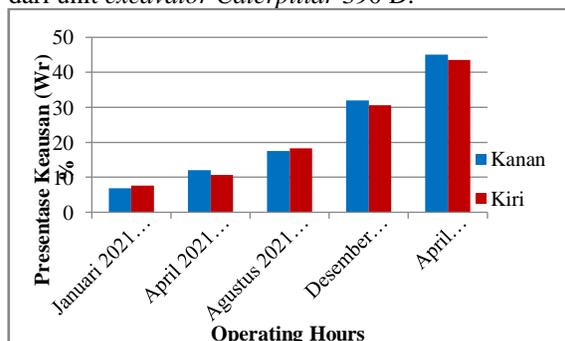


Gambar 7. Spesimen uji dampak (ASTM E-23)

4. ANALISA PEMBAHASAN

A. presentase Keausan pada Track Shoe

Data presentase keausan diambil unit Excavator Caterpillar 390 D di PT. VALE Indonesia. Untuk komponen Track shoe Excavator Caterpillar 390 D. Komponen tersebut merupakan bagian *undercarriage excavator* yang sangat berpengaruh terhadap kinerja dari unit *excavator Caterpillar 390 D*.



Gambar 8. Presentase Keausan Track Shoe

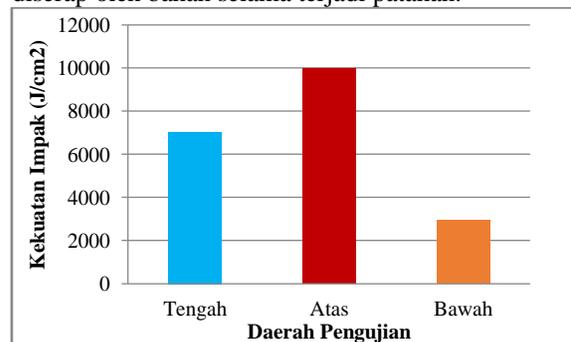
Pada gambar 4.1. menunjukkan hasil pengukuran presentase Track shoe . pengukuran pengurangan grouser track shoe menggunakan ultrasonic. Untuk mencari presentase tinggi awal pada

bagian kiri dan kanan. Bagian ini sangat penting karena berfungsi sebagai media untuk mencengkram medan agar tidak terjadi slip yang mengakibatkan terperosoknya unit pada saat menanjak. Inilah yang membuat grouser pada track shoe merupakan komponen yang sangat vital dari suatu unit. Pengaruh kerusakan grouser sendiri disebabkan oleh medan yang dilaluinya cenderung berpasir.

Dari hasil pengukuran *Grouser Track Shoe* diperoleh pada bulan Januari 2021 *operating hours* SMU 13651 jam dengan presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 7,7 % dan kanan 6,9 %, bulan April 2021 *operating hours* SMU 15751 jam dengan presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 10,6% dan kanan 12 %, bulan Agustus 2021 *operating hours* SMU 18494 jam presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 18,3 % dan kanan 17,5 %, bulan Desember 2021 *operating hours* SMU 20530 jam presentase maka pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 30,5 % dan kanan 32% sedangkan bulan April 2022 *operating hours* SMU 23336 jam presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 43,6 % dan kanan 45,1%.

B. Hasil Pengujian Impak

Pengujian dampak dilakukan pada material *Track Shoe Caterpillar 390D* pada PT. VALE Indonesia yang dibentuk sesuai standar ASTM E-23 pada takikan V dengan beban bandul sebesar 300 J. Pengujian Impak Metode Charpy merupakan standar pengujian laju regangan tinggi yang menentukan jumlah energi yang diserap oleh bahan selama terjadi patahan.



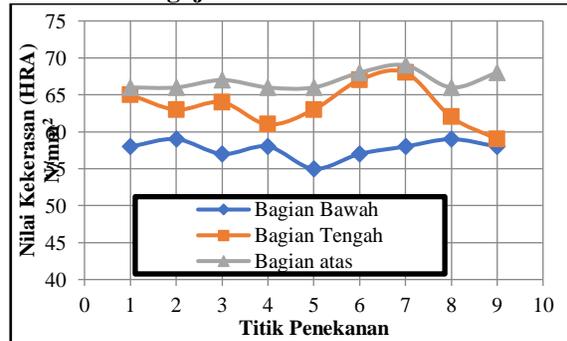
Gambar 9. Grafik Hasil kekuatan Impak Track Shoe Caterpillar 390 D

Pada Gambar 9. dapat dilihat bahwa grafik kekuatan dampak yang dihasilkan pada material *Track Shoe Caterpillar 390 D* dengan mengambil 3 sampel uji pada daerah atas, tengah dan bawah dapat dilihat pada gambar 5. Pengujian dampak ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan bahan/material *Track Shoe Caterpillar 390 D* menerima beban dampak/beban yang diterima bahan secara tiba-tiba.

Dari grafik diatas memperlihatkan bahwa pada daerah atas menghasilkan kekuatan dampak sebesar 9982,23 J/cm², bagian tengah menghasilkan kekuatan dampak sebesar 7037,98 J/cm² sedangkan bagian bawah menghasilkan kekuatan dampak sebesar 2951,29 J/cm². Kekuatan dampak tertinggi diperoleh pada spesimen bagian atas Hal ini disebabkan energi yang diserap oleh spesimen uji lebih besar sehingga kekuatan dampak yang dihasilkan lebih tinggi, hal ini yang terjadi pada material/bahan *Track Shoe Caterpillar 390 D* pada bagian atas, karena track shoe selalu bekerja pada kondisi tempat yang keras, maka kerusakan bagian bawah (*track shoe*) akan menjadi sangat cepat akibat bergesekan langsung dengan struktur jalan/medan di

area pertambangan yang dilalui pada saat excavator melakukan pekerjaan sehingga *Track shoe* didesain sedemikian rupa untuk bisa menahan beban dari excavator serta menahan gaya dari tanah saat berjalan.

C. Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 10. Grafik nilai kekerasan *Track Shoe Caterpillar 390 D* pada berbagai daerah pengujian

Pada gambar 10 memperlihatkan bahwa nilai kekerasan yang dihasilkan berbeda-beda berdasarkan daerah/posisi titik pengujian yang dilakukan pada berbagai daerah *Track Shoe Caterpillar 390 D*. Pada daerah bagian bawah nilai kekerasan yang dihasilkan sebesar 57 N/mm² sampai 59 N/mm², daerah bagian tengah nilai kekerasan yang dihasilkan sebesar 59 N/mm² sampai 68 N/mm² sedangkan pada daerah bagian atas menghasilkan nilai kekerasan sebesar 66 N/mm² sampai 69 N/mm². Kekerasan tertinggi dihasilkan pada *Track Shoe Caterpillar 390 D* daerah bagian atas, hal ini yang terjadi pada material/bahan *Track Shoe Caterpillar 390 D* pada bagian atas, karena *track shoe* selalu bekerja pada kondisi tempat yang keras, maka kerusakan bagian bawah (*track shoe*) akan menjadi sangat cepat akibat bergesekan langsung dengan struktur jalan/medan di area pertambangan yang dilalui pada saat excavator melakukan pekerjaan sehingga *Track shoe* didesain sedemikian rupa untuk bisa menahan beban dari excavator serta menahan gaya dari tanah saat berjalan diperlukan nilai kekerasan yang lebih tinggi untuk menghindari *Track Shoe Caterpillar 390 D* cepat aus.

5. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian pada *Track Shoe Caterpillar 390 D* maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil perhitungan presentase keausan yang terjadi pada *grouser track shoe Caterpillar 390 D* pada bulan Januari 2021 *operating hours* SMU 13651 jam dengan presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 7,7 % dan kanan 6,9 % sampai bulan April 2022 *operating hours* SMU 23336 jam presentase pengurangan grouser pada sisi kiri sebesar 43,6 % dan kanan 45,1%. Pengurangan presentase *Grouser Track Shoe* masih sesuai dengan standar pemakaian belum mencapai presentase 120% atau tinggi grouser 35,6 mm sebagai standar yang diizinkan untuk dilakukan penggantian.
2. Kekuatan impact yang dihasilkan pada *track shoe Caterpillar 390 D* diperoleh pada daerah atas menghasilkan kekuatan impact sebesar 9982,23 J/cm², bagian tengah menghasilkan kekuatan impact sebesar 7037,98 J/cm² sedangkan bagian

bawah menghasilkan kekuatan impact sebesar 2951,29 J/cm².

3. Nilai kekerasan rata-rata yang dihasilkan pada *track shoe Caterpillar 390 D* diperoleh pada bagian bawah sebesar 57,7 N/mm², bagian tengah menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 63,6 N/mm² sedangkan pada bagian atas menghasilkan kekerasan rata-rata sebesar 66,9 N/mm²

DAFTAR PUSTAKA

- Almusallam, Abdullah A. 2001. Effect of degree of corrosion on the properties of reinforcing steel bars. *Construction and Building Materials*, 15.8: 361-368.
- Akbar, S., & Anhar, W. 2018. Kajian Hasil Pengukuran Undercarriage Bulldozer Komatsu D375A-5 di PT. Pama Persada Nusantara Site Batukujang. *Jurnal Sains Terapan*.
- Akbar, S., Baharuddin, R. 2019. Koreksi Nilai Konstanta “K” Dalam Perhitungan Usia Pakai Komponen Undercarriage. Kalimantan Timur: Politeknik Negeri Balikpapan
- Angkila Krishna Ellbana, 2020. Analisa Keausan Grouser, Link Pitch Dan Bushing Pada Sistem Undercarriage Excavator Dengan Metode FMEA. Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.
- Aries, Syurkarni A, Pribadyo, 2022. Analisa Tingkat Keausan Undercarriage Bagian *Segment Sprocket Bulldozer KOMATSU D85ESS-2*. Universitas Teuku Umar ISSN 2620-6760, Vol.5, No. 1, April 2022.
- Callister, W. D., 2007, *Material Science and Engineering, An Introduction 7ed*, Departement of Metallurgical Engineering The University of Utah, John Willey and Sons, Inc
- Caterpillar, 2010, *Hidraulic Excavator 390D*.
- Dasgubta, R., Prasad, B.K., Jha, A.K., Modi, O.P., Das, S., Yegneswaran, A.H., 1998. Low stress abrasive wear behavior of a hardfaced steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 7, Issue 2, pp.221-226.
- Deere, J., 2007, *Undercarriage Wear And Care Guide*. Usa: John Deere.
- Jati Hidayah. 2011. Peningkatan Perawatan Komponen Undercarriage Alat Berat. Depok: Universitas Indonesia.
- Komatsu. 2011. KUC Procedure Manual, Undercarriage System Training. Jakarta: PT KOMATSU.
- Komatsu, 2009, *Specification And Application Handbook*. Edition 30. Japan: Komatsu.

PERENCANAAN DAN ANALISA PENGUJIAN ALAT SPRINKLER PENYIRAM TANAMAN

Dirham Sandy⁽¹⁾, Hamri⁽²⁾, Muhammad Syahrir⁽²⁾

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Air merupakan unsur yang sangat penting dalam pertumbuhan tanaman. Pemberian air pada tanaman dapat meningkatkan jumlah produktifitas tanaman. Air yang cukup akan mendukung peningkatan produksi tanaman, Efisiensi yang terjadi pada volume 1 liter – 5 liter. Efisiensi air dapat dilihat bahwa semakin besar pembukaan katup maka efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sprinkler dan untuk mengetahui efisiensi debit air terhadap kinerja sprinkler. Penelitian ini dilakukan di Workshop Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan pada Pembuka Katup pertama 20° dengan volume 1 Liter. sampai ke volume 5 liter menghasilkan efisiensi 0,021110921% sampai 0,024256977%, untuk PK 30° dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,040236161 % sampai 0,047205305 %, untuk pk 40°. Dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0474456 % sampai 0,0687041 %, untuk pk 50°, dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0659716 % sampai 0,0972627 %, dan untuk pk 60° dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0726605 % sampai 0,1319432 %. Dari hasil yang disajikan diatas, Efisiensi yang terjadi ialah pembuka pertama 20° kecil dibandingkan pembuka ke lima dan pembuka katup 60° semakin besar dibandingkan dengan pembuka katup pertama 20°.

Kata Kunci : Sprinkler, Efisiensi, Kadar Air

1. PENDAHULUAN

Air merupakan unsur yang sangat penting dalam pertumbuhan tanaman. Air bagi tanaman merupakan sumberdaya yang sangat utama karena hampir semua proses fisika, kimia, dan biologi didalam tanah dan proses fisiologis tanaman tidak akan dapat berlangsung secara optimal tanpa ketersediaan air yang cukup.

Pemberian air pada tanaman dapat meningkatkan jumlah produktifitas tanaman. Air yang cukup akan mendukung peningkatan produksi tanaman, sebaliknya rendahnya jumlah air akan menyebabkan terbatasnya perkembangan akar, sehingga mengganggu penyerapan unsur hara oleh akar tanaman.

Semakin sering air diberikan, semakin cepat pertumbuhan dan perkembangantanaman. Namun, bila jumlah air yang diberikan semakin banyak, kelebihan air menjadi tidak bermanfaat atau tidak efisien dan tentunya akan menjadi masalah bagi tanaman. Selain faktor air, faktor tanah juga mempengaruhi tingkat efisiensi pemberian air pada tanaman. Faktor yang mempengaruhi tanah dalam mencukupi kebutuhan air bagi tanaman adalah kapasitas tanah menahan air dan laju infiltrasi. Kedua faktor tersebut sangat ditentukan oleh tekstur dan sifat fisik tanah.

Dalam pemenuhan kebutuhan air tanaman untuk meningkatkan produktifitas dapat dilakukan dengan menggunakan irigasi *sprinkler*. Sistem irigasi *sprinkler* dapat memberikan efisiensi dan efektifitas yang cukup tinggi air bagi tanaman. Hal ini dapat terwujud jika sistem irigasi *sprinkler* dapat dirancang dengan tepat, penggunaan yang teratur dan sesuai dengan jumlah kebutuhan serta waktu pemberian air.

Pada sistem irigasi *sprinkler*, keseragaman pemberian air perlu diperhatikan untuk mengetahui efisiensi irigasi dan melihat sejauh mana distribusi air tersebut dapat diterima oleh tanah dengan sempurna. Hal ini dapat tercapai jika pemberian air pada lahan pertanian seragam.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: Mesin pompa air, *stopwatch*, katup air, pipa pyc, selang air, *Manometer U*, *Termometer*, *Avometer*, *Roll Meter*, serta ember. Adapun prosedur penelitian pengujian alat *Spinkler* sebagai berikut: Menyiapkan semua alat dan bahan yang diperlukan, Memasang selang ke pompa air kemudian memasang selang ke pipa yang telah digabungkan lalu menggabungkan pipa dan alat splinkler, Menghidupkan pompa air dan mengatur buka katup pada aliran air, Bila aliran pada alat splinkler sudah stabil, maka dilakukan pembacaan dan mencatat debit air yang diperlukan, Mengukur tekanan air pada manometer U, Mengantur waktu yang dibutuhkan untuk volume air yang keluar dari *sprinkler*, Mengukur temperatur air, Sebelum melakukan pengukuran Temperatur air dilakukan pengukuran tegangan arus dengan menggunakan *Avometer*, Mengukur jarak pancuran air yang keluar dari putaran *sprinkler* dengan menggunakan *roll meter*, Mengulangi sebanyak 4 atau 5 kali percobaan pengujian untuk mengecek kinerja alat splinkler, Matikan pompa air dan Selesai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut data tetap yang telah diketahui untuk proses perhitungan efisiensi pompa :

1. Volume(V) = 1 L = 0,001 m³
2. Percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/s²
3. Waktu(\tilde{t}) = 9,9 s
4. Massa jenis air (ρ) = 995,99 Kg/m³ (dapat dilihat di lampiran pada tabel massa jenis air)
5. Temperatur air (T) = 30°c
6. head (h) = 13,4
7. Tegangan (v) = 220 Volt
8. Jarak semburan air (i) = 175 cm
9. Pembukaan katup (°) = 20°
10. Arus (I) = 1,7 Ampere

A. Debit aliran

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dengan :

$$Q = \text{Debit (m}^3/\text{s)}$$

$$v = \text{Volume fluida (m}^3)$$

$$= 1 \text{ L (0,001 m}^3)$$

$$t = \text{Waktu (s)}$$

$$= 9,9 \text{ s}$$

Sehingga :

$$Q = \frac{0,001}{9,9}$$

$$= 0,00010101 \text{ m}^3/\text{s}.$$

B. Daya Hidrolik Pompa Sentrifugal (N_h)

$$N_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Dengan :

$$\rho = \text{Massa jenis air} \\ = 995 \text{ kg/m}^3 \text{ (dapat dilihat pada} \\ \text{tabel air yang terlampir dengan} \\ \text{temperatur } 30^\circ\text{C)}$$

$$g = \text{Percepatan gravitasi}$$

$$= 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$Q = \text{Debit aliran}$$

$$= 0,00010101 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$H = \text{Head total}$$

$$= 13,4 \text{ m}$$

Sehingga :

$$N_h = 996 \frac{\text{kg}^3}{\text{m}} \cdot 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \cdot 0,00010101 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot 13,4$$

$$= 13,2 \text{ watt}$$

C. Daya Pompa Sentrifugal (N_p)

$$N_p = V \cdot I$$

Dengan :

$$V = \text{Tegangan (v)}$$

$$= 220 \text{ volt}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

$$= 1,7 \text{ A}$$

Sehingga :

$$N_p = 220 \text{ volt} \cdot 1,7 \text{ Ampere}$$

$$= 374 \text{ watt}$$

D. Efisiensi Pompa Sentrifugal (η)

$$\eta = \frac{N_h}{N_p} \times 100\%$$

Dengan :

$$N_h = \text{Daya hidrolik pompa}$$

$$= 13,2 \text{ Watt}$$

$$N_p = \text{Daya pompa}$$

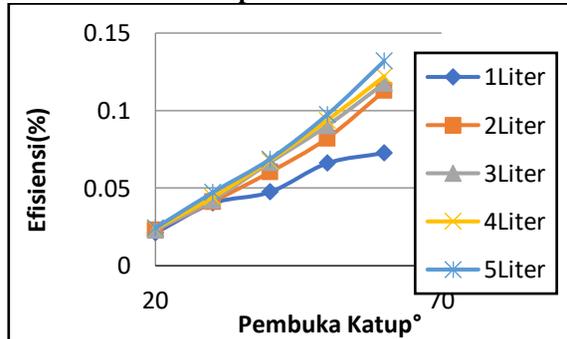
$$= 374 \text{ Watt}$$

$$\eta = \frac{13,2}{374} \times 100\% = 3,52\% \text{ atau (0,0352)}$$

E. Pembahasan

Dari hasil perhitungan data penelitian diatas dapat digambarkan beberapa grafik sebagai berikut :

