

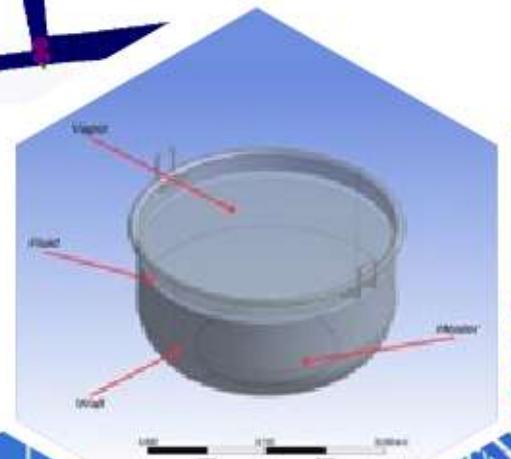
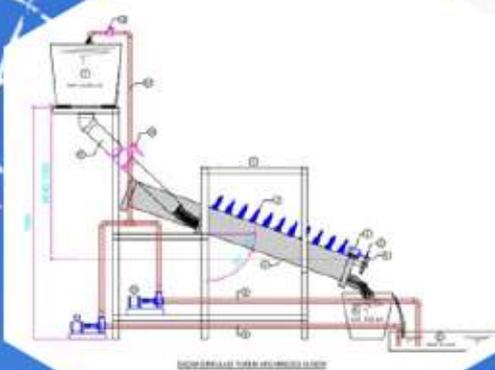
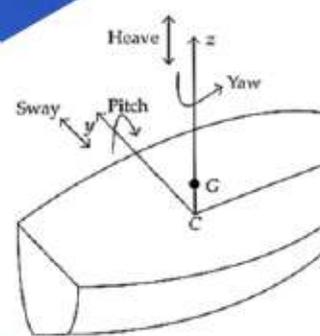
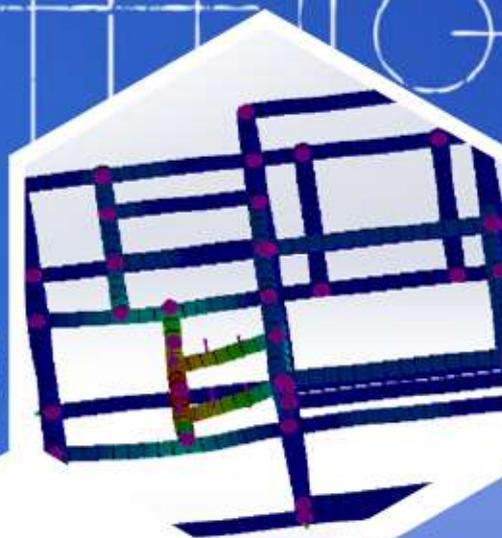
JURNAL
TEKNIK MESIN

CAKRAM

**VOL. 7,
NO. 2,
OKTOBER 2024**

e-ISSN 2686-0597

p-ISSN 2620-6760



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik
Universitas Pamulang



SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Jurnal Teknik Mesin

CAKRAM

Universitas Pamulang

Vol. 7, No.2

Oktober 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 Nurciptio, 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
PERANCANGAN ALAT PENYULINGAN MINYAK DAUN SEREH UNGU	55-64
Dimas Rizqie Febriyansyah, Rizki Aulia Nanda, Karyadi Awwaluddin	
SIMULASI <i>COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS</i> (CFD) PENYEBARAN PANAS HOT TANK PADA SISTEM DESALINASI AIR LAUT	65-75
Aleiza Fadriana, Joko Setiyono, Sunny Ineza Putri	
ANALISIS POMPA SENTRIFUGAL PADA ALAT UJI ALIRAN FLUIDA TERHADAP DAYA LISTRIK, DAYA HIDROLIS, <i>HEADLOSS</i> DAN NILAI EFISIENSI POMPA	76-90
Ihat Solihat, Ersam Mahendrawan	
ANALISIS PERPINDAHAN PANAS WATER HEATER DENGAN VARIASI PANJANG PADA PIPA BENTUK HELICAL MEMANFAATKAN PANAS DARI PIPA KOMPRESOR AC SPLIT 1 PK	91-100
Baihaqi Maulana Ali, Nailul Atifah	
PENGARUH FRAKSI VOLUME TERHADAP SIFAT MEKANIK KAMPAS REM BERBAHAN SERBUK KAYU JATI	101-109
Ilham Sholehuddin, Nely Ana Mufarida, Kosjoko	
ANALISA DAYA PADA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DENGAN VARIASI TURBIN <i>ARCHIMEDES SCREW</i>	110 – 119
Muhammad Naufal Fawwaz, Ihat Solihat	



