

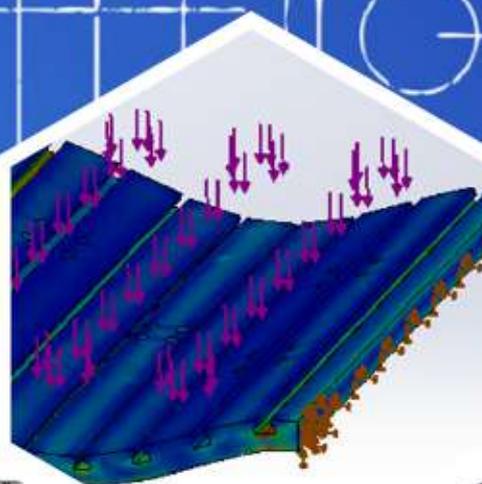
JURNAL
TEKNIK MESIN

CAKRAM

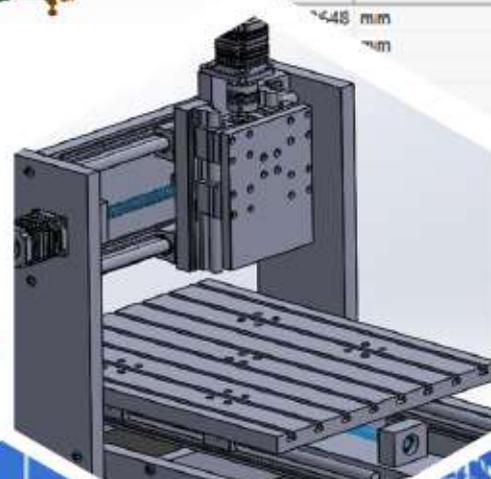
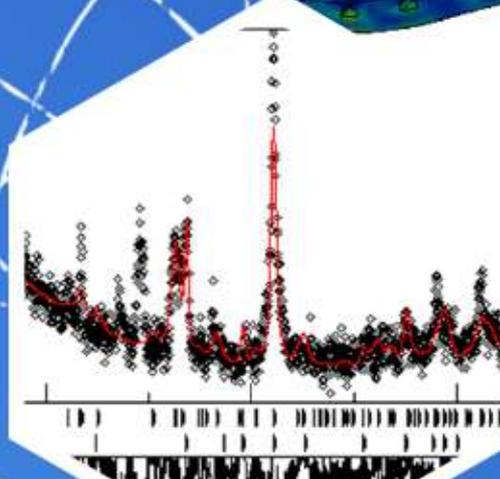
**VOL. 7,
NO. 1,
APRIL 2024**

e-ISSN 2686-0597

p-ISSN 2620-6760



X (mm)	Y (mm)
0.00000000	-22.50000000
00275	1.71300472
00277	2.81325626
00278	2.96540499
00277	2.37232733
00276	1.32118249
00274	0.22779934
00272	-1.04174352
00270	-2.01108623



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Pamulang

SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Jurnal Teknik Mesin

CAKRAM

Universitas Pamulang

Vol. 7, No.1

April 2024

Penanggung Jawab

Nur Rohmat, S.T., M.T

Pimpinan Redaksi

Joko Setiyono, S.T., M.T

Mitra Bestari

Rachmasari Pramita W, S.T., M.M. (Universitas Tridharma), Drs. Hery Adrial, M.T. (BRIN),
Ir. Sukandar, M.T. (BRIN), Dr. Iwan Setiawan., M.Si (BRIN), Dr. Latifah Hanum, M.T (BRIN)

Redaksi Pelaksana

Fifit Astuti, M.Sc, Ihat Solihat, M.Sc, Ersam Mahendrawan, M.Pd

Desainer Grafis

Wahid Nurcipto, S.T

Redaksi menerima tulisan dari kalangan akademisi, peneliti, dan praktisi yang belum pernah diterbitkan. *Blind Review* dilakukan untuk menentukan tulisan yang akan dimuat. Pedoman penulisan tercantum pada bagian jurnal ini. Tulisan yang diserahkan harus disertai *soft copy*.

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik

Universitas Pamulang

Jl. Surya Kencana No.1 Pamulang Barat – Pamulang Tangerang Banten

Telp. (021) 7412566, Fax (021) 7412491

A. POKOK BAHASAN

Pada dasarnya yang dapat diterima dalam Jurnal Cakram Program Studi Teknik Mesin UNPAM adalah semua topik dalam bidang teknik mesin yang meliputi :

1. Konversi energi
2. Material
3. Manufaktur
4. Konstruksi
5. Bidang lainnya yang terkait dengan bidang teknik mesin.

B. FORMAT PENULISAN

Format artikel dalam jurnal ilmiah – kajian konseptual maupun hasil penelitian empiris- mencakup bagian:

- (1) Judul ditulis dalam bahasa Indonesia.
- (2) Nama penulis disertai nama instansi.
- (3) Abstrak ditulis dalam bahasa Indonesia dan Inggris disertai kata kunci dengan jumlah kata tidak lebih dari 300.
- (4) Pendahuluan.
- (5) Isi .
Isi untuk artikel kajian konseptual berisi materi pokok serta pembahasannya, sedang untuk artikel hasil penelitian, bagian isi terdiri atas (a) metode penelitian, (b) hasil dan pembahasan. Untuk gambar, tabel dan persamaan matematik diberi nomor urut dan keterangan notasi.
- (6) Kesimpulan dan saran
- (7) Ucapan terima kasih (bila ada).
- (8) Daftar rujukan/pustaka.

Penulisan makalah menggunakan format file .docx atau .doc, jenis huruf *Times New Roman*, dengan tata naskah penulisan sebagai berikut :

1. Makalah ditulis dalam satu kolom.
2. Makalah ditulis dalam satu spasi di kertas A4
3. Minimal 5 halaman dan maksimal 12 halaman.
4. Batas kiri, kanan, atas, dan bawah masing-masing berjarak 3 cm, dari tepi kertas.
5. Resolusi gambar minimal 300 dpi. dengan format png, jpeg, dan bmp.
6. Penulisan daftar pustaka menggunakan format IOP

Makalah yang masuk ke redaksi akan dinilai oleh Mitra Bestari kesesuaian dengan pokok bahasan Jurnal Cakram dan bobot tulisan. Makalah yang dinyatakan lolos seleksi akan diterbitkan dalam Jurnal Cakram Universitas Pamulang.



DAFTAR ISI

Daftar Isi	i
Kata Pengantar	ii
ANALISA KEGAGALAN SISTEM PENGGEREMAN PADA KAMPAS REM MOBIL TIPE SUV STUDI KASUS KENDARAAN 2500 CC	1-7
Kusdi Prijono, Natasya Nurul Umi Halimah, Muhammad Awwaluddin	
SIMULASI <i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS</i> (CFD) ALIRAN FLUIDA PADA SISTEM PERPIPAAN UNTUK DESALINASI AIR LAUT	8-18
Handika Yanu Wijaya, Joko Setiyono, Sunny Ineza Putri	
ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN PENGGERAK MIKRO HIDRO TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN DARI GENERATOR	19-28
Wahrul Andrian Maulana, Ihat Solihat	
EFEK PEMBERIAN CAMPURAN CUKA DAN AIR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI MATERIAL SS HL 201 DAN SS HL 304	29-38
Farid Wazdi	
ANALISIS ENERGI, EKSERGI, DAN EKONOMI SISTEM DESALINASI AIR LAUT TENAGA SURYA	39-45
Satria Putra Handoyo, Natalia Magdalena Kawet, Joko Setiyono, Sunny Ineza Putri	
ANALISIS PENAMBAHAN WATER HEATER KAPASITAS 20 LITER TERHADAP KONSUMSI DAYA LISTRIK AC SPLIT 1 PK	46 – 54
Mimin Andika Cahyatullah, Nailul Atifah	



KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil ‘Alamin kami panjatkan Puji dan Syukur kepada Allah SWT yang telah memberi Rahmat dan HidayahNya sehingga Jurnal Teknik Mesin CAKRAM Vol. 7, No. 1, April 2024 ini dapat kami terbitkan tepat pada waktunya.

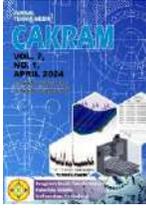
Topik-topik yang ditampilkan pada edisi ini adalah artikel pertama tentang analisa kegagalan sistem pengereman pada kampas rem mobil tipe suv studi kasus kendaraan 2500 cc. Artikel kedua tentang simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) aliran fluida pada sistem perpipaan untuk desalinasi air laut. Artikel ketiga tentang analisa pengaruh jumlah sudu turbin penggerak mikro hidro terhadap daya yang dihasilkan dari generator. Artikel keempat tentang efek pemberian campuran cuka dan air garam terhadap laju korosi material SS HL 201 dan SS HL 304. Artikel kelima tentang analisis energi, eksergi, dan ekonomi sistem desalinasi air laut tenaga surya. Artikel keenam tentang analisis penambahan water heater kapasitas 20 liter terhadap konsumsi daya listrik AC split 1 PK.

Kami mengharapkan partisipasi rekan – rekan peneliti, dosen, akademisi dan praktisi untuk mengisi jurnal ini agar dapat terbit secara kontinu sesuai jadwal. Disamping itu juga untuk meningkatkan kualitas dan keberagaman topik yang dapat ditampilkan dalam jurnal ini sesuai ruang lingkup teknik mesin.

Semoga jurnal ini dapat memberi kemanfaatan bagi kita semua dalam rangka pengembangan ilmu dan teknologi khususnya bidang teknik mesin. Disamping menjadi referensi bagi upaya pembangunan bangsa dan negara. Mohon maaf jika ada yang kurang berkenan. Saran dan kritik sangat kami harapkan demi peningkatan kualitas jurnal ini.

Pamulang, April 2024

Dewan Redaksi



ANALISA KEGAGALAN SISTEM Pengereman PADA KAMPAS REM MOBIL TIPE SUV STUDI KASUS KENDARAAN 2500 CC

Kusdi Prijono^{1,2}, Natasya Nurul Umi Halimah¹, Muhammad Awwaluddin^{1,3}

¹Department of Mechanical Engineering, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, 15417, Indonesia

²National Research and Innovation Agency, Tangsel 15314, Indonesia,

³Research Center for Structural Strength Technology, National Research and Innovation Agency, Tangsel 15314,
Indonesia.

E-mail : dosen00656@unpam.ac.id, dosen00543@unpam.ac.id

Masuk : 26 Februari 2024

Direvisi : 18 Maret 2024

Disetujui : 2 April 2024

Abstrak: Analisa kegagalan sistem pengereman pada kampas rem mobil tipe SUV studi kasus kendaraan 2500 cc. Kegagalan sistem pengereman merupakan permasalahan serius pada sebuah kendaraan yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem pengereman maupun terjadinya kecelakaan sehingga perlu segera dicari penyebabnya. Oleh karena ini penelitian ini penting untuk dilakukan guna melakukan analisa terhadap kegagalan sistem pengereman mobil tipe SUV studi kendaraan 2500 cc. Metode yang digunakan adalah dengan menguji kekerasan serta uji visual menggunakan mikroskop optik pada permukaan kampas rem. Dari hasil uji kekerasan diperoleh nilai rata-rata kekerasan kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman sebesar 11.69 HV, sedangkan yang tidak mengalami kegagalan adalah 7.35 HV. Dari uji visual, permukaan kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman lebih halus dibandingkan dengan kampas rem yang tidak mengalami kegagalan sistem pengereman.

Kata kunci: Kampas Rem, Analisa Kegagalan, Sistem Pengereman, Asbestos, Mobil tipe SUV

Abstract: analysis of braking system failure on SUV type car brakes vehicle case study 2500 cc. Failure of the braking system is a serious problem in a vehicle that must be handled immediately, this is because the brake pads can over heat due to continuous friction between the brake lining and drum or disc, so that the braking ability will be lost or not working properly and cause damage to the braking system or an accident. Therefore, this research is important to do in order to analyse the failure of the braking system of the SUV-type car in the 2500 cc vehicle case study. The method used is to test the hardness and visual test using an optical microscope on the surface of the brake lining. From the results of the hardness test, the average value of brake pad hardness that failed was 11.69 HV, while those that did not fail was 7.35 HV. From the visual test, the surface of the brake pads that have failed the braking system is smoother than the brake pads that have not failed of the braking system.

Keywords: Brake pads, Failure Analysis, Braking Systems, Asbestos, SUV type car

PENDAHULUAN

Berdasarkan analisis data Badan Pusat Statistik (BPS) jumlah kecelakaan kendaraan bermotor baik mobil maupun motor periode tahun 2014-2018 semakin meningkat hal ini dapat dilihat pada Tabel 1 ^[1].

Tabel 1. Jumlah Kecelakaan periode tahun 2014-2018.

Tahun Kecelakaan	2014	2015	2016	2017	2018
Jumlah Kecelakaan	95,906	96,233	106,644	104,327	109,215
Korban Mati (Orang)	28,297	24,275	31,262	30,694	29,472
Luka Berat (Orang)	26,840	22,454	20,075	14,559	13,315
Luka Ringan (Orang)	109,741	107,743	120,532	121,575	130,571
Kerugian Materi (Juta Rupiah)	250,021	215,892	229,137	217,575	213,866

Jika dihitung rata-rata jumlah korban, maka setiap jam orang meninggal akibat kecelakaan di jalanan. Faktor penyebab terbesar kecelakaan lalu lintas adalah 61% karena faktor manusia, 9% karena faktor kendaraan, 30% disebabkan oleh faktor prasarana dan lingkungan.

Penyebab kecelakaan yang disebabkan oleh faktor manusia atau pengendara/ pengemudi kendaraan penyebabnya bisa karena kondisi fisik yang kurang fit, mengantuk, kondisi mental yang tidak stabil, melaju cepat, kurangnya ketrampilan dan pengetahuan dalam mengemudi, pengaruh buruk alkohol atau obat-obatan terlarang serta pengalihan perhatian.

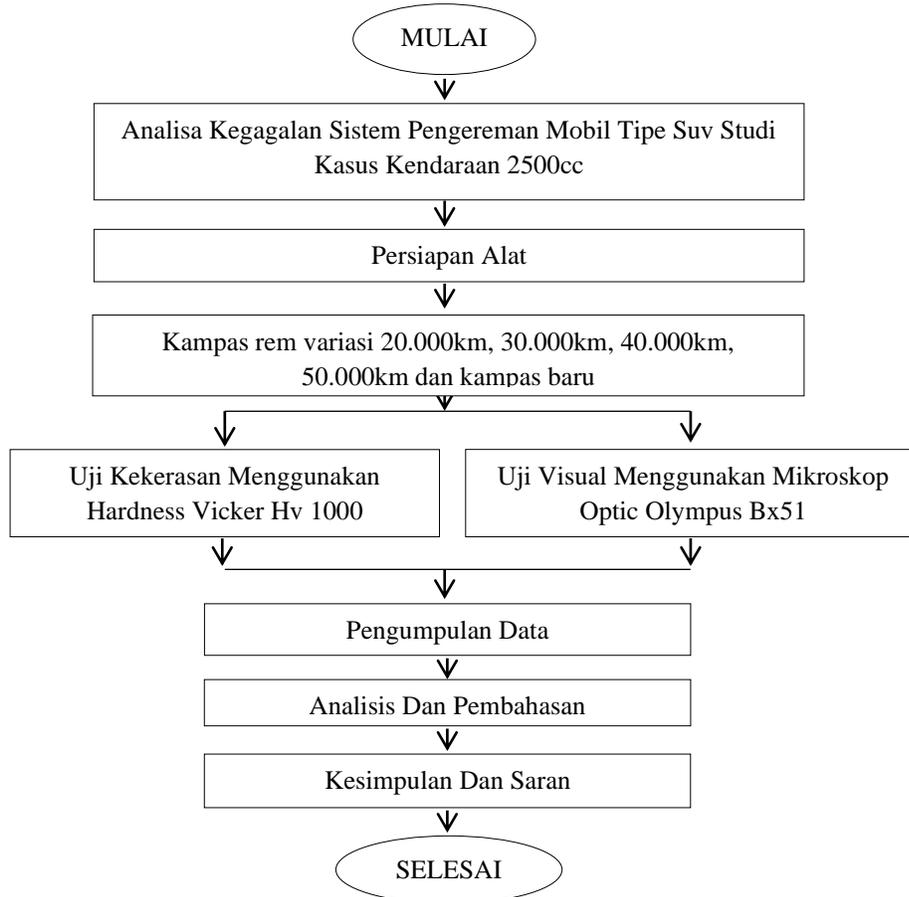
Penyebab kecelakaan yang disebabkan oleh faktor kendaraan antara lain karena sistem pengereman yang tidak berfungsi dengan baik, kerusakan kemudi, mesin yang tidak berfungsi, dimodifikasi yang tidak sesuai dengan standart dan aturan keselamatan, umur kendaraan yang sudah tua, maupun perawatan kendaraan yang minim.

Penyebab kecelakaan yang disebabkan oleh faktor prasarana dan lingkungan bisa disebabkan karena kondisi permukaan jalan yang tidak memenuhi syarat (berlubang, benjolan), fasilitas pejalan kaki yang tidak memadai, layout jalan yang tidak sesuai, pencahayaan yang kurang dan tidak memadai, dan lainnya^[2].

Berdasarkan beberapa penyebab kecelakaan lalu lintas, kegagalan pada sistem pengereman merupakan hal terpenting untuk dilakukan penelitian, hal ini dikarenakan sistem pengereman merupakan sistem yang dirancang untuk mengurangi kecepatan (memperlambat) dan menghentikan laju kendaraan^[3-9]. Peralatan ini sangat penting pada kendaraan dan berfungsi sebagai salah satu alat keselamatan serta menjamin keamanan dalam berkendara. Salah satu bagian terpenting dalam sistem pengereman adalah kampas rem. Kampas rem merupakan salah satu komponen pada kendaraan bermotor yang berfungsi untuk memperlambat atau menghentikan laju kendaraan khususnya kendaraan darat dalam hal ini Mobil tipe SUV termasuk di dalamnya^[10-14]. Untuk mendapatkan pengereman yang maksimal maka dibutuhkan kampas rem dengan kemampuan pengereman sesuai SNI 09-0143-1987^[15,16].

Dengan analisis yang dilakukan diharapkan dapat diketahui penyebab terjadinya kegagalan sistem pengereman sehingga bisa dilakukan perbaikan produk untuk meningkatkan sistem keamanan dan keselamatan pada kendaraan. Melalui penelitian ini juga diharapkan dapat dievaluasi permukaan struktur kampas rem maupun sifat kekerasannya melalui pengujian struktur mikro dan uji kekerasan.

METODOLOGI



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Penelitian ini mengikuti diagram alir penelitian seperti terlihat pada Gambar 1. Pada pengujian kekerasan digunakan alat HV1000 untuk mengetahui tingkat kekerasan kampas rem. Selain itu juga dilakukan pengamatan morfologi permukaan kampas rem menggunakan microscop optic BX51 untuk mengetahui kondisi permukaan pada kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman dan tidak mengalami kegagalan sistem pengeraman. Dalam penelitian ini pengujian dilakukan pada kampas rem dengan variasi 20.000 km, 30.000 km, 40.000km, 50.000 km, dan kampas baru.

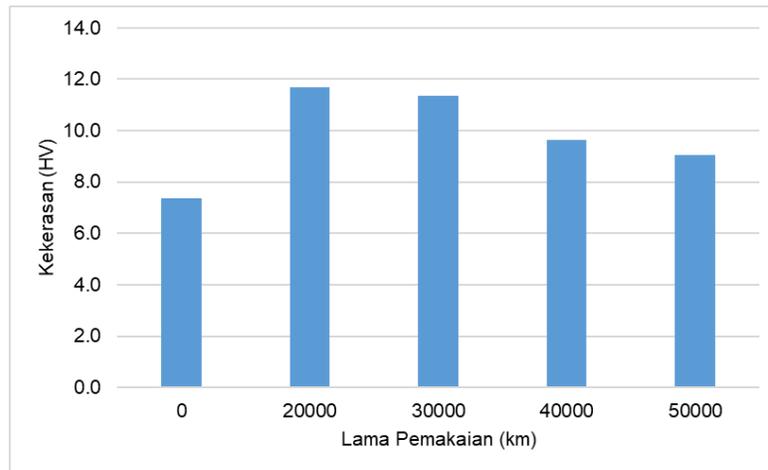
HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kekerasan Kampas Rem

Tabel 2. Hasil Pengujian Kekerasan Pada Kampas Rem.

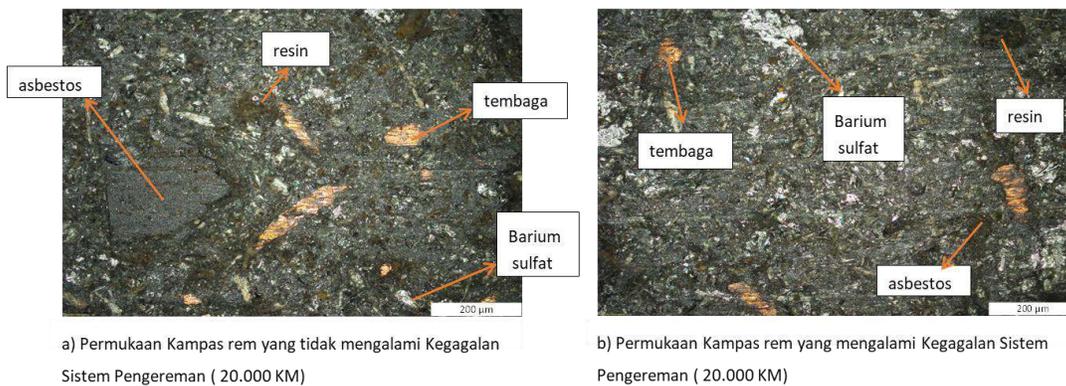
Sampel	Lama Pemakaian (km)	Hardness vickers (HV)	Std. Dev
1	0	7.3527	0.2262
2	20000	11.6966	0.1801
3	30000	11.3446	0.1831
4	40000	9.6449	0.1961
5	50000	9.0348	0.2033

Tabel 2. dan Gambar 2. Merupakan hasil pengujian pada kampas rem dengan 5 variasi pemakaian. Pada Tabel 2. Adalah hasil pengujian kekerasan pada kampas rem yang dilakukan penggantian pada kilometer sesuai lamanya pemakaian. Sebagai acuan kekerasan telah diuji kampas rem dengan 0 km atau sebelum pemakaian yang memiliki kekerasan 7.3527 HV. Pada kasus penggantian kampas rem pada pemakaian di 20000 km dan 30000 km, terjadi kenaikan nilai kekerasan yaitu sebesar 11.6966 HV dan 11.3446 HV. hal ini dimungkinkan terjadi karena adanya padding atau pengerasan pada permukaan kampas rem akibat panas pada proses pengereman yang mengakibatkan kerusakan material pada kampas rem. Pada penggantian kampas rem di pemakaian 40000 km dan 50000 km memiliki kekerasan 9.6449 HV dan 9.0348 HV atau mengalami peningkatan kekerasan berkisar 2 HV dibandingkan dengan kampas rem sebelum pemakaian. Kenaikan 2 HV masih dianggap atau normal akibat pengaruh panas yang terjadi pada saat pengereman.