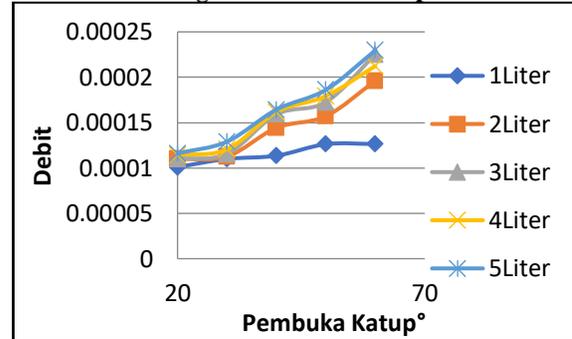
F. Efisiensi Pompa



Grafik 4.1 Hubungan antara Efisiensi Pompa dan Aliran air

Pada Gambar 4.1 memperlihatkan grafik Pembukaan Katup terhadap Efisiensi air dapat dilihat bahwa semakin besar Pembukaan Katup maka efisiensi yang dihasilkan semakin besar. Dimana pada Pembuka Katup pertama 20° dengan volume 1 Liter. sampai ke volume 5 liter menghasilkan efisiensi 0,021110921% sampai 0,024256977%, untuk PK 30° dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,040236161 % sampai 0,047205305 %, untuk pk 40°. Dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0474456 % sampai 0,0687041 %, untuk pk 50°, dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0659716 % sampai 0,0972627 %, dan untuk pk 60° dengan volume 1 liter sampai 5 liter menghasilkan efisiensi 0,0726605 % sampai 0,1319432 %. Dari hasil yang disajikan diatas, Efisiensi yang terjadi ialah pembuka pertama 20° kecil dibandingkan pembuka ke lima dan pembuka katup 60° semakin besar dibandingkan dengan pembuka katup pertama 20°.

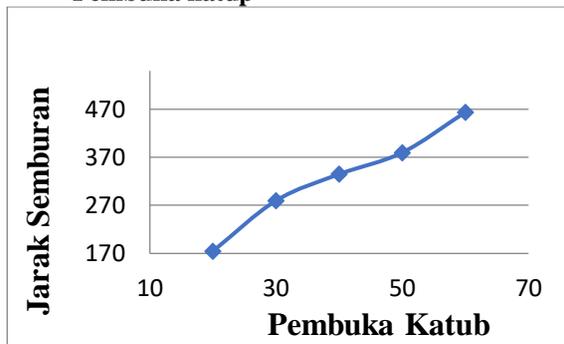
G. Debit dengan Pembuka Katup



Grafik 4.2 Hubungan antara Debit dan Pembuka Katup

Berdasarkan Gambar 4.2 memperlihatkan grafik pengaruh debit dengan putaran konstan 2900 rpm dapat dilihat bahwa semakin besar pembukaan katup maka debit yang dihasilkan semakin tinggi. Dimana pada pembukaan katup pertama sampai ke lima menghasilkan sebagai berikut. Dapat disimpulkan bahwa pada putaran konstan pada pk 20° dengan debit 0,0001010 m³/s – 0,0001160 m³/s, pk 30° dengan debit 0,0001100 m³/s – 0,0001290 m³/s, pk 40° dengan debit 0,0001135 m³/s – 0,0001643 m³/s, pk 50° dengan debit 0,0001265 m³/s – 0,0001861 m³/s, dan sedangkan pk 60° dengan debit 0,0001264 m³/s – 0,0002295 m³/s mengalami kenaikan signifikan dikarenakan mengalami perubahan pembuka katub 20° sampai 60°.

H. Jarak Semburan Sprinkler dengan Pembuka katup



Grafik 4.3 Hubungan antara Jarak Semburan dan Pembuka Katup

Berdasarkan Gambar 4.3 memperlihatkan grafik pengaruh pembuka katup dengan jarak semburan *sprinkler* dapat dilihat bahwa semakin kecil pembukaan katup maka jarak semburan *sprinkler* yang dihasilkan semakin kecil. Dimana pada pembukaan katup 20° sampai ke 60° menghasilkan sebagai berikut. Dapat disimpulkan bahwa jarak semburan *sprinkler* pada pk 20° dengan jarak 175 m – 464 m. mengalami kenaikan signifikan dikarenakan mengalami perubahan pembuka katub 20° sampai 60°.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Bahwa semakin besar pembukan katub maka kinerja sprinkler yang dihasilkan semakin jauh pula semburan yang di hasilkan.
2. Bahwa semakin besar pembuka katub yang dihasilkan maka semakin besar pula debit yang dihasilkan. Ada pun efisiensi yang dihasilkan semakin rendah

B. Saran

Sebaiknya dalam mengamati proses pengambilan data ada baiknya menggunakan alat data akuisisi sehingga data yang diperoleh lebih akurat dan dapat mendeteksi perubahan dan jarak semburan sprinkler.

ANALISIS SIFAT MEKANIS DAN STRUKTUR MIKRO BAHAN BAJA SS400 PADA MATERIAL TOWER TRANSMISI

Desy Rizkiyani⁽¹⁾, Mardin⁽²⁾, Muhammad Balfas⁽²⁾

¹⁾Mahasiswa Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Magister Teknik Mesin, Program Pascasarjana, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Di Indonesia terdapat banyak kasus kerusakan tower transmisi mulai dari robohnya tower transmisi saat tegangan dialirkan hingga terjadinya tower ular setelah proses stringing konduktor dilakukan. Berdasarkan banyaknya kasus tersebut dilakukan penelitian untuk menganalisa sifat mekanik dan struktur mikro bahan baja SS400 yang digunakan sebagai material struktur tower transmisi dengan melakukan Uji Tarik, Uji Bending, Uji Kekerasan, dan Uji struktur Mikro sehingga dapat diketahui kekuatan mekanis yang ideal digunakan untuk bahan pembangun struktur tower transmisi. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kekuatan uji tertinggi yaitu 508.72 N/mm², sedangkan kekuatan bending yang didapatkan terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan dimana nilai tertinggi kekuatan bending didapatkan 1894.7 N/mm². Untuk nilai kekerasan didapatkan nilai yang relatif sama pada semua area pengujian dengan nilai kekerasan tertinggi yaitu 59 HRB. Dari uji mikrostruktur didapatkan struktur Ferit dan Perlit dengan 3 unsur penyusun utama yaitu Besi (Fe), Boron (B), dan Berlium (Br).

Kata Kunci : Baja SS400, Sifat Mekanis, Mikro struktur

1. PENDAHULUAN

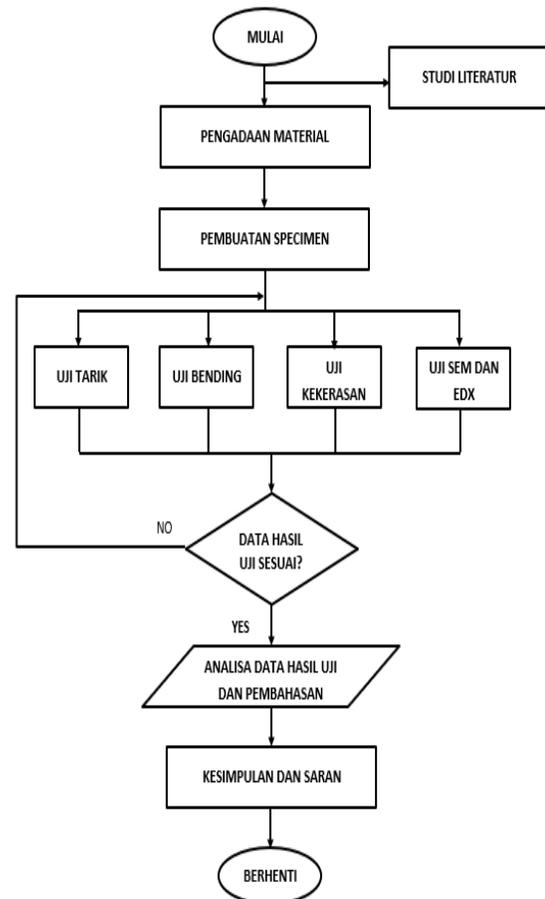
Posisi Tower Transmisi ini bergantung pada jalur transmisi yang ditetapkan, bisa berada didaerah rawa, bukit, pegunungan, dan lain sebagainya. Bahkan Pada bulan agustus tahun 2022 PLN membangun Tower Transmisi yang menghubungkan Pulau Raha dan Pulau Bau-bau Sulawesi Tenggara menggunakan 1 gawang Tower Transmisi yang melintasi laut. Merujuk pada fungsi tower transmisi yaitu menopang konduktor yang berat dan posisinya pada medan yang tidak menentu, maka kekuatan tower transmisi ini menjadi poin penting yang harus diperhatikan. DiIndonesia terdapat banyak kasus kerusakan tower transmisi mulai dari robohnya tower transmisi saat tegangan dialirkan hingga terjadinya tower ular setelah proses stringing konduktor dilakukan. Berdasarkan dengan pembahasan diatas maka perlu dilakukan penelitian untuk menganalisa sifat mekanik dan strukture mikro bahan baja SS 400 yang banyak digunakan sebagai material struktur tower transmisi dengan melakukan Uji Tarik, Uji Bending, Uji Kekerasan, dan Uji Struktur Mikro sehingga dapat diketahui kekuatan mekanis yang ideal digunakan untuk bahan pembangun struktur tower transmisi.

2. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di 3 lokasi yaitu Uji Kekerasan dilakukan di Laboratorium Material Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Muslim Indonesia, Uji Tarik dan Uji Bending dilakukan di Balai Latihan Kerja Kota Makassar dan Uji SEM dan EDX dilakukan di Laboratorim Mikrostruktur Universitas Muslim Indonesia

B. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji Tarik

Sebelum pengujian tarik, dilakukan pencatatan nilai L_0 untuk setiap spesimen uji. Setelah pengujian dilakukan spesimen di ukur kembali untuk mendapatkan nilai perpanjangan material. Dari hasil pengujian yang dilakukan didapatkan nilai perpanjangan material untuk setiap spesimen.

Tabel 1. Data Awal Uji Tarik

Spesimen	L ₀ (mm)	L _i (mm)	ΔL (mm)
1	52	56.3	4.3
2	51	55.4	4.4
3	50	55.3	5.3
4	50	54.2	4.2
5	49.5	52.8	3.3

Setelah semua nilai didapatkan, maka dilakukan perhitungan terhadap data untuk mendapatkan nilai tegangan dan regangan material. Berikut adalah salah satu perhitungan sesuai dengan persamaan 2.1 untuk nilai tegangan dan 2.2 untuk nilai regangan.

$$A = l \times w$$

$$= 12.5 \times 6$$

$$= 75 \text{ mm}^2$$

- Data 1 Spesimen 1 dengan nilai F = 296.32 N

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{296.32}{75}$$

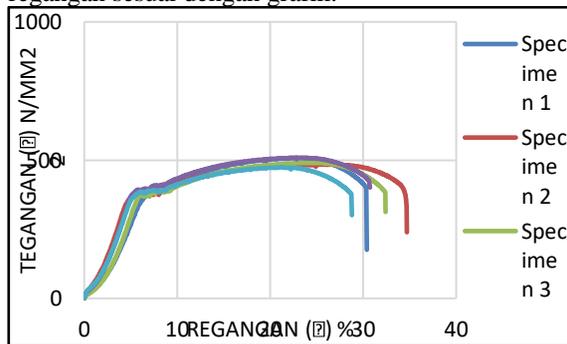
$$\sigma = 3.91 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\%$$

$$= \frac{0.01992}{52} \times 100\%$$

$$\epsilon = 0.038 \%$$

Untuk mendapat grafik dari hasil pengujian, perhitungan dilakukan untuk semua nilai yang didapatkan pada semua pengujian spesimen. Dari hasil perhitungan yang dilakukan didapatkan nilai tegangan regangan sesuai dengan grafik:



Gambar 2 grafik Perbandingan Tegangan dan Regangan

Dari hasil perbandingan tegangan dan regangan didapatkan nilai tegangan tertinggi adalah pada spesimen 4 yaitu 508.72 N/mm². Dari hasil perbandingan ini didapatkan bahwa nilai tegangan dan regangan yang terbentuk untuk semua spesimen hampir sama. Dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) tahun 1996 yang ditetapkan bahwa kekuatan tarik minimum untuk pelat dasar yang harus dicapai adalah 450 MPa.

B. Uji Bending

Setelah semua spesimen diuji dan data didapatkan, maka dilakukan perhitungan terhadap data untuk mendapatkan nilai kekuatan bending. Berikut adalah salah satu perhitungan sesuai dengan persamaan 2.3.

$$l = 150 \text{ mm}$$

$$b = 20 \text{ mm}$$

$$d = 6 \text{ mm}$$

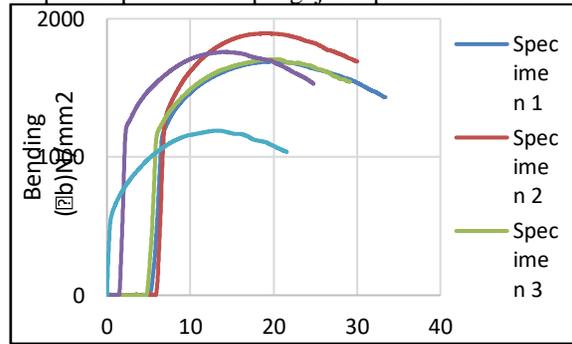
Data 1 Spesimen 1, dengan nilai P = 13.105 N

$$\sigma_b = \frac{3Pl}{2bd^2}$$

$$= \frac{3 \times 13.105 \times 150}{2 \times 20 \times 6^2}$$

$$\sigma_b = 4.10 \text{ N/mm}^2$$

Untuk mendapat grafik dari hasil pengujian, perhitungan dilakukan untuk semua nilai yang didapatkan pada semua pengujian spesimen.



Gambar 3 grafik Kekuatan Bending

Dari grafik hasil perhitungan yang didapatkan nilai kekuatan bending tertinggi adalah pada spesimen 2 yaitu 1894.7 N/mm². Dari hasil perbandingan 5 spesimen tersebut bahwa nilai kekuatan bending yang terbentuk untuk semua spesimen terdapat perbedaan yang cukup signifikan.

Dalam SPLN tidak ditetapkan standar nilai kekuatan bending yang harus dipenuhi, namun dari beberapa permasalahan yang terjadi saat proses stringing konduktor yaitu sering terjadinya kerusakan struktur tower yang telah selesai dilakukan proses erection. Contoh kerusakan yang sering terjadi adalah dikarenakan kekuatan tower dalam menahan gaya tarik konduktor sehingga terdapat profil tower yang tertekuk.

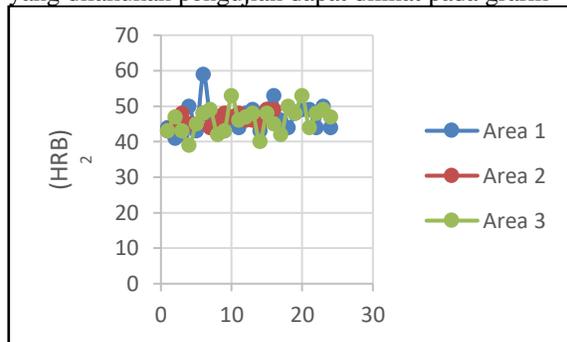
C. Uji Kekerasan

Proses pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan mesin Hardness Tester. Pengujian kekerasan ini menggunakan metode Rockwell. Spesimen uji ditekan menggunakan nilai pembebanan sebesar 588 N hingga mendapatkan nilai kekerasan yang dapat dilihat pada mesin uji. Spesimen yang digunakan dalam pengujian kekerasan yang digunakan adalah raw material utuh. Pengujian kekerasan dilakukan pada beberapa titik material di 3 area.