2620-6706 (Cetak); 2686-0597 (Online);
Vol. 7, No. 2, Oktober 2024

Jurnal Teknik Mesin
CAKRAM

ANALISIS TAHANAN, STABILITAS, *SEAKEEPING* DAN FENOMENA 120 – 131
SLAMMING PADA KAPAL DENGAN VARIASI SUDUT *DEADRISE*

Naufal Fadillah, Asral, Awaludin Martin



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. 2, April 2024 ini dapat kami terbitkan tepat pada waktunya.

Topik-topik yang ditampilkan pada edisi ini adalah artikel pertama tentang perancangan alat penyulingan minyak daun sereh ungu. Artikel kedua tentang simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) penyebaran panas hot tank pada sistem desalinasi air laut. Artikel ketiga tentang analisis pompa sentrifugal pada alat uji aliran fluida terhadap daya listrik, daya hidrolis, *headloss* dan nilai efisiensi pompa. Artikel keempat tentang analisis perpindahan panas *water heater* dengan variasi panjang pada pipa bentuk helical memanfaatkan panas dari pipa kompresor ac split 1 PK. Artikel kelima tentang pengaruh fraksi volume terhadap sifat mekanik kanvas rem berbahan serbuk kayu jati. Artikel keenam tentang analisa daya pada simulator Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dengan variasi turbin *archimedes screw*. Dan artikel ketujuh tentang analisis tahanan, stabilitas, *seakeeping* dan fenomena *slamming* pada kapal dengan variasi sudut *deadrise*.

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, Oktober 2024

Dewan Redaksi



PERANCANGAN ALAT PENYULINGAN MINYAK DAUN SEREH UNGU

Dimas Rizqie Febriyansyah¹, Rizki Aulia Nanda^{2*}, Karyadi³

^{1,2,3}Universitas Buana Perjuangan Karawang

E-mail : rizki.auliananda@ubpkarawang.ac.id

Masuk : 28 Juli 2024

Direvisi : 16 September 2024

Disetujui : 28 September 2024

Abstrak: Berdasarkan studi literatur hasil distilasi dari serih ungu dapat dimanfaatkan dan dijual sebagai obat-obatan. Manfaat daun dari serih ungu dapat diekstrak menjadi minyak atsiri yang dapat menghangatkan tubuh dan batang tanaman ini juga dapat menghilangkan racun dari dalam tubuh. Dengan latar belakang tersebut maka tujuan penelitian ini akan difokuskan membuat gambaran perancangan alat penyulingan minyak daun serih ungu. Metode yang dilakukan pada perancangan penelitian ini menggunakan alat bantu *software* CAD dengan analisis pada rangka dibagian tabung reaktor dan kondensor dengan metode Tegangan(*stress*) kedudukan tangki reaktor distilasi menghasilkan tegangan minimum yaitu 0.693 MPa dan hasil tegangan maksimum 8.321 Mpa, analisis yang dilakukan pada kedudukan tabung kondensor distilasi menghasilkan tegangan minimum 0,000 MPa dan Perubahan bentuk(*Displacement*) kedudukan tangki reaktor distilasi memiliki minimum 0.003 mm, analisis kedudukan tabung kondensor distilasi perpindahan 0.000 mm dan 0.004 maksimum. Hasil tersebut maka menunjukkan perpindahan yang terjadi tidak signifikan, maka rangka tersebut yang telah dilakukan simulasi pembeban dapat dilanjutkan untuk proses manufaktur komponen. Dengan demikian diharapkan hasil dari perancangan alat penyulingan minyak daun serih ungu ini mampu dimanfaatkan oleh masyarakat di Desa Ardiarsa Timur.