Gambar 2. Grafik Uji Kekerasan Pada Kampas Rem

3.2 Pengamatan Morfologi Permukaan Kampas Rem

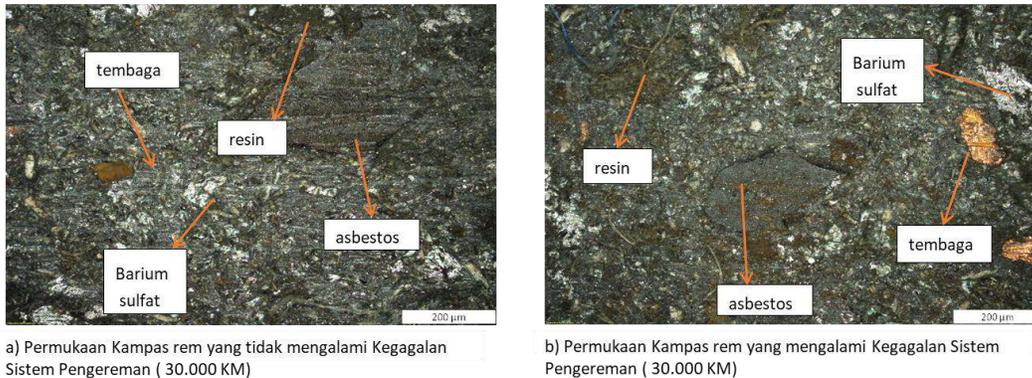


Gambar 3. Hasil pengamatan morfologi kampas rem dengan masa pemakaian 20000 km menggunakan microscop optik BX51.

Pada Gambar 3.a. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 20000 km yang tidak mengalami padding. Permukaan kampas rem pada Gambar 3.a. terlihat lebih kasar dengan goresan yang merata, hal ini berarti keausan material terjadi secara sempurna. Pada Gambar 3.b. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 20.000 km yang mengalami padding. Hasil pengamatan terlihat dengan jelas bahwa pada kampas

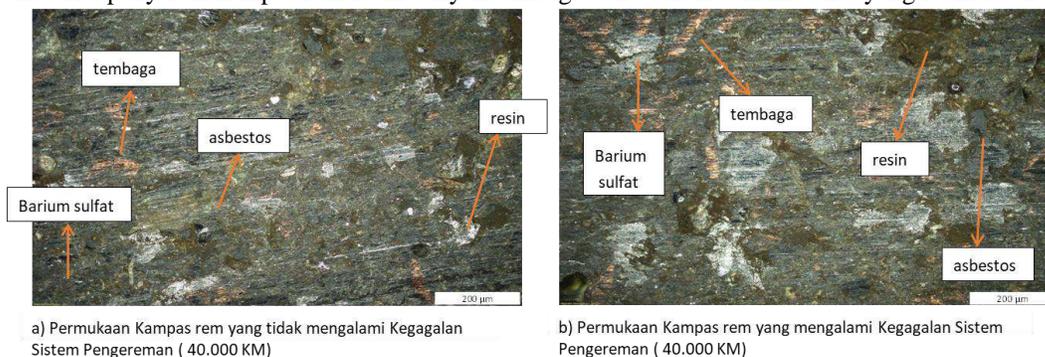
rem mengalami keausan material yang tidak merata yang artinya terjadi kegagalan sistem pengereman. Permukaan kampas rem nampak halus akibat gesekan dengan permukaan disk. Goresan keausan permukaan kampas rem terlihat sangat sedikit, hal ini dikarenakan permukaan kampas rem mengalami kenaikan nilai kekerasan. Pada kasus ini kampas rem yang digunakan berbahan sama dan merek yang sama.

Pada Gambar 3.a dan 3.b. juga terlihat bahwa komposisi paduan kampas terdiri dari serpihan logam tembaga berwarna kuning keemasan, resin berwarna kecoklatan, asbestos berwarna abu abu, barium sulfat berwarna agak keputihan, dan warna lain diperkirakan *friction additive*. Komposisi tersebut sangat mempengaruhi properties dari kampas rem tersebut.



Gambar 4. Hasil pengamatan morfologi kampas rem dengan masa pemakaian 30000 km menggunakan microscop optik BX51.

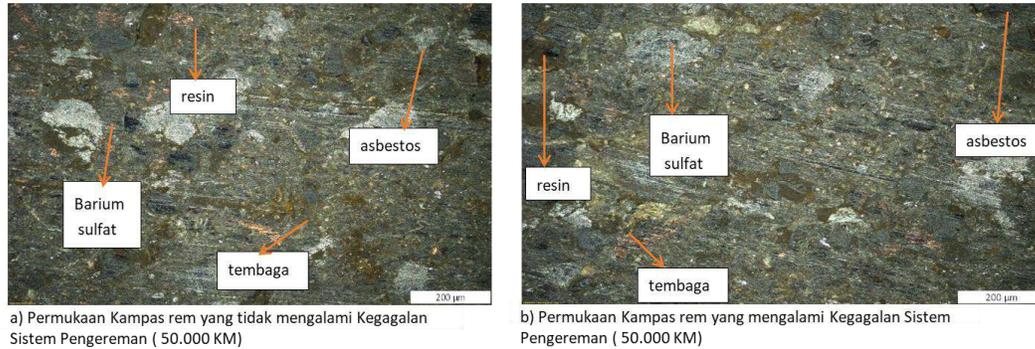
Pada Gambar 4.a. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 30000 km yang tidak mengalami padding. Permukaan kampas rem pada Gambar 4.a. terlihat lebih kasar dengan goresan yang merata, hal ini berarti keausan material terjadi secara sempurna. Pada Gambar 4.b. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 30.000 km yang mengalami padding. Hasil pengamatan terlihat dengan jelas bahwa pada kampas rem mengalami keausan material yang tidak merata yang artinya terjadi kegagalan sistem pengereman. Permukaan kampas rem nampak halus akibat gesekan dengan permukaan disk. Goresan keausan permukaan kampas rem terlihat sangat sedikit, hal ini dikarenakan permukaan kampas rem mengalami kenaikan nilai kekerasan. Pada Gambar 4.b terlihat material penyusun kampas rem lebih banyak tembaga dan butiran barium sulfat yang lebih besar.



Gambar 5. Hasil pengamatan morfologi kampas rem dengan masa pemakaian 40000 km menggunakan microscop optik BX51.

Pada Gambar 5.a. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 40000 km yang tidak mengalami padding. Permukaan kampas rem pada Gambar 5.a. terlihat lebih kasar dengan goresan yang merata, hal ini berarti keausan material terjadi secara sempurna. Pada Gambar 5.b. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 40.000 km yang mengalami padding. Hasil pengamatan terlihat dengan jelas bahwa pada kampas rem mengalami keausan material yang tidak merata yang artinya terjadi kegagalan sistem pengereman. Permukaan kampas rem nampak halus akibat gesekan dengan permukaan disk. Goresan keausan permukaan kampas rem terlihat

sangat sedikit, hal ini dikarenakan permukaan kampas rem mengalami kenaikan nilai kekerasan. Pada Gambar 5.b terlihat material penyusun kampas rem lebih banyak butiran tembaga yang lebih besar serta butiran barium sulfat yang lebih besar dari kampas rem yang tidak mengalami kegagalan pengereman.



Gambar 6. Hasil pengamatan morfologi kampas rem dengan masa pemakaian 50000 km menggunakan microscop optik BX51.

Pada Gambar 6.a. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 50000 km yang tidak mengalami padding. Permukaan kampas rem pada Gambar 6.a. terlihat lebih kasar dengan goresan yang merata, hal ini berarti keausan material terjadi secara sempurna. Pada Gambar 6.b. merupakan hasil optic pada kampas rem dengan pemakaian 50.000 km yang mengalami padding. Hasil pengamatan terlihat dengan jelas bahwa pada kampas rem mengalami keausan material yang tidak merata yang artinya terjadi kegagalan sistem pengereman. Permukaan kampas rem nampak halus akibat gesekan dengan permukaan disk. Goresan keausan permukaan kampas rem terlihat sangat sedikit, hal ini dikarenakan permukaan kampas rem mengalami kenaikan nilai kekerasan. Pada Gambar 6.b terlihat material penyusun kampas rem lebih banyak butiran tembaga yang lebih besar serta butiran barium sulfat yang lebih besar dari kampas rem yang tidak mengalami kegagalan pengereman.

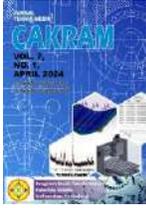
KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian kekerasan dan morfologi permukaan menggunakan mikroskop optik pada permukaan kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman dan yang tidak mengalami kegagalan sistem pengereman dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terjadi kenaikan nilai kekerasan secara signifikan pada kampas rem dengan pemakaian 20000 km sebesar 11.69 HV dan pemakaian 30000 km sebesar 11.34 HV dibanding dengan kampas rem dengan pemakaian 40000 km sebesar 9.64 HV dan pemakaian 50000 km sebesar 9.03 HV.
2. Permukaan kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman terlihat lebih halus dibandingkan dengan permukaan kampas rem yang tidak mengalami kegagalan sistem pengereman seperti terlihat pada Gambar 3 sampai dengan Gambar 6.
3. Butiran komposisi unsur barium sulfat pada kampas rem yang mengalami kegagalan sistem pengereman terlihat lebih besar dibandingkan dengan kampas rem yang tidak mengalami kegagalan sistem pengereman

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik (BPS). 2019. “*Jumlah Kecelakaan, Korban Mati, Luka Berat, Luka Ringan, dan Kerugian*”.
- [2] Kementerian Perhubungan (Kemenhub). 2019. “*Penyebab Kecelakaan Transportasi di Indonesia*”.
- [3] Abu Jabir Achmad Kumaini, A. J. A. K. (2019). *Analisa Perbedaan Laju Keausan Kampas Rem Depan Original Dengan Imitasi Pada Kendaraan Isuzu Panther Tbr 541*. Universitas Islam Majapahit Mojokerto.
- [4] Asri, A., & Darmanto, D. (2018). Analisa Keausan Kampas Rem Pada Disc Brake Dengan Variasi Material Kampas Rem. *Majalah Ilmiah Momentum*, 14(2).
- [5] Oka, A. A. (2018). *Analisa Studi Kasus Sistem Rem Mobil Hemat Energy Shell Eco Marathon Asia Emisia Borneo 01*.
- [6] Hafidz, D. (2016). Gaya Tekan Pad Rem Terhadap Disk Rotor Pada Kendaraan Mini Buggy. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur Unj*, 3(1), 29-34.
- [7] Setiyono, R. (2016). *Analisis Gaya Pengereman Pada Mobil Nasional Mini Truck*. Universitas Muhammadiyah Surakarta,
- [8] Mitsubishi. (2020). Manual Book Sistem Pengereman
- [9] Sukamto. (2016). Pengaruh Komposisi Struktur Bahan Pada Perambatan Panas Pada Kampas Rem Sepeda Motor. *Universitas Janabadra*.
- [10] Feist, J. (2016). Finite Element Modeling Of Brake Pad Materials Performance. *Rensselaer Polytechnic Institute Harford, Connecticut*.
- [11] Arif, S., Irawan, D., & Jainudin, M. (2019). Analisis Sifat Mekanis Perbandingan Campuran Komposit Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy Untuk Material Kampas Rem Cakram. *Jurnal Technopreneur (Jtech)*, 7(2), 58-63.
- [12] Mubarrok, M. (2016). *Pengaruh Ukuran Serbuk Kuningan Terhadap Ketahanan Aus, Koefisien Gesek, Dan Kekerasan Kampas Rem*. Universitas Muhammadiyah Surakarta,
- [13] Supriyanto, S., & Waluyo, B. (2016). *Pengujian Performa Kampas Rem Non Asbes Variasi Calcium Carbonate Dengan Perekat Phenolic Resin*. Universitas Muhammadiyah Surakarta,
- [14] Prayoga, B. D., Purnomo, H., & Bisono, F. (2017). *Perancangan Dan Analisis Sistem Pengereman Hydraulic Pada Mobil Minimalis Roda Tiga*. Paper Presented At The Proceedings Conference On Design Manufacture Engineering And Its Application.
- [15] Upara, Nafsan., & Laksono, B.T. (2019). Analisis Komparasi Kualitas Produk kampas Rem Cakram Antara Original Dengan After Market. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Srengsesng Sawah Jagakarsa, Jakarta, Indonesiamobileupdate.Net. (2020). Rem Cakram Mobil Bagian Depan
- [16] Sumiyanto, Abdunnaser, Achmad Noor fajri (2019). Analisa Pengujian Gesek, Aus dan Lentur pada Kampas Rem Tromol Sepeda Motor. *Jurnal Bina Teknika*.



SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) ALIRAN FLUIDA PADA SISTEM PERPIPAAN UNTUK DESALINASI AIR LAUT

Handika Yanu Wijaya¹, Joko Setiyono², Sunny Ineza Putri³

^{1,2}Universitas Pamulang, ³Universitas Riau

E-mail : ¹handikayanuwijaya@gmail.com, ²dosen00889@gmail.com, ³sunnyinezap@gmail.com

Masuk : 7 Februari 2024

Direvisi : 16 Maret 2024

Disetujui : 7 April 2024

Abstrak: Proses desalinasi air laut merupakan solusi potensial untuk mengatasi kekurangan air bersih di berbagai daerah. Dalam penelitian ini diusulkan perpipaan untuk komponen alat desalinasi air laut sebagai transportasi air. penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan perpipaan yang cocok digunakan untuk mengalirkan air laut dari tangki penampungan air menuju hot tank untuk desalinasi air laut. Pipa yang digunakan dalam percobaan memiliki ukuran 1/2 inch, 3/4 inch, dan 1 inch. Hasil perhitungan manual menunjukkan bahwa pipa dengan ukuran 1/2 inch memiliki pressure drop tertinggi sebesar 28.595 Pa, sedangkan pipa dengan diameter 1 inch memiliki pressure drop terendah sebesar 19.826 Pa. Metode Simulasi menggunakan Ansys memperlihatkan hasil yang sejalan, dengan pressure drop tertinggi pada pipa 1/2 inch sebesar 29.210 Pa dan terendah pada pipa 1 inch sebesar 20.330 Pa. dari hasil tersebut menunjukkan bahwa dimana semakin kecil pipa, maka semakin besar penurunan tekanannya dan semakin besar laju alirnya maka semakin besar penurunan tekanannya. Perbedaan antara hasil perhitungan matematis dan simulasi menunjukkan variasi maksimum sebesar 9,09% dan minimum sebesar 3,02%. Faktor seperti properti material, kondisi batas, dan meshing yang digunakan dalam simulasi turut mempengaruhi hasil. Adanya perbedaan antara perhitungan manual dan simulasi Meskipun demikian, beberapa faktor seperti asumsi yang berbeda dan non-linearitas sistem dapat berkontribusi pada perbedaan hasil yang teramati.

Kata kunci: Perpipaan, *Pressure Drop*, Desalinasi Air Laut, Simulasi.

Abstract: The seawater desalination process is a potential solution to overcome the shortage of clean water in various regions. In this study, piping is proposed for seawater desalination equipment components as water transportation. This study aims to propose piping that is suitable for transporting seawater from the water storage tank to the hot tank for seawater desalination. The pipes used in the experiment have sizes of 1/2 inch, 3/4 inch, and 1 inch. The results of manual calculations show that a pipe with a size of 1/2 inch has the highest pressure drop of 28,595 Pa, while a pipe with a diameter of 1 inch has the lowest pressure drop of 19,826 Pa. The Simulation Method using Ansys shows consistent results, with the highest pressure drop in a 1/2 inch pipe of 29,210 Pa and the lowest in a 1 inch pipe of 20,330 Pa. from these results it shows that the smaller the pipe, the greater the pressure drop and the greater the flow rate, the greater the pressure drop. The difference between the mathematical calculation and simulation results shows a maximum variation of 9.09% and a minimum of 3.02%. Factors such as material properties, boundary conditions, and meshing used in the simulation also affect the results. There are differences between manual calculations and simulations. However, several factors such as different assumptions and system non-linearity can contribute to the differences in the observed results.

Keywords: Piping, *Pressure Drop*, Seawater Desalination, Simulation.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan air bersih dalam kehidupan sehari-hari, serta kebutuhan pertanian dan industri, telah mendorong berkembangnya teknologi untuk mengubah air laut menjadi air yang dapat diminum. 97% hingga 97,5% air di permukaan bumi merupakan air asin, 2% diantaranya membeku di daerah kutub, dan 1% sisanya merupakan air tawar yang dapat digunakan untuk minum dan keperluan lainnya oleh manusia, hewan, dan lain-lain. Karena pesatnya peningkatan populasi manusia dan tidak memadainya pengolahan air kotor yang dihasilkan oleh limbah industri, yang menggunakan bahan kimia yang mencemari sumber air bersih, pasokan air minum dari sumber alami semakin berkurang dari hari ke hari [1].

Air payau atau air laut diubah menjadi air minum melalui proses yang disebut desalinasi. Di daerah yang sumber air bersihnya terbatas, desalinasi adalah solusinya. Desalinasi adalah proses menjadikan air payau atau air laut mencapai standar minum, yaitu 200-500 ppm atau kurang untuk total padatan terlarut. Dengan berkembangnya proses desalinasi termal selama 60 tahun terakhir dan perkembangan proses membran selama 40 tahun terakhir, desalinasi telah muncul sebagai sumber penting dalam produksi air minum [2].

Perpipaan merupakan sistem yang digunakan di pabrik dan kilang minyak untuk pemasangan atau pembangunan pipa. Pipa biasanya digunakan untuk memindahkan cairan dan gas dari satu lokasi ke lokasi lain, baik dengan atau tanpa menggunakan peralatan tambahan. Sesuai dengan kebutuhan yang diperlukan, sistem perpipaan akan mempermudah dan mempercepat pengangkutan cairan yang diinginkan [3].

Sebuah program komputer (perangkat lunak) yang disebut simulasi meniru tindakan sistem asli. Simulasi digunakan untuk pelatihan dan penelitian perilaku sistem. Simulasi adalah abstraksi atau pengulangan permasalahan dunia nyata ke dalam model matematika. Dengan menggunakan model sistem nyata, simulasi merupakan suatu pendekatan untuk melakukan eksperimen.

Komputer digunakan dalam dinamika fluida komputasi (CFD) untuk menghasilkan data tentang bagaimana fluida mengalir dalam kondisi tertentu. CFD digunakan untuk meramalkan aliran fluida dalam sistem tertentu dalam keadaan yang telah ditentukan. Banyak bidang akademik, termasuk matematika, ilmu komputer, fisika, dan teknik, tercakup dalam CFD. Baik profesional maupun akademisi semakin banyak menggunakan perangkat lunak CFD untuk mendukung proses desain. Agar dapat menghasilkan hasil yang akurat, CFD ini mencoba memberikan metode simulasi yang tepat. Temuan ini diharapkan dapat mengatasi permasalahan yang dihadapi oleh praktisi dan akademisi saat menggunakan metode CFD untuk merancang [4].

Beberapa penelitian terdahulu simulasi aliran fluida menggunakan program *Computational Fluid Dynamics* (CFD) melalui perangkat lunak FLUENT untuk menganalisis pengaruh geometri komponen pipa dan kekasaran permukaan pipa terhadap kinerja pompa dan penurunan tekanan yang terjadi. Hasil simulasi tersebut memberikan informasi berharga untuk mengoptimalkan desain sistem perpipaan guna meningkatkan efisiensi aliran fluida dan mengurangi kerugian tekanan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

METODOLOGI

2.1 Alat

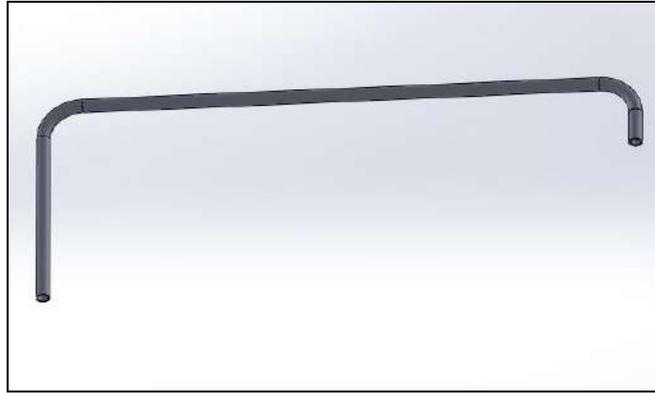
Dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak Solidworks 2024 dan Ansys Fluent 2024 R1, laptop ASUS A407U digunakan untuk merancang dan mensimulasikan perpipaan untuk desalinasi air laut. Karakteristik laptop ini meliputi prosesor Intel Core i3 6006U dual-core yang berjalan pada 2 GHz, RAM 8 GB, HDD 1 TB, layar 14 inci dengan 1366 x 768 piksel, Windows 10 64-bit, dan grafis Intel HD Graphics 520 dengan Memory 2 GB. Desain perpipaan 3D dibuat dengan perangkat lunak Solidworks, dan distribusi aliran fluida sistem dihasilkan dengan mensimulasikan desain dengan Ansys menggunakan pendekatan *Computational Fluid Dynamics*.