Tabel 2. Data Kekerasan Material

Area 1		Area 2		Area 3	
No	HRB	No	HRB	No	HRB
1	44	1	43	1	43
2	41	2	45	2	47
3	42	3	48	3	43
4	50	4	45	4	39
5	43	5	45	5	45
6	59	6	48	6	48
7	47	7	44	7	49
8	47	8	46	8	42
9	43	9	48	9	43
10	46	10	47	10	53
11	44	11	48	11	46
12	48	12	46	12	47
13	49	13	46	13	48
14	43	14	45	14	40
15	49	15	49	15	48
16	53	16	49	16	45
17	46			17	42
18	44			18	50
19	48			19	48
20	49			20	53
21	49			21	44
22	44			22	48
23	50			23	49
24	44			24	47

Setelah semua titik pada area yang diuji nilai kekerasannya, dan didapatkan nilai kekerasannya. Perbandingan nilai kekerasan untuk 3 area berbeda yang dilakukan pengujian dapat dilihat pada grafik



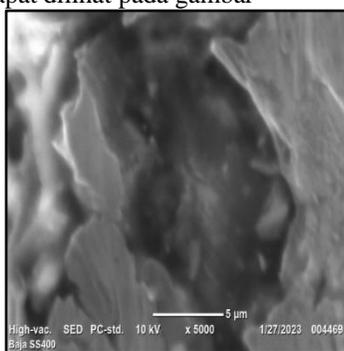
Gambar 4 grafik Hasil Pengujian Kekerasan

Dari hasil perbandingan kekerasan terlihat bahwa nilai kekerasan tertinggi berada pada area 1 yaitu 59 HRB dan terendah pada area 3 yaitu 42 HRB. Dari grafik dapat dilihat pula nilai kekerasan material berada pada *range* yang hampir sama.

Dalam SPLN 1996 tidak menentukan nilai dari kekerasan material yang dibuat, namun kaitannya dengan permasalahan yang sering terjadi pada proses string bahwa selain profil material tertekuk terdapat juga profil material yang sampai patah. Maka dari itu diharapkan nilai kekerasan material juga dapat menjadi pertimbangan dalam proses design tower

D. Uji Mikrostruktur dan Uji Komposisi

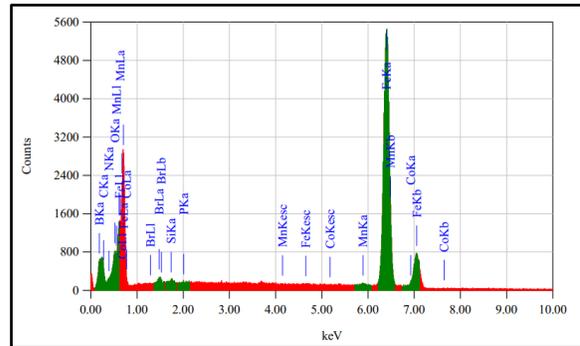
Uji mikrostruktur dilakukan menggunakan metode SEM, material yang dilakukan pengujian dibentuk sehingga bisa terbaca pada alat uji. Pengujian dilakukan dengan pemindaian material dan sehingga dapat terlihat struktur pada layar computer yang terhubung dengan alat uji. Hasil dari pengujian ini didapatkan foto mikrostruktur yang dilakukan pembesaran hingga mencapai maksimal pembacaan oleh alat uji. Foto hasil uji struktur mikro menggunakan SEM ini dapat dilihat pada gambar



Gambar 5 Hasil Foto SEM

Dari uji mikrostruktur yang dilakukan menggunakan alat SEM terlihat bahwa mikrostruktur yang terbentuk adalah mikro struktur ferrite yang berwarna putih dan perlit yang berwarna hitam.

Uji komposisi dilakukan pada alat yang sama dengan pengujian SEM, pengujian dilakukan dengan mengetahui jenis unsur kimia yang menyusun material. Setelah pengujian dilakukan semua unsur material akan muncul. Hasil pengujian unsur yang dilakukan dapat dilihat pada grafik.



Gambar 6 grafik Hasil Uji Komposisi (EDX)

Dari hasil pengujian EDX yang dilakukan 3 unsur utama dengan presentasi massa paling 3 yaitu Fe (Ferum) dengan massa 90.37%, B (Boron) dengan massa 6.10%, dan Br (Bromin) 1.08%. 3 unsur dengan presentase masa paling kecil yaitu Nitrogen (N) dengan massa 0.21%, Silikon (Si) dengan massa 0.12%, dan (Fosforus) P dengan massa 0.04%. Komposisi presentase material dapat dilihat pada tabel 3

Tabel 3 Hasil Uji Unsur (EDX)

No	Element	Massa %
1	B K	6.10
2	C K	0.51
3	N K	0.21
4	O K	0.64
5	Si K	0.12
6	P K	0.04
7	Mn K	0.57
8	Fe K	90.37
9	Co K	0.36
10	Br L	1.08
TOTAL		100

Jika dibandingkan dengan standar Standar GIS pada Tabel 2.1 di temukan terdapat beberapa massa unsur yang melebihi standar yang ditetapkan yaitu 0.51% untuk Carbon (C), dan Fosforus (P) 0.04%.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil uji tarik menunjukkan kekuatan tarik material dengan nilai perbedaan yang tidak terlalu signifikan dan berada pada range yang sesuai dimana nilai kekuatan tarik tertinggi pada material uji 1 yaitu 508.72 N/mm² dan terendah pada material uji 5 sebesar 473.5 N/mm². Nilai dari hasil uji tarik ini juga sesuai dengan standar SPLN. Hasil uji bending menunjukkan perbedaan kekuatan bending yang cukup signifikan untuk pada salah satu material dimana nilai tertinggi kekuatan bending terdapat pada material uji 2 yaitu 1894.7 N/mm² dan terendah pada material uji 5 yaitu 473.5 N/mm². Pada SPLN tidak menentukan nilai uji bending sebagai standar, dengan beberapa permasalahan profil tower yang tertekuk diharapkan hasil uji bending juga masuk dalam pertimbangan *design* tower.
2. Hasil uji kekerasan menunjukkan nilai kekerasan yang relatif sama pada seluruh area raw material yang digunakan pada struktur tower. Nilai kekerasan tertinggi terdapat pada area 1 yaitu 59 HRB. Nilai Uji kekerasan juga tidak masuk dalam SPLN, berkaitan dengan permasalahan design tower diharapkan nilai kekerasan material juga dapat dipertimbangkan.

3. Hasil uji mikrostruktur dan hasil uji unsur menunjukkan material terbentuk dari struktur mikro ferrite dan perlit dimana terdapat 3 unsur utama yaitu Besi (Fe), Boron (B), dan Berlium (Br). Dari hasil uji EDX juga ditemukan 2 unsur dengan komposisi massa melebihi standar yang ditetapkan yaitu 0.51% untuk Carbon (C), dan Fosforus (P) 0.04%. Struktur mikro dan unsur pembentuk ini memberikan sifat ulet namun kuat pada material sehingga cocok untuk digunakan sebagai material struktur tower transmisi yang tidak boleh bersifat getas.

DAFTAR PUSTAKA

- Balfas, M., Habib, F., Hafid, H., & Fitrah, M. A. (2022). Analisa Perbandingan Kekuatan Tarik Pada Baja ST 37. *J-Move. Jurnal Teknik Mesin FT-UMI*, 4(1), 8–13.
- Insani, M. N. (2019). *ANALISIS STRUKTUR MICRO MATERIAL BAJA KARBON RENDAH (ST 37) SNI AKIBAT PROSES BENDING*.
- Naharuddin, N., Sam, A., & Nugraha, C. (2017). Kekuatan Tarik Dan Bending Sambungan Las Pada Material Baja Sm 490 Dengan Metode Pengelasan Smaw Dan Saw. *Jurnal MEKANIKAL*, 6(1), 550–555. <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/Mekani%20kal/article/view/5259>
- Niko Bayu Prasetyo, Untung Budiarto, D. C. (2020). Jurnal teknik perkapalan. *Teknik Perkapalan*, 8(3), 368–374.
- Pathur Rahman, M., & A. Kurniawan, F. (2022). Analisa kekuatan material bahan carbon steel aisi 1018 dan baja tulangan polos sni p40 sebagai angkur pada tower dengan metode uji tarik. *Buletin Utama Tekni*, 17(3), 291–301.
- Sukarno, Asiri, H., & Mardin. (2015). *Analisis Kekuatan Tarik dan Bending Dari Beberapa Jenis Kampuh V,X,I pada Pengelasan SMAW terhadap Baja Karbon Medium*.
- Surdia, T., & Met, M. S. (1999). Pengetahuan Bahan Teknik. *Buku Bahan Teknik*, 372.
- Wahyono, I., Salam, R., & Dimiyati, A. (2015). Karakterisasi Struktur Mikro Menggunakan SEM Dan XRD Pada Ketahanan Baja Korosi Komersial Ss430 Dan Baja Non Komersial F1. *Proceeding Seminar Nasional XI SDM Teknologi Nuklir, September*, 112–117.
- Zainuri, A., Setyawan, D., & Mesin, J. T. (2015). *Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan serbuk cangkang keong emas (5% 10% dan 15%) pada baja karbon rendah setelah mengalami proses karbonisasi (carburizing) terhadap sifat fisis (uji komposisi dan foto struktur mikro) dan.*

ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA MESIN PENDINGIN TERHADAP PENGGUNAAN REFRIGERANT R-22 DAN R-410A SEBAGAI MEDIA PENDINGIN

Muh. Fakhrol⁽¹⁾, Sulaiman Borahima⁽²⁾, Muhammad Syahrir⁽²⁾.

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Saat ini, penggunaan refrigeran hydrochloroflourocarbons (HCFC) sudah banyak dilarang dibidang industri diseluruh dunia. Hal tersebut terjadi karena refrigeran HCFC memiliki nilai ODP (Ozone Depletion Potential) dan GWP (global warming potential) yang cukup tinggi sehingga dapat merusak lingkungan. Berdasarkan beberapa hasil penelitian yang mengemukakan bahwa refrigeran hydrocarbon Musicool lebih unggul dibanding refrigeran HCFC baik dari segi kesehatan lingkungan hidup maupun dari segi efektivitas penghematan energi. Dari hasil pengujian Analisis perbandingan performa mesin pendingin terhadap penggunaan refrigeran R-22 dan R-410a sebagai media pendingin. diperoleh: Daya yang digunakan kompresor untuk pembukaan katup dari I sampai V daya yang dibutuhkan kompresor mengalami kenaikan antara 462 watt sampai 792 watt untuk R-22, dan untuk jenis refrigerant R-410A pembukaan katup dari I sampai V daya yang dibutuhkan kompresor antara 462 watt sampai 704 watt. COP untuk laju aliran massa refrigerant 0,0137 kg/s sampai 0,0311 kg/s adalah 7,2800 sampai 8,8543 untuk refrigeran R-22, untuk laju aliran massa 0,0152 kg/s sampai 0,01316 kg/s adalah 8,1634 sampai 10,0584 COP yang semakin naik seiring dengan bertambahnya kecepatan laju aliran massa refrigerant untuk refrigerant R-410. Coefficient of performa COP untuk laju aliran pendingin 0,1756 kg/s sampai 0,1994 kg/s adalah 7,2800 sampai 7,3796 untuk refrigeran R-22 yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan laju aliran pendingin, 0,1756 kg/s sampai 0,1994 kg/s adalah 8,1634 sampai 8,2553 yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan laju aliran pendingin untuk refrigerant R-410A

Kata Kunci : Refrigeran R-22, Refrigeran R-410a, Coefficient of Performa.

1. PENDAHULUAN

Pada saat ini, penggunaan refrigerant *hydro chloro flouro carbons* (HCFC) sudah banyak dilarang dibidang industri diseluruh dunia. Hal tersebut terjadi karena refrigerant HCFC memiliki nilai ODP (*Ozone Depletion Potential*) dan GWP (*global warming potential*) yang cukup tinggi sehingga dapat merusak lingkungan. Kerusakan tersebut antara lain penipisan lapisan ozon dan pemanasan global (Cecep Sunardi, 2019).

Air Conditioner (AC) adalah suatu alat yang digunakan dalam proses pengkondisian udara sehingga dapat mencapai temperatur dan kelembaban yang sesuai dengan persyaratan kondisi ruangan tertentu. Pengkondisian udara dibuat untuk memberi kenyamanan di dalam ruangan. Terjadinya beban pendinginan bisa dipengaruhi dari berbagai faktor diantaranya cuaca, kondisi bangunan, volume bangunan, jumlah penghuni, kondisi udara luar, kondisi udara dalam ruangan sehingga dibutuhkan AC dan refrigerant yang tepat untuk mendinginkan ruangan. Salah satu bagian terpenting dalam merencanakan sistem refrigerasi adalah menentukan refrigeran yaitu fluida kerja yang menyerap panas dari ruangan dan membuangnya ke lingkungan melalui mekanisme evaporasi dan kondensasi. Pemilihan refrigerant yang baik misalnya chlorofluorocarbons (CFCs), ammonia, hydrocarbons (propane, ethane, ethylene), karbondioksida, udara bahkan air (pada penggunaan diatas titik beku) dan berdasarkan kondisinya, misalnya R-11, R-12, R-22, R-134a dan R-502 yang dijual banyak di pasaran. Jenis fluida kerja yang banyak digunakan sejak tahun 2000-an adalah R-22 namun pemerintah Indonesia melalui Departemen Perindustrian dan Perdagangan menetapkan mulai tahun 2015 diberlakukan implementasi *HPMP (HCFC*

Phase-Out Management Plan) yang artinya penghapusan R-22 untuk industri serta merevisi syarat dan ketentuan impor Bahan Perusak Ozon (BPO) dan melarang impor produk yang memakai R-22. Pihak dialer dan toko masih bisa menjual produk mereka sampai stock habis dan melayani purna jual sampai dengan tahun 2030, saat dimana R-22 akan dihapus dari Indonesia. Sebagai alternatif refrigerant yang ramah lingkungan digunakanlah refrigerant R-410A karena tidak mengandung zat yang berpotensi merusak lapisan ozon

Refrigerant adalah fluida kerja yang bersikulasi dalam system refrigerasi, yang menimbulkan efek pendinginan dan pemanasan. Pemakaian hidrokarbon sebagai untuk mengatasi masalah dampak lingkungan, karena efek negatif hidrokarbon terhadap lingkungan lebih kecil bila dibandingkan dengan refrigerant sintetik

Dari uraian permasalahan diatas, maka "ANALISIS PERBANDINGAN PERFORMA MESIN PENDINGIN TERHADAP PENGGUNAAN REFRIGERANT R-22 DAN R-410A SEBAGAI MEDIA PENDINGIN" dipilih sebagai topik penelitian untuk memberikan penjelasan tentang penggunaan refrigerant R-22 dan R-410A untuk mesin pendingin ruangan AC.

2. LANDASAN TEORI

Mesin pendingin (refrigerator) adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan untuk menjadikan temperatur benda/ruangan tersebut lebih rendah dari temperature lingkungannya sehingga menghasilkan suhu/temperatur dingin (Terry Gunawan, 2014). Sehingga proses kerja mesin pendingin selalu berhubungan dengan proses-proses aliran panas dan perpindahan panas.

Untuk mempertahankan temperatur pada suatu ruangan, penyerapan kalor oleh suatu sistem refrigerasi harus dilakukan secara terus menerus atau continue dan kemudian dilepaskan keluar sistem. Mesin pendingin adalah suatu alat yang digunakan untuk memindahkan panas dari dalam ruangan ke luar ruangan. Adapun system mesin pendingin yang paling banyak digunakan adalah system kompresi uap. Mesin pendingin merupakan mesin yang berfungsi untuk memindahkan panas dari lingkungan bersuhu rendah ke lingkungan bersuhu tinggi. Mesin pendingin dapat dibayangkan sebagai mesin kalor yang beroperasi secara terbalik (Young, 2002).

Kompresor yang ada pada sistem pendingin dipergunakan sebagai alat untuk menempatkan fluida kerja (refrigeran), jadi refrigerant yang masuk kedalam kompresor dialirkan ke kondensor yang kemudian dimampatkan di kondensor. Dibagian kondensor ini refrigeran yang dimampatkan akan berubah fase dari refrigeran fase uap menjadi refrigeran cair, maka refrigeran cair, maka refrigeran mengeluarkan kalor yaitu kalor penguapan yang terkandung didalam refrigeran. Adapun besarnya kalor yang dilepaskan oleh kondensor adalah jumlah dari energi kompresor yang diperlukan dan energi kalor yang diambil evaporator dari substansi yang akan didinginkan

Pada kondensor tekanan refrigeran yang berada dalam pipa-pipa kondensor relative jauh lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan refrigeran yang berada pada pipa-pipa evaporator. Setelah refrigeran lewat kondensor dan melepaskan kalor penguapan dari fase uap ke fase cair maka refrigeran dilewatkan melalui katup ekspansi, pada katup ekspansi ini refrigeran tekanannya diturunkan sehingga refrigeran berubah kondisi dari fase cair ke fase uap yang kemudian dialirkan ke evaporator, didalam evaporator ini refrigeran akan berubah keadaannya dari fase cair ke fase uap, perubahan fase ini disebabkan karna tekanan refrigeran di buat sedemikian rupa sehingga refrigeran setelah melewati katup ekspansi dan melalui evaporator tekanannya menjadi sangat turun.

a. Proses kompresi

Proses kompresi yaitu proses penaikan tekanan refrigeran. Refrigeran berfasa uap dengan tekanan rendah yang dari evaporator akan dikompresi atau ditekan di kompresor sehingga menghasilkan uap refrigeran bertekanan tinggi. Kenaikan tekanan tersebut akan berbanding lurus dengan kenaikan temperatur refrigeran.