Kata kunci: Daun serih ungu, alat penyulingan, konsep desain, proses manufaktur.

Abstract: Based on literature studies, the distillation results from purple lemongrass can be used and sold as medicine. The benefits of purple lemongrass leaves can be extracted into essential oil which can warm the body and the stem of this plant can also eliminate toxins in the body. With this background, the aim of this research will be to focus on creating an overview of the design of a purple lemongrass oil distillation tool. The method carried out in designing this research uses CAD software tools with analysis of the frame in the reactor and condenser tubes using the Stress method for the distillation reactor tank seat which produces a minimum stress of 0.693 MPa and a maximum stress result of 8.321 MPa, the analysis carried out on the tube mount the distillation condenser produces a minimum stress of 0.000 MPa and the Displacement of the distillation reactor tank holder has a minimum of 0.003 mm, analysis of pyrolysis condenser tube seat displacement 0.000 mm and 0.004 maximum. These results show that the displacement that occurs is not significant, so the frame which has been subjected to load simulation can be continued for the component manufacturing process. Thus, it is hoped that the results of designing a purple lemongrass oil distillation tool can be utilized by the community in East Ardiarsa Village.

Keywords: Purple lemongrass leaves, distillation equipment, design concept, manufacturing process

PENDAHULUAN

Daun sereh sering digunakan dalam masakan sebagai bumbu makanan. Karena keunikannya, batang sereh ungu sering digunakan sebagai pembasmi serangga alami. Masyarakat biasanya menanam tanaman ini diperkarangan mereka untuk digunakan sebagai tanaman terapi, sereh secara fisik menyerupai rumput tetapi ukurannya besar. Daunnya tajam dan terasa kasar uniknya menyebar ketika daunnya robek. Batang sereh ungu merupakan komponen yang paling sering digunakan sebagai bumbu masakan. Batangnya berwarna ungu dan memiliki struktur yang tidak terlalu kaku. Manfaat lainnya daun sereh ungu dapat diekstrak menjadi minyak atsiri yang dapat menghangatkan tubuh, batang tanaman ini juga dapat menghilangkan racun dari dalam tubuh, kandungan dalam batang sereh ungu ini mampu menetralkan racun. Di Desa Ardiarsa Timur memiliki tumbuhan sereh ungu yang luas dikawasan tersebut mayoritas para penduduk menanam batang sereh sebagai bumbu masakan dan sebagai obat-obatan apabila sereh tersebut direbus dan rebusannya diminum. Namun di Desa Ardiarsa Timur masyarakat masih belum memanfaatkan proses distilasi atau penyulingan sereh sebagai obat-obatan yang dapat dijual ke berbagai daerah

Dengan isu tersebut sebagai latar belakang fokus penelitian ini akan difokuskan pada perancangan produk untuk proses penyulingan batang sereh ungu. Perancangan produk ini bertujuan untuk memberikan gambaran awal tentang cara menggabungkan proses distilasi dan pirolisis ke dalam satu alat. Tujuan penelitian merancang dan membuat konsep produk untuk proses penyulingan daun sereh ungu, mendapatkan spesifikasi dari hasil perancangan penyulingan minyak daun sereh ungu. Distilasi adalah metode pemisahan cairan dari campuran perbedaan titik didih atau vol perubahan zat [1] Ketika dipanaskan hingga titik didihnya dan uap mengalir ke pendingin(kondensor) dari reaktor berbentuk cairan metode penyulingan uap dan air ini dapat menghasilkan uap dan panas yang konstan karena tekanan uap yang konstan [2] Penggunaan serai wangi (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) sebagai bahan obat mempunyai dasar kuat karena mengandung senyawa aktif seperti tanin, flavonoid, alkaloid, polifenol, saponin dan minyak atsiri [3]. Minyak serai wangi adalah salah satu komoditas atsiri yang sangat prospektif di antara 12 minyak atsiri yang diekspor oleh Indonesia. Permintaan minyak serai wangi cukup tinggi bahkan cenderung meningkat, tetapi harganya stabil. Pertumbuhan ekspor minyak serai wangi cukup tinggi berkisar 9–10%. Data ekspor BPS menunjukkan bahwa kontribusi minyak serai wangi (citronella oil) terhadap pendapatan ekspor minyak atsiri sekitar 6,89%, ketiga terbesar setelah minyak nilam (patchouli oil) sekitar 60% dan minyak akar wangi (vetiver oil) sekitar 12,47%. Minyak atsiri serai wangi yang merupakan hasil dari metabolit sekunder dapat diperoleh dari bagian daun dan batang tanaman [4]