2.2 Bahan

Komponen utama sistem perpipaan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pipa PVC ukuran 1/2 inch, 3/4 inch, dan 1 inch untuk distribusi dan aliran fluida, sambungan pipa untuk menyambung dua pipa menggunakan ulir atau pengelasan, siku pipa 90 derajat untuk mengubah arah aliran, dan tee untuk menghubungkan pengukur tekanan. Selain itu, sensor pengukur aliran digunakan untuk mendeteksi laju aliran, dan pengukur tekanan digunakan

untuk mengukur tekanan fluida. Katup bola digunakan untuk kontrol aliran, yang memungkinkan aliran terbuka atau tertutup sepenuhnya.

2.3 Desain Alat Pipa



Gambar 1. Gambar Desain Pipa Menggunakan Solidworks

2.4 Metode Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dengan mengolah data berdasarkan aspek teknis, berikut adalah tahapan perhitungan yang dapat dilakukan :

2.4.1 Debit Aliran Fluida

Debit aliran fluida adalah volume fluida yang mengalir melalui suatu penampang dalam waktu tertentu, dan dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [5].

$$Q = \frac{v}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan : Q = Debit aliran (m³/s)
v = Volume (m³)
t = Selang waktu (s)

2.4.2 Laju Aliran Fluida

Laju aliran fluida adalah jarak yang ditempuh oleh fluida dalam waktu tertentu. Laju aliran fluida secara sistematis dapat dinyatakan dengan persamaan berikut [6].

$$V = \frac{Q}{2,448 \times D} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan : V = laju aliran (m/s)
Q = debit aliran (m³/s)
D = diameter dalam pipa (m)

2.4.3 Viskositas

Viskositas adalah metrik yang menunjukkan ketebalan suatu cairan dan, akibatnya, tingkat gesekannya. Selain membuat cairan lebih sulit mengalir, viskositas yang lebih tinggi juga membuat objek lebih sulit bergerak di dalam cairan. Viskositas fluida yang mengalir melalui pipa diukur berdasarkan persamaan [7]:

$$\mu = \frac{\pi \times r^2 \times t \times P}{8 \times v \times L} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan : r = Jari-jari dalam pipa (m)
 t = Waktu (s)
 P = Tekanan (kgf/m²)
 v = Volume fluida (m³)
 L = Panjang pipa (m)

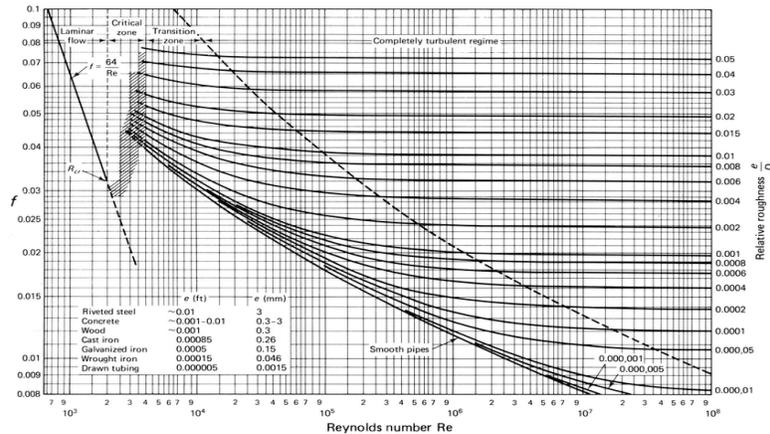
2.4.4 Bilangan Reynold

Bilangan Reynolds digunakan untuk menunjukkan karakteristik utama aliran, termasuk apakah aliran tersebut laminar, turbulen, atau transisi, serta di mana aliran tersebut berada pada skala yang menunjukkan seberapa penting kecenderungan turbulen dibandingkan dengan kecenderungan laminar. Rumus untuk menghitung bilangan Reynolds [8]:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan : ρ = Massa jenis fluida (kg/m³)
 V = Laju aliran fluida (m/s)
 D = Diameter dalam pipa (m)
 μ = Viskositas (kg/ms)

2.4.5 Faktor Gesekan



Gambar 2. Diagram Moody

Dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy-Weisbach, diagram Moody telah digunakan untuk memecahkan masalah aliran fluida dalam pipa. Faktor gesekan berkorelasi dengan bilangan Reynolds dalam aliran laminar ketika bilangan Reynolds kurang dari 2300., menurut Streeter (1992) dinyatakan dengan rumus:

$$f = \frac{64}{Re} \dots \dots \dots (5)$$

Diagram Moody juga sebagai fungsi dari bilangan Reynolds dan kekasaran relatif digunakan untuk menentukan nilai faktor gesekan untuk aliran turbulen. Nilai tersebut dapat diamati dalam diagram Moody sebagai fungsi dari diameter pipa nominal dan kekasaran permukaan bagian dalam (e), yang bergantung pada jenis komponen pipa [9].

2.4.6 Pressure Drop

Istilah *pressure drop* mengacu pada pengurangan tekanan dari satu titik dalam aliran air atau pipa. Secara matematis, *pressure drop* pada pipa adalah sebagai berikut [10]:

$$\Delta p = f \frac{l}{D} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \dots \dots \dots (6)$$

- Keterangan : ΔP = *pressure drop* (Pa)
 l = panjang pengukuran tekanan pada pipa (m)
 D = diameter pipa (m)
 ρ = densitas fluida (kg/m³)
 v = laju aliran fluida (m/s)

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Data Dan Perhitungan

Berdasarkan analisis, di bawah ini merupakan data sheet dari pipa penyalur

Tabel 1. Data Sheet Dari Pipa Penyalur

Fluida	Air Laut
Lokasi Jalur Pipa	Dari tangki Penampungan Air Ke Hot Tank
Panjang pipa	161 cm
Ukuran pipa	1/2 Inch, 3/4 inch, 1 Inch
Kecepatan Aliran	(500 ml) = 2,48 s, (750 ml) = 3,76 s
Material	PVC
Valve	1 Units
Siku Pipa	2 Units
Tekanan Kerja	0,492.148 kgf/m ² (0.7 Psi)

pada perhitungan matematis, total keseluruhan *pressure drop* pada diameter pipa 1/2 inch, 3/4 inch, dan 1 inch. Pada variasi volume 500 ml dan 750 ml, Data menunjukkan bahwa dimana semakin kecil pipa, maka semakin besar penurunan tekanannya dan semakin besar laju alirnya maka semakin besar penurunan tekanannya. Dan volume fluida yang berbeda menghasilkan nilai *pressure drop* yang berbeda pula. Hal ini terjadi karena variasi volume memengaruhi kecepatan aliran, yang berkontribusi pada perubahan nilai *pressure drop* meskipun diameter pipa tetap konstan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Matematis *Pressure Drop* Pada Variasi 500 mL

Ukuran Pipa	Pressure Drop
1/2 inch	28.595 Pa
3/4 inch	26.090 Pa

1 inch	20.238 Pa
--------	-----------

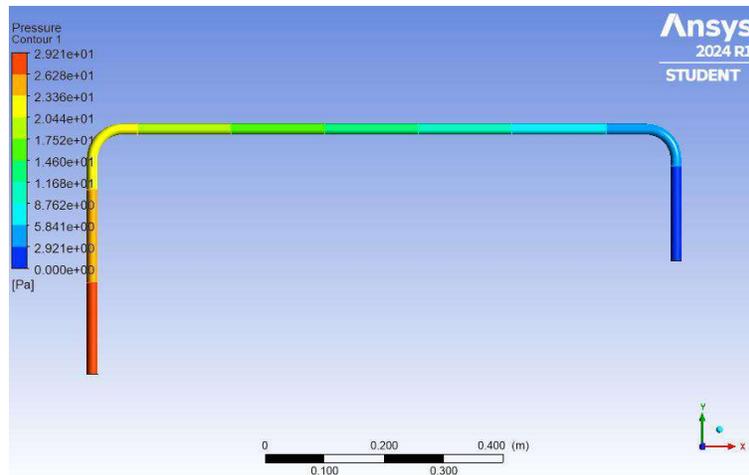
Tabel 3. Hasil Perhitungan Matematis Pressure Drop Pada Variasi 750 mL

Ukuran Pipa	Pressure Drop
1/2 inch	27.971 Pa
3/4 inch	25.534 Pa
1 inch	19.826 Pa

3.2 Hasil Simulasi

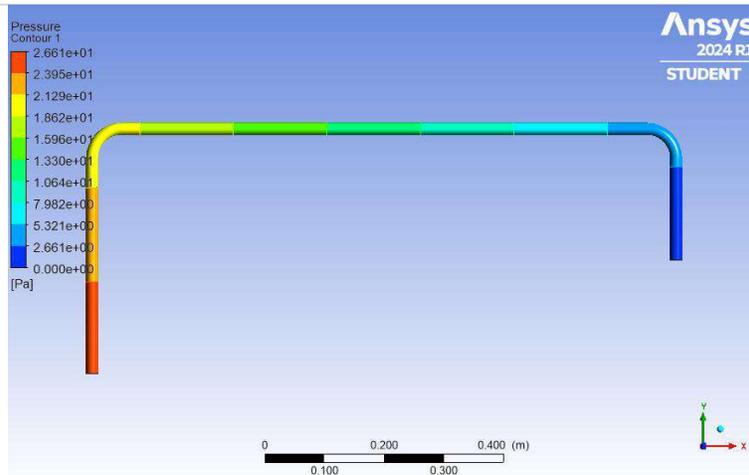
Berdasarkan analisis, di bawah ini merupakan simulasi perpipaan dengan ukuran 1/2 inch, 3/4 inch, dan 1 inch. Dengan variasi 500 ml dan 750 ml

3.2.1 Hasil Simulasi Pada Variasi 500 ml



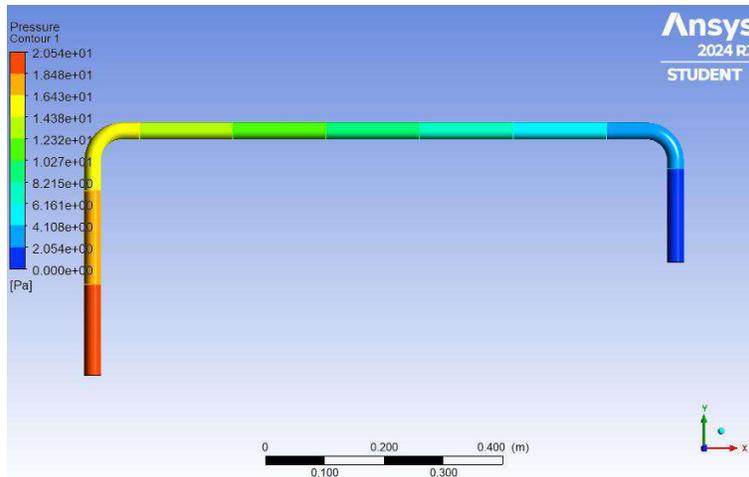
Gambar 3. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 1/2 Inch Pada Variasi 500 mL

Pada Gambar 3, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 29.210 Pa sampai dengan 20.440 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 17.520 Pa sampai dengan 2.921 Pa.



Gambar 4. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 3/4 Inch Pada Variasi 500 mL

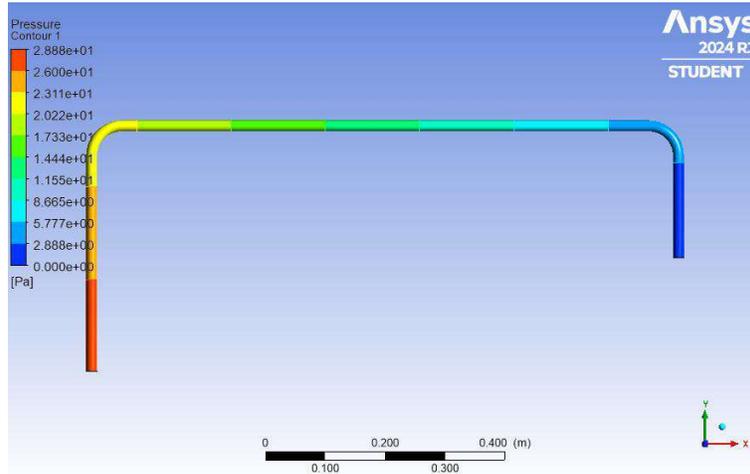
Pada Gambar 4, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 26.610 Pa sampai dengan 18.620 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 15.960 Pa sampai dengan 2.661 Pa.



Gambar 5. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 1 Inch Pada Variasi 500 mL

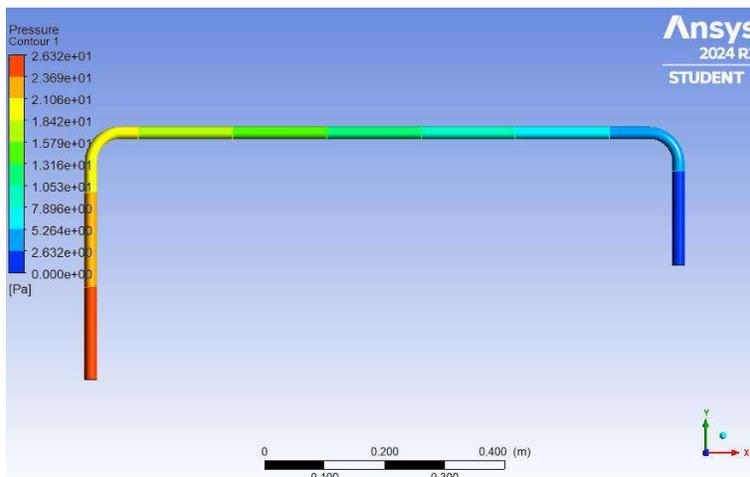
Pada Gambar 5, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 20.540 Pa sampai dengan 14.380 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 12.320 Pa sampai dengan 2.054 Pa.

3.2.2 Hasil Simulasi Pada Variasi 750 ml



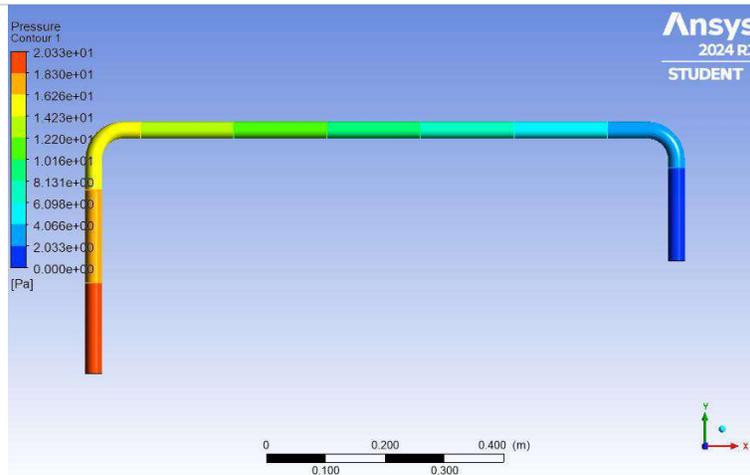
Gambar 6. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 1/2 Inch Pada Variasi 750 mL

Pada Gambar 6, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 28.880 Pa sampai dengan 20.220 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 17.330 Pa sampai dengan 2.888 Pa.



Gambar 7. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 3/4 Inch Pada Variasi 750 mL

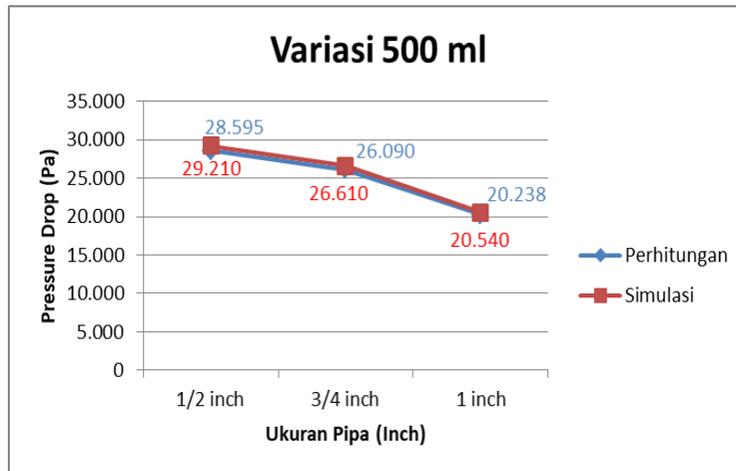
Pada Gambar 7, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 26.320 Pa sampai dengan 18.420 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 15.790 Pa sampai dengan 2.632 Pa.



Gambar 8. Aliran Pressure Drop Pada Pipa 1 Inch Pada Variasi 750 mL

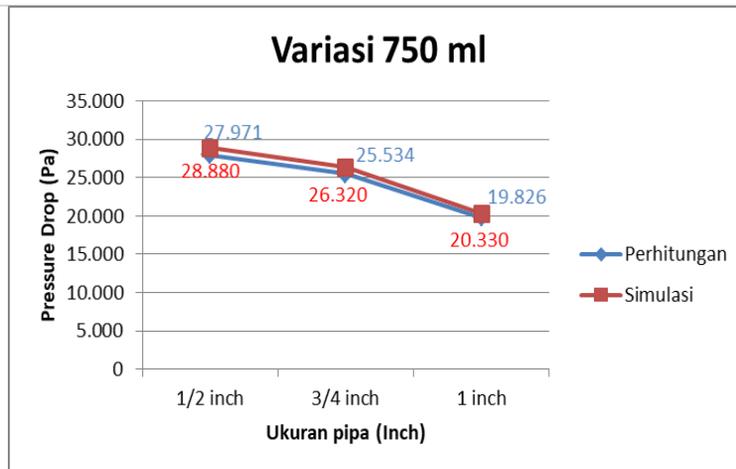
Pada gambar 8, besar tekanan pada aliran masuk sebesar 20.330 Pa sampai dengan 14.230 Pa, saat fluida melewati belokan (Elbow) tekanan menurun hingga mencapai aliran keluar sebesar 12.200 Pa sampai dengan 2.033 Pa.

3.3 Perbandingan Perhitungan Dan Simulasi



Grafik 1. Perbandingan Perhitungan Dan Simulasi Pada Variasi 500 mL

Pada perhitungan matematis, pipa dengan nilai pressure drop tertinggi adalah pipa 1/2 inch dengan nilai sebesar 28.595 Pa, sedangkan pada simulasi, 1/2 inch memiliki nilai pressure drop tertinggi sebesar 29.210 Pa. Sementara itu, pipa dengan nilai pressure drop terendah pada perhitungan adalah 1 inch dengan nilai 20.238 Pa, dan pada simulasi pipa 1 inch memiliki nilai pressure drop terendah sebesar 20.540 Pa.



Grafik 2. Perbandingan Perhitungan Dan Simulasi Pada Variasi 500 mL

Pada perhitungan matematis, pipa dengan nilai pressure drop tertinggi adalah pipa 1/2 inch dengan nilai sebesar 27.971 Pa, sedangkan pada simulasi, 1/2 inch memiliki nilai pressure drop tertinggi sebesar 28.880 Pa. Sementara itu, diameter pipa dengan nilai pressure drop terendah pada perhitungan adalah 1 inch dengan nilai 19.826 Pa, dan pada simulasi pipa 1 inch memiliki nilai pressure drop terendah sebesar 20.330 Pa.

KESIMPULAN

Dalam analisis ini, pengaruh pressure drop terhadap aliran air laut melalui pipa dengan ukuran 1/2 inch, 3/4 inch, dan 1 inch, memberikan wawasan penting mengenai hubungan antara ukuran pipa dan kecepatan aliran. Data menunjukkan bahwa dimana semakin kecil pipa, maka semakin besar penurunan tekanannya dan semakin besar laju alirnya maka semakin besar penurunan tekanannya.

Analisis juga dilakukan pada variasi volume fluida sebanyak 500 ml dan 750 ml dengan ukuran pipa yang tetap konstan. Hasil menunjukkan bahwa volume fluida yang berbeda menghasilkan nilai pressure drop yang berbeda pula. Hal ini terjadi karena variasi volume memengaruhi kecepatan aliran, yang berkontribusi pada perubahan nilai pressure drop meskipun diameter pipa tetap konstan.

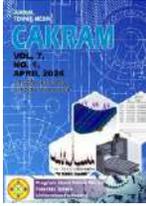
Pada simulasi Ansys dengan variasi volume 500 ml, nilai pressure drop pada pipa 1/2 inch adalah 29.210 Pa, pipa 3/4 inch adalah 26.610 Pa, dan pipa 1 inch adalah 20.540 Pa. Sedangkan pada volume 750 ml, nilai pressure drop pada pipa 1/2 inch adalah 28.880 Pa, pipa 3/4 inch adalah 26.320 Pa, dan pipa 1 inch adalah 20.330 Pa.

Perbandingan antara perhitungan matematis dan simulasi Ansys menunjukkan adanya perbedaan hasil dengan deviasi maksimum sebesar 9,09% dan deviasi minimum sebesar 3,02%. Simulasi dilakukan dengan memperhatikan berbagai parameter seperti property, material, kondisi batas, dan meshing yang sesuai untuk mendapatkan hasil yang mendekati perhitungan manual. Meskipun demikian, beberapa faktor seperti asumsi yang berbeda dan non-linearitas sistem dapat berkontribusi pada perbedaan hasil yang teramat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Siregar, W. S. Damanik, and S. Lubis, "Analisa Energi pada Alat Desalinasi Air Laut Tenaga Surya Model Lereng Tunggal," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 193, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.21.
- [2] A. A. Ragetisvara and H. S. Titah, "Studi Kemampuan Desalinasi Air Laut Menggunakan Sistem Sea Water Reverse Osmosis (SWRO) pada Kapal Pesiar," *J. Tek. ITS*, vol. 10, no. 2, 2021, doi: 10.12962/j23373539.v10i2.63933.
- [3] A. Fathoni, P. Subekti, and L. Hakim, "Pembuatan dan Pengujian Alat Uji Sistim Perpipaan Skala Laboratorium," *Aptek*, vol. 14, no. 2, pp. 87–93, 2022, doi: 10.30606/aptek.v14i2.1280.
- [4] M. M. Bhatti, M. Marin, A. Zeeshan, and S. I. Abdelsalam, "Editorial: Recent Trends in Computational Fluid Dynamics," *Front. Phys.*, vol. 8, no. October, pp. 1–4, 2020, doi: 10.3389/fphy.2020.593111.