Hasil dari kompresi adalah uap refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi yang selanjutnya akan di alirkan ke kondensor melalui discharge line. Untuk menghitung daya kompresi maka digunakan persamaan

$$N_{komp} = I \cdot V \text{ (Watt)}$$

$$I = \text{Arus (A)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

Sedangkan untuk menghitung kerja kompresor digunakan persamaan

$$W_{komp} = h_2 - h_1 \text{ (kJ/kg)}$$

$$h_2 = \text{entalpi keluar kompresor (kJ/kg)}$$

$$h_1 = \text{entalpi masuk Kompresor (kJ/kg)}$$

$$W_{komp} = \text{kerja kompresor (kW)}$$

Akibat proses kompresi yang terjadi, maka refrigeran yang terdapat dalam system akan mengalir ke kondensor. Sehingga laju aliran massa refrigeran dapat dihitung menggunakan persamaan

$$\dot{m}_{ref} = N_{komp} / W_{komp}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{massa aliran refrigeran (kg/s)}$$

$$N_{komp} = \text{daya kompresor (kW)}$$

$$W_{komp} = \text{kerja kompresor (kJ/kg)}$$

b. Proses kondensasi

Pada proses ini uap refrigeran bertekanan dan bertemperatur tinggi akan melepas kalor dilingkungan karena temperatur lingkungan lebih rendah daripada temperatur refrigeran. Proses kondensasi ini terjadi pada kondensor. Idealnya refrigeran akan berfasa cair jenuh (saturated liquid) di akhir kondensor.

Temperatur kondensor ini masih lebih tinggi dari temperatur lingkungan. Oleh karena itu refrigeran yang keluar dari kondensor menuju alat ekspansi melalui liquid line masih akan mengalami proses perpindahan kalor yang akan menurunkan suhu refrigeran lebih rendah lagi dari suhu cair jenuhnya (saturated liquid). Sehingga untuk menghitung kapasitas kondensor digunakan persamaan

$$Q_{kond} = \dot{m}_{ref} \cdot (h_2 - h_3) \text{ (kW)}$$

$$Q_c = \text{kalor yang dilepas oleh kondensor (kW)}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{massa aliran refrigeran (kg/s)}$$

$$h_2 = \text{entalpi masuk kondensor (kJ/kg)}$$

$$h_3 = \text{entalpi keluar kondensor (kJ/kg)}$$

c. Proses ekspansi

Refrigeran berfasa cair dari kondensor akan melewati katup ekspansi yang memiliki diameter kecil sehingga akan menyebabkan penurunan tekanan refrigeran yang diikuti dengan penurunan temperatur refrigeran. Hasil dari proses ekspansi adalah refrigeran yang mayoritas cair. Pada proses ekspansi ini akan ada beberapa persen refrigeran cair yang berubah fasa menjadi uap.

d. Proses evaporasi

Proses evaporasi terjadi pada evaporator. Refrigeran keluaran ekspansi yang mayoritas cair memiliki temperatur yang rendah, lebih rendah dari temperatur produk yang akan didinginkan oleh evaporator. Sesuai hukum termodinamika dua, refrigeran cair bertemperatur rendah tersebut akan menyerap kalor dari produk yang didinginkan sehingga refrigeran tersebut berubah fasa menjadi uap jenuh bertekanan rendah yang selanjutnya dihisap dan masuk ke kompresor untuk mengalami proses kompresi dan bersirkulasi kembali. Sedangkan produk yang didinginkan dalam evaporator setelah melepaskan kalor ke refrigeran mengalami penurunan temperature. Sehingga untuk menghitung beban pendingin evaporator digunakan persamaan.

$$Q_{evap} = \dot{m}_{ref} \cdot (h_1 - h_4) \text{ (kW)}$$

$$Q_e = \text{beban pendingin evaporator (kW)}$$

$$\dot{m}_{ref} = \text{massa aliran refrigeran (kg/s)}$$

$$h_1 = \text{entalpi masuk evaporator (kJ/kg)}$$

$$h_4 = \text{entalpi masuk evaporator (kJ/kg)}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Hal pertama sebelum melakukan pengujian adalah menentukan variable yang akan diuji dan yang akan diselesaikan, kemudian melakukan pengujian dan pengolahan data. Proses terakhir pada tahap pengujian ialah membandingkan data hasil penelitian dengan data hasil perencanaan, kemudian mengidentifikasi masalah ketika data yang dibandingkan berbeda.

A. Prosedur Penelitian

1. Pemeriksaan Sebelum Pengujian

- a. Alat ukur dan bahan: Thermometer, Ampere, Voltmeter, Manifold Gauge dan

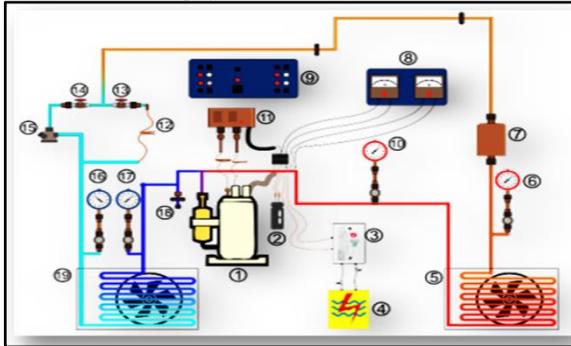
Refrigerant R22 yang telah terpasang pada tempatnya

- b. Semua tombol listrik pada posisi off
 - c. Mencatat suhu sebelum pengujian
2. Cara Menjalankan Mesin Pendingin
- a. Menghubungkan peralatan dan komponen-komponennya
 - b. Mengubah posisi tombol utama pada posisi On
 - c. Menjalankan blower untuk kondensor pada tegangan maksimal
 - d. Menjalankan motor penggerak kompresor
 - e. Setelah diperoleh kondisi stabil maka pengujian siap dimulai.

B. Pengukuran yang dilakukan

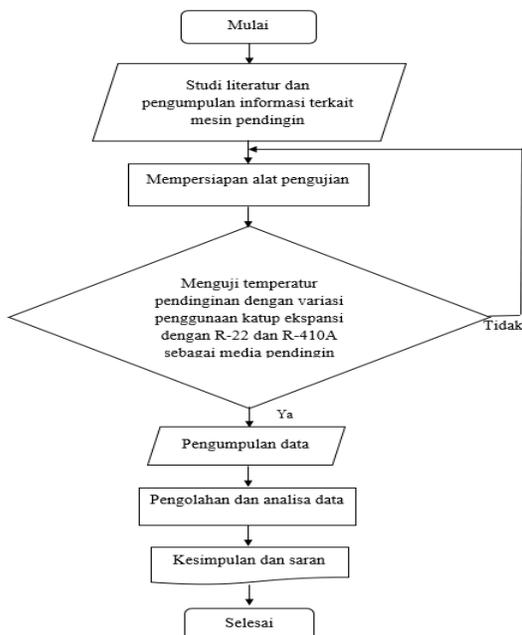
1. Mengukur tegangan dan arus pada katup ekspansi dan pipa kapiler.
2. Mengukur temperatur dan tekanan katup ekspansi dan pipa kapiler pada mesin pendingin dengan variasi beban sebanyak 4 kali.
3. Mengukur temperatur dan tekanan mesin pendingin dengan variasi pembukaan katup ekspansi dan pipa kapiler 1/5, 2/5, 3/5, 4/5, 5/5 dititik sebelum refrigeran diekspansikan.
4. Mengukur dan menghitung perbandingan prestasi mesin pendingin dengan katup ekspansi dan pipa kapiler.

C. Instalasi Pengujian



1. Kompresor
2. Kapasitor
3. Switch
4. Sumber listrik PLN
5. Kondensor
- 6, 10, 16, 17 Alat ukur tekanan dan temperature
7. Filter
8. Multitester
9. Switch kompresor
11. Pressure switch kompresor
12. Pipa kapiler
- 13, 14 katup
15. Katup ekspansi
18. Inlet refrigerant
19. Evaporator.

D. Diagram Alir Penelitian (Flowchart)



4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Tabel Hasil Pengamatan

1. R-22

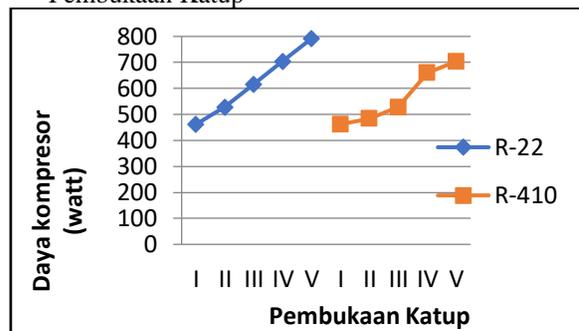
pembukaan Katup	Laju Aliran Pendinginan (kg/s)	Tekanan (kPa)				Temperatur (c)				Tegangan (V)	Arus (A)
		P1	P2	P3	P4	T1	T2	T3	T4		
I	0,048	434,39	1944,39	1896,13	448,18	-2	49	46	-3	220	2,1
	0,061	434,39	1944,39	1896,13	448,18	-2	49	46	-3	220	2,1
	0,071	448,18	1944,39	1896,13	448,18	-1	49	46	-3	220	2,1
II	0,048	365,44	1840,97	1827,18	358,54	-6	46	45	-7	220	2,4
	0,061	365,44	1840,97	1827,18	358,54	-6	46	45	-7	220	2,4
	0,071	379,23	1840,97	1827,18	358,54	-5	46	45	-7	220	2,4
III	0,048	344,75	1723,75	1654,80	324,07	-8	44	42	-9	220	2,8
	0,061	344,75	1723,75	1654,80	324,07	-8	44	42	-9	220	2,8
	0,071	358,54	1723,75	1654,80	324,07	-6	44	42	-9	220	2,8
IV	0,048	310,28	1654,80	1516,90	289,59	-10	41	39	-11	220	3,2
	0,061	310,28	1654,80	1516,90	289,59	-10	41	39	-11	220	3,2
	0,071	324,07	1654,80	1516,90	289,59	-9	41	39	-11	220	3,2
V	0,048	296,49	1379,00	1175,15	275,80	-11	35	32	-12	220	3,6
	0,061	296,49	1379,00	1175,15	275,80	-11	35	32	-12	220	3,6
	0,071	310,28	1379,00	1175,15	275,80	-10	35	32	-12	220	3,6

2. R-410A

pembukaan Katup	Laju Aliran Pendinginan (kg/s)	Tekanan (kPa)				Temperatur (c)				Tegangan (V)	Arus (A)
		P1	P2	P3	P4	T1	T2	T3	T4		
I	0,048	413,70	1344,53	1275,58	406,81	-3	34	32	-4	220	2,1
	0,061	413,70	1344,53	1275,58	406,81	-3	34	32	-4	220	2,1
	0,071	434,39	1344,53	1275,58	406,81	-2	34	32	-4	220	2,1
II	0,048	331,65	1275,58	1206,63	344,75	-7	32	30	-8	220	2,2
	0,061	331,65	1275,58	1206,63	344,75	-7	32	30	-8	220	2,2
	0,071	365,44	1275,58	1206,63	344,75	-6	32	30	-8	220	2,2
III	0,048	324,07	1175,15	1103,20	310,28	-9	28	26	-10	220	2,4
	0,061	324,07	1175,15	1103,20	310,28	-9	28	26	-10	220	2,4
	0,071	337,86	1175,15	1103,20	310,28	-7	28	26	-10	220	2,4
IV	0,048	310,28	1103,20	999,78	282,70	-10	26	22	-12	220	3
	0,061	310,28	1103,20	999,78	282,70	-10	26	22	-12	220	3
	0,071	324,07	1103,20	999,78	282,70	-9	26	22	-12	220	3
V	0,048	282,70	1068,23	930,83	255,12	-12	24	20	-15	220	3,2
	0,061	282,70	1068,23	930,83	255,12	-12	24	20	-15	220	3,2
	0,071	303,28	1068,23	930,83	255,12	-11	24	20	-15	220	3,2

B. Grafik dan Pembahasan

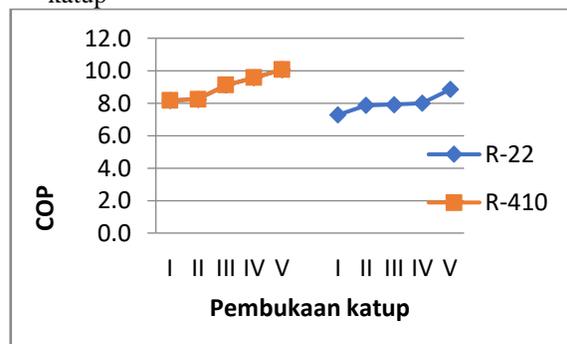
1. Grafik Hubungan antara daya kompresor dengan Pembukaan Katup



Gambar 4.3.1 Hubungan antara daya kompresor dengan Pembukaan Katup

Gambar 4.3.1 menunjukkan bahwa, semakin besar pembukaan katup untuk jenis refrigerant R-22 dan R-410A maka semakin besar konsumsi daya listrik yang dialami kompresor. Gambar 4.3.1 terlihat bahwa pembukaan katup dari I sampai V daya yang dibutuhkan kompresor mengalami kenaikan antara 462 watt sampai 792 watt untuk R-22, dan untuk jenis refrigerant R-410A pembukaan katup dari I sampai V daya yang dibutuhkan kompresor antara 462 watt sampai 704 watt. Semakin besar pembukuan katup maka volume refrigerant yang dikompresi akan semakin besar.

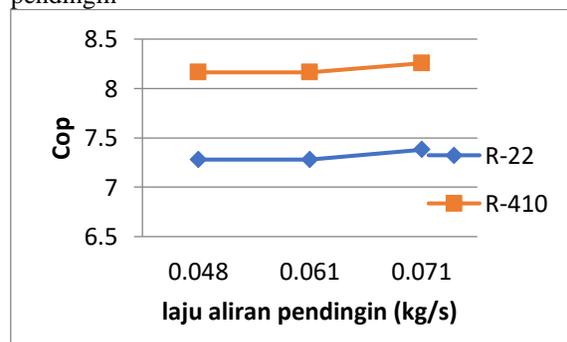
2. Grafik Hubungan antara COP dengan pembukaan katup



Gambar 4.3.2 Hubungan antara COP dengan Pembukaan katup

Gambar 4.3.2 menunjukkan bahwa semakin besar pembukaan katup maka semakin tinggi nilai coefficient of performa pada mesin pendingin. Hal ini disebabkan karena proses kompresi dengan evaporasi pada pembukaan katup yang semakin besar. Gambar 4.3.4 terlihat bahwa nilai COP untuk pembukaan katup I sampai V adalah 7,2800 sampai 8,8543 untuk refrigeran R-22 , untuk pembukaan katup I sampai V adalah 8,1634 sampai 10,0584 COP yang semakin naik seiring dengan bertambahnya pembukaan katup untuk refrigerant R-410a. Dimana COP R-410 lebih besar karena kerja kopresor yang sedikit dengan menghasilkan suhu lebih dingin dibanding dari R-22

c. Grafik Hubungan antara COP dengan laju aliran pendingin



Gambar 4.3.4 Hubungan antara COP dengan laju aliran pendingin

Gambar 4.3.4 menunjukkan bahwa semakin cepat laju aliran pendingin maka semakin tinggi pula nilai coefficient of performa pada mesin pendingin, hal ini juga menunjukkan bahwa laju aliran pendingin berbanding lurus dengan nilai coefficient of performa mesin pendingin. Gambar 4.3.4 terlihat bahwa nilai COP untuk laju aliran pendingin 0,048 kg/s sampai 0,071 kg/s adalah 7,2800 sampai 7,3796 untuk refrigeran R-22 yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan laju aliran pendingin, 0,1756 kg/s sampai 0,1994 kg/s adalah 8,1634 sampai 8,2553 yang semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kecepatan laju aliran pendingin untuk refrigerant R-410a

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian mesin pendingin dengan menggunakan refrigerant R-22 dan R-410a serta telah melakukan pengolahan dan analisa data hasil pengujian, merujuk dari rumusan masalah sehingga dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk pengujian variasi pembukaan katup. Dari hasil pengolahan data diperoleh daya yang digunakan kompresor untuk pembukaan katup

dari I sampai V yaitu 462 Watt sampai 792 Watt untuk refrigerant R-22, sedangkan daya yang digunakan kompresor untuk pembukaan katup dari I sampai V yaitu 462 Watt sampai 704 Watt untuk refrigerant R-410a.

2. Nilai coefficient of performa pada pengujian pembukaan katup I sampai V adalah 7,2800 sampai 8,8543 untuk refrigeran R-22 , untuk pembukaan katup I sampai V adalah 8,1634 sampai 10,0584 COP yang semakin naik seiring dengan bertambahnya pembukaan katup untuk refrigerant R-410a. Dimana COP R-410 lebih besar karena kerja kopresor yang sedikit dengan menghasilkan suhu lebih dingin dibanding dari R-22
3. Nilai coefficient of performa pada pengujian variasi laju aliran pendingin yaitu 0,1756 kg/s sampai 0,1994 kg/s diperoleh coefficient of performa sebesar 7,2800 sampai 7,3796 untuk refrigerant R-22 sedangkan untuk refrigerant R-410A diperoleh coefficient of performa sebesar 8,1634 sampai 8,2553.

DAFTAR PUSTAKA

Anwar. (2010). Analisa Pengaruh Resirkulasi Udara Pada Kabin Evaporator Terhadap Performansi Mesin Pendingin. *Jurnal PETRA*, 2 No.1, 5-8.

Amri Jumhan . (2017). ANALISIS KINERJA SISTEM PENDINGIN RUANG PALKAH IKAN DENGAN MENGGUNAKAN REFRIGERAN R-22 DAN HIDROKARBON (MC-22). *Jurnal Kajian Teknik Mesin*

Basri Hasan Muhammad. (2013). PENGARUH VARIASI MASSA REFRIGERAN R410A PADA SISI LOW STAGE TERHADAP KINERJA MESIN PENDINGIN CASCADE Jurusan Teknik Mesin Universitas Tadulako Kampus Bumi Tadulako Tondo, Palu – Sulawesi Tengah

Farash Arya Pratama,W.H. (2021) Kajian Kinerja Sistem Refrigerasi Menggunakan Refrigeran R32,R22 danR1270 Menggunakan REFPROP. Bandung: Prosiding The 12th Industrial Reseach workshop and National

Hidayat Yuni Andi. (2017). Analisis Perbandingan Unjuk Kerja Sistem Pendingin Portable Menggunakan Freon R-22 dengan R-32 . Universitas Islam Malang

Hamran,M. A. (2017). Analis Experimen Penggunaan Refrigeran R22 (Vol.9). Sorowako: Dinamika Jurnal ilmiah Teknik Mesin.