Menurut [5] kandungan kimia yang terdapat dalam serai wangi ini dapat menghambat pertumbuhan jamur *Candida albicans* yaitu senyawa saponin, tanin, dan flavonoid, hasil diameter zona hambat masing-masing 25% (16,5 mm), 50 % (18,6 mm), 75 % (23,7 mm), 100% (21,4 mm). Senyawa metabolit yang dimiliki serai wangi mengindikasikan serai memiliki aktivitas antibakteri yang cukup besar [6]. Menurut Mayasari & Sapitri (2019) daun serai wangi memiliki aktivitas antibakteri terhadap *Streptococcus mutans* dengan zona hambat konsentrasi 10 % (14,2 mm), 20 % (15,1 mm), 30 % 16,2 mm dan 40 % (17,3 mm).

Karakter Rendemen Antar Komponen Serai Wangi (*Cymbopogon citratus*). Serai wangi sudah tidak asing lagi di Indonesia sebagai bahan masakan yang dikenal dengan nama Serai Wangi (*Cymbopogon citratus*). Serai wangi termasuk tanaman langka yang belum banyak dikenal masyarakat. Terdapat dua spesies serai wangi yang dikenal yaitu Serai Wangi Lenabatu (*Cymbopogon nardus*) dan Serai Wangi Mahapengiri (*Cymbopogon winterianus*) yang merupakan tanaman yang minyak atsirinya dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan obat dan parfum.

Berdasarkan penelitian yang di lakukan oleh Hilda Porawati dkk dengan judul “Rancang Bangun Alat Penyuling Minyak Atsiri Tumbuhan Nilam Metode Distilasi Air Dan Uap” Penyulingan minyak nilam dengan air dan uap untuk membuat minyak atsiri nilam. Metode yang digunakan adalah penyulingan air dan uap. Metode penyulingan uap dan air ini dapat menghasilkan uap dan panas yang konstan karena tekanan uap yang konstan. Hasil desain penyulingan ini memungkinkan dihasilkannya minyak atsiri dari tanaman nilam. Rancangan alat penyuling minyak atsiri nilam ini menggunakan bahan baku 2 kg nilam dan 20 liter air. Tabung ketel terbuat dari lembaran aluminium. Ukuran yang digunakan adalah ketel dengan tinggi 800 mm, diameter 300 mm, alat penyuling minyak atsiri yang menggunakan gas sebagai bahan bakarnya[7].

Alat penyulingan minyak atsiri mampu menyuling minyak dengan menggunakan bahan sereh, kencur, biji adas, dan batang adas rata-rata kapasitas efektif alat, maka diperowisneh kinerja alat sebesar 155 % kinerja alat dapat ditingkatkan dengan mengubah bahan atau perlakuan terhadap bahan dan melakukan pemisahan minyak dengan corong pemisah maupun separator. Secara teoritis, alat dan mesin pertanian yang baik memiliki persentase kinerja antara 60% – 70%, lebih dari itu akan semakin baik. Alat penyulingan minyak atsiri ini sehari mampu membuat bahan sebanyak 160 kg, minyak yang didapat maximum bisa mencapai 600 ml dalam sehari. Waktu yang digunakan alat penyulingan ini mampu bertahan lebih dari 10 jam. Rendemen minyak Asitri yang diperoleh pada penelitian ini melebihi SNI dimana rendemen minyak adalah 1,5 – 3,5 %, sedangkan rendemen minyak atsiri dilapangan 6.4%. [8]