-
- [5] J. Malau and T. Sitepu, “Analisa Pressure Drop pada Sistem Perpipaan Fuel Oil Boiler pada PT.PLN Pembangkitan Sumatera Bagian Utara Sicanang-Belawan dengan Menggunakan Pipe Flow Expert,” *J. e-Dinamis*, vol. 3, no. 3, pp. 164–171, 2012.
- [6] E. Yohana and I. A. Saputra, “Analisa Pressure Drop Dalam Instalasi Pipa Pt.Pertamina Drilling Services Indonesia Dengan Pendekatan Bingham Plastic,” *Rotasi*, vol. 17, no. 4, p. 170, 2015, doi: 10.14710/rotasi.17.4.170-174.
- [7] P. Lumbantoruan and E. Yulianti, “Pengaruh Suhu terhadap Viskositas Minyak Pelumas (Oli),” *J. Sainmatika*, vol. 13, no. 2, pp. 26–34, 2016.
- [8] H. M. Hariyono, Gatut Rubiono, “STUDY EKSPERIMENTAL PERILAKU ALIRAN FLUIDA Jurnal Prodi Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi Jurnal Prodi Teknik Mesin Universitas PGRI Banyuwangi,” *J. Prodi Tek. Mesin Univ. PGRI Banyuwangi*, vol. 1, no. 1, pp. 1–4, 2016.
- [9] B. Santosa, “Analisa Optimasi Analisa Optimasi Diameter Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih Dengan Menggunakan Software EPANET, LINGO di Jalur Sentul City PDAM Tirta Kahuripan Kabupaten Bogor,” *Rekayasa Sipil*, vol. 14, no. 2, pp. 136–142, 2020, doi: 10.21776/ub.rekayasipil.2020.014.02.8.
- [10] Nurnawaty and Sumardi, “Analisis Perubahan Tinggi Tekanan Akibat Sudut Belokan 900 Dan 450 Dengan Menggunakan Fluid Friction Apparatus,” *J. Tek. Hidro*, vol. 13, no. 1, pp. 28–37, 2020.



ANALISA PENGARUH JUMLAH SUDU TURBIN PENGGERAK MIKRO HIDRO TERHADAP DAYA YANG DIHASILKAN DARI GENERATOR

Wahrul Andrian Maulana¹, Ihat Solihat²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No. 1, Tangerang Selatan,
Indonesia

E-mail : andrianredmi52@gmail.com¹

Masuk : 26 Januari 2024

Direvisi : 18 Februari 2024

Disetujui : 8 April 2024

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah salah satu pilihan untuk penyediaan listrik ke desa-desa terutama yang tidak terhubung dengan jaringan PLN. Pada dasarnya mikrohidro memanfaatkan potensi air terjun. Semakin tinggi air terjun maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin *archimedes screw* sehingga di hasilkan daya output generator tertinggi dan nilai efisiensi maksimum. Metode yang digunakan dengan langsung mendisain dan mengukur langsung daya output dan efisiensi yang dihasilkan. Dengan memvariasikan sudu turbin 7, 9, dan 11 menghasilkan daya output 3,612Watt, 2,373Watt, dan 1,298Watt. Dari hasil penelitian ini diperoleh efisiensi maksimum sebesar 16,8% pada jumlah sudu turbin 7 sedangkan yang paling rendah pada jumlah sudu 11 yaitu 6,43%.

Kata kunci: PLTMH, Turbin, Archimedes Screw, Daya Output, efisiensi

Abstract: Microhydro Power Plants (PLTMH) are one of the options for providing electricity to villages, especially those not connected to the PLN grid. Essentially, microhydro utilizes the potential of waterfalls. The higher the waterfall, the greater the potential energy of the water that can be converted into electrical energy. The aim of this research is to analyze the effect of the number of blades on the performance of the Archimedes screw turbine to achieve the highest generator output power and maximum efficiency. The method used involves designing and directly measuring the output power and efficiency produced. By varying the turbine blades to 7, 9, and 11, the output power obtained was 3.612 watts, 2.373 watts, and 1.298 watts, respectively. The results of this study show that the maximum efficiency of 16.8% was achieved with 7 turbine blades, while the lowest efficiency of 6.43% was obtained with 11 turbine blades.

Keywords: Microhydro Power Plant, Turbine, Archimedes screw, Output power, Efficiency

PENDAHULUAN

Dalam usaha meningkatkan mutu kehidupan serta pertumbuhan ekonomi di perkampungan, energi listrik mempunyai peranan yang sangat vital. Kebutuhan energi masyarakat pedesaan terpelosok berguna untuk memasak, penerangan, serta lainnya. Umumnya berasal dari energi yang tidak bisa diperbaharui (seperti minyak) [1]. Sehingga air sifatnya penting untuk dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Karena hampir semua wilayah Indonesia mempunyai sumber air yang begitu melimpah. Dengan ini Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah salah satu pilihan untuk penyediaan listrik ke desa-desa terutama yang tidak terhubung dengan jaringan PLN. Pada dasarnya mikrohidro memanfaatkan potensi air terjun semakin besar jatuhnya air terjun semakin besar energi potensial air yang bisa dirubah ke energi listrik [2].

Ada beberapa jenis turbin yang digunakan di pembangkit listrik tenaga mikro hidro, disini yang digunakan ialah turbin screw. Turbin *Archimedes screw* atau nama lain disebut sebagai turbin ulir ialah teknologi yang sudah muncul dan digunakan di zaman kuno sebagai pompa, bentuknya meliputi satu atau beberapa bilah heliks di poros dan digunakan sebagai bucket yang dapat membawa air keatas. Hingga berjalan dengan waktu manfaat dari sumber potensi energi air dengan head rendah, sehingga turbin Archimedes ditetapkan sebagai turbin air[3].

PLTMH memanfaatkan energi air yang dihasilkan dari air terjun, sungai, atau bendungan untuk turbin agar bergerak yang kemudian mendapatkan energi listrik [4]. Dan disemua wilayah Indonesia melimpahakan hal tersebut. Dengan itu, upaya untuk memanfaatkan air sebagai solusi/alternatif sumber energi terbarukan. Karena air dapat menyumbang energi yang sangat baik apabila dimanfaatkan dengan semestinya. Penelitian terdahulu tentang turbin *Archimedes screw* turbin yang dipakai mempunyai panjang 100 cm [5]. Dalam PLTMH ini jenis turbin yang digunakan adalah *Archimedes screw*, Beberapa penelitetelah menyelidiki berbagai faktor yang mempengaruhi kinerja dari turbin archimedes antara lain; kemiringan poros, jenis saluran, debit aliran, dan variasi sudut blade. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringanporos turbin optimal yaitu 35° , dengan sudut blade 28° , dengan panjang turbin 120cm [6]. Disinibentuk turbin yang dipakai lebih panjang dari penelitian terdahulu dengan panjang 124 cm, Dengan ukuran ini fluida yang mengalir di lintasan turbin bisa tahan lama putaranya untuk mengoperasikan turbin, yang bisa menaikkan efisiensi turbin. Turbin ulir *Archimedes* ini masih begitu jarang dipakai. Untuk menciptakan data Spesifikasi yang relevan pada turbin *Archimedes screw* ini susah diperoleh, sehingga perlu dibuat Pemodelan PLTMH memakai Turbin *Archimedes screw* ini, biar bisa dikerjakan pengujian yang berdekatan dengan parameter-parameter yang berpengaruh pada kinerja turbin *Archimedes screw* yaitu pengaruh jumlah sudu [5].

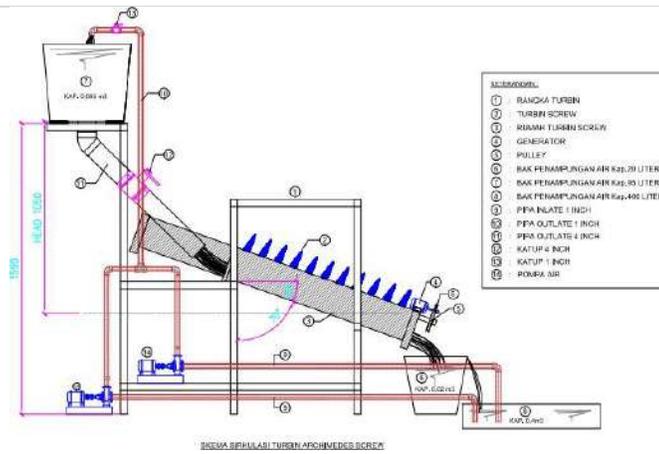
Pada penelitian ini akan dibahas dimana pengaruh jumlah sudu di efisiensi turbin *Archimedes screw*. Pengaruh sudu di turbin *Archimedes screw* divariasikan di sistem Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Microhydro (PLTMH) memakai jumlah 7 sudu, 9 sudu dan 11 sudu dengan panjang turbin 124 cm. Penelitian ini akan fokus terhadap arus (Ampere), tegangan (Volt), daya (Watt) yang didapat oleh generator.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan di Perumahan Bumi Jati Elok Jalan Raya Legok Parung Panjang, KM.2, Malang Nengah, Kec. Pagedangan, Kabupaten Tangerang, Banten 15330.

2.1 Skema Alat:

Pengujian ini menggunakan pemodelan PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hydro). Gambar PLTMHbisa dilihat pada gambar dibawah:



2.2 Alat dan Teknik Pengambilan Data

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Tachometer

Tachometer atau yang biasa kita sebut merupakan petalatan pengujian yang bertujuan menghitung kecepatan rotasi dari sebuah objek khususnya jumlah putaran yang dihasilkan oleh sebuah poros turbin dalam satu satuan waktu.



Gambar 1. Tachometer

b. Multi Tester

Multimeter adalah alat ukur yang memiliki fungsi untuk mengukur tegangan listrik, arus listrik, dan tahanan (resistansi). Lalu berjalan dengan perkembangannya bisa digunakan untuk beberapa fungsi seperti mengukur temperatur, induktansi, frekuensi, dan sebagainya. Gambar multi tester bisa dilihat pada gambar



Gambar 2. Multitester

c. Dinamo generator

Dinamo/Generator adalah sebuah perangkat yang dapat menghasilkan energi listrik. Untuk menghasilkan energi listrik dari putaran turbin perangkat turbin harus menggunakan generator. Prinsip kerja generator adalah mengubah energi mekanis menjadi energi listrik.



Gambar 3. Dinamo Generator

d. Penggaris

Penggaris adalah salah satu jenis alat ukur untuk mengetahui dimensi panjang sebuah benda.

e. Busur

Busur dalam matematika adalah kurva lengkung yang berimpit dengan lingkaran, selain itu bisa juga sebagai alat ukur dan membentuk sudut.

2.3 Metode Pengujian

1. Bak penampungan air bawah diisi hingga penuh lalu nyalakan pompa jenis SHIMIZU SEMI JET Model JET-108 BIT agar mendorong air ke penampungan atas yang mengalir melalui pipa hingga bak penampungan atas terisi air sebanyak 95L.
2. Katup bukaan yang dipakai 30 derajat.
3. Pengukuran terhadap kecepatan aliran air dan ketinggian jatuhnya air.
4. Sudu turbin 7 dipasang pada Prototype (PLTMH).
5. Pengujian alat dan mengukur daya (output) kuat arus (I) dan tegangan (V) pada dinamo/ generator
6. Sudu turbin 7 yang sudah dipasang dan di uji ditukar sama sudu turbin yang berjumlah 9.
7. Alat dioperasikan seperti yang pertama sama pada poin nomor 5
8. Sudu turbin 9 yang sudah dilakukan penelitian diganti sama sudu turbin yang 11.
9. Diuji ulang alat sama seperti yang pertama dan kedua dimana pengukuran sama seperti point no 5
10. Analisa data hasil uji dan membuat kesimpulan dari hasil uji tersebut yang sudah ditulis di logbook.
11. Laporan hasil analisis dan hasil uji debit, daya diholis, daya output, torsi dan efisiensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Alat

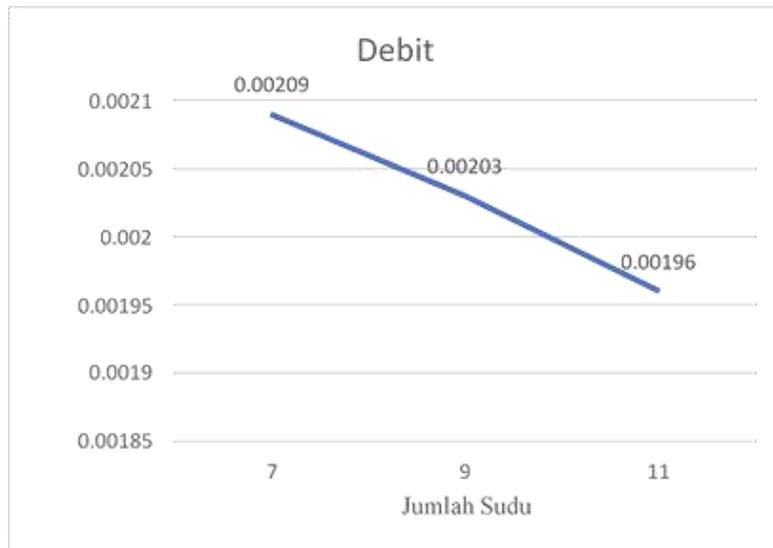
Dari hasil uji turbin didapat dari penggunaan alat ukur multimeter agar didapat tegangan dan kuat arus yang diperoleh rpm generator, untuk mendapatkan debit aliran digunakan rumus $Q=v/t$, dan untuk putaran turbin menggunakan tachometer.

Hasil pengukuran parameter-parameter pada turbin dengan bentuk jumlah sudu turbin terhadap daya keluaran/output yang didapat generator, dapat dilihat ditabel dibawah:

Tabel 1. Data pengukuran.

Jumlah sudu	Debit air (m ³ /s)	Tegangan (Volt)	Putaran turbin (Rpm)	Arus listrik (Amp)
7	0,00209	6,69	88,20	0,54
9	0,00203	5,16	82,10	0,46
11	0,00196	4,19	49,50	0,31

1. Jumlah Sudu Terhadap debit



Gambar 4. Jumlah Sudu Terhadap Debit

Makin banyak jumlah sudu makin lama air untuk memenuhi bak penampungan. Karena makin banyak jumlah sudu makin lama air berputar pada lintasan.

2. Jumlah Sudu Terhadap Daya Hidrolis

Sesuai analisis data hasil pengujian yang dilakukan dihubungkan dengan daya hidrolis

1. Perhitungan ke-1 dengan jumlah sudu 7

$$Pin = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00209 \cdot 1,05$$

$$= 21,50 \text{ watt}$$

2. Perhitungan ke-2 dengan jumlah sudu 9

$$P_{in} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00203 \cdot 1,05$$

$$= 20,88 \text{ watt}$$

3. Perhitungan ke-2 dengan jumlah sudu 11

$$P_{in} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h$$

$$= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00196 \cdot 1,05$$

$$= 20,16 \text{ watt}$$

3. Perhitungan Daya Output

1. Perhitungan ke-1 dengan sudu 7

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= 6,69 \cdot 0,54$$

$$= 3,612 \text{ watt}$$

2. Perhitungan ke-2 dengan sudu 9

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= 5,16 \cdot 0,46$$

$$= 2,373 \text{ watt}$$

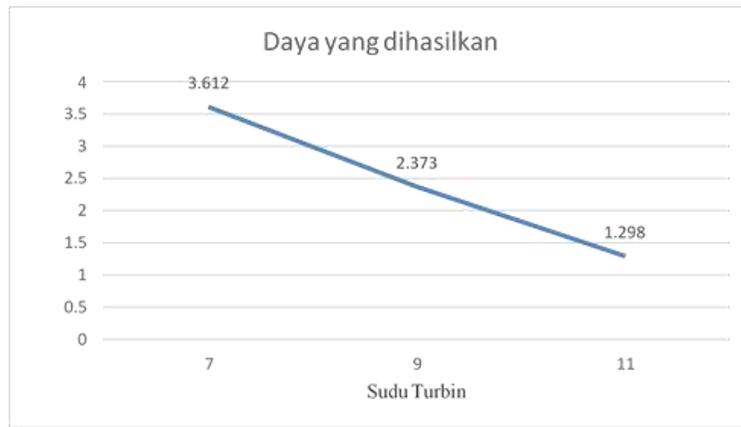
3. Perhitungan ke-3 dengan sudu 11

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= 4,19 \cdot 0,31$$

$$= 1,298 \text{ watt}$$

Hasil perhitungan diatas, kemudian dibuat grafik



Grafik 5. Jumlah Sudu Terhadap Daya Output

Dari grafik diatas terlihat bahwa jumlah sudu turbin sangat berpengaruh terhadap daya output yang diperoleh turbin. Itu dikarenakan tekanan terjadi diberikan sebuah gaya dan massa. Besarnya kenaikan fluida berbanding lurus dengan besar gaya dan massa fluida yang menabrak sisi blade semakin besar juga, karena itu dengan jumlah sudu turbin 7 tekanan fluida yang di alirkan akan semakin besar sehingga mempengaruhi daya output yang dihasilkan lebih besar. Dan makin besar debit air yang dialirkan makin besar juga daya yang diperoleh oleh PLTMH [7].

4. Perhitungan Torsi

1. Perhitungan ke-1 dengan sudu 7

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$T = \frac{3,612}{2,3,14 \frac{88,20}{60}}$$

$$T = 0,391 Nm$$

2. Perhitungan ke-2 dengan sudu 9

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$T = \frac{2,373}{2,3,14 \frac{82,10}{60}}$$

$$= 0,276 Nm$$

3. Perhitungan ke-3 dengan sudu 11

$$T = \frac{P}{2\pi \frac{N}{60}}$$

$$T = \frac{1,298}{2.3,14 \frac{49,50}{60}}$$

$$= 0,250 \text{ Nm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas semakin bertambah sudu semakin berkurang torsi yang dihasilkan karena volume bucket berkurang. Torsi ialah besaran yang besarnya gaya yang beroperasi di sebuah benda lalu membuat benda berputar. Torsi diakibatkan oleh gaya yang terjadi akibat adanya massa dan percepatan fluida yang juga dipengaruhi oleh jarak antar ulir pada turbin (Jasron et al., 2024). Ini dibuktikan pada turbin dengan sudut kemiringan poros 20° serta dengan debit aliran 0,00209 m³/s yang dihasilkan paling tinggi dilihat pada jumlah sudu turbin 7 yaitu memiliki nilai tertinggi mencapai 0,391 Nm. Sedangkan hasil terendahnya dapat dilihat pada jumlah sudu turbin 11 dengan nilai 0,250 Nm.