Haris Ramadan, A. C. (2018) Uji Prestasi Refrigeran R-22 Pada Mesin Pendingin Kompresi Uap. *Jurnal Komversi Energi dan Manufaktur UNJ*,78-81.Redrievet from <https://doi.org/10.21009/JKEM.5.2.3>

Kasong Bactiar. (2013). ANALISIS PENG ARUH PENGGUNAAN INTERCOLER TERHADAP EFEKTIFITAS MESIN PENDINGIN. UNIVERSITAS HASANUDDIN MAKASSAR

- Muhsin Z, D. A. (2017). Analisis Unjuk Kerja (COP) Mesin Pendingin Hibrid . *JURNAL TEKNIK MESIN TEKNOLOGI VOLUME 17 NO. 1 OKTOBER 2017, 17*, 49-58.
- Novrizaldi Robby. (2019). *ANALISA PENGARUH JENIS REFRIGERANT TERHADAP UNJUK KERJA MESIN PENDINGIN AC SPLIT 1 PK*. UNIVERSITAS ISLAM RIAU, Pekanbaru.
- Pasek, A.D., (2007). Retrofit Sistim Refrigerasi Dan Pengkondisian Udara Ramah Lingkungan, Pusat Pendidikan dan Pelatihan kementrian Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Priangkoso Tabah. (2018). *PENGARUH JENIS REFRIGERANT TERHADAP KINERJA AC SPLIT*. UNIVERSITAS WAHID HASYIM, SEMARANG
- Putra, A. D. (2018). *PENGUJIAN SISTEM PERFORMANSI MESIN PENDINGIN KOMPRESI UAP KAPASITAS ½ PK*. TUGAS AKHIR, 1-4.
- Rahardjo, S. (2020). *EFISIENSI PENGGUNAAN REFRIGERAN PADA MESIN PENKONDISIAN UDARA SPLIT*. Semarang: BADAN PENERBIT Universitas Diponegoro Semarang.
- Sukariyanto. (2019). *PENGARUH VARIASI PUTARAN KIPAS KONDENSOR TERHADAP UNJUK KERJA SISTEM PENDINGIN (AIR CONDITIONER) YANG MENGGUNAKAN R-410a*. Universitas Islam riau, Pekanbaru.
- Wahyudi15.62.0079. Rancang *ANALISA KERJA MESIN PENDINGIN KAPASITAS 1PK R-410A*, Jurusan Teknik Mesin Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsyad Al Banjary Banjarmasin.
- Ahmad Imam Rifa'i. 2020. Politeknik Jambi. Pengaruh Tekanan Refrigeran R-134a Terhadap Nilai Coefficient of Performance (COP).
- Boby Himawan Putra Prasetya, Ary Bachtiar Krishna Putra. 2013. Studi Eksperimen Variasi Laju Pendinginan Kondensor Pada Mesin Pnedingin Difusi Absorbsi R22- DMF.
- Heru Prasetya. 2009. Pengujian Untuk Kerja Ac Domestikdengan Refrigerant R-22 Dan HCR-22 Pada Variasi Beban Pendingin Evaporator Dan Laju Pendinginan Kondensor. Surakarta
- Ahmad Imam Rifa'i. 2020. Politeknik Jambi. Pengaruh Tekanan Refrigeran R-134a Terhadap Nilai Coefficient of Performance (COP).
- Heri Suprianto. 2018. Program Studi Fakultas Universitas Nusantara Pgri. Pengaruh Penggunaan Refrigeran R-22 Dan R-32 Terhadap Kinerja Air Conditioner. Kediri.

ANALISIS PENGARUH MEDIA PENDINGIN OLI SAE 20W-50 TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA PEGAS DAUN DALAM PROSES HARDENING

Edi Yanto⁽¹⁾, Muh. Halim Asiri⁽²⁾, Akhiruddin pasdah⁽²⁾.

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Proses hardening dilakukan pada tiga temperatur pemanasan 800C, 850C, dan 900C terhadap pegas daun baru dan lama, dengan media pendinginan oli sae 20w-50. Perubahan sifat mekanis yang diamati terhadap spesimen yang tidak dipanaskan dan spesimen yang telah dipanaskan, perlakuan panas terdiri dari nilai kekerasan serta struktur mikronya. Nilai kekerasan spesimen baru normal untuk penekanan kiri sebesar 129 N/mm², untuk penekanan tengah sebesar 137 N/mm², dan untuk penekanan kanan sebesar 126 N/mm². Lalu untuk spesimen lama normal untuk penekanan kiri sebesar 117,7 N/mm², untuk penekanan tengah sebesar 121,2 N/mm², dan untuk penekanan kanan sebesar 124,2 N/mm². Adapun nilai rata-rata penekanan pada pegas daun baru temeptratur 800C sebesar 100,6 N/mm² untuk penekanan sebelah kiri, penekanan tengah sebesar 105,1 N/mm², dan untuk penekanan sebelah kanan sebesar 104 N/mm² lalu nilai penekanan pegas daun baru temperatur 850C sebesar 127,6 N/mm² untuk penekanan sebelah kiri, penekanan tengah sebesar 125,6 N/mm², dan untuk penekanan sebelah kanan sebesar 130,7 N/mm². Lalu untuk temperatur 900°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 142,7 N/mm² untuk penekanan kiri, 144,6 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 141,3 N/mm² untuk penekanan kanan. Dan untuk spesimen lama temperatur 800°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 81,1 N/mm² untuk penekanan kiri, 97,5 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 88,6 N/mm² untuk penekanan kanan. Pada temperatur 850°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 97,5 N/mm² untuk penekanan kiri, 117,1 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 100,1 untuk penekanan kanan. Lalu untuk temperatur 900°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 129,9N/mm² untuk penekanan sebelah kiri, 141,5 untuk penekana tengah, dan 141,9 N/mm² untuk penekanan kanan. Dari hasil kekerasan tersebut mempengaruhi struktur mikro dari spesimen uji.

KATA KUNCI : Hardening, kekerasan, struktur mikro.

1. PENDAHULUAN

Baja Pegas Adalah Nama Yang Diberikan Untuk Berbagai Baja Yang Digunakan Dalam Pembuatan Pegas, Terutama Dalam Aplikasi Suspensi Otomotif Dan Industri. Baja Ini Umumnya Mangan Paduan Rendah, Baja Karbon Menengah Atau Baja Karbon Tinggi Dengan Kekuatan Uluh Yang Sangat Tinggi. Hal Ini Memungkinkan Benda Yang Terbuat Dari Baja Pegas Untuk Kembali Ke Bentuk Aslinya Meskipun Defleksi Atau Puntiran Yang Signifikan.

Hardening Merupakan Proses Pemanasan Logam Sampai Suhu Di Atas Daerah Kritis, Pada Proses Hardening Ini Pendinginan Dilakukan Secara Cepat Dengan Media Pendingin Seperti Oli SAE 20-50. Tujuan Perlakuan Panas Ini Untuk Mendapatkan Struktur Baja Martensit Yang Memiliki Sifat Keras. Proses Pada Perlakuan Panas Ini Adalah Dengan Cara Memanaskan Baja Sampai Suhu Martensit. Penentuan Suhu tersebut Dipengaruhi Oleh Komposisi Penyusun Paduan, Selanjutnya Proses Penahan Suhu Beberapa Saat Sesuai Dengan Standar. Setelah Proses Pemanasan Kemudian Didinginkan Secara Cepat Dengan Mencilupkan Dalam Media Pendinginan Berupa Oli SAE 20-50, Pendinginan Cepat tersebut Mengakibatkan Struktur Austenit Tidak Memiliki Cukup Waktu Untuk Berubah Menjadi Perlit Dan Ferit Atau Perlit Dan Smentit. Pendinginan Cepat Ini Mengakibatkan Austenit Langsung Berubah Menjadi Martensit (Nurhastuti,2019).

Pada Penelitian Sebelumnya, Telah Dilakukan Penelitian Tentang Pengaruh Pengujian Hardening Pada Baja Karbon Rendah Sebagai Solusi Peningkatan Kualitas Material (Yusman, 2018). Penelitian tersebut Menunjukkan Bahwa Perlakuan Hardening Dapat Meningkatkan Nilai Kekerasan Pada Baja.

2. LANDASAN TEORI

Hardening Merupakan Proses Pemanasan Logam Sampai Suhu Di Atas Daerah Kritis, Pada Proses Hardening Ini Pendinginan Dilakukan Secara Cepat Dengan Media Pendingin Seperti Oli Dan Air. Tujuan Perlakuan Panas Ini Untuk Mendapatkan Struktur Baja Martensit Yang Memiliki Sifat Keras.

Proses Pada Perlakuan Panas Ini Adalah Dengan Cara Memanaskan Baja Sampai Suhu Martensit. Penentuan Suhu tersebut Dipengaruhi Oleh Komposisi Penyusun Paduan, Selanjutnya Didinginkan Secara Cepat Dengan Mencilupkan Dalam Media Pendingin Berupa Oli Dan Air Atau Media Pendingin Yang Lain. Pendinginan Cepat tersebut Mengakibatkan Struktur Austenit Tidak Memiliki Cukup Waktu Untuk Berubah Menjadi Perlit Dan Ferit Atau Perit Dan Sementit. Pendinginan Cepat Ini Mengakibatkan Austenit Langsung Berubah Menjadi Martensit (Nurhastuti, 2019).

Diagram Fasa Adalah Diagram Yang Menampilkan Hubungan Antara Temperatur Dimana Terjadi Perubahan Fasa Selama Proses Pendinginan Dan Pemanasan Yang Lambat Dengan Kadar Karbon. Tidak Seperti Struktur Logam Murni Yang Hanya Dipergunakan Oleh Suhu, Sedangkan Struktur Paduan Dipengaruhi Oleh Suhu Dan Komposisi. Dibawah Ini Adalah Bentuk Dari Diagram Fasa Pada Baja Karbon.

Fasa-Fasa Besi Karbon Pada Saat Mengalami Pemanasan Dan Pendinginan Dijelaskan Dalam Diagram Fasa, Diagram Fasa Besi Karbon Sering Di Sebut Diagram Fe-Fe₃C. Perubahan Fasa Pada Besi Karbon Dapat Ditunjukkan Pada Gambar (2.1) Dapat Terlihat Bahwa Pada Temperatur 727°C Terjadi Transformasi Fasa Austenit Menjadi Fasa Perlit. Transformasi Fasa Ini Dikenal Sebagai Reaksi

Eutectoid Dimana Fasa Ini Merupakan Fasa Dasar Dari Proses Perlakuan Panas Pada Baja, Kemudian Pada Temperatur 912°C Hingga 1394°C (Fe) Merupakan Austenit, Pada Kondisi Ini Biasanya Austenit Memiliki Struktur Kristal FCC (*Face Centered Cubic*) Bersifat Stabil, Lunak, Ulet, Dan Mudah Dibentuk. Besi Gamma Ini Dapat Melarutkan Unsur Karbon Maksimum Hingga Mencapai 2,14% Pada Temperatur 1147°C. Untuk Temperature Di Bawah 727°C Besi Murni Berada Pada Fase Ferit (Fe) Dengan Struktur Kristal BCC (*Body Centered Cubic*), Besi Murni BCC Mampu Melarutkan KarbonMaksimum Sekitar 0,02% C Pada Temperatur 727°C (Fe). Sedangkan Terbentuk Dari Bei Gamma Besi Delt Yang Mengalami Perubahan Struktur Dari FCC Ke Struktur BCC Akibat Peningkatan Temperatur, Dari Temperatur 1394°C Sampai 1538°C, Pada Fase Ini Besi Delta Hanya Mampu Menyerap Karbon Sebesar 0,05% (Ryan reynaldi, 2020)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian Ini Dilakukan Pada Bulan Maret – April 2022, Di Laboratorium Pengujian MetarialPoliteknik Ati Makassar Dan Laboratorium Material Fakultas Teknik Jurusan Mesin, Universitas Muslim Indonesia.

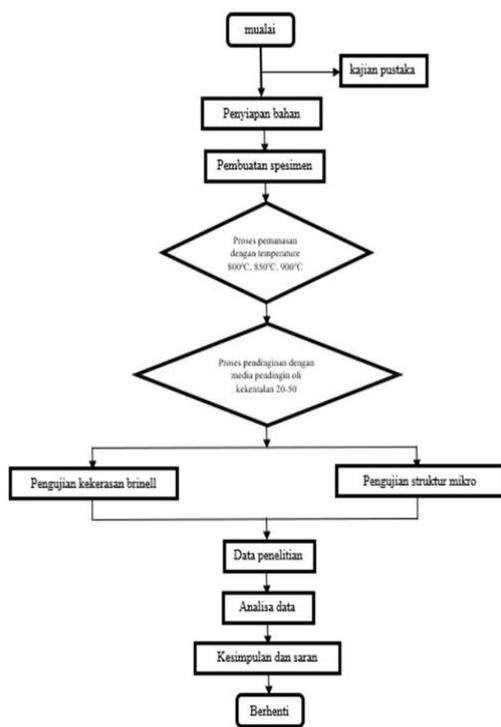
A. Prosedur Penelitian

1. Pemanasan Specimen Uji
2. Pengujian Kekerasan Brinell
3. Pengujian Struktur Mikro

B. Alat Dan Bahan

- a. Alat :
 1. Oven
 2. Alat Uji Tekan
 3. Mesin Poles
 4. Mikroskop Cahaya
- b. Bahan
 1. Pegas Daun Mobil Suzuki Carry Baru Dan Yang Telah Pemakaian
 2. Oli Baru Kekentalan 20-50

C. Diagram Alir (Flowchart)



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

4. ANALISA DATA DAN PEMBAHASANHASIL PERHITUNGAN DENSITAS

Setelah Melakukan Penelitian Maka Di Peroleh Beberapa Data Hasil Pengujian Yang Telah Dilakukan Mengenai Pengujian Kekerasan Dan Struktur Mikro, Adapun Data Dari Pengambilan Data Kekerasan Untuk Pegas Daun Baru Sebagai Berikut.

Temperature (°C)	Beban (N)	Nilai Kekerasan HB(N/mm ²)		
		Penekana Kiri	Penekana Tengah	Penekana Kanan
Normal		129	137	126
800	1226	98	108	98,2
		102	103	105
		102	104,2	98
Nilai rata-rata		100,6	105,1	104
850	1226	117	125	126,1
		134	134	132
		132	118	134
Nilai rata-rata		127,6	125,6	130,7
900	1226	137	141	136
		147	148	142
		144,1	145	146
Nilai rata-rata		142,7	144,6	141,3

Dari Table Hasil Pengujian Kekerasan Di Atas Digunakan Tiga Suhu Pemanasan Yaitu 800°C, 850°C, 900°C Dan Satu Temperature Normal. Terdapat Tiga Titik Penekanan Dan Di Peroleh Nilai Kekerasan Yang Variatif, Namun Untuk Mendapatkan Nilai Kekerasan Rata-Rata Dari Ke 3 Titik Penekanan Tersebut Dengan Cara Mengkalkulasikan Semua Data Dari Specimen Bagian Kiri, Bagian Tengah Dan Bagian Kanan. Dari Specimen Bagian Kiri Didapatkan Nilai Rata-Rata Sebesar HB = 100,6 N/mm² Untuk Temperature 800°C, HB = 127,6 N/mm² Untuk Temperature 850°C, Dan HB = 142,7 N/mm² Untuk Temperature 900°C. Nilai Ini Telah Mewakili Nilai Kekerasan Secara Umum Dari Spesimen Bagian Kiri Yang Telah Di Uji. Dan Dari Pengambilan Nilai Rata-Rata Specimen Di Bagian Tengah Di Dapatkan Nilai Rata- Rata Sebesar HB = 105,1 N/mm² Untuk Temperature 800°C, HB = 125,6 N/mm² Untuk Temperature 850°C, Dan HB = 144,6 N/mm² Untuk Temperature 900°C. Yang Secara Umum Telah Mewakili Nilai Kekerasan Specimen Bagian Tengah. Adapun Pengambilan Nilai Rata-Rata Untuk Specimen Bagian Kanan Di Peroleh Nilai Rata-Rata Sebesar HB = 104 N/mm² Untuk Temperature 800°C, HB = 130,7 N/mm² Untuk Temperature 850°C, HB = 141,3 N/mm² Untuk Temperature 900°C. Yang Secara Umum Mewakili Nilai Kekerasan Dari Specimen Bagian Kanan.



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

Dari (Gambar 4.1) Menunjukkan Bahwa Dari Ke Tiga Titik Penekana Yang Di Lakukan Terdapat Perbedaan Di Titik Tertentu Sehingga Diperoleh Nilai Yang Bervariasi, Nilai Kekerasan Pada Pegas Daun Baru Sebelum Di Panaskan Dengan Yang Sudah Di

Panaskan. Di Mana Pegas Daun Baru Yang Tidak Di Panaskan (Normal) Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 129 N/mm² Sedangkan Specimen Yang Sudah Di Panaskan Di Dalam Temperatur 800°C Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 98 N/mm², HB = 102 N/mm², Dan HB = 102 N/mm². Lalu Nilai Kekerasan Untuk Temperatur 850°C Sebesar HB = 117 N/mm², HB = 134 N/mm², Dan HB = 132 N/mm². Adapun Untuk Nilai Kekerasan Di Temperatur 900°C Sebesar HB = 137 N/mm², HB = 147 N/mm², Dan HB = 144,1 N/mm². Nilai-Nilai Kekerasan Ini Merupakan Hasil Penekanan Dari Specimen Bagian Kiri Pada Pegas Daun Baru Mobil Suzuki Carry.



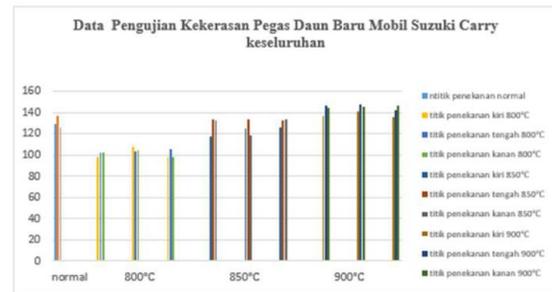
Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

(Normal) Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 137 N/mm² Sedangkan Specimen Yang Sudah Di Panaskan Di Dalam Temperatur 800°C Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 108 N/mm², HB = 103 N/mm², Dan HB = 104,2 N/mm². Lalu Nilai Kekerasan Untuk Temperatur 850°C Sebesar HB = 125 N/mm², HB = 134 N/mm², Dan HB = 118 N/mm² Adapun Untuk Nilai Kekerasan Di Temperatur 900°C Sebesar HB = 141 N/mm², HB = 148 N/mm², Dan HB = 145 N/mm². Nilai-Nilai Kekerasan Ini Merupakan Hasil Penekanan Dari Specimen Bagian Tengah Pada Pegas Daun Baru Mobil Suzuki Carry.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Brinell

Dari (Gambar 4.3) Menunjukkan Bahwa Dari Ke Tiga Titik Penekana Yang Di Lakukan Terdapat Perbedaan Di Titik Tertentu Sehingga Diperoleh Nilai Yang Bervariasi, Nilai Kekerasan Pada Pegas Daun Baru Sebelum Di Panaskan Dengan Yang Sudah Di Panaskan. Di Mana Pegas Daun Baru Yang Tidak Di Panaskan (Normal) Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 126 N/mm² Sedangkan Specimen Yang Sudah Di Panaskan Di Dalam Temperatur 800°C Memiliki Nilai Kekerasan Sebesar HB = 98.2 N/mm², HB = 105 N/mm², Dan HB = 98 N/mm². Lalu Nilai Kekerasan Untuk Temperatur 850°C Sebesar HB = 126.1 N/mm², HB = 132 N/mm², Dan HB = 134 N/mm² Adapun Untuk Nilai Kekerasan Di Temperature 900°C Sebesar HB = 136 N/mm², HB = 142 N/mm², Dan HB = 146 N/mm². Nilai-Nilai Kekerasan Ini Merupakan Hasil Penekanan Dari Specimen Bagian Kanan Pada Pegas Daun Baru Mobil Suzuki Carry.



Gambar 4.4 Grafik Hasil Pengujian Kekerasan Brinell Keseluruhan

Dari gambar di atas Menunjukkan Perbedaan Tingkat Kekerasan Pada Setiap Specimen Di Temperature Yang Berbeda Dikarenakan Specimen Yang Telah Di Heat Treatment Pada Suhu 800°C, 850°C, Dan 900°C Mengalami Perubahan Struktur Mikro Dibanding Yang Tidak Dilakukan Perlakuan (Normal).

5. KESIMPULAN

Dalam pengujian kekerasan dan struktur mikro pada material pegas daun mobil suzuki carry yang tidak di heat treatment spesimen baru dan lama, dengan yang di heat treatment di temperatur 800°C, 850°C, dan 900°C didapatkan nilai kekerasan yang berbeda seiring meningkatnya temperatur yang di berikan.

Pada spesimen baru temperatur 800°C didapat nilai penekanan rata-rata sebesar 100,6N/mm² untuk penekanan sebelah kiri, 105,1 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 104 N/mm² untuk penekanan kanan. Pada temperatur 850°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 127 N/mm² untuk penekanan kiri, 125,6N/mm² untuk penekanan tengah, dan 130,7 N/mm² untuk penekanan kanan. Lalu untuk temperatur 900°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 142,7 N/mm² untuk penekanan kiri, 144,6 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 141,3 N/mm² untuk penekanan kanan

Dan untuk spesimen lama temperatur 800°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 81,1 N/mm² untuk penekanan kiri, 97,5 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 88,6 N/mm² untuk penekanan kanan. Pada temperatur 850°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 97,5 N/mm² untuk penekanan kiri, 117,1 N/mm² untuk penekanan tengah, dan 100,1 untuk penekanan kanan. Lalu untuk temperatur 900°C di dapat nilai penekanan rata-rata sebesar 129,9N/mm² untuk penekanan sebelah kiri, 141,5 untuk penekanan tengah, dan 141,9 N/mm² untuk penekanan kanan. Untuk pengujian struktur mikro pada pegas daun mobil suzuki carry didapatkan fasa ferit dan perlit, dimana setiap bagian pegas daun baru dan lama memiliki persentase yang berbeda-beda

DAFTAR PUSTAKA

- Asade F. 2013. Perancangan Tabung Impedansi dan Kajian Eksperimental Koefisien Serap Bunyi Paduan Aluminium Magnesium. Jurnal Universitas Sumatra Utara
- Farikhin, f. (2016). analisa scanning electron microscope komposit polyester dengan filler karbon aktif dan karbon non aktif.
- Hazwi, m., sembiring, p. g., nasution, d. m., dan marragi, m. (2016). pengaruh variasi diameter rongga terhadap koefisien serap bunyi paduan aluminium-magnesium berongga. 2, 20–29.

- Hayat, W., Syakbaniah, & Darvina, Y. (2013). Pengaruh Kerapatan terhadap Koefisien Absorpsi Bunyi Papan Partikel Serat Daun Nenas. *Jurnal Pillar of Physycs*, 1(April), 44–51.
- Harjani, C. & Noviandri, P. P. (2018). Sound Proofing Panel Made from Patchwork and Gypsum as a Green Material Innovation. *SMART (Seminar on Architecture Research & Technology)*, 3, 111– 118. Yogyakarta: Fakultas Arsitektur dan Desain Universitas Kristen Duta Wacana Yogyakarta.
- Howard, M David, dan Angus S A Jamie. 2009. *Acoustic and Psychoacoustic 4th Edition*. Oxford United Kingdom : Focal press is an imprint of Elsevier.
- Ikhsan, k. (2016). karakteristik koefisien absorpsi bunyi dan impedansi akustik dari material berongga plafon pvc menggunakan metode tabung impedansi. universitas andalas padang.
- M. Farid, T. Heriyanto, (2013). Correlation of Normal Incidence Sound Absorption Coefficient (NAC) and Random Incidence Sound Absorption Coefficient (RAC) of Polyester/Ramie Fibre Composite Materials, *Advanced Materials Research*, Vol. 789, pp. 269-273.
- Majanasastra, r. (2013). analisis simulasi uji impak baja karbon sedang (aisi 1045) dan baja karbon tinggi (aisi d2) hasil perlakuan panas. *Jurnal ilmiah teknik mesin unisma “45” bekasi*, 1(2), 61–66.
- Muliadi, d. (2015). pembuatan dan karakterisasi material peredam bunyi berbasis komposit serbuk kayu jati dan carbon black yang diperkuat oleh resin epoksi sebagai aplikasi earmuff.
- Mevada j. m. nanulaitta, dan eka. r. m. a. p. lillipaly. (2021). analisa sifat kekerasan baja st-42 dengan pengaruh besarnya butiran media katalisator (tulang sapi (caco3)) melalui proses pengarbonan padat (pack carburizing)”. *Jurnal teknologi*, volume 9 n, 985–994.
- Myarief, a. (2006). uji kekerasan baja konstruksi st- 42 pada proses heat treatment. *jurnal teknik mesin*, 7(1), 48–55

PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN BAHAN BAKAR ALTERNATIF

Achmad Affandi M.S ⁽¹⁾, Hamri ⁽²⁾ Ahmad Amri ⁽²⁾ .

¹⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Indonesia menjadi nomor dua penyumbang sampah plastik dunia yang mengotori seluruh samudra. Setiap tahunnya Indonesia menyumbang sekitar 1.29 juta metric ton. Data itu dibawah Republik Rakyat Tiongkok yang menyumbang sekitar 3.53 juta metric ton per tahunnya. Padahal pada kenyataannya sampah botol plastik PET baru akan terurai sekitar 450 tahun. Berdasarkan uraian di atas penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif” guna menciptakan bahan bakar baru. Proses destilasi yang dilakukan yaitu sampah mengalami penguraian secara termal melalui pembakaran secara tidak langsung di dalam tabung reaktor yang menghasilkan tar, asap cair, dan abu bekas pembakaran. Uap hasil pembakaran yang keluar dari kondensor telah mengalami penurunan suhu dan mengalami perubahan wujud dari uap menjadi cair. Pada penelitian ini, diambil 3 sampel berdasarkan variasi tekanan maksimum yaitu 0,4 kg/cm² untuk sampel 1 menghasilkan 218 ml minyak dan 109 ml tar, 0,6 kg/cm² untuk sampel 2 224 ml minyak dan 114 tar dan untuk sampel 3 yaitu 1,0 kg/cm² yang menghasilkan 231 ml minyak dan 120 ml tar. Temperatur reaktor dijaga dengan mengatur besarnya nyala api pada kompor dan diawasi menggunakan thermocouple. Setelah mencapai tekanan yang ditentukan, keran exhaust dibuka secara perlahan sehingga hasil cairan destilasi dapat keluar sedikit demi sedikit.

KATA KUNCI: plastik, destilasi, bahan bakar minyak, minyak destilasi

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kuantitas sampah kota merupakan konsekuensi logis dari perkembangan kota. Peningkatan penggunaan plastik untuk keperluan rumah tangga berdampak pada peningkatan timbunan sampah plastik. Indonesia menjadi nomor dua penyumbang sampah plastik dunia yang mengotori seluruh samudra. Setiap tahunnya Indonesia menyumbang sekitar 1.29 juta metric ton. Data itu dibawah Republik Rakyat Tiongkok yang menyumbang sekitar 3.53 juta metric ton per tahunnya. Padahal pada kenyataannya sampah botol plastik PET baru akan terurai sekitar 450 tahun. Bias dibayangkan berapa sampah plastik yang akan

bertambah setiap tahunnya jika tidak dilakukan pencegahan dini. Sampah plastik yang tidak terpengut oleh pemulung, penanganannya tidak bisa dilakukan dengan metode landfill atau open dump. Pemusnahan sampah plastik dengan cara pembakaran (incineration), kurang efektif dan beresiko sebab pembakaran munculnya polutan dari emisi gas buang (CO₂, CO, NO_x, dan SO_x) dan beberapa partikulat pencemar lainnya sehingga diperlukan cara pengolahan lain untuk mengolah sampah plastik. Perlu adanya alternatif proses daur ulang yang menjanjikan dan berprospek ke depan. Salah satunya mengonversi sampah plastik menjadi minyak. Hal ini bisa dilakukan karena pada dasarnya plastik berasal dari minyak bumi, sehingga tinggal dikembalikan ke bentuk semula. Selain itu plastik juga mempunyai nilai kalor cukup tinggi, setara dengan bahan bakar fosil seperti bensin dan solar. Beberapa penelitian seputar konversi plastik menjadi produk cari berkualitas bahan bakar telah dilakukan dan menunjukkan hasil yang cukup prospektif untuk dikembangkan.

Penelitian yang terus berkembang telah berhasil menemukan salah satu cara penanggulangan masalah

limbah plastik yang cukup efektif, yaitu dengan mengolahnya menjadi bahan bakar. Mengubah plastik menjadi bahan bakar dirasa dapat mengatasi permasalahan menumpuknya volume sampah. Di samping itu, pengolahan sampah menjadi bahan bakar juga dapat mengatasi permasalahan kelangkaan bahan bakar.

Pirolisis Kilat (Flash Pyrolysis). Proses piropilis ini berlangsung hanya beberapa detik saja dengan pemanasan yang sangat tinggi. Flash pyrolysis pada biomassa membutuhkan pemanasan yang cepat dan ukuran partikel yang kecil sekitar 105 – 250 µm. Pirolisis katalitik biomassa untuk membuktikan kualitas minyak yang dihasilkan. Minyak tersebut diperoleh dengan cara pirolisis katalitik biomassa tidak memerlukan teknik pra- pengolahan sampel yang mahal yang melibatkan kondensasi dan penguapan kembali. Berdasarkan uraian di atas penulis berinisiatif untuk melakukan penelitian dengan judul “Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bahan Bakar Alternatif” guna menciptakan bahan bakar baru.

2. LANDASAN TEORI

a Jenis-Jenis Plastik

Plastik adalah salah satu jenis makromolekul yang dibentuk dengan proses polimerisasi. Polimerisasi adalah proses penggabungan beberapa molekul sederhana (monorer) melalui proses kimia menjadi molekul besar (makromolekul atau polimer). Plastik merupakan senyawa polimer yang unsur penyusun utamanya adalah karbon dan hydrogen. Untuk membuat plastik, salah satu bahan baku yang sering digunakan adalah Naphta, yaitu bahan yang dihasilkan dari penyulingan minyak bumi atau gas alam. Sebagai gambaran, untuk membuat 1 kg plastik memerlukan 1,75 kg minyak bumi, untuk memenuhi kebutuhan

bahan bakunya maupunkebutuhan energi prosesnya [1].

Berdasarkan jenis produknya, terdapat 6 jenis plastik yaitu Polyethylene Terephthalate (PET), High Density Polyethylene (HDPE), Polyvinyl Chloride (PVC), Low Density Polyethylene (LDPE), Polypropylene (PP), Polystyrene (PS) dan Other [9]. Umumnya sampah plastik memiliki komposisi 46% Polyethylene (HDPE dan LDPE), 16% Polypropylene (PP), 16% Polystyrene (PS), 7% Polyvinyl Chloride (PVC), 5% Polyethylene Terephthalate (PET), 5% Acrylonitrile- Butadiene-Styrene (ABS) dan polimer-polimer lainnya. Lebih dari 70% plastik yang dihasilkan saat ini adalah Polyethylene (PE), Polpropylene (PP), Polystyrene (PS), dan Polyvinyl Chloride (PVC) sehingga sebagian besar studi yang dilakukan berhubungan dengan keempat jenis polimer tersebut[10

Tabel 1 Karakteristik Jenis Plastik.

Kode	Tipe Plastik	Keterangan
 PETE	PET atau PETE	Botol kemasan air mineral, botol minyak goreng, jus, botol sambal, botol obat, dan botol kosmetik.
 HDPE	HDPE	Botol obat, botol susu cair, jergen pelumas, dan botol kosmetik.
 V	PVC atau V	Pipa selang air, pipa bangunan, taplak meja dari plastik.
 LDPE	LDPE	Kantong kresek, tutup plastik, plastik pembungkus daging.
 PP	PP	Cup plastik, tutup botol plastik, dll
 PS	PS	Kotak CD, sendok dan garpu plastik, gelas Plastik, atau tempat makanan dari sterofoam.
 OTHER	Other	Botol bayi dari plastik, plastik kemasan, galon air minum, suku cadang mobil, dan lain sebagainya.

b Bahan Bakar Minyak

Bahan bakar juga merupakan bahan yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi untuk menghasilkan kerja mekanik secara terkendali. Dengan kata lain adalah zat yang menghasilkan energi, terutama panas yang dapat digunakan. Ditinjau dari sudut teknis dan ekonomis, bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran kalor [2]. Adapun jenis-jenis dari bahan bakar minyak yaitu bensin, solar, dan minyak tanah.

c Pirolisis

Pirolisis berasal dari dua kata yaitu pyro yang berarti panas dan lysis yang berarti penguraian atau degradasi, sehingga pirolisis berarti penguraian biomassa oleh panas pada suhu dari 150°C. Pirolisis merupakan proses thermal cracking yaitu proses perekahan atau

pemecahan rantai polimer menjadi senyawa yang lebih sederhana melalui proses thermal (pemanasan/pembakaran) dengan tanpa maupun oksigen. Pirolisis merupakan proses endotermis artinya proses pirolisis hanya bisa terjadi ketika dalam sistem diberikan energi panas. Energi panas yang dibutuhkan pada proses ini dapat bersumber dari tenaga listrik maupun dari tungku pembakaran dengan bahan bakar berupa limbah kayu seperti potongan-potongan kayu, serbuk gergaji, dan lain-lain. Istilah lain dari pirolisis adalah “destructive distillation” atau destilasi kering, merupakan penguraian yang tidak teratur dari bahan-bahan organik yang disebabkan oleh adanya pemanasan tanpa berhubungan dengan udara luar.

d Prosedur Penelitian

Langkah pertama dengan mengumpulkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian yaitu jenis (LDPE). Selanjutnya bersihkan bahan yang telah dikumpulkan dengan menggunakan air bersih. Setelah itu, bahan kemudian dijemur sampai kering, kemudian kumpulkan bahan yang telah dikeringkan lalu masukkan bahan ke dalam tabung reactor. Kemudian tutup rapat tabung reaktor, nyalakan kompor untuk memulai proses destilasi.