5. Perhitungan Torsi

Untuk mengetahui nilai efisiensi pada turbin dengan daya turbin dan daya air yang telah diketahui

Tabel 2. Data Efisiensi

Sudu	<i>Pin</i> (Watt)	<i>Pout</i> (Watt)
7	21,50	3,612
9	20,88	2,373
11	20,16	1,298

Berdasarkan Tabel diatas, maka untuk mengetahui efisiensi turbin dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

1. Perhitungan ke-1 dengan sudu 7

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{3,612}{21,50} \times 100\%$$

$$= 16,8 \%$$

2. Perhitungan ke-2 dengan sudu 9

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{2,373}{20,88} \times 100\%$$

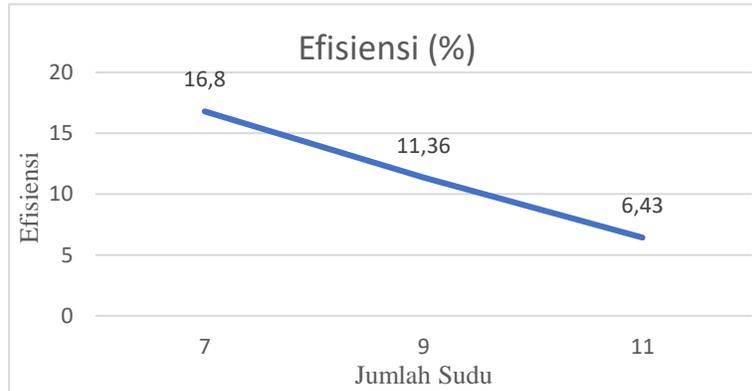
$$= 11,36 \%$$

3. Perhitungan ke-3 dengan sudu 11

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{1,298}{20,16} \times 100\%$$

$$= 6,43 \%$$



Grafik 6. Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi

Berdasarkan Dari grafik diatas variasi jumlah sudu turbin 7 mendapatkan efisiensi 16,8%, pada jumlah sudu 9 mendapatkan efisiensi 11,36% dan untuk jumlah sudu 11 mendapatkan efisiensi 6,43%. Dari penjelasan tersebut variasi jumlah sudu 7 mendapatkan efisiensi terbesar dibandingkan dengan variasi jumlah sudu 9 dan 11. Pada bagian sebelumnya sudah dibahas tentang pengaruh jumlah sudu turbin terhadap debit, daya hidrolis, daya output dan juga torsi dimana terlihat perubahan yang sangat signifikan. Parameter tersebut merupakan bagian utama dalam menentukan efisiensi turbin yang dimana makin sedikit jumlah sudu maka akan makin meninggikan efisiensi turbin

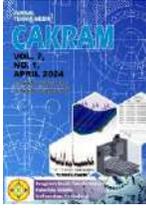
KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan jumlah sudu turbin air jenis *Archimedes*, maka dapat disimpulkan yaitu. Hasil pengujian pada jumlah sudu 7 daya yang dihasilkan/output paling besar hasilnya dikomparasikan dengan jumlah sudu 9 dan 11, dimana daya hidrolis yang dihasilkan 21,50 watt, daya output 3,612watt dan torsi yang dihasilkan sebesar 0,391 Nm. Di pengujian ini efisiensinya terbesar ialah pada jumlah sudu 7 dibandingkan dengan jumlah sudu 9 dan 11 yaitu sebesar 16,8%, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada jumlah sudu 11 yaitu sebesar 6,43 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Dimiyati, "Studi kelayakan potensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro di desa setren kecamatan slogoimo kabupaten wonogiri," *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 1–10, 2015.
- [2] M. Tebai, F. Hunaini, and M. Mukhsim, "Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Portable

-
- Menggunakan Metode Archimedes Screw Pada Daerah Pedalaman Papua,” *JASEE J. Appl. Sci. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 01, pp. 29–39, 2022.
- [3] I. G. W. Putra, A. I. Weking, and L. Jasa, “Analisa Pengaruh Tekanan Air Terhadap Kinerja PLTMH dengan Menggunakan Turbin Archimedes Screw,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 17, no. 3, p. 385, 2018.
- [4] S. Al-Amin, “Pengaruh Jumlah Sudu Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Whirlpool Terhadap Daya Yang Dihasilkan.” 2020.
- [5] A. Nurdin and D. A. Himawanto, “Kajian teoritis uji kerja turbin archimedes screw pada head rendah,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 783–796, 2018.
- [6] J. U. Jasron, W. M. A. Silla, and G. Gusnawati, “Pengaruh Jarak Antar Ulir Terhadap Daya Output Pada Turbin Archimedes Screw,” *J. Inov. Teknol. Terap.*, vol. 2, no. 1, pp. 154–159, 2024, doi: 10.33504/jitt.v2i1.219.
- [7] Ihat Solihat, “Rancang Bangun Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh),” *Inov. Ilmu Pengetah. dan Teknol.*, vol. 1, no. 2, pp. 7–14, 2020, [Online]. Available: <https://garuda.kemdikbud.go.id/documents/detail/3511089>



EFEK PEMBERIAN CAMPURAN CUKA DAN AIR GARAM TERHADAP LAJU KOROSI MATERIAL SS HL 201 DAN SS HL 304

Farid Wazdi

¹Universitas Pamulang

E-mail : dosen02301@unpam.ac.id

Masuk : 26 Desember 2023

Direvisi : 18 Maret 2024

Disetujui : 8 April 2024

Abstrak: : Korosi pada stainless steel adalah kromium oksida, yang terbentuk pada permukaan material karena afinitas tinggi kromium untuk bergabung dengan oksigen. Laju korosi ini akan dipengaruhi oleh media pengkorosian oleh karena itu pemilihan material yang tepat akan menghemat biaya produksi dan perawatannya sehingga mengurangi biaya produksi. Salah satu jenis material yang cukup menarik untuk diteliti adalah SS HL 201 dan SS HL 304 karena sifatnya yang tahan karat. Maka dari itu, perlu dilakukan pengujian korosi untuk mengetahui ketahanan korosi pada masing-masing material SS HL 201 dan SS HL 304. Lapisan kromium oksida ini bersifat pasif (tidak aktif secara kimiawi), kuat (melekat kuat pada permukaan baja tahan karat), dan dapat diperbarui sendirimetodologi penelitian dilakukan dengan cara korosi paksa menggunakan sistem *elektrokimia* dengan media larutan campuran cuka dan air garam, dengan variasi waktu dan tegangan yang berbeda setiap pengujianya kemudian hasil korosinya dengan pengambilan gambar menggunakan optik dan SEM. Perhitungan penelitian dengan menggunakan rumus CR (*Corrosion Rate*) dimana konstanta *faraday* 96500 C/mol, *atomic weight* = 288,16 kg/mol, *electron valensi* 2, *density material* 7800 kg/m³ dan nilai berubah-ubah sesuai dengan tegangan yang telah ditentukan. Pada pengujian laju korosi masing-masing plat SS HL 201 dalam sembilan kali pengujian spesimen yang diberi tegangan dari - 16 volt dengan proses oksidasi oleh media campuran larutan garam dan cuka memiliki nilai rata-rata laju korosi oksidasi oleh media campuran larutan garam dan cuka memiliki rata-rata laju korosi (*corrosion rate*) 1,0434386 mm³/s. Pada pengujian laju korosi setiap plat SS HL 304 dalam Sembilan kali pengujian spesimen yang diberi tegangan dari 3 – 13 volt, dengan proses oksidasi oleh media campuran larutan garam dan cuka memiliki nilai rata-rata laju korosi 0,9725707 mm³/s

Kata kunci: Laju Korosi, Stainless Steel, Larutan Garam, Larutan Cuka, Plat SS HL 201, Plat SS HL 304

Abstract: Corrosion on stainless steel is chromium oxide, which forms on the surface of the material due to the high affinity of chromium to combine with oxygen. The rate of corrosion will be influenced by corrosive medium; therefore, selecting the right material will save production and maintenance costs, thus reducing production expenses. One type of material that is quite interesting to research is SS HL 201 and SS HL 304 because of their corrosion-resistant properties. Therefore, corrosion testing need to be conducted to determine the corrosion resistance of each SS HL 201 and SS HL 304. This chromium oxide layer is passive (chemically inactive), strong (firmly adheres to the surface of the stainless steel), and can renew itself. The research methodology is carried out by forced corrosion using an electrochemical system with solution mixture of vinegar and saltwater, with variation in time and voltage for each test. The corrosion results are then documented using optical and SEM imaging. The research calculation use the MRR (Material Removal Rate) formula, where the faraday constant is 96500 C/mol, atomic weight is 288.16 kg/mol, valence electron are 2, material density is 7800 kg/m³ and 7930 kg/m³, and the current value according to the specified voltage. In the corrosion rate test for each SS HL 201 plate in nine test, specimen were subjected to voltages ranging from 1-16 volt with oxidation by saltwater and vinegar solution mixture, resulting in average corrosion rate (MRR) of 1.0434386 mm³/s. In the corrosion rate test each SS HL 304 plate in nine test, specimen were subjected to voltages, ranging from 3-13 volts with oxidation by saltwater and vinegar solution mixture, resulting in an average corrosion rate (MRR) of 0.925707 mm³/s

Keywords: Corrosion Rate, Stainless steel, Saltwater, Vinegar Water, SS HL 201 plate, SS HL 304 plate

PENDAHULUAN

Berdasarkan definisi dari DIN (Deutch Industrie Normen) pengelasan adalah proses metallurgi yang digunakan untuk menghubungkan beberapa batang logam paduan dengan cara melelehkannya dalam keadaan cair. Dalam proses ini, logam dasar dan logam pengisi dapat dilelehkan dengan atau tanpa pemberian tekanan, serta dapat melibatkan penggunaan logam tambahan. Hasil akhir dari proses pengelasan adalah sambungan logam yang bersifat kontinu. Dengan kata lain, pengelasan adalah teknik penyambungan logam yang menciptakan ikatan permanen dengan memanfaatkan energi panas. Penggunaan teknik pengelasan memiliki aplikasi yang sangat luas dalam berbagai sector, termasuk konstruksi dan mesin. Teknik ini digunakan dalam berbagai proyek seperti pembuatan kapal, konstruksi jembatan. Struktur baja, pembuatan bejana tekan, instalasi system perpipaan, industri otomotif dan berbagai bidang lainnya. Teknik pengelasan berperan penting dalam menghubungkan komponen logam untuk membentuk struktur yang kuat dan tahan lama dalam berbagai aplikasi. Penggunaan sambungan las sangat umum dalam konstruksi karena memberikan keuntungan berupa konstruksi yang ringan, ekonomis, dan cepat dalam pelaksanaannya [1]

Las GMAW (Gas Metal Arc Welding) adalah suatu metode penyambungan logam yang menggunakan energi listrik untuk menghasilkan panas yang diperlukan. Dalam proses pengelasan Gas Metal Arc Welding (GMAW), digunakan kawat las yang dibentangkan pada roll dan gas pelindung untuk melindungi logam las yang mencair selama proses. Energi panas dihasilkan melalui perpindahan ion anoda dan katoda pada logam dasar dan pengisi, menyebabkan logam induk dan filler metal mencair. Proses ini khususnya menggunakan gas pelindung CO₂ saat pengelasan baja karbon rendah, seperti pada baja ST 42. Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kuat arus pada pengelasan GMAW. Namun, setiap penelitian dapat memiliki variabel dan metodologi yang berbeda-beda, sehingga hasilnya juga dapat bervariasi. Adapun beberapa contoh penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang pengaruh arus pada pengelasan GMAW. Pengelasan GMAW baja tahan karat austenitik dipengaruhi kuat arus. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus dapat meningkatkan kekuatan tarik dan kekerasan, namun juga dapat menyebabkan retak pada daerah pengelasan. Pengaruh kuat arus pada pengelasan GMAW baja karbon rendah menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, namun juga dapat meningkatkan kekerasan daerah logam dasar dan meningkatkan risiko terjadinya porositas [2,3].

Penelitian tentang material baja ST42 dilakukan untuk mempelajari sifat-sifatnya dan bagaimana cara mengoptimalkan penggunaannya dalam berbagai aplikasi industri. Penelitian ini dapat mencakup pengujian kekuatan, kekerasan, keuletan, ketahanan, korosi, dan sifat-sifat mekanik lainnya. Dengan memahami sifat-sifat material baja ST.42 dengan lebih baik, bagi seorang produsen dapat mengembangkan teknik pembuatan yang lebih efisien dan efektif, dan mampu meningkatkan kualitas produk mereka, serta mengurangi biaya produksi. Selain itu, penelitian ini juga membantu seorang teknisi dalam mendesain struktur baja yang lebih aman dan efisien. Dengan mengetahui pengaruh kuat arus yang berbeda terhadap pengelasan GMAW, dapat membantu para ahli pengelasan dalam memilih nilai kuat arus yang tepat untuk setiap jenis logam dan aplikasi pengelasan yang berbeda, sehingga dapat menghasilkan hasil pengelasan yang berkualitas dan efisien.

Berdasarkan hasil penelitian untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu memerlukan pengontrolan secara *kontinou*, sehingga saat dilakukan pengelasan arus sering berubah-ubah. [4] Distribusi kekerasan dan struktur mikro yang terbentuk pada hasil las akibat kuat arus pengelasan dan tebal plat. [5]

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh kuat arus pada pengelasan GMAW. Namun, setiap penelitian dapat memiliki variabel dan metodologi yang berbeda-beda, sehingga hasilnya juga dapat bervariasi. Dari beberapa penelitian tersebut mengevaluasi kuat arus pada pengelasan GMAW baja karbon rendah. Hasilnya menunjukkan bahwa peningkatan kuat arus menghasilkan kekuatan tarik yang lebih tinggi, namun juga dapat meningkatkan kekerasan daerah logam dasar dan meningkatkan resiko terjadinya porositas.

Pada penelitian kali ini, peneliti mengambil hasil pengelasan dari plat baja ST.42 terhadap pengelasan GMAW, Untuk mengetahui besar kuat arus pengelasan GMAW yang lebih baik terhadap sambungan las pada baja St.42. selanjutnya di lakukan pengujian kekerasan dan mikrostruktur. Penentuan besarnya arus dalam pengelasan ini mengambil 70A, 75A dan 80A. Pengambilan Amper dimaksudkan sebagai pembanding dengan variabel arus yang akan di uji. Hasil dari penelitian ini memberikan informasi tentang analisa pengaruh kuat arus pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) pada plat ST.42. Memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan penentuan bahan material yang digunakan dan pengaruh variasi arus yang cocok untuk diterapkan pada pengelasan GMAW (Gas Metal Arc Welding) ditinjau dari hasil uji kekerasan dan mikro struktur. Bahan yang digunakan adalah plat baja ST.42.

METODOLOGI

Pengelasan merupakan bagian yang tidak dipisahkan dari pertumbuhan industri karena memegang peranan utama dalam rekayasa, konstruksi dan reparasi produksi logam. Pada penelitian ini dilakukan pengujian kekerasan dengan mesin merk CARSON MOPA03 menggunakan indentor *diamond cone/steel ball* dengan standar uji kekerasan Rockwell skala B, dan strukturmikro menggunakan mikroskop logam dengan pembesaran foto 200x sesuai standar uji ASTM. Untuk bahan menggunakan plat baja ST.42 ketebalan 5 mm yang dibuat kampuh V tunggal dan dilas dengan arus 70A, 75A dan 80A dengan pengelasan GMAW.

2.1 Metode Analisa Data

Analisis data yang digunakan dalam Penelitian ini adalah mengolah data yang di dapatkan dari hasil pengujian. Kemudian diolah dalam persamaan statistika yaitu mencari rata- rata (*mean*) sebagai berikut :

$$\text{Rata - rata (mean)} = \sum \frac{n}{N}$$

Dimana :

n = nilai

N = jumlah data tiap variable

Data yang diperoleh merupakan data yang bersifat kuantitatif berarti data berupa angka-angka yang selanjutnya disajikan dengan diagram. [6]

2.2 Analisa Mikostruktur

Pengujian mikrostruktur diameter lingkaran diukur dan perhitungan dilakukan untuk menentukan garis interior (n1) dan garis bersinggungan (n2) pada lingkaran tersebut dengan memanfaatkan tabel pengali Jefferies untuk pembesaran foto. Untuk menghitung butir-butir struktur yang hadir, rumus-rumus di bawah ini dapat digunakan. [7]

$$G = [3,32 \log(Na) - 2,95]$$

$$Na = f(n_1 + \frac{n_2}{2})$$

$$\text{Luas } 5000 \text{ mm}^2$$

$$L = \pi r^2$$

$$D = 2.r$$

$$L = 3,14 \cdot 4 = 50,24 \text{ m}^2$$

$$D = 2 \cdot 4 = 8 \text{ cm}$$

Sehingga diketahui :

G = (Besar butir dirujuk ke tabel jefferies untuk mencari nilai diameter butir μm)

N_a = (Jumlah butir perlite)

f = (Faktor pengali pada tabel *Jefferies*)

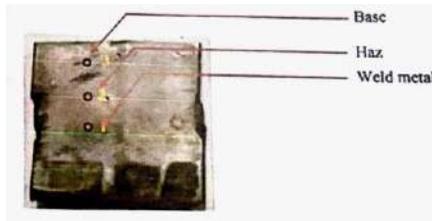
N_1 = (Jumlah butir yang didalam lingkaran)

N_2 = (Jumla butir yang diluar dan didekat garis lingkaran)

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Uji Kekerasan

Dalam penelitian ini dilakukan proses pengelasan baja karbon rendah (ST.42) Proses pengelasan dilakukan dengan bervariasi arus yaitu 70A, 75A dan 80A. Dari hasil pengelasan tersebut untuk setiap parameter dilakukan pengujian kekerasan pada daerah Weld Metal, HAZ, dan Base Metal. Untuk lokasi titik uji kekerasan Rockwell ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 1. Lokasi titik uji kekerasan Rockwell pada setiap specimen.

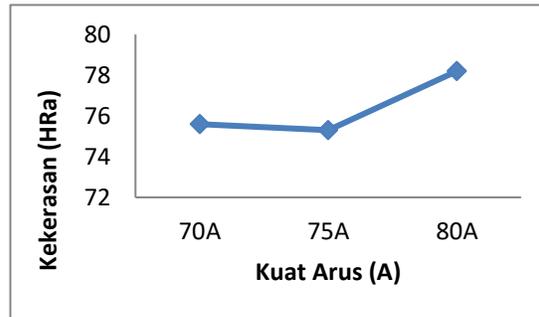
Zona terpengaruh (HAZ) adalah area logam dasar yang berdekatan dengan sambungan las, dan selama proses pengelasan, mengalami suhu yang cepat, baik pemanasan maupun pendinginan. Ini adalah bagian yang paling kritis dari sambungan las karena siklus termal ini dapat mempengaruhi struktur mikro logam las dan HAZ. Selama pendinginan, logam las akan mengalami serangkaian perubahan fasa dari keadaan cair menjadi perlite dan ferlite. [8]

Dari hasil uji kekerasan kuat arus 70A, 75A, dan 80A pada daerah HAZ, diperoleh data pada tabel berikut:

Tabel 1. Hasil dari uji kekerasan pada daerah HAZ

Jenis kekerasan	Beban /Kg	Identor	Waktu	Kuat arus	Hasil kekerasan
Rockwell	100	Diamond	5 detik	70	75,6
		Cone/		75	75,3
		Steel Ball		80	78,2

Berdasarkan Tabel 1. di atas diketahui rata-rata uji kekerasan pada daerah HAZ. Selanjutnya dibuatlah grafik untuk mengetahui perubahan kekerasan pada tiap arus sebagai berikut:



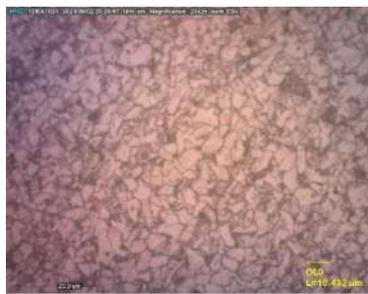
Gambar 2. Pengaruh Arus Pengelasan GMAW terhadap Kekerasan

Pada kuat arus 70A daerah HAZ diketahui rata-rata kekerasannya sebesar 75,6 HRa. Pada kuat arus 75A daerah HAZ diketahui rata-rata kekerasannya sebesar 75,3 HRa. Pada kuat arus 80A daerah HAZ diketahui rata-rata kekerasannya sebesar 78,2 HRa. Maka Perbedaan kekerasan pusat las terbentuk karena temperatur pada saat pengelasan mempengaruhi daerah sekitarnya, di mana bagian yang berdekatan dengan pusat las akan mengalami pemanasan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang lebih jauh. Hal ini memicu tercapainya temperatur rekristalisasi yang mengakibatkan perubahan fasa saat pemanasan. Hal ini sejalan dengan penelitian dari [4], dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap hasil pengelasan pada zona yang terpengaruh oleh panas (*Heat Affected Zone* atau HAZ) dari baja karbon rendah jenis S45C. Zona terpengaruh panas (*Heat Affected Zone* atau HAZ) merujuk pada area pada logam yang mengalami pengaruh panas saat proses pengelasan. Selama proses pengelasan, terjadi perubahan suhu yang signifikan dan pendinginan cepat disekitar samungan las, yang berdampak pada struktur mikro logam di HAZ. Proses ini mengakibatkan transformasi fasa pada logam selama proses pendinginan.

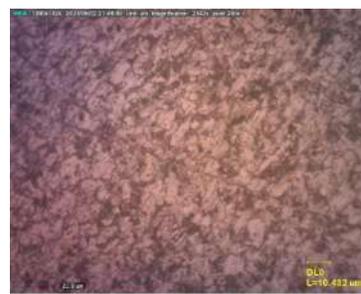
3.2 Uji Mikrostruktur

3.2.1 Raw material

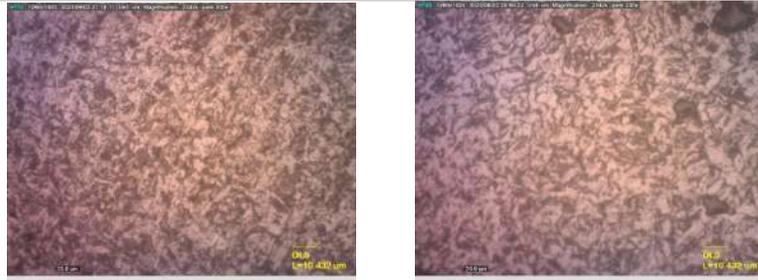
Dari hasil pengujian yang dilakukan pada Laboratorium Uji Logam, diketahui data tentang Uji Mikro dengan pembesaran 200 x dengan satndart uji ASTM (*American For Testing and materi al*) jenis bahan baja karbon rendah (ST.42), dengan bervariasi arus 70A, 75A dan 80A. Adapun data hasil uji Mikro diperlihatkan pada gambar di bawah ini:



Raw material



70Ampere



75 Ampere

80 Ampere

Gambar 3. Hasil Strukturmikro dengan pembesaran foto 200x sesuai standar uji ASTM.