Pada penelitian ini, diambil 3 sampel berdasarkan variasi tekanan maksimum yaitu 0,4 kg/cm2 untuk sampel 1, 0,6 kg/cm2 untuk sampel 2 dan untuk sampel 3 yaitu 1,0 kg/cm2. Temperatur reaktor dijaga dengan mengatur besarnya nyala api pada kompor dan diawasi menggunakan thermocouple. Setelah mencapai tekanan yang ditentukan, keran exhaust dibuka secara perlahan sehingga hasil cairan destilasi dapat keluar sedikit demi sedikit.

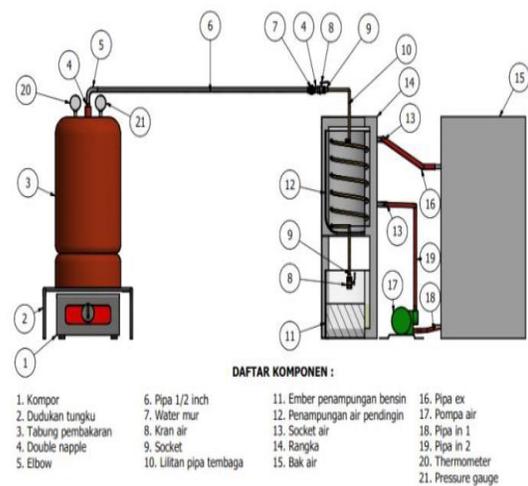
3. METODE PENELITIAN

roses penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan Oktober 2021 sampai dengan Juni 2022

A. Alat & Bahan

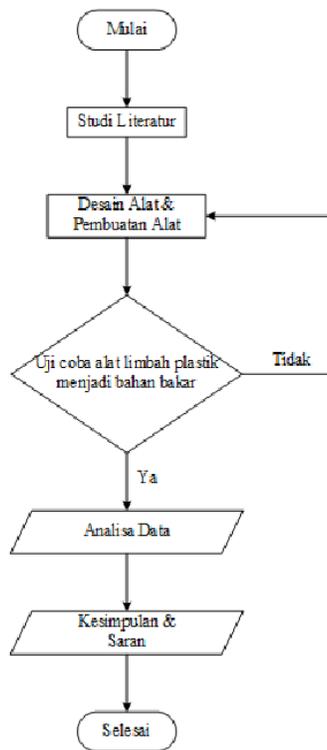
- a Alat
 1. Alat Destilasi
 2. Thermocouple
 3. Thermometer
 4. Pressure gauge
- b Bahan
 1. Plastik jenis LDPE

B. Desain Alat Destilasi



Gambar 1 Desain Alat Destilasi

C. Diagram Alir



4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengamatan pengujian yang didapat adalah berupa pengamatan pada minyak hasil destilasi secara visual, dan data-data yang diperoleh dari hasil pengujian. Pengujian nilai kalor di Laboratorium Kimia Politeknik Ujung Pandang telah diuji dengan hasil 9961,5558 Kalori/gram.

A. Data Suhu Pada Tabung

Pada penelitian ini terdapat data suhu pada tabung yang diperoleh selama pengujian berlangsung dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 2.

Tabel 1 Data Suhu Pada Tabung

Data	Pengujian I (0,4 kg/cm ²)	Pengujian II (0,6 kg/cm ²)	Pengujian III (1,0 kg/cm ²)
T _g	250 °C/523 K	252 °C/525 K	254 °C/527 K
T _o	100 °C/373 K	110 °C/383 K	117 °C/390 K
T ₁	240 °C/512 K	242 °C/ 515 K	245 °C/ 518 K
T ₂	120 °C/ 393 K	125 °C/ 398 K	128 °C/ 401 K

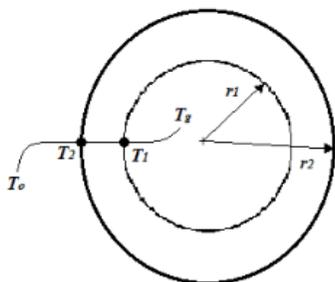
Keterangan:

T_g = Temperatur gas.

T_o = Temperatur luar tabung.

T₁ = Temperatur dalam tabung.

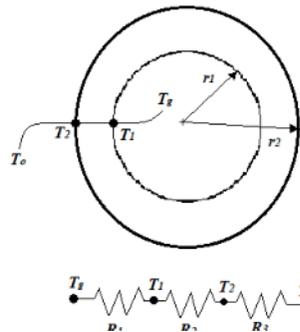
T₂ = Temperatur luar tabung.



Gambar 2 Bagian-Bagian Temperatur pada Tabung

B. Keseimbangan Energi

Untuk mengetahui perpindahan kalor yang hilang maka perlu melakukan perhitungan (berdasarkan data pada tabel 1 sebagai berikut:



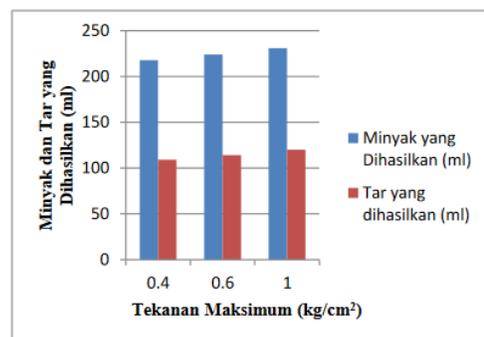
Gambar 3 Tahanan Thermal Tabung.

C. Data Hasil Pengamatan

Dari hasil pengujian yang dilakukan tiga kali maka kita bisa melihat data sebagai berikut

Tabel 2 Data Hasil Pengamatan

No.	Massa Kantong Plastik (M _{plastik})	Tekanan Max (P)	Hasil Minyak (V _{minyak})	Hasil Tar (V _{tar})
1	300 gram	0,4 kg/cm ²	218 ml	109 ml
2	300 gram	0,6 kg/cm ²	224 ml	114 ml
3	300 gram	1,0 kg/cm ²	231 ml	120 ml



Gambar 4 Diagram Data Hasil Plastik.

D. Data Hasil Perhitungan

Berikut adalah tabel hasil perhitungan.

Tabel 3 Data Hasil Perhitungan

P E N G U J I A N	Tekanan Max (P)	Tahanan Konveksi Kalor Dalam Tabung (R ₁)	Tahanan Konduksi Kalor (R ₂)	Tahanan Konveksi Kalor Luar Tabung (R ₃)	Keseimbangan Energi (Kalor yang Hilang) (Q)	Efisiensi Alat Destilasi (η _{destilasi})
1	0,4 kg/cm ²	0,024 K/W	1,037 K/W	0,161 K/W	79,829 W	74,7 %
2	0,6 kg/cm ²	-	-	-	-	
3	1,0 kg/cm ²	-	-	-	-	

E. Pengamatan pada Minyak Hasil Destilasi Secara Visual

Beberapa hal yang dilakukan dalam pengamatan visual pada minyak hasil yaitu kejernihan dari minyak dan warna minyak.

Tabel 4 Hasil Pengamatan secara Visual

NO	SAMPEL	WARNA MINYAK	KEJERNIHAN MINYAK
1	0,4 kg/cm ²	Keruh	Kurang Jernih
2	0,6 kg/cm ²	Keruh	Kurang Jernih
3	1,0 kg/cm ²	Keruh	Kurang Jernih

5. PENUTUP

A. Kesimpulan

1. Pada penelitian ini alat destilasi dimodifikasi dari penelitian sebelumnya, tabung reaktor pada penelitian ini digantikan dengan tabung freon bekas yang sudah tidak digunakan, kemudian pada penelitian ini kondensor digunakan. Alat destilasi sebagai media pengolahan sampah plastik menjadi bahan baku pembuatan bahan bakar telah dilakukan dan proses modifikasi alatnya.
2. Pada pengujian I minyak yang dihasilkan sebanyak 218 ml dan tar sebanyak 109 ml, pengujian II menghasilkan minyak sebanyak 224 ml dan tar sebanyak 114 ml, dan pada pengujian III menghasilkan minyak sebanyak 231 ml, dan tar sebanyak 120 ml.
3. Setelah melakukan perhitungan dapat disimpulkan, perpindahan kalor yang hilang pada pengujian I (q) sebesar 79,829 W, kemudian efisiensi alat yang diperoleh adalah 74,7 %.
4. Dari semua pengujian yang dilakukan, menghasilkan minyak yang kurang jernih dengan nilai kalor 9961,5558 Kalori/gram.

B. Saran

1. Dengan adanya penelitian ini masyarakat bisa memanfaatkan dan mengolah limbah plastik menjadi energi yang dapat digunakan.
2. Untuk penelitian selanjutnya perlu adanya tabung reaktor yang lebih besar agar lebih banyak hasil minyak yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Kumar S., Panda, A.K., dan Singh, R.K., 2011, A Review on Tertiary Recycling of High-Density Polyethylene to Fuel, Resources, Conservation and Recycling Vol. 55 893– 910.
- Puspita, 2013, Informasi Energi Indonesia, Jurusan Teknik Lingkungan FTSP UPN Veteran, Jatim.
- Hamidi, N., Tebyanian, F., Massoudi, R., Whitesides, L. 2013. Pyrolysis of Household Plastic Wastes. British Journal of Applied Science & Technology, 3(3), 417- 439.
- Hidayah, N, Syafrudin. 2018. A Review on Landfill Management in the Utilization of Plastic Waste as an Alternative Fuel. Proceeding The 2nd International Conference on Energy, Environmental and Information System (ICENIS 2017). Semarang: Universitas Diponegoro 15-16 Agustus 2017.
- Budiyantoro, C., 2010, Thermoplastik dalam Industri, Teknika Media, Surakarta.

Panda, A.K., 2011, “Studies on Process Optimization for Production of Liquid Fuels from Waste Plastics”, Thesis, Chemical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela.

Shabrina Iswari Adani, Yunita Ali Pujiastuti, 2017, The Effect of Temperature and Operation Time on The Process of Distillation for Aquades Processing in Faculty of Engineering University Mulawarman. Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Mulawarman, Samarinda, 75119, NO SAMPEL WARNA MINYAK KEJERNIHAN MINYAK 1 0,4 kg/cm² Keruh Kurang Jernih 2 0,6 kg/cm² Keruh Kurang Jernih 3 1,0 kg/cm² Keruh Kurang Jernih Email : yunitapujiastuti66@gmail.com.

Jainal Arifin., Sobar Ihsan., 2018, “Analisa dan \ Perancangan Limbah Plastik Sampah Polyethylene Terephthalane untuk Menghasilkan Bahan Bakar Alternatif”. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kalimantan, MAB, Jln. Adhyaksa (Kayutangi) No.2 Banjarmasin, Email: jainalarifin804@gmail.com., sobar.uniska@gmail.com.

Hartulistiyoso, E., Sigiroa, F., Yulianto, M. (2015). “Temperature distribution of the plastics Pyrolysis process to produce fuel at 450°C”. Procedia Environmental Sciences, 28, 234 – 241.

Praputri, E., Mulyazmi, E., Sari, M., Martynis. (2016). “Pengolahan Limbah Plastik Polypropylene Sebagai Bahan Bakar Minyak (BBM) dengan Proses Pyrolysis” Seminar Nasional Teknik Kimia- Teknologi Oleo Petro Kimia Indonesia. Pekanbaru. [11] Donald R. Pitts, and Leighton E. Sissom, 1983, “Heat Transfer”. Department of Mechanical Engineering, Tennessee Technological University, Singapore

STUDI EKSPERIMENTAL PERFORMANCE ORIFICE PLATE PADA BILANGAN REYNOLDS RENDAH

Mahmuddin⁽¹⁾, Muhammad Syahrir⁽¹⁾ Nurisma Maharani⁽²⁾,

¹⁾Dosen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

²⁾Mahasiswa Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia

ABSTRAK

Pengukuran laju aliran volumetrik fluida dalam sebuah pipa sangat dibutuhkan pada suatu industri proses, khususnya industri yang memanfaatkan pipa sebagai media penyaluran fluida. *Flow meter* suatu alat yang dapat digunakan untuk mengukur laju aliran volumetrik fluida di dalam pipa berdasarkan prinsip beda tekanan (*differential pressure*) pada bagian *upstream* dan *downstream*. Investigasi performa dari pelat *orifice* dilakukan secara eksperimental pada tebal pelat *orifice* (s/d) 1.66 pada rasio diameter (β)=0.5. Kasus pada penelitian ini menggunakan bilangan *Reynolds* (Re) 3300-16500, untuk mengetahui keterkaitan dengan distribusi tekanan, *discharge coefficient* (C_d) dan *permanent pressure loss* sebagai parameter utama dalam penelitian ini. Persentase *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline pressure* pada tebal *orifice* (s/d) = 1.66 menunjukkan hasil 64.33 % bahwa semakin tinggi Re maka semakin meningkat nilai *pressure drop* dari aliran fluida. Nilai rata-rata *discharge coefficient* dengan referensi *centerline pressure* 0.760 dan referensi $D;0,5D$ adalah 0,797.

KATA KUNCI : Rasio tebal pelat, bilangan *Reynolds*, *discharge coefficient* dan *permanent pressure loss*.

1. PENDAHULUAN

Pengukuran laju aliran fluida dalam sebuah pipa sangat dibutuhkan pada suatu industri proses, khususnya industri yang memanfaatkan pipa sebagai media penyaluran fluida. *Flow meter* digunakan untuk mengukur variabel proses aliran fluida di dalam pipa. Pengukuran variabel proses dilakukan untuk mengendalikannya sesuai *setpoint* agar mencapai optimasi proses.

Salah satu konfigurasi yang sering digunakan adalah *orifice meter*. *Orifice meter* menggunakan elemen tahanan aliran berupa plat *orifice*. *Orifice plate meter* adalah suatu alat yang digunakan untuk mengukur laju aliran volume di dalam saluran pipa berdasarkan prinsip beda tekanan. Ukuran plat *orifice* ini sudah distandarisasikan baik dalam konfigurasi lubang maupun cara pemasangannya, Andrew dan William (1979).

Pemasangan plat *orifice* dalam suatu sambungan pipa menyebabkan adanya perbedaan tekanan (*differential pressure*) pada bagian *upstream* dan *downstream*. pada kedua sisi diberikan *pressure taps* untuk mengukur tekanan akibat penyempitan aliran. Perbedaan tekanan yang disebabkan oleh penyempitan digunakan untuk mengukur laju aliran dengan menggunakan teorema Bernoulli, M A dkk (2016). Menurut Chisholm (1985) tebal plat *orifice* dibedakan menjadi *thin-plate orifices* ($\frac{s}{d} < 0,5$) dan *thick plates orifice* ($\frac{s}{d} > 0,5$). Pemilihan geometri sangat berpengaruh terhadap laju aliran dan tekanan suatu fluida serta *permanent pressure loss*, sehingga perlu adanya komparasi macam-macam geometri seperti: bentuk profil lubang, tebal dan rasio diameter restriksi pelat *orifice*. Perubahan geometri pelat *orifice* juga mempengaruhi nilai *discharge coefficient* (C_d).

Dalam hal ini maka ada beberapa permasalahan yang akan dikaji, yaitu:

- Bagaimana keterkaitan *discharge coefficient* (C_d) *orifice* terhadap bilangan *Reynolds* pada tebal pelat *orifice* (s/d)= 1.66 dengan rasio restriksi (β) = 0.5 .
- Bagaimana keterkaitan *permanen pressure loss* terhadap bilangan *Reynolds* pada tebal pelat *orifice* (s/d)= 1.66 dengan rasio restriksi (β) = 0.5

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

- Kondisi aliran *steady state*.
- Kondisi aliran fluida *incompressible flow*
- Kondisi aliran pada sisi *inlet* diasumsikan *uniform*

2. TINJAUAN PUSTAKA

Singh dkk (2010) melakukan prediksi aliran untuk *orifice meter* konsentris yang memiliki diameter pipa 40 mm NB (*Nominal Bore*) dan empat rasio diameter (0,40, 0,50, 0,60 dan 0,70). *Orifice meter* yang disimulasikan memiliki sudut bevel 30° dan ketebalan tepi 1,0 mm. Ketebalan pelat juga bervariasi dari 3,50 hingga 9,00 mm, lebih tinggi dari ketebalan yang ditentukan (3,20 mm) dalam ISO-51673 menunjukkan hasil bahwa zona resirkulasi *downstream* berubah seiring perubahan ketebalan plat *orifice*. Plat *orifice* tebal menghasilkan nilai *coefisien of discharge* yang lebih rendah sedangkan plat *orifice* tipis menunjukkan hasil pengukuran nilai *coefisien of discharge* yang lebih tinggi.

Pengujian yang dilakukan oleh (Septiadi, 2008) menganalisis penurunan *maximum pressure drop* yang terjadi serta *irrecoverable pressure drop* pada *orifice flow meter* dengan rasio diameter (β) 0.7; 0.6; 0.5 dengan tebal pelat *orifice* 10 mm dan 20 mm menunjukkan bahwa semakin kecil rasio diameter (β) maka nilai *max pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* semakin tinggi. *Drop* tekanan yang terjadi pada bagian plat *orifice* dengan tebal 20 mm lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran pada *orifice plate* 10 mm.