Tabel 2. Pengali *jefferies*

Pembesaran	<i>f</i>
1	0,002
25	0,125
50	0,5
75	1,125
100	2,0
200	8,0
300	18,0
500	50,0
1000	200,0

Tabel 3. Grain Size ASTM E112

Grain Size No. <i>G</i>	<i>N_v</i> Grains/Unit Area		<i>A</i> Average Grain Area		<i>D_v</i> Average Diameter		<i>D_v</i> Mean Intercept	<i>N_L</i> No./in	
	No./in. ² at 100X	No./mm ² at 1X	mm ²	μm ²	mm	μm	mm		
00	0.25	3.88	0.2691	258064	0.5080	508.0	0.4525	452.5	2.21
0	0.50	7.75	0.1280	129032	0.3992	399.2	0.3200	320.0	3.12
0.5	0.71	10.86	0.0912	91238	0.3021	302.1	0.2691	269.1	3.72
1.0	1.00	15.50	0.0645	64516	0.2540	254.0	0.2268	226.8	4.42
1.5	1.41	21.82	0.0458	45820	0.2176	217.6	0.1903	190.3	5.26
2.0	2.00	31.00	0.0328	32258	0.1795	179.5	0.1600	160.0	6.25
2.5	2.83	43.84	0.0228	22810	0.1510	151.0	0.1345	134.5	7.43
3.0	4.00	62.00	0.0161	16129	0.1270	127.0	0.1132	113.1	8.84
3.5	5.66	87.68	0.0114	11425	0.1058	105.8	0.0951	95.1	10.51
4.0	8.00	124.00	0.0080	8005	0.0896	89.6	0.0800	80.0	12.50
4.5	11.21	175.26	0.00570	5703	0.0755	75.5	0.0673	67.3	14.97
5.0	16.00	248.00	0.00403	4032	0.0625	62.5	0.0566	56.5	17.68
5.5	22.63	350.73	0.00285	2851	0.0534	53.4	0.0478	47.8	21.02
6.0	32.00	495.00	0.00202	2015	0.0449	44.9	0.0400	40.0	25.00
6.5	45.25	701.45	0.00143	1426	0.0378	37.8	0.0335	33.5	29.73
7.0	64.00	992.00	0.00101	1008	0.0310	31.0	0.0283	28.3	35.30
7.5	90.51	1402.9	0.00071	713	0.0267	26.7	0.0238	23.8	42.04
8.0	126.00	1984.0	0.00050	504	0.0225	22.5	0.0200	20.0	50.00
8.5	181.02	2805.8	0.00036	356	0.0189	18.9	0.0168	16.8	59.45
9.0	256.00	3968.0	0.00025	252	0.0158	15.8	0.0141	14.1	70.71
9.5	362.04	5611.6	0.00018	178	0.0133	13.3	0.0119	11.9	84.09
10.0	512.00	7938.0	0.00013	128	0.0112	11.2	0.0100	10.0	100.00
10.5	724.08	11223.2	0.00009	88.1	0.0094	9.4	0.0084	8.4	118.9
11.0	1024.00	15872.0	0.000065	63.0	0.0079	7.9	0.0071	7.1	141.4
11.5	1416.15	22445.4	0.000046	44.8	0.0067	6.7	0.0060	6.0	168.2
12.0	2048.00	31744.1	0.000032	31.5	0.0056	5.6	0.0050	5.0	200.0
12.5	2906.21	44892.9	0.000022	22.2	0.0047	4.7	0.0042	4.2	237.8
13.0	4096.00	63488.1	0.000016	15.8	0.0040	4.0	0.0035	3.5	282.8
13.5	5752.02	89795.0	0.000011	11.1	0.0033	3.3	0.0030	3.0	336.4
14.0	8192.00	126976.3	0.000008	7.9	0.0028	2.8	0.0025	2.5	400.0

Berdasarkan Gambar 3 di atas, setelah diameter lingkaran ditetapkan sebesar 8 cm, dilakukan perhitungan untuk menentukan garis dalam lingkaran (*n*1) dan garis bersinggungan (*n*2) dengan pembesaran 200x. Hal ini sesuai dengan Tabel 2 Pengali Jefferies. [2]

Diketahui :

*n*1:125

*n*2 :45

Maka :

$$Na = f(n_1 + \frac{n_2}{2})$$

$$Na = 8(125 + \frac{45}{2})$$

$$Na = 8(125 + 22,5)$$

$$Na = 8(147,5)$$

$$Na = 1,180$$

$$G = (3,32 \log(Na) - 2,95)$$

$$G = (3,32 \log(147,5) - 2,95)$$

$$G = 3,32 \cdot 2,168 - 2,95$$

$$G = 4,247$$

$$G = 4,2$$

Berdasarkan pada Tabel 3. ASTM E112, maka nilai G yang paling mendekati dari nilai G = 4,2 adalah 4,0 jadi yang dipilih G = 4,0. Dari tabel ASTM E112 untuk nilai G = 4,0 maka diperoleh ukuran butir yang terbentuk pada RAW material memiliki diameter rata-rata sebesar 0,0898 mm atau 89,8 μm. [9]

3.2.2 Kuat Arus 70 Ampere

Berlandaskan Gambar 3 di atas, setelah menetapkan diameter lingkaran sebesar 8 cm, dilakukan perhitungan guna menentukan garis internal (n1) dan garis yang bersentuhan (n2) dengan tingkat pembesaran sebesar 200x. Hasil perhitungan ini mengacu pada Tabel 2 Pengali Jefferies. [2]

Diketahui :

n1:194

n2 :48

Maka :

$$Na = f(n_1 + \frac{n_2}{2})$$

$$Na = 8(194 + \frac{48}{2})$$

$$Na = 8(194 + 24)$$

$$Na = 8(218)$$

$$Na = 1.744$$

$$G = (3,32 \log(Na) - 2,95)$$

$$G = (3,32 \log(218) - 2,95)$$

$$G = 3,32 \cdot 2,338 - 2,95$$

$$G = 7,759 - 2,95$$

$$G = 7,759$$

$$G = 7,7$$

Berdasarkan pada Tabel 3. ASTM E112, maka nilai G yang paling mendekati dari nilai $G = 7,7$ adalah $7,5$ jadi yang dipilih $G = 7,5$. Dari tabel ASTM E112 untuk nilai $G = 7,5$ maka diperoleh ukuran butir yang terbentuk pada kuat arus 70Ampere memiliki diameter rata-rata sebesar $0,0267$ mm atau $26,7 \mu\text{m}$. [9]

3.2.3. Kuat Arus 75Ampere

Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 3, setelah diameter lingkaran telah ditetapkan sebesar 8 cm, dilakukan perhitungan guna menentukan garis internal (n_1) dan garis yang bersinggungan (n_2) dengan tingkat pembesaran sebesar 200x. Hal ini mengacu pada Tabel 2 Pengali Jefferies. [2]

Diketahui :

$n_1:204$

$n_2 :51$

Maka :

$$Na = f\left(n_1 + \frac{n_2}{2}\right)$$

$$Na = 8\left(204 + \frac{51}{2}\right)$$

$$Na = 8(204 + 25,5)$$

$$Na = 8(229,5)$$

$$Na = 1.836$$

$$G = (3,32 \log(Na) - 2,95)$$

$$G = (3,32 \log(229,5) - 2,95)$$

$$G = (3,32 \cdot 2,360 - 2,95)$$

$$G = 7,835 - 2,95$$

$$G = 4,885$$

$$G = 4,8$$

Berdasarkan pada Tabel 3. ASTM E112, maka nilai G yang paling mendekati dari nilai $G = 4,8$ adalah $4,5$ jadi yang dipilih $G = 4,5$. Dari tabel ASTM E112 untuk nilai $G = 4,5$ maka diperoleh ukuran butir yang terbentuk pada kuat arus 75Ampere memiliki diameter rata-rata sebesar $0,0755$ mm atau $75,5 \mu\text{m}$. [9]

3.2.4. Kuat Arus 80 Ampere

Berdasarkan Gambar 3 di atas, setelah mengukur diameter lingkaran sebesar 8 cm, dilakukan perhitungan untuk menentukan garis yang berada di dalam lingkaran (n_1) dan garis yang bersinggungan (n_2) dengan tingkat pembesaran 200x. Hasil perhitungan ini merujuk pada Tabel 2 Pengali Jefferies. [2]

Diketahui :

$n_1:205$

$n_2 :51$

Maka :

$$Na = f\left(n_1 + \frac{n_2}{2}\right)$$

$$Na = 8(205 + \frac{51}{2})$$

$$Na = 8(205 + 25,5)$$

$$Na = 8(230,5)$$

$$Na = 1.844$$

$$G = (3,32 \log(Na) - 2,95)$$

$$G = (3,32 \log(230,5) - 2,95)$$

$$G = 3.32 \cdot 2,362 - 2,95$$

$$G = 7,841 - 2,95$$

$$G = 4,891$$

$$G = 4,8$$

Berdasarkan pada Tabel 3. ASTM E112, maka nilai G yang paling mendekati dari nilai G = 4,8 adalah 5,0 jadi yang dipilih G = 5,0. Dari tabel ASTM E112 untuk nilai G = 5,0 maka diperoleh ukuran butir yang terbentuk pada kuat arus 80Ampere memiliki diameter rata-rata sebesar 0,0635 mm atau 63,5 μm. [9]

Berdasarkan data tabel dan grafik kuat arus 70 Ampere dengan rata-rata kekerasan pada daerah HAZ sebesar 75,6 HRA. Pengamatan pada daerah las memperlihatkan bahwa terjadi perubahan struktur mikro dengan butir mikrostruktur berjumlah 1744 dengan ukuran butir sebesar 7,5, kemudian diacu ke dalam tabel ASTM E112 untuk menentukan ukuran butir yang sesuai, sehingga diperoleh nilai ukuran butirnya 26,7μm. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan[10]. bahwa semakin kecil arus las maka *heat input* akan semakin besar, sehingga laju pendinginan semakin besar dan membuat tingkat kekerasan logam semakin tinggi.

Berdasarkan data tabel dan grafik kuat arus 75 Ampere dengan rata-rata kekerasan pada daerah HAZ sebesar 75,3HRA. Pengamatan pada daerah las memperlihatkan bahwa terjadi perubahan struktur mikro dengan butir mikrostruktur berjumlah 1836 dengan ukuran butir sebesar 5,5, kemudian merujuk pada tabel ASTM E112 untuk menentukan ukuran butir yang sesuai, hasilnya menunjukkan bahwa ukuran butirnya adalah 75,5 μm. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan [5] Kekerasan didaerah weld metal dan base metal bisa lebih rendah dibandingkan kekerasan di daerah HAZ, hal ini diakibatkan oleh logam las yang bercampur dengan logam induk mempunyai kekerasan yang tinggi, sedangkan pada HAZ kekerasan lebih tinggi karena mengalami perubahan struktur.

Berdasarkan data tabel dan grafik kuat arus 80 Ampere dengan rata-rata kekerasan pada daerah HAZ sebesar 78,2 HRA. Pengamatan pada daerah las memperlihatkan bahwa terjadi perubahan struktur mikro dengan butir mikrostruktur berjumlah 1844 dengan ukuran butir sebesar 5,0, kemudian merujuk pada tabel ASTM E112 untuk menentukan ukuran butir yang sesuai, didapatkan informasi bahwa besar butirnya adalah 63,5 μm. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh [11], bahwa kekerasan yang terjadi akibat pengaruh pengelasan terdistribusi sesuai jarak dan titik pusat las, semakin besar arus yang dipakai saat pengelasan, maka semakin kasar bentuk butiran logamnya.

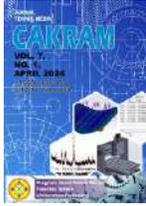
Hasil pengamatan mikro memperlihatkan struktur pada logam induk. Pengamatan memperlihatkan bahwa penambahan arus pengelasan 70A, 75A, dan 80A terlihat bahwa perubahan struktur mikro terutama terjadi pada HAZ dan daerah las. Terbentuknya butir yang besar pada masing-masing arus pengelasan pada daerah HAZ menjadikan daerah ini memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah las. [10] Dilihat dari jumlah butir yang terus mengalami peningkatan.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini yang telah dilakukan mengenai kuat arus terhadap uji kekerasan dan struktur mikro dapat diambil kesimpulan bahwa kuat arus setiap specimen di ketahui hasil uji kekerasan dengan metode Rockwell terhadap sambungan las pada baja ST.42 mengalami peningkatan kekerasan pada masing-masing kuat arus dengan menggunakan metode pengelasan GMAW. Dari hasil uji mikrostruktur terhadap sambungan las pada baja ST.42 diketahui bahwa perubahan struktur mikro terjadi pada daerah HAZ dengan besar butir yang berbeda dan jumlah butir yang mengalami peningkatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. B. Respati, "Analisis Pengelasan Smaw Tegangan Dc Terhadap Kekuatan Tarik, Kekerasan, Foto Makro Dan Mikro Pada Stainless Steel 304," *J. Pengelasan*, vol. 15, p. 5, 2019, doi: 2406-9329.
- [2] Pungky setyawan, "Peningkatan Kekuatan Tarik Sambungan Single V-Groove Baja St37 Dengan Variasi Arus Pengelasan Smaw terhadap uji mikrostruktur," *J. Pengelasan*, vol. 14, p. 11, 2021.
- [3] Zou Dongting Wu a, "Corrosion resistance of stainless steel layer prepared by twin-wire indirect arc surfacing welding," *J. Vac.*, vol. 177, p. 10, 2020, doi: 109348.
- [4] S. Wisma, "Pengaruh Variasi Kampuh V Tunggal Dan Kampuh Tirus Ganda Terhadap Kekuatan Tarik Dan Mikrostruktur Pada Proses Metal Inert Gas (Mig)," *J. Tek.*, vol. 1, p. 9, 2022.
- [5] H. Irawan, "Studi Eksperimental Efek Kuat Arus Terhadap Distribusi Kekerasan Di Daerah Las Pada Pengelasan GMAW Secara Manual," *Jur. Tek. Mesin ITATS*, vol. V, pp. 229–234, 2017.
- [6] A. Hamid, "Analisa Pengaruh Arus Pengelasan Smaw Pada Material Baja Karbon Rendah Terhadap Kekuatan Material Hasil Sambungan," *J. Pengelasan*, vol. 7, no. 15018, pp. 1–23, 2016.
- [7] A. Setyawan, "Analisa Ketangguhan Dan Struktur Mikro Pada Daerah Las Dan Haz Hasil Pengelasan Sumerged Arc Welding Pada Baja Sm 490," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 1, p. 12, 2006.
- [8] M. Rizsaldy Sugestian, "Pengaruh Besar Arus Listrik Dengan Menggunakan Elektroda Smaw Terhadap Kekuata Sambungan Las Butt Joint Pada Plat Mild Steel," *J. Tek. Perkapalan Fak. UNDIP.*, vol. 67, p. 12, 2006.
- [9] Wawan Karmawan, "Analisa Kekuatan Variasi Arus Las SMAW Dengan Elektroda E 7018 Bahan Baja ST 42 Terhadap Sifat Mekanis," *Oktober 2020 J. JMMME*, vol. 1, no. 2, p. 19, 2020.
- [10] H. Purwanto, "Analisa Pengaruh Kuat Arus Terhadap Struktur Mikro, Kekerasan, Kekuatan Tarik Pada Baja Karbon Rendah Dengan Las Smaw Menggunakan Jenis Elektroda E7016," *J. Ilm. cendekia eksakta*, vol. 1, no. 1, p. 7, 2017, doi: 2528-5912.
- [11] M. Saripuddin, "Pengaruh Hasil Pengelasan Terhadap Kekuatan Dan Kekerasan," *ILTEK J. Teknol.*, vol. 11, no. 02, pp. 1658–1663, 2016, doi: 10.47398/iltek.v11i02.433.



ANALISIS ENERGI, EKSERGI, DAN EKONOMI SISTEM DESALINASI AIR LAUT TENAGA SURYA

Satria Putra Handoyo¹, Natalia Magdalena Kawet², Joko Setiyono³, Sunny Ineza Putri⁴

^{1,2,3}Universitas Pamulang, ⁴Universitas Riau

E-mail : ¹satriaph@gmail.com, ²lhiakawet@gmail.com, ³dosen00889@unpam.ac.id, ⁴sunnyinezap@gmail.com

Masuk : 16 Februari 2024

Direvisi : 3 Maret 2024

Disetujui : 28 Maret 2024

Abstrak: Kebutuhan akan air bersih terus meningkat seiring pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia, sementara sumber daya air tawar semakin terbatas. Salah satu solusi potensial adalah desalinasi air laut, namun teknologi ini sering menghadapi tantangan berupa konsumsi energi yang tinggi dan biaya operasional yang mahal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis aspek energi, eksergi, dan ekonomi dari sistem desalinasi air laut yang menggunakan tenaga surya sebagai sumber energi utamanya. Analisis energi dilakukan dengan menghitung efisiensi termal sistem, sedangkan analisis eksergi difokuskan pada pengukuran kerugian energi dalam proses desalinasi. Studi ekonomi dilakukan untuk menentukan kelayakan finansial proyek dengan mempertimbangkan biaya investasi awal, biaya operasional, dan potensi penghematan biaya jangka panjang. Hasil analisis energi menunjukkan bahwa efisiensi termal sistem desalinasi adalah 30,8 % untuk volume 500 ml dan 54,2% untuk volume 750 ml. Pada analisis eksergi, ditemukan bahwa efisiensi eksergi sistem adalah 25%, mengindikasikan adanya kerugian eksergi yang signifikan dalam proses desalinasi, terutama pada tahap pemanasan air laut. Dari perspektif ekonomi, nilai NPV negatif sebesar Rp 6.655.015,58 dan Indeks Profitabilitas (PI) sebesar 0,382. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sementara sistem desalinasi tenaga surya menawarkan solusi ramah lingkungan dan tantangan signifikan terkait dengan biaya investasi. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk fokus pada peningkatan efisiensi sistem dan pengurangan biaya, yang dapat menjadikan teknologi ini lebih praktis dan ekonomis di masa depan.

Kata kunci: Desalinasi air laut, tenaga surya, efisiensi termal, analisis ekonomi.

Abstract: The demand for clean water continues to increase as the population and human activities grow, while freshwater resources are increasingly limited. One potential solution is seawater desalination, but this technology often faces challenges in the form of high energy consumption and expensive operational costs. This study aims to analyze the energy, exergy, and economic aspects of a seawater desalination system that uses solar power as its main energy source. The energy analysis was conducted by calculating the thermal efficiency of the system, while the exergy analysis focused on measuring energy losses in the desalination process. The economic study was conducted to determine the financial feasibility of the project by considering the initial investment costs, operational costs, and potential long-term cost savings. The results of the energy analysis showed that the thermal efficiency of the desalination system was 30.8% for 500 ml volume and 54.2% for 750 ml volume. In the exergy analysis, it was found that the exergy efficiency of the system was 25%, indicating significant exergy losses in the desalination process, especially in the seawater heating stage. From an economic perspective, the NPV value was negative at IDR 6,655,015.58 and the Profitability Index (PI) was 0.382. This study concludes that while solar desalination systems offer an environmentally friendly solution and significant challenges are associated with investment costs. Further research is recommended to focus on improving system efficiency and reducing costs, which could make this technology more practical and economical in the future.

Keywords: Seawater desalination, solar power, thermal efficiency, economic analysis.

PENDAHULUAN

Pesatnya peningkatan pertumbuhan populasi manusia dan tidak memadainya pengolahan air kotor yang dihasilkan dari limbah industri dengan menggunakan bahan kimia yang mencemari sumber air tawar menyebabkan berkurangnya ketersediaan air minum dari sumber alami setiap hari [1]. Kelangkaan air bersih merupakan masalah umum di kota-kota pesisir. Karena air laut melimpah di wilayah pesisir, salah satu cara untuk mendapatkan air tawar yang bersih dan layak untuk diminum adalah dengan mengubah air laut menjadi air tawar. Ada banyak teknik untuk mendapatkan air bersih dan desalinasi adalah salah satunya [2].

Salah satu dari berbagai metode pembersihan air adalah desalinasi dan sinar matahari adalah salah satu sumber panas yang dapat digunakan sebagai sumber energi untuk menjalankan metode tersebut. Karena sinar matahari tidak memerlukan bahan bakar, maka sinar matahari memiliki keunggulan dalam memanfaatkan energi panas matahari sehingga menjadikannya sumber energi yang berkelanjutan dan terbarukan. Namun diperlukan ruang yang lebih besar untuk mengumpulkan energi panas matahari. Ini adalah solusi praktis yang sangat baik untuk menghidupkan kehidupan di tempat-tempat yang kekurangan air bersih [3].

Desalinasi termal menggunakan energi listrik dan panas karena melibatkan pemanasan air laut dan mengembunkan uap menjadi air murni. Karena kemampuannya untuk desalinasi air asin dengan salinitas tinggi, proses desalinasi termal adalah pilihan yang lebih disukai di negara-negara sepanjang Teluk Arab [4]. Sistem gabungan sumber energi terbarukan dan teknik desalinasi air menghasilkan sekitar 1% dari total kapasitas air tawar dunia. Mereka mengklaim bahwa produksi air dengan pemanfaatan sel fotovoltaik dan sistem tenaga surya terkonsentrasi masing-masing menghasilkan 43% dan 27%. Hal ini menyoroti bahwa teknologi energi surya kurang dimanfaatkan dalam industri desalinasi air [4].

Pada sistem ini terdapat hot tank sebagai tempat penyulingan yang mengubah air laut menjadi air bersih dengan proses *heat transfer*. Untuk memperoleh keefektifan dalam memperoleh air bersih maka *hot tank* pada sistem ini menggunakan pemanas elektrik agar pemanasan pada *hot tank* lebih efektif. [5]

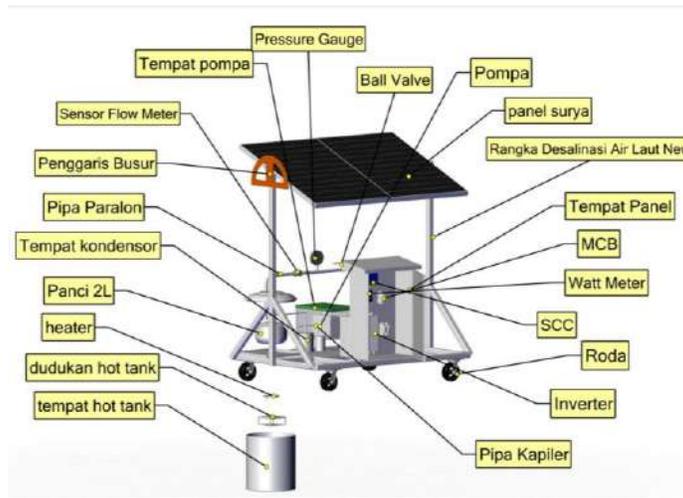
Relevansi mempelajari peralatan dan sistem desalinasi yaitu untuk mengembangkan formula baru yang efektif dalam meningkatkan *output* air bersih dan mengoptimalkan sistem peralatan desalinasi yang dapat dilihat pada beberapa literatur yang dikutip di atas. Dalam penelitian sebelumnya, alat desalinasi air laut yang menggunakan energi surya masih belum bisa bekerja secara optimal. Untuk itu dilakukan optimasi pada alat desalinasi air laut yang menggunakan 2 buah panel surya dengan kapasitas masing-masing 120 WP. Maka dari itu penelitian yang akan dilakukan oleh penulis adalah melakukan perhitungan kinerja termodinamika dan ekonomi secara bersamaan, beberapa indikator evaluasi dipilih termasuk daya yang digunakan sebagai *power supply* alat desalinasi air laut, efisiensi termal, dan yang terakhir perbandingan sistem yang disajikan serta bagaimana keputusan yang diambil penulis sebagai langkah untuk optimasi sistem desalinasi air laut.

METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Luxmeter* untuk mengukur intensitas cahaya dengan prinsip kerja mengubah intensitas cahaya yang datang menjadi arus listrik, *Multimeter* untuk mengukur tiga jenis besaran listrik yaitu arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik, *Thermometer* untuk mengukur suhu fluida saat operasi sistem desalinasi air laut, *Stopwatch* untuk menghitung waktu proses desalinasi air laut, panel surya 120 WP sebanyak 2 buah, heater spiral, inverter, MPPT, pompa tangki penampung air laut, pompa air pendingin, kabel dan Arduino, besi *hollow*. Penelitian ini dilakukan di workshop Universitas Pamulang Kampus 3 Witana Harja, Jl. Witana Harja No. 18b, Pamulang Barat, Kec. Pamulang, Kota Tangerang Selatan, Banten 15417, Indonesia. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu pertama, tahapan perhitungan energi dengan melakukan perhitungan pada alat tentang energi yang dapat diserap melalui panel surya. Kedua tahapan perhitungan eksergi yaitu melakukan perhitungan pada proses desalinasi sampai menghasilkan air tawar dan garam, energi yang digunakan seberapa banyak. Kemudian tahapan perhitungan ekonomi yaitu melakukan perhitungan total biaya yg dihabiskan untuk membuat alat dan melakukan perhitungan pada hasil yg di dapatkan atas kinerja alat desalinasi

2.2 Desain dan Spesifikasi Alat Desalinasi Air Laut



Gambar 1 Gambar alat desalinasi air laut dengan menggunakan Solidworks

2.3 Metode Analisis Data

Analisis data yang dilakukan dengan mengolah data berdasarkan aspek teknis dan aspek biaya, berikut adalah tahapan perhitungan yang dapat dilakukan :

2.3.1 Perhitungan Beban

Data didapatkan berdasarkan hasil analisa dan perhitungan dari penelitian komponen *heater* dan pompa.

Lalu menghitung total beban dengan cara [6] :

$$\text{Cadangan energi} = 10\% \times \text{daya listrik per hari}$$

$$\text{Rugi - rugi sistem} + \text{jtr} = 10\% \times \text{daya listrik per hari}$$

$$\text{Total daya yang dibutuhkan} = \text{cadangan energi} + (\text{rugi-rugi sistem} + \text{jtr}) + \text{daya listrik per hari}$$

2.3.2 Perhitungan Panel Surya

Daya input dari Panel Surya yakni intensitas cahaya matahari (W/m^2) dengan luas penampang Panel Surya (m^2).

Rumus perhitungan daya masukan panel adalah :

$$P_{rad} = I \times A$$

Rumus perhitungan daya keluaran Panel Surya:

$$P_{out} = V \times I$$

2.3.3 Perhitungan Analisa Energi

Tujuan analisis energi adalah untuk memastikan nilai termal sistem dengan memanfaatkan hukum pertama termodinamika untuk menetapkan parameter termodinamika setiap kondisi. Semua proses dianggap berada dalam kondisi tunak untuk tujuan analisis ini (aliran tunak kondisi tunak). [7]

$$\dot{E}n_{state} = \dot{m} \times h_{state}$$

Berdasar pada hukum termodinamika pertama, panas yang masuk ke sistem, harus sama dengan kerja yang dihasilkan oleh sistem dalam bentuk daya atau mekanik [8]. Sehingga dapat ditentukan:

$$Q_i - Q_0 = \dot{W}_{output}$$

Selanjutnya, efisiensi termal pada pembangkit, khususnya Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP) dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\eta_{thermal} = \frac{W_{output}}{Q_{in}} \times 100\%$$

2.3.4 Perhitungan Analisa Eksergi

Salah satu teknik untuk menyelesaikan dan menyempurnakan pemeriksaan pengujian termal adalah analisis eksergi. Pendekatan ini akan memberikan gambaran yang jelas tentang jenis, sumber, dan posisi kerugian, sehingga memungkinkan penyesuaian dilakukan untuk menciptakan desain pengujian terbaik. Perencanaan proyek pembangkit listrik memerlukan evaluasi kinerja dan nilai ekonomis generator selain masalah efisiensi termodinamika. Faktor lingkungan dan isu pemanasan global juga harus diperhitungkan [9].

Sehingga laju eksergi total pada sebuah sistem dapat diformulasikan seperti dibawah ini:

$$\dot{E} = \dot{E}^{PH} + \dot{E}^{KN} + \dot{E}^{PT} + \dot{E}^{CH}$$

Eksergi fisik selalu berkaitan dengan temperatur, entalpi dan entropi dari bahan atau komponen.

$$\dot{E}_{in} = \dot{m} \times ((h - h_0) - T_0(s - s_0))$$

Sedangkan untuk menentukan efisiensi exergy sistem menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{sistem} = \frac{W_{out}}{E_{in}} \times 100\%$$

Untuk menghitung kerugian massa dalam proses desalinasi, kita dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\Delta m = m_{in} - m_{fresh} - m_{brine}$$

2.3.5 Perhitungan Analisa Ekonomi

NPV adalah rumus yang sering digunakan untuk menentukan hasil investasi. agar kita dapat menentukan apakah nilai investasi tersebut untung atau rugi [10].

Untuk menghitung *Net Present Value* (NPV) dipergunakan rumus sebagai berikut:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} - II$$

Kriteria pengambilan keputusan apakah usulan investasi layak diterima atau layak ditolak adalah sebagai berikut:

1. Investasi dinilai layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai positif (>0).
2. Investasi dinilai tidak layak, apabila *Net Present Value* (NPV) bernilai negatif (< 0).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dengan perhitungan total keseluruhan beban pada sistem desalinasi air laut selama 1 siklus per hari, maka variasi volume 500 ml akan menghabiskan daya listrik sebesar 618,015 watt dan variasi volume 750 ml akan menghabiskan daya listrik sebesar 928,012 watt.

Tabel 1 Perbandingan Total Daya Variasi Volume 500 ml dan 750 ml

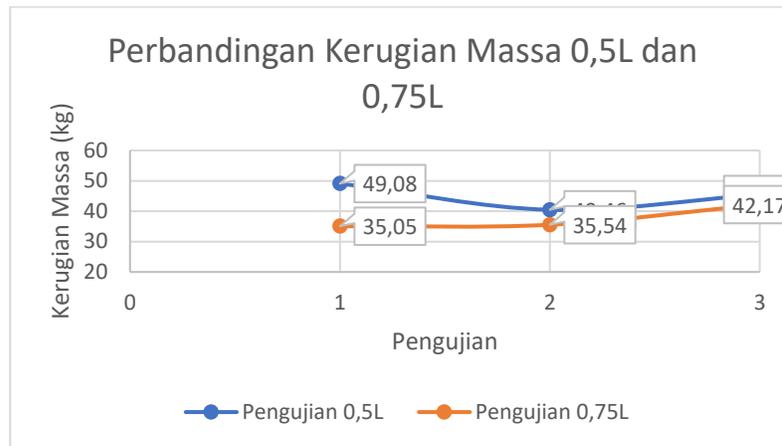
No.	Volume Air Laut (ml)	Daya (Watt)	Daya (kilo Watt)
1.	500	741,619	0,741619
2.	750	1113,614	1,113614

Hasil rata-rata daya masuk panel surya adalah 155,33 Watt per jam, kita asumsikan minimal panel surya mendapatkan sinar matahari dengan baik selama 7 jam. Maka total daya input panel surya 155,33 Watt x 7 jam = 1087,33 Wh. Hasil rata-rata daya keluar panel surya volume air laut 500 ml adalah 302,89 watt per jam. Maka total daya keluar panel surya 302,89 Wh x 2 jam = 605,78 Wh, sedangkan Hasil rata-rata daya keluar panel surya volume air laut 750 ml adalah 305,12 watt. Maka total daya keluar panel surya 305,12 Wh x 3 jam = 915,36 Wh.

sistem desalinasi menghasilkan kerja sebesar 63,57 kJ untuk volume air 500 ml dan 168,51 kJ untuk volume air 750 ml selama proses desalinasi air laut berlangsung. Ini berarti bahwa energi yang dimasukkan ke dalam sistem lebih besar daripada energi yang keluar sehingga ada surplus energi yang dapat digunakan untuk melakukan kerja. Efisiensi termal untuk variasi volume 500 ml adalah 30,8%. Ini menunjukkan bahwa sekitar 30,8% dari energi yang masuk (*input*) digunakan secara efektif sebagai keluaran kerja (*output*). Efisiensi termal untuk variasi volume 750 ml adalah 54,2%. Ini menunjukkan bahwa sekitar 54,2% dari energi yang masuk (*input*) digunakan secara efektif sebagai keluaran kerja (*output*).

jumlah keseluruhan eksergi yang tersedia dalam sistem adalah sebesar 2.353,012 Wh dengan laju kesergi sebesar 5,813 kJ/s, yang merupakan penjumlahan dari berbagai komponen eksergi yang telah dihitung. Eksergi adalah ukuran

dari potensi maksimum untuk melakukan kerja yang berguna dalam kondisi tertentu, dan hasil ini menunjukkan total potensi kerja yang dapat diperoleh dari sistem berdasarkan komponen-komponen yang terlibat.



Grafik 1 Grafik perbandingan kerugian massa

Grafik menunjukkan bahwa kerugian massa pada volume 0,75L lebih rendah dibandingkan dengan volume 0,5L di semua pengujian. Ini bisa diartikan bahwa sistem dengan volume yang lebih besar cenderung kehilangan lebih sedikit air. Penyebabnya bisa jadi karena pada volume 0,75L, terdapat lebih banyak air yang bisa menahan kondisi penguapan atau adsorpsi, sehingga proses kehilangan air menjadi lebih lambat.

Pada volume 0,5L, ada variasi yang cukup signifikan antara pengujian pertama (49,08 gram) dengan pengujian kedua (40,46 gram), tetapi nilai kerugian massa di pengujian ketiga kembali meningkat menjadi 45,48 gram. Ini menunjukkan bahwa faktor kondisi pengujian (seperti suhu, tekanan, atau durasi) bisa mempengaruhi tingkat kerugian massa.

Untuk volume 0,75L, kerugian massa cenderung lebih konsisten antara pengujian pertama (35,05 gram) dan kedua (35,54 gram), meskipun ada sedikit kenaikan pada pengujian ketiga (42,27 gram). Konsistensi ini menunjukkan bahwa volume air yang lebih besar lebih stabil dalam menjaga kehilangan massa, tetapi kondisi tertentu di pengujian ketiga mungkin meningkatkan kerugian massa.

Variasi dalam kerugian massa dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti suhu lingkungan, kelembapan, durasi pengujian, dan tingkat adsorpsi. Misalnya, jika suhu meningkat, laju penguapan juga bisa meningkat, menyebabkan kerugian massa yang lebih besar. Untuk volume yang lebih kecil (0,5L), sedikit perubahan dalam kondisi mungkin berdampak lebih signifikan karena jumlah air yang tersedia lebih sedikit, sehingga setiap proses kehilangan air terasa lebih besar.

Tabel 2 Hasil Pengujian Alat Desalinasi Air Laut Variasi 500 ml dan 750 ml

Pengujian Ke	Volume Air Laut (ml)	Hasil Air Tawar (gr)	Hasil Rata-Rata Air Tawar (gr)	Hasil Garam (gr)	Hasil Rata-Rata Garam (gr)
1	500	436,8	440,13	14,12	14,86
2		443,9		15,64	
3		439,7		14,82	
1	750	691,62	687,64	23,33	24,77
2		688,08		26,38	
3		683,21		24,62	

Dalam tiga kali pengujian volume 500 ml rata-rata menghasilkan air tawar 440,13 gram dan garam 14,86 gram. Dalam tiga kali pengujian volume 750 ml rata-rata menghasilkan air tawar 687,64 gram dan garam 24,77 gram. Total air tawar variasi volume 500 ml yang dihasilkan setiap tahun mencapai 160.650 ml dan garam 5.420 gram. Total air tawar variasi volume 750 ml yang dihasilkan setiap tahun mencapai 250.989 ml dan garam 9.040 kg. Total kas air tawar dan garam per tahun dari variasi 500 ml yaitu Rp 102.395. Sedangkan total kas air tawar dan garam per tahun dari variasi 750 ml yaitu Rp 165.696,7. Hasil perhitungan dengan NPV bernilai negatif sebesar Rp 6.194.578,58

(NVP<0). Dengan biaya investasi awal sebesar Rp 12.400.000, nilai NPV yang diperoleh adalah negatif sebesar Rp 6.194.578,58.

KESIMPULAN

Sistem desalinasi air laut menggunakan tenaga surya menunjukkan efisiensi termal sebesar 30%. Ini mengindikasikan bahwa hanya 30,8 % untuk volume 500 ml dan 54,2 % untuk volume 750 ml dari energi yang diserap oleh sistem digunakan untuk proses desalinasi, sementara sisanya hilang sebagai panas terbuang. Efisiensi ini perlu ditingkatkan melalui optimasi teknologi dan material yang digunakan dalam sistem. Efisiensi eksergi dari sistem desalinasi adalah 25%. Kerugian eksergi terbesar terjadi pada tahap pemanasan air laut, yang menunjukkan adanya potensi signifikan untuk peningkatan efisiensi melalui pengembangan teknologi pemanas yang lebih efisien dan pengurangan kerugian termal. Dalam tiga kali pengujian pada volume 500 ml menghasilkan rata – rata air tawar sebanyak 440,13 gram dan garam sebanyak 14,86 gram. Sedangkan untuk pengujian dengan volume 750 ml menghasilkan rata – rata air tawar sebanyak 687,64 gram dan garam 24,77 gram. Efisiensi eksergi yang lebih tinggi akan menghasilkan penggunaan energi yang lebih efektif dan mengurangi biaya operasional jangka panjang. Hasil perhitungan dengan NPV bernilai negatif sebesar Rp 6.194.578,58 (NPV<0). Dengan biaya investasi awal sebesar Rp 12.400.000, nilai NPV yang diperoleh adalah negatif sebesar Rp 6.194.578,58. Ini berarti bahwa proyek desalinasi air laut menggunakan tenaga surya tidak menguntungkan secara finansial berdasarkan perhitungan NPV yang diberikan, karena nilai sekarang dari arus kas yang masuk tidak mampu menutupi biaya investasi awal. Namun mengesampingkan nilai ekonomi alat ini direkomendasikan untuk daerah yang belum memiliki sumber daya air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Siregar, W. S. Damanik, and S. Lubis, “Analisa Energi pada Alat Desalinasi Air Laut Tenaga Surya Model Lereng Tunggal,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 12, no. 1, p. 193, 2021, doi: 10.21776/ub.jrm.2021.012.01.21.
- [2] A. Fasselis Ojan, B. V Tarigan, and D. G. H. Adoe, “Analisis Pengaruh Variasi Massa Material Arang Terhadap Proses Desalinasi Air Laut Tenaga Surya,” *LJTMU J.*, vol. 09, no. 01, pp. 101–109, 2022.
- [3] W. Naibaho, “Analisis Efisiensi Eksergi Alat Desalinasi Aktif Tenaga Surya Sistem Aktif Dengan Penggabungan Kolektor Surya,” *NOSTEJ J.*, vol. 01, no. 01, pp. 18–25, 2020.
- [4] M. A. Al-Obaidi, R. H. A. Zubo, F. L. Rashid, H. J. Dakkama, R. Abd-Alhameed, and I. M. Mujtaba, “Evaluation of Solar Energy Powered Seawater Desalination Processes: A Review,” *Energies*, vol. 15, no. 18, 2022, doi: 10.3390/en15186562.
- [5] B. B. Taqwa, R. Rosalina, and H. Ramza, “Perancangan Alat Proses Distilasi Air Laut menggunakan Pemanas Elektrik,” *Pros. Semin. Nas. Teknoka*, vol. 5, no. 2502, pp. 204–214, 2020, doi: 10.22236/teknoka.v5i.327.
- [6] Krisnandar, “ANALISA BIAYA PERENCANAAN SISTEM PENGAIRAN HIDROPONIK TEKNIK N.F.T (Nutrient Film Technique) MENGGUNAKAN POMPA AIR BERBASIS SOLAR PANEL DIBANDINGKAN DENGAN PENGGUNAAN LISTRIK DARI PT.PLN(Persero),” *Progr. Stud. Tek. ELEKTRO Fak. Tek. Univ. MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA MEDAN*, vol. 167, no. 1, pp. 1–5, 2020.
- [7] A. Wicaksono, Widjonarko, and B. Rudiyanto, “Optimasi Tekanan Vakum Main Condenser Menggunakan Analisis Exergy Di Pltp Kamojang,” *Pros. Semin. Nas. NCIET*, vol. 1, no. 1, pp. 67–78, 2020, doi: 10.32497/nciet.v1i1.31.
- [8] A. L. Sati, R. Anugrah, and Safruddin, “Analisis Energi Dan Eksergi Pada Sistem Rotary Kiln Rkc-2 Pt. Semen Baturaja,” *J. Multidisipliner Bharasumba*, vol. 1, no. 3, pp. 523–537, 2022.
- [9] P. Sundari, “STUDI PEMANFAATAN KELEBIHAN UAP DARI KATUP BUANG PLTP KAMOJANG,” *Inst. Teknol. BANDUNG*, pp. 1–7, 2019.
- [10] M. Ilham Amba and R. Dalimi, “Economic Analysis of Hybrid Power Plant (Solar-Diesel) on Kawaluso Island, North Sulawesi,” *J. EECCIS (Electrics, Electron. Commun. Control. Informatics, Syst.)*, vol. 17, no. 1,



ANALISIS PENAMBAHAN WATER HEATER KAPASITAS 20 LITER TERHADAP KONSUMSI DAYA LISTRIK AC SPLIT 1 PK

Mimin Andika Cahyatullah^{1,2}, Nailul Atifah²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail : andikamimin27@gmail.com

Masuk : 15 Februari 2024

Direvisi : 6 Maret 2024

Disetujui : 29 Maret 2024

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak penambahan water heater kapasitas 20 liter terhadap konsumsi daya listrik, suhu hembusan luaran evaporator, dan *Coefficient of Performance* (COP) AC split 1 PK. Dalam eksperimen ini, AC split 1 PK diuji dalam dua kondisi yaitu tanpa water heater dan dengan water heater. Penelitian ini dilakukan dalam kurun waktu 40 menit, karena dalam 40 menit suhu air dalam tangki sudah mencapai suhu yang diinginkan untuk kebutuhan mandi yaitu 40° C - 45° sesuai dengan standar panas *water heater*. Hasil penelitian selama 40 menit menunjukkan bahwa penambahan water heater kapasitas 20 liter menyebabkan penurunan konsumsi daya listrik dari 0,631 kWh menjadi 0,597 kWh atau sebesar 5,3%. Suhu hembusan udara dari evaporator meningkat dari rata-rata 15,32°C menjadi 20,26°C setelah penambahan water heater. Selain itu, nilai COP mengalami kenaikan dari 2,942 menjadi 3,061 atau sebesar 5%. Temuan ini mengindikasikan bahwa penambahan water heater dapat menambah efisiensi energi dan menurunkan konsumsi daya listrik pada system Air Conditioner.

Kata kunci: konsumsi daya listrik, AC split 1 PK, *water heater*, *Coefficient of Performance* (COP)

Abstract: This research aims to analyze the impact of adding a 20-liter water heater on the electricity consumption, the outlet air temperature of the evaporator, and the *Coefficient of Performance* (COP) of a 1 HP split AC. In this experiment, the 1 HP split AC is tested under two conditions: without the water heater and with the water heater. This research was conducted over a period of 40 minutes, as the water temperature in the tank reached the desired temperature for bathing needs, which is 40°C - 45°C, according to the water heater's heating standards. The results of the 40-minute study showed that the addition of a 20-liter capacity water heater reduced electricity consumption from 0.631 kWh to 0.597 kWh, or by 5.3%. The air discharge temperature from the evaporator increased from an average of 15.32°C to 20.26°C after the addition of the water heater. Additionally, the COP value increased from 2.942 to 3.061, or by 5%. This invention indicates that the addition of a water heater can enhance energy efficiency and reduce electricity consumption in the Air Conditioner system.

Keywords: electricity consumption, 1 HP split air conditioner, *water heater*, *Coefficient of Performance* (COP)

PENDAHULUAN

Penggunaan perangkat listrik yang efisien menjadi sangat penting dalam upaya meningkatkan efisiensi energi di sektor domestik. Salah satu perangkat yang banyak digunakan saat ini salah satunya yaitu *air conditioner*. *Air conditioner* adalah seperangkat alat yang digunakan untuk mengkondisikan suhu ruangan guna memberi kenyamanan bagi pengguna[1]. *Air conditioner* yang sering digunakan adalah AC tipe Split, dimana AC ini memiliki dua bagian yaitu unit outdoor untuk membuang kalor ke lingkungan dan unit indoor untuk menyerap kalor dalam ruangan[2]. Penggunaan AC saat ini banyak yang dioperasikan bersamaan dengan *water heater* [3]. Penambahan *water heater* pada AC terletak diantara kompresor dan kondensor[4]. Caranya dengan memodifikasi pipa keluaran kompresor yang nantinya pipa keluaran kompresor sebelum menuju ke kondensor dimanfaatkan untuk memanaskan air dalam tangki dimana didalam tangki terdapat pipa spiral 12 meter agar menambah efektifitas panas pada tangki tersebut. Penambahan *water heater* pada *air conditioner* juga dapat mempengaruhi konsumsi daya listrik, suhu hembusan luaran evaporator dan *Coefficient Of Performance* (COP).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan *water heater* dapat mempengaruhi kinerja sistem pendingin. Misalnya, penelitian oleh [5] menunjukkan bahwa penambahan *water heater* pada *air conditioner* kapasitas 1 PK dapat menaikkan COP dan menurunkan konsumsi daya listrik dengan cara menambahkan solenoid valve. Kemudian Penelitian [6][7] menunjukkan bahwa penambahan *water heater* pada *air conditioner* dapat menurunkan COP.

Dalam penelitian ini juga bertujuan untuk mengetahui pengaruh konsumsi daya listrik sebelum dan sesudah diberi *water heater*, mengetahui pengaruh perubahan suhu hembusan luaran evaporator sebelum dan sesudah diberi *water heater*, dan mengetahui perubahan COP sebelum dan sesudah diberi *water heater*. Penelitian ini menggunakan *water heater* kapasitas 20 liter dan temperature air dalam tangki yang diinginkan yaitu 40° C - 45° C[8] dalam kurun waktu 40 menit. Melalui analisis ini, diharapkan dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai interaksi antara penggunaan *water heater* dalam sistem AC. Selain itu penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi penelitian selanjutnya mengenai pengaruh penambahan *water heater* pada AC split 1 PK terhadap konsumsi daya listrik, suhu hembusan luaran evaporator, dan COP (*Coefficient Of Performance*).

METODOLOGI

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini berdasarkan gambar 1. dan 2. peneliti menggunakan AC split 1 PK yang dimodifikasi pipa output kompresornya untuk memanaskan air pada tangki dimana air itu akan dimanfaatkan untuk kebutuhan mandi. Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu digital volt meter dan digital ampere meter dimana alat ini digunakan untuk mengetahui konsumsi daya listrik pada saat alat ACWH beroperasi. Kemudian alat yang digunakan adalah thermometer digital dimana alat ini digunakan untuk mengetahui suhu hembusan luaran evaporator yang nantinya dapat mengetahui perubahan suhu hembusan luaran evaporator sebelum dan sesudah diberi *water heater*. Kemudian peneliti juga menggunakan alat pressure gauge dimana alat ini untuk mengukur dan mengetahui tekanan rendah (*low pressure*) dan tekanan tinggi (*high pressure*) pada saat sistem ACWH beroperasi yang nantinya *high pressure* dan *low pressure* digunakan untuk menghitung COP atau efisiensi ACWH.



Gambar 1. Alat ACWH



Gambar 2. Diagram Alir

2.1 Perhitungan Konsumsi Daya Listrik

Perhitungan konsumsi daya listrik dilakukan dengan menggunakan digital ampare meter dan digital volt meter yang dimana perhitungan konsumsi daya listrik dilakukan setiap 5 menit selama 40 menit dengan formula pengukuran daya listrik sebagai berikut :

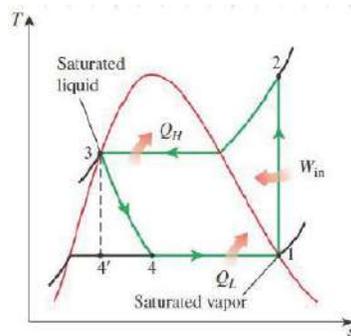
$$P = I \cdot V \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- P = Daya Listrik (Watt)
- I = Arus Listrik (Ampere)
- V = Tegangan Listrik (Volt)

2.2 Parameter Perhitungan Kompresi UAP

Efisiensi termal adalah istilah yang digunakan untuk menentukan kinerja mesin panas. Pemanfaatan panas pengoperasian, juga dikenal sebagai rasio energi atau koefisien kinerja (COP), dapat digunakan untuk menggambarkan kinerja pendingin dan pompa panas. Kinerja suatu sistem pengkondisian udara sering juga disebut dengan *Coeffisient Of Performance (COP)*.



Gambar 3. Diagram T-S

1-2 Proses Kompresi

$$W_{\text{Compressor}} = \dot{m} (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (2)$$

dimana :

- \dot{m} : Laju aliran massa (kg/s)
- $W_{\text{Compressor}}$: Besarnya kerja kompresi yang dilakukan (Watt)
- h_2 : Entalpi refrigeran saat keluaran kompresor (kJ/kg)
- h_1 : Entalpi refrigeran saat masukan kompresor (kJ/kg)

2- 3 Proses Kondensasi

$$Q_{\text{Condensator}} = \dot{m} (h_3 - h_2) \dots\dots\dots (3)$$

dimana :

- \dot{m} : Laju aliran massa (kg/s)
- $Q_{\text{Condensator}}$: Besarnya kalor yang dikeluarkan ke lingkungan (kJ/kg)
- h_2 : Entalpi refrigerant saat masuk kondensor (kJ/kg)
- h_3 : Entalpi refrigerant saat keluar kondensor (kJ/kg)

3- 4 Proses Exspansi

Proses ini berlangsung secara iso-entalpi, tidak terjadi pengurangan atau penambahan entalpi tetapi terjadi drop tekanan dan penurunan temperatur[9].

4- 1 Proses Evaporasi

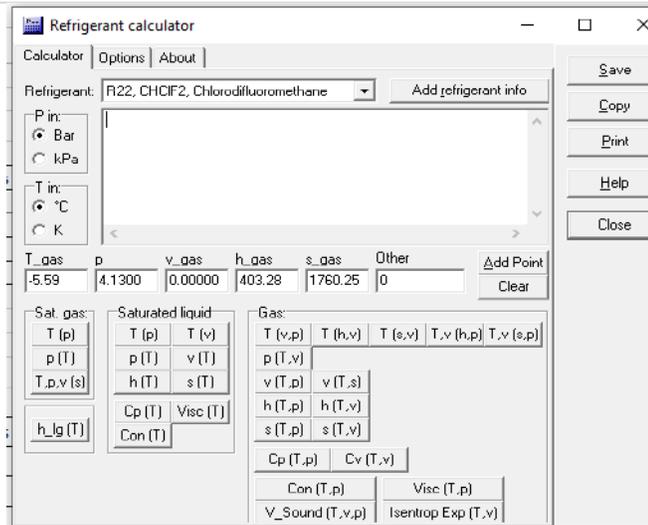
$$Q_{\text{evaporator}} = \dot{m} (h_1 - h_4) \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

- $Q_{\text{evaporator}}$: Besarnya kalor yang di serap evaporator (kJ/kg)
- h_4 : Entalpi refrigerant saat keluar evaporator (kJ/kg)
- h_1 : Entalpi refrigerant saat masuk evaporator (kJ/kg)

$$\text{COP} = (\text{Efek Refrigerasi}) / (\text{Kerja Kompresi}) = (h_1 - h_4) / (h_2 - h_1) \dots\dots\dots (5)$$

Perhitungan parameter ini peneliti menggunakan menggunakan software coolpack. CoolPack adalah software yang digunakan untuk simulasi berbasis pada data fisis sifat-sifat termodinamika dari berbagai fluida kerja yang sering digunakan pada system refrigerasi. Berikut merupakan tampilan dari software coolpack:[10]



Gambar 4. Software Coolpack

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Konsumsi Daya Listrik

Konsumsi daya listrik dalam 40 menit atau 0,6 jam pada *Air Conditioning* kapasitas 1 PK sebelum penambahan *water heater* memiliki nilai sebesar 0.6311 kWh (Tabel 1).

Tabel 1. Data Konsumsi Daya Listrik *Air conditioner* Tanpa *Water heater*

Data Daya Listrik Sebelum diberi <i>Water heater</i>				
waktu (menit)	Ampere (I)	Volt (V)	Daya (Watt)	kWh
5	3,96	201,2	796,75	0,0664
10	4,45	201,9	898,46	0,0748
15	4,82	201,2	969,78	0,0808
20	4,81	202,2	972,58	0,0810
25	5,05	197,4	996,87	0,0830
30	4,87	201,1	979,36	0,0816
35	4,87	202	983,74	0,0819
40	4,86	201,3	978,32	0,0815
Total				0.6311

Berdasarkan Tabel 1. Konsumsi daya listrik sebelum diberi *water heater* di 5 menit pertama sebesar 0,0664 kWh dan di menit ke 40 naik menjadi 0,0815 kWh sehingga kenaikan rata – ratanya sebesar 0,0788 kWh. Dari data yang diperoleh menandakan bahwa konsumsi daya listrik di menit ke 5 sampai 15 mengalami kenaikan karena di menit ini tekanan refrigerant belum stabil atau belum mencapai 80 Psi. Selain itu, kenaikan konsumsi daya listrik juga disebabkan karena pipa penghubung indoor dan outdoor jaraknya terlalu dekat sehingga mempengaruhi beban kerja kompresor sehingga konsumsi daya listrik mengalami kenaikan.

Konsumsi daya listrik dalam 40 menit pada *Air Conditioning* kapasitas 1 PK dengan penambahan *water heater* memiliki nilai sebesar 0.5974 kWh (Tabel 2).

Berdasarkan Tabel 1. Konsumsi daya listrik sebelum diberi *water heater* di 5 menit pertama sebesar 0,0664 kWh dan di menit ke 40 naik menjadi 0,0815 kWh sehingga kenaikan rata – ratanya sebesar 0,0788 kWh. Dari data yang diperoleh menandakan bahwa konsumsi daya listrik di menit ke 5 sampai 15 mengalami kenaikan karena di menit ini tekanan refrigerant belum stabil atau belum mencapai 80 Psi. Selain itu, kenaikan konsumsi daya listrik juga disebabkan karena pipa penghubung indoor dan outdoor jaraknya terlalu dekat sehingga mempengaruhi beban kerja kompresor sehingga konsumsi daya listrik mengalami kenaikan.

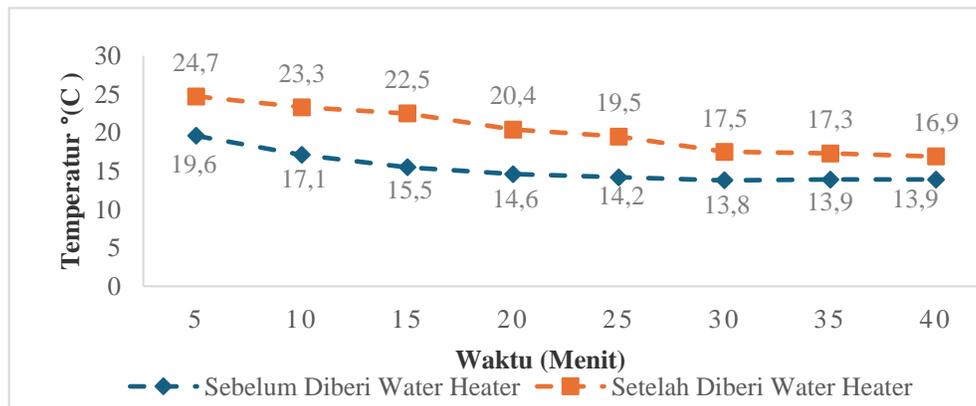
Tabel 2. Data Konsumsi Daya Listrik Air Conditioner dengan Water heater

Data Daya Listrik Setelah diberi Water heater				
Waktu (menit)	Arus Listrik (A)	Tegangan (V)	Daya (W)	Energi (kWh)
5	3.07	212.7	652.99	0.0544
10	3.4	212.3	721.82	0.0601
15	3.75	210.8	790.50	0.0658
20	4.17	208	867.36	0.0723
25	4.55	206.5	939.58	0.0783
30	4.81	210.1	1010.58	0.0842
35	5.13	209.5	1074.74	0.0895
40	5.32	209.4	1114.01	0.0928
Total				0.5974

Bedasarkan data tabel 2.konsumsi daya listrik setelah diberi *water heater* di 5 menit pertama sebesar 0,0544 kWh dan di menit 40 menjadi 0,0928 kWh, sehingga rata-rata konsumsi daya listrik sebesar 0,0746 kWh. Jika dibandingkan dengan rata-rata konsumsi daya listrik sebelum diberi *water heater* ,ini menandakan bahwa penambahan *water heater* dapat menurunkan konsumsi daya listrik selama 40 menit sebesar 5,3 %. Penurunan konsumsi daya listrik yang sangat signifikan terjadi di menit ke 5 sampai 15. Penurunan konsumsi daya listrik disebabkan karena di menit 5 sampai 15 refrigerant masih tahap sirkulasi karena adanya tambahan pipa pemanas air sehingga tekanan belum mencapai 80 Psi.Kemudian di menit 20 sampai 40 menit konsumsi daya listrik mengalami kenaikan yang sangat signifikan karena tekanan kompresor naik sebesar 80 Psi sehingga beban kerja kompresor bertambah yang mengakibatkan konsumsi daya listrik meningkat.

3.2 Data Suhu Hembusan luar Evaporator

Dalam pengambilan data ini peneliti menggunakan thermometer yang ditempelkan di swing AC untuk mengetahui suhu hembusan luaran evaporator sebelum dan setelah diberi *water heater* .Pengambilan data dilakukan dengan pengaturan suhu 24° dan dengan tekanan refrigerant 80 Psi.



Gambar 5. Hasil Suhu hembusan evaporator terhadap waktu

Berdasarkan gambar 5. Penambahan *water heater* pada *Air conditioner* tipe split 1 PK mengalami kenaikan suhu luaran evaporator setelah diberi *water heater* selama 40 menit. Semula suhu hembusan luar evaporator memiliki suhu rata-rata 15,3° C kemudian setelah diberi *water heater* suhu evaporator mengalami kenaikan suhu rata-rata yaitu 20,2 °C. Kenaikan suhu luaran evaporator terjadi karena penambahan pipa pemanas dari output pipa kompresor menuju tangki air. Selain itu suhu evaporator naik juga bisa disebabkan karena tangki *water heater* berada di dekat evaporator sehingga evaporator harus bekerja lebih keras untuk menghilangkan panas tambahan.

3.3 Data Suhu Hembusan luar Evaporator

Berikut merupakan uraian perhitungan hingga dapat diketahui nilai COP seperti yang tertera pada gambar 5. Pengambilan data di 5 menit pertama.

Perhitungan parameter- parameter termodinamika refrigerant di titik 1 (input kompresor dari evaporator):

Dari data yang diperoleh di 5 menit pertama,

Tekanan (P_1) = 4,13 bar

(T_1) adalah suhu refrigerant pada fase saturated gas pada P_1 . Dari perhitungan menggunakan software coolpack diperoleh:

$$T_1 = f (P_1) = - 5,59^{\circ}\text{C}$$

h_1 adalah entalpi yang tergantung dari P_1 dan T_1 ,

$$h_1 = f (T_1, P_1) = 403,28 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{Entropi } (s_1) = 1760,25 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

Perhitungan parameter- parameter termodinamika refrigerant di titik 2 (output kompresor) :

P_2 diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan pressure gauge.

$$\text{Tekanan } (P_2) = 22,75 \text{ bar.}$$

s_2 secara ideal kompresi berlangsung secara isentropic, sehingga dapat diasumsikan $s_2 = s_1$ sehingga,

$$s_2 = 1760,25 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$$

T_2 adalah suhu refrigerant pada fase superheated gas yang dapat ditentukan dengan:

$$T_2 = f (s_2, P_2) = 84,89^{\circ}\text{C}$$

Untuk h_2 dapat diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan software coolpack yaitu :

$$h_2 = f (T_2, s_2) = 446,68 \text{ kJ/Kg}$$

Perhitungan parameter- parameter termodinamika refrigerant di titik 3 (dalam Kondensor) :

P_3 terjadi secara isobar (tekanan konstan) sehingga ($P_3 = P_2$), maka:

$$P_3 = 22,75 \text{ bar}$$

T_3 adalah suhu refrigerant pada fase saturated liquid sehingga suhu refrigerant mengalami penurunan.

T_3 dapat diketahui dengan menggunakan software coolpack yaitu :

$$T_3 = f(P_3) = 57,04^\circ\text{C}$$

h_3 dalam proses ini entalpi menurun,

Untuk h_3 dapat diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan software coolpack yaitu :

$$h_3 = f(T_3) = 273,25 \text{ kJ/Kg}$$

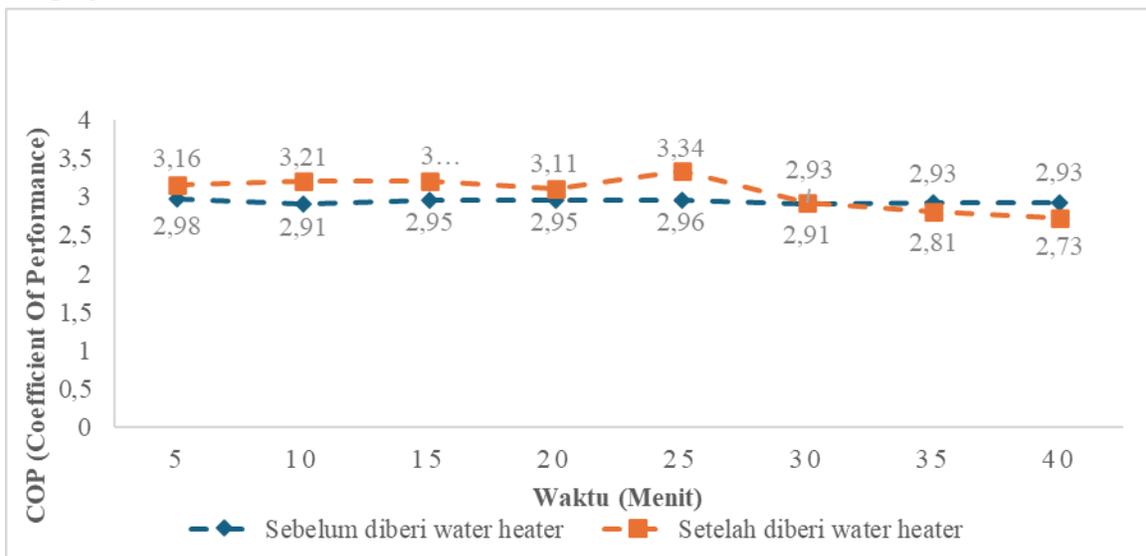
Perhitungan parameter- parameter termodinamika refrigerant di titik 4 (dalam exspansi) :

Proses ini terjadi secara isenthalpic (entalpi konstan). Karena proses yang terjadi isenthalpic, maka dapat disimpulkan bahwa:

$$h_4 = h_3 = 273,25 \text{ kJ/kg}$$

Selanjutnya yaitu perhitungan COP dapat dihitung berdasarkan hasil perhitungan parameter kompresi uap:

$$\text{COP} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{403,28 - 273,25}{446,68 - 403,28} = \frac{130,03}{43,59} = 2,893$$



Gambar 6. Hasil perhitungan COP

Berdasarkan gambar 6. COP *Air conditioner* setelah di beri tambahan *water heater* mengalami kenaikan COP yang sangat signifikan di menit ke 5 sampai 25, hal ini disebabkan karena setelah diberi tabahan pipa pemanas 12 meter dapat memperlambat sistem refrigerasi sehingga tekanan refrigerant rendah dan beban kompresor menurun sehingga COP naik. Kemudian di menit ke 30 sampai 40 COP mengalami penurunan karena tekanan refrigerant semakin tinggi dan beban kompresor naik sehingga COP mengalami penurunan. Berdasarkan data tersebut perbandingan COP sebelum dan sesudah diberi *water heater* hasilnya lebih efektif ketika diberi tambahan *water heater* , karena perbandingan rata-rata COP Sebelum diberi *water heater* adalah 2,942, kemudian setelah diberi *water heater* naik menjadi 3,061 atau sebesar 5%.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengidentifikasi dampak signifikan dari penambahan *water heater* kapasitas 20 liter terhadap konsumsi daya listrik dan efisiensi energi AC split 1 PK selama 40 menit. Berdasarkan hasil penambahan *water heater* dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Penurunan konsumsi daya listrik dari 0,946 kilowatt-jam (kWh) menjadi 0,896 kWh atau sebesar 5,3%.
2. Suhu hembusan udara dari evaporator AC juga meningkat dari rata-rata 15,32°C menjadi 20,26°C setelah diberi tambahan *water heater*.
3. *Coefficient Of Performance* (COP) naik dari 2,942 menjadi 3,061 atau sebesar 5% setelah diberi tambahan *water heater*, menunjukkan bahwa efisiensi energi AC split meningkat akibat tambahan beban dari *water heater* selama pemakaian 40 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mardiansah and A. Triyanto, "Pengaruh Variasi Tekanan Refrigerant Terhadap Kinerja Sistem *Air conditioner*," OKTAL J. Ilmu Komput. dan Sci., vol. 2, no. 12, pp. 3145–3150, 2023.
- [2] Z. Hanif, A. Setyawan, and H. Najmudin, "Pengaruh Panjang Pipa Suction dan Liquid terhadap Kinerja AC Split," Pros. Ind. Res. Work. Natl. Semin., vol. 13, no. 01, pp. 797–800, 2022.
- [3] E. Scientific, T. Pemakaian, and B. Rumah, "JTELS Study Analisis Penghematan Daya Listrik dan Pengaruhnya," vol. 01, no. 02, pp. 76–85, 2024.
- [4] R. M. Yunus et al., "Pembuatan Alat Uji Ac Jenis Split ½ Pk Dengan Penambahan," vol. 07, no. 01, pp. 528–534, 2020.
- [5] R. F. Furkon and I. Ms, "Analisis Pengaruh Pemanfaatan Solenoid Valve Pada *Water heater* Terhadap Tingkat Pendinginan dan Konsumsi Daya Listrik *Air conditioner* di Perumahan," vol. 14, no. 2, pp. 106–114, 2023.
- [6] D. S. C A Siregar, A M Siregar, "Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas Terhadap Performance AC Pada Aplikasi ACWH," J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi, vol. 4, no. 1, pp. 131–139, 2021.
- [7] H. Hendradinata, F. Irawan, and, "Rancang Bangun *Water heater* Dengan Memanfaatkan Panas Air Conditioning," PETRA J. Teknol., vol. 5, no. 2, pp. 43–49, 2018.
- [8] C. A. Siregar, A. M. Siregar, A. Affandi, and U. Amri, "Rancang Bangun Acwh Berkapasitas 60 Liter Memanfaatkan Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas," J. MESIL (Mesin Elektro Sipil), vol. 1, no. 1, pp. 56–62, 2020.
- [9] W. Putri et al., "Perbandingan Kinerja Sistem Refrigerasi Kompresi Uap menggunakan Refrigeran Dimethyl Ether (DME) dan R134a," pp. 344–348, 2023.
- [10] C. Davidson Elgogopril, B. Fajar Tk, and K. Rozi, "Perancangan Sistem Pendingin Susu Berkapasitas 500L Dengan Menggunakan Software Coolpack," J. Tek. Mesin S-1, vol. 11, no. 3, p. 2023, 2023.

INDEX OF AUTHOR

F

Farid Wazdi

H

Handika Yanu Wijaya

I

Ihat Solihat

J

Joko Setiyono

K

Kusdi Prijono

M

Mimin Andika Cahyatullah

Muhammad Awwaluddin

N

Nailul Atifah

Natalia Magdalena Kawet

Natasya Nurul Umi Halimah

S

Satria Putra Handoyo

Sunny Ineza Putri

W

Wahrul Andrian Maulana



9 772620 670048

www.unpam.ac.id

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
UNIVERSITAS PAMULANG**

Jl. Surya Kencana No. 1 Pamulang - Tangerang Selatan

Telp/Fax : 021.741 2566 - 7470 9855