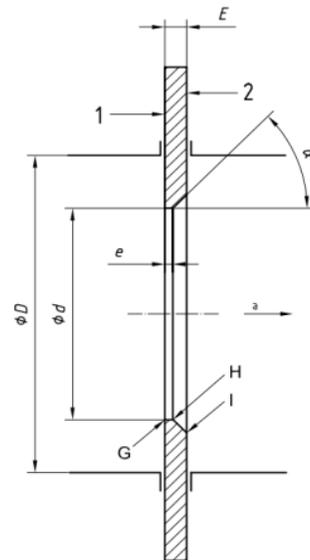
Pengujian yang dilakukan oleh Leopard (2017) yang melakukan Simulasi numerik dengan

model 3D dari *square edge orifice flow meter* dan *quadrant edge orifice flow meter* dengan rasio diameter (β) 0.5 dan 0.7 pada masing-masing bentuk geometri. Kasus pada penelitian ini menggunakan bilangan Reynolds pada 5×10^3 dan 5×10^4 . Kondisi aliran *steady flow* dan model *viscous* menggunakan standar *k-epsilon*. Simulasi ini menunjukkan hasil bahwa saat melewati leher *orifice*, dalam hal ini *square edge orifice*, aliran langsung terseparasi. Separasi menyebabkan terbentuknya *secondary flow* berupa *vortex* pada *downstream orifice*. *Vortex* yang terjadi seakan-akan membuat aliran yang mengalir melewati penampang lebih kecil, yang disebut dengan *vena contracta*.

Roul (2012) melakukan penelitian mengenai karakteristik aliran satu fase dan dua fase (air-udara) melalui *thick* dan *thin orifice* pada *horizontal pipes* berdiameter dalam 40 mm dan 60 mm dengan perbedaan geometri *orifice*, variasi area ratio (σ) 0,54 dan 0,73 serta variasi ketebalan (s/d) 0,025 dan 0,59 menunjukkan bahwa hasil *pressure drop* (ΔP) akan meningkat seiring dengan menurunnya ketebalan plat *orifice* tetapi peningkatan rasio area (σ) *orifice* akan menyebabkan menurunnya nilai *pressure drop* suatu aliran yang melintasi *orifice*.

Pelat *orifice* atau alat pengkondisian aliran sengaja dibuat untuk memiliki perbedaan tekanan pada daerah *upstream* dan *downstream* seperti yang disebutkan pada sub bab sebelumnya. Pelat *orifice* banyak digunakan di industri proses. 80% dari industri proses menggunakan pelat *orifice* sebagai *flow meter* (Miller, 1996 dikutip: Leopard, 2017). Hal ini dikarenakan keunggulannya yang sangat banyak yaitu: ekonomis, perawatan mudah, dan *compact*. Sedangkan untuk kelemahan pelat *orifice* adalah kurangnya presisi pada pengukuran, kapasitas limit dan *permanent pressure loss* yang cukup besar. Pelat *orifice* memiliki nilai ekonomis karena bentuknya yang sederhana. Pelat *orifice* memiliki bentuk lingkaran tipis yang ditengahnya terdapat lubang kecil. Geometri dari pelat *orifice* sudah memiliki standar yang tertulis pada ISO 5167-2(2013) dan dapat dilihat pada gambar 2.2. Konstruksi pelat *orifice* dipasang diantara dua *flange* bersama *sealing* agar tidak ada kebocoran. Mengacu pada standar ISO 5167-2(2013) dan Gambar 1, terdapat beberapa hal yang sudah ditentukan dan ditetapkan parameter-parameter geometri pada pelat *orifice* sebagai berikut:

- 1 merupakan sisi *upstream*.
- 2 merupakan sisi *downstream*.
- Ketebalan e berkisar antara $0.005D$ sampai $0.02D$.
- Ketebalan E berkisar antara e sampai $0.5D$, tetapi pada range $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$ dapat mencapai 3.2 mm .
- Sudut *bevel* α memiliki nilai $45^\circ \pm 15^\circ$.
- Diameter rasio $\beta = d/D$ harus memiliki nilai lebih besar dari 0.1 dan lebih kecil atau sama dengan 0.75.



Gambar 1. Geometri Pelat Orifice Sesuai Standar International Organization For Standardization (ISO, 2003)

Bilangan Reynolds menjadi parameter penting dalam karakteristik nilai *discharge coefficient* (C_d) secara matematis didefinisikan sebagai berikut.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Dengan :

Re = Bilangan Reynolds

ρ = Densitas fluida (kg/m^3)

V = Kecepatan aliran fluida (m/s)

D = Diameter pipa (m)

μ = Viskositas dinamis fluida (kg/m.s)

Miller (1976) menggunakan persamaan sebagai berikut dalam menentukan nilai *permanent pressure loss* :

$$\frac{\text{permanent pressure loss}}{\text{maximum pressure drop}} (\%) = (1 - 0,24 \beta - 0,52 \beta^2 - 0,16 \beta^3) \times 100\%$$

Nilai *discharge coefficient* (C_d) dapat dihitung secara analitis. The American Society of Mechanical Engineers (ASME) merekomendasi menggunakan persamaan *curve-it* yang dikembangkan oleh ISO (White, 2011). Persamaan tersebut dapat digunakan untuk validasi sehingga dituliskan sebagai berikut:

$$C_d = f(\beta) + 91.71 \beta^{2.5} Re_D^{-0.75} + \frac{0.09 \beta^4}{1 - \beta^4} F_1 - 0.0337 \beta^3 F_2$$

$$f(\beta) = 0.5959 + 0.0312 \beta^{2.1} - 0.184 \beta^8$$

Korelasi faktor F_1 dan F_2 pada posisi *pressure tap* :

- *Corner taps*: $F_1 = 0$; $F_2 = 2$
- $D; 1/2D$ taps: $F_1 = 0.4333$; $F_2 = 0.47$
- *Flange taps* :

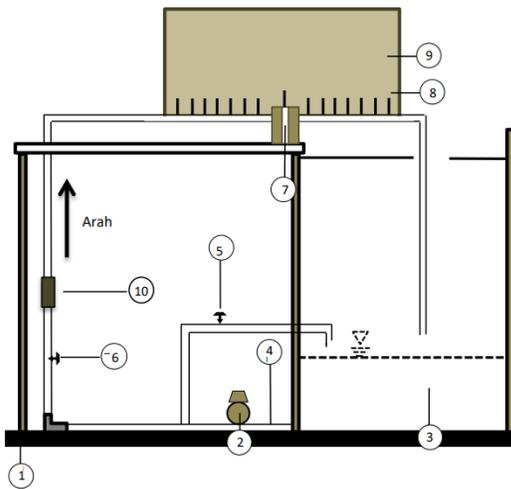
$$F_1 = \frac{1}{D(\text{in})}; F_2 = \begin{cases} \frac{1}{D(\text{in})}; & D > 2.3 \text{ in} \\ 0.4333; & 2.0 \leq D \leq 2.3 \text{ in} \end{cases}$$

Sebagai Referensi pada daerah *centerline pressure* dan $D; 0,5D$ menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$C_d = \frac{Q \sqrt{1 - \beta^4}}{A_0 \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P_{\max}}{\rho}}}$$

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dan pengujian *orifice meter* ini menggunakan bahan fluida air dengan massa jenis 996 kg/m^3 dan peralatan sebagai berikut:

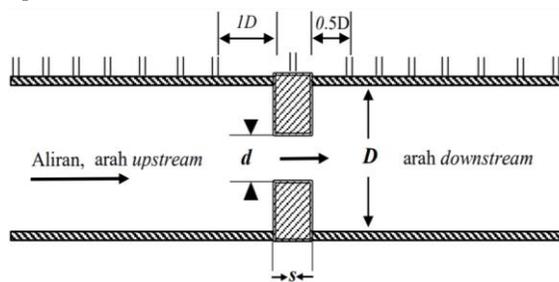


Gambar 2 Skema alat penelitian

Keterangan Gambar 2:

1. Meja atau kerangka penopang peralatan
2. Pompa
3. Bak air utama
4. Pipa hisap pompa (*suction line*)
5. Katup pada pipa *by pass* (*by pass line*)
6. Katup pada pipa alir (*discharge line*)
7. *Plat orifice*
8. Tap untuk pengukuran tekanan (*pressure tap*)
9. Papan manometer (*manometer board*)
10. *Flow meter*

Gambar 3 menunjukkan bagian uji *orifice plate* secara skematik



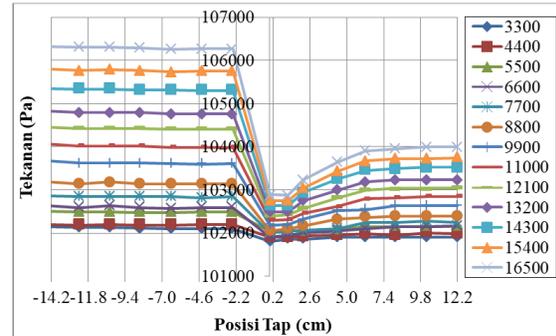
Gambar 3 Skema uji *orifice plate*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Distribusi Tekanan

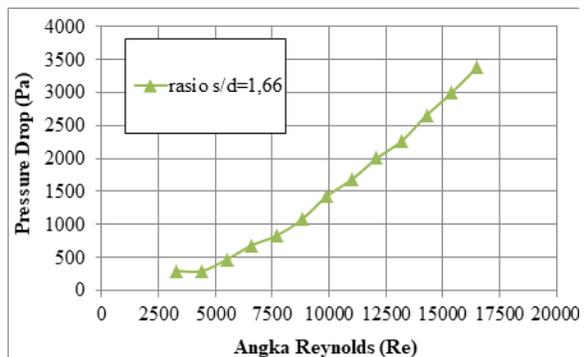
Kurva pada Gambar 4 menggambarkan distribusi tekanan pada arah *upstream* dan *downstream* menunjukkan bahwa saat aliran fluida akan melewati plat *orifice*, tekanan aliran berangsur-angsur mengalami penurunan sehingga kecepatan aliran akan bertambah akibat fluida yang dipaksa bergerak menuju plat *orifice*. Kecepatan aliran fluida mencapai maksimum mengakibatkan tekanan minimum yang terjadi pada *vena contracta*, hal ini sesuai prinsip persamaan Bernoulli. Kemudian tekanan berangsur-angsur meningkat setelah menjauhi *vena contracta* yang disebut daerah *reattachment point*. Peningkatan tekanan pada daerah *reattachment point* sebanding dengan penurunan kecepatan fluida, seperti yang diungkap Leopard (2017). Kemudian pada titik tertentu tekanan akan mengalami pemulihan

kembali, yang disebut *recovery point*. Namun tekanan pada daerah *recovery point* tersebut tidak sepenuhnya dipulihkan seperti tekanan pada daerah *upstream*. Fenomena itu disebut *irrecoverable pressure drop*.



Gambar 4 Grafik distribusi tekanan *upstream* dan *downstream* melintasi *orifice flow meter* dengan rasio tebal pelat (s/d) 1.66

Hasil pengukuran tekanan mengungkapkan pula bahwa kenaikan tekanan yang terjadi pada *reattachment point* tidak sama besarnya dengan tekanan pada daerah *upstream*, hal ini disebabkan oleh separasi aliran berupa *vortex* sehingga aliran cenderung berbalik, semakin jauh zona terbentuknya *vortex* maka semakin besar tekanan pada *recovery point*. Jauhnya zona *vortex* dipengaruhi oleh rasio tebal pelat *orifice*. Namun tekanan tidak sepenuhnya kembali seperti tekanan pada *upstream*. *Pressure tap* yang paling jauh (6D) dan *pressure tap* yang paling dekat (D) dari pelat *orifice*, pada bilangan *Reynolds* 16500 berturut-turut pada rasio tebal pelat *orifice* (s/d)=1.66 untuk *upstream* (106328 Pa–106269 Pa), *downstream* (103992 Pa–102879 Pa).



Gambar 5 Kurva *maximum pressure drop* pada variasi rasio tebal pelat *orifice* (s/d) = 1.66 pada bilangan *Reynolds* (Re) 3300-16500

Gambar 5 menunjukkan bahwa titik separasi aliran dan posisi *vena contracta* akan berbeda walaupun dalam pengukuran ini sulit diamati dengan cermat. *Pressure drop* dan *irrecoverable pressure drop* yang melewati *orifice* sangat dipengaruhi oleh rasio tebal pelat *orifice* (s/d).

4.2 Permanent Pressure Loss

Peletakan *pressure tap* yang optimal berada pada *vena contracta* untuk mendapatkan nilai pengukuran yang tepat. Profil kecepatan fluida kembali seperti semula saat *streamline* fluida yang terseparasi kembali bertemu dengan dinding pipa atau yang sering disebut dengan *reattachment point*, Leopard (2017). Pada *reattachment point*, bentuk profil kecepatan belum kembali seperti ketika di posisi *upstream* dan tekanan aliran belum sepenuhnya pulih (mencapai *recovery*) Leopard (2017). Aliran akan

mencapai kondisi tersebut pada jarak tertentu (*recovery point*) setelah melewati *reattachment point*.

Tekanan aliran juga pulih pada *reattachment point*. Akan tetapi tekanan aliran tidak sepenuhnya dipulihkan seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Selisih nilai tekanan tersebut sering disebut *permanent pressure loss*. Posisi *vena contracta* dan *reattachment point* merupakan keterkaitan dari rasio tebal pelat *orifice* (*s/d*) dan bilangan *Reynolds*. Bilangan *Reynolds* dapat juga mempengaruhi letak *vena contracta* dan *reattachment point* (Leopard, 2017). Hasil pengukuran tekanan arah *downstream* menghasilkan pemulihan tekanan dan *reattachment point* yang berbeda pada masing-masing rasio tebal pelat (*s/d*) dan bilangan *Reynolds*. Persentase *permanent pressure loss* pada daerah *centerline* pada rasio tebal (*s/d*) 1.66 menunjukkan 72.71% yang divalidasi dengan Miller (1996) dan menunjukkan hasil persentase 71.0%. Dengan itu dapat diketahui bahwa semakin tinggi rasio tebal pelat *orifice* maka semakin kecil nilai *permanent pressure loss* dari aliran fluida. Walaupun *reattachment point* yang dihasilkan Leopard (2017) dengan menggunakan *software* memiliki presisi yang tepat, bila dibandingkan dengan hasil penelitian ini, tetapi memiliki kesesuaian karakteristik yang kuat.

Tabel 1 Perhitungan nilai *permanent pressure loss* dengan referensi *centerline pressure* dan *wall pressure* untuk rasio tebal pelat *orifice* (*s/d*) 1.66

Re	β	Permanent Pressure Loss (%)		
		Centerline	Wall	Miller (1996)
		s/d		
		1.66	1.66	
3300	0.5	66.89	33.43	
4400		83.28	36.91	
5500		72.71	40.90	71.0
6600		65.64	54.71	
7700		70.60	63.13	
8800		68.19	68.20	
9900		67.81	73.31	
11000		69.78	78.98	
12100		68.30	80.01	
13200		67.67	80.51	
14300		67.64	82.52	
15400		67.76	84.88	
16500		68.50	88.12	

4.3 Discharge Coefficient

Perhitungan *discharge coefficient* (*Cd*) menggunakan *centerline pressure* dengan *maximum pressure drop* dan tekanan arah *upstream* dan *downstream* masing-masing di titik D dan 0,5D terhadap pelat *orifice* sebagai tekanan referensi seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Perhitungan nilai Coefficient Discharge (*Cd*) dengan referensi *centerline pressure* dan D;0,5D untuk rasio *s/d* 1,66 pada bilangan *Reynolds* 3300-16500.

Re	Coefficient Discharge (Cd)		
	Centerline	D;0.5D	ISO 5167-2 (2013)
	s/d 1,66	s/d 1,66	
3300	0.558	0.632	0.640
4400	0.744	0.769	0.633
5500	0.735	0.785	0.628
6600	0.731	0.783	0.625
7700	0.774	0.824	0.623
8800	0.777	0.822	0.621
9900	0.759	0.789	0.619
11000	0.777	0.805	0.618
12100	0.783	0.813	0.617
13200	0.803	0.828	0.616
14300	0.803	0.830	0.615
15400	0.814	0.840	0.615
16500	0.822	0.848	0.614

Berdasarkan Tabel 2 kenaikan bilangan *Reynolds* yang divalidasi dengan hasil persamaan ISO 5167-2 (2013) menunjukkan bahwa nilai *discharge coefficient* (*Cd*) pada rasio pelat *orifice* *s/d* = 1,66 diperoleh *Cd* rata-rata untuk referensi D;0,5D = 0,797 untuk referensi *centerline* = 0,760.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrew, W., & Williams. (1979). Applied Instrumentation in the Process Industries. Gulf Publishing Co. Volume I, Edisi ke-2, 46-54.
- Bohra, L. K. (2004). Flow And Pressure Drop Of Highly Viscous Fluids In Small Aperture Orifices. Georgia Institute of Technology, 62-63.
- Chisholm, D. (1985). Two-Phase Flow in Heat Exchangers and Pipelines. Glasgow College of Technology, 48-57.
- Hollingshead, C. L. (2011). Discharge Coefficient Performance of Venturi, Standard Concentric Orifice Plate, V-Cone, and Wedge Flow Meters at Small Reynolds Numbers. Utah: Utah State University.
- Leopard, R. (2017). Studi Numerik Performa Square Edge Dan Quadrant Edge Orifice Flow Meter Dengan variasi Rasio Diameter. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- M A, P., Dr. V, S., & Yogesh, K. (2016). Analysis of Compressible Effect in the Flow Metering By Orifice Plate Using CFD. IJSRSET162420, 170-180.
- Sanghani, C. R. (2016). Comparative Analysis of Different Orifice Geometries for Pressure Drop. IJSTE - International Journal of Science Technology & Engineering, Volume 2, Issue 10, 494-498.
- Septiadi, W. N. (2008). Studi Eksperimental Orifice Flow Meter dengan Variasi Tebal dan Posisi Pengukuran Beda Tekanan Aliran Melintasi Orifice Plate. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM Vol.2 No. 1, 61-68.

Singh, R. K., Singh, S. N., & Seshadri, V. (2010).
Performance Evaluation of Orifice Plate
Assemblies Under Non-Standard Conditions
using CFD. *Indian Journal of Engineering
& Material Sciences Vol 17*, 397-406