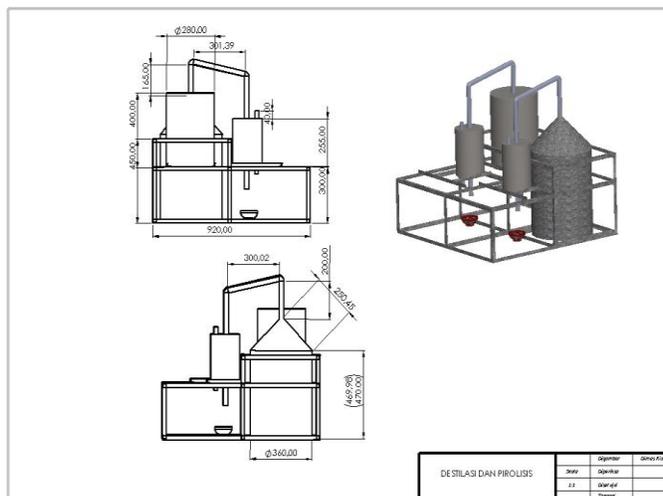
Hasil penelitian menunjukkan perancangan kondensor yang digunakan untuk proses kondensasi pada destilator minyak atsiri menghasilkan kondensor 1 menggunakan material stainless steel 304 dimensi shell 100 mm, tinggi 300 mm dan material tembaga B280 dimensi tube 70 mm tinggi helical 250 mm. Dan kondensor 2 menggunakan material stainless steel 304 dimensi shell 200 mm, tinggi 600 mm dan material tembaga B280 dimensi tube 100 mm tinggi helical 450 mm menghasilkan rendemen minyak atsiri berkapasitas 157 ml / proses. [9]

Proses pembuatan bioethanol melibatkan proses distilasi. Dalam penelitian ini dilakukan rancang bangun dan uji kinerja sebuah alat distilasi elektrik dengan menafaatkan molase sebagai bahan baku pembuatan bioethanol. Tujuannya untuk mengetahui kualitas kandungan alkohol dalam bioethanol yang diproses menggunakan alat distilasi elektrik. Pengujian destilator elektrik meliputi uji fungsional dan uji kinerja. Uji fungsional dilakukan dengan menguji komponen yang digunakan pada alat sehingga dapat diketahui apakah alat berfungsi dengan baik. Sedangkan uji kinerja destilator elektrik adalah uji kinerja otomatis alat untuk menghasilkan bioethanol. Prosedur uji kinerja dari destilator elektrik dilakukan dengan menggunakan thermostat bimetal 76°C dan 85°C, untuk mengukur waktu distilasi dan mengetahui kandungan alkohol pada bioethanol. Dari hasil penelitian didapatkan untuk destilator elektrik yang menggunakan thermostat bimetal 76°C lama waktu proses 70,43 jam menghasilkan bioethanol dengan kandungan alkohol sebesar 61,7% dan destilator elektrik yang menggunakan thermostat bimetal 85°C lama waktu proses 0,56 jam menghasilkan bioethanol dengan kandungan alkohol sebesar 35%. [10]

Proses pemisahan dilakukan dengan cara mengalirkan campuran minyak dan air ke dalam separator dengan debit 4,0 – 4,5 L/jam menggunakan pompa aquarium. Hasil rendemen diperoleh nilai berkisar antara 0,82 – 0,88% pada volume minyak yang ditambahkan mulai dari 100 – 150 mL. Artinya diperoleh volume minyak yang masih tertinggal diseparator berkisar antara 18 – 20 mL. Bila waktu pemisahan diperpanjang hingga 12 jam maka akan diperoleh minyak yang tertinggal berkisar 2-5 mL [11].

METODOLOGI

2.1 Gambar Konsep Desain Menggunakan Software CAD



Gambar 1. Konsep Desain

Tabel 1. Komponen alat penyulingan

Komponen		
Nama	Jumlah	Fungsi
Rangka	1 unit	Untuk kedudukan reaktor pirolisis, distilasi dan kondesor.
Pipa nempel kondesor	4 unit	Untuk masuk dan keluarnya air es kedalam tabung kondesor.
Kondensor liebig	2 unit	Kondensor liebig kondensor yang mengubah uap menjadi cair dan terdiri dari jaringan pipa (air).
Reaktor distilasi	1 unit	Pembakaran luar yang akan dididihkan air dan sereh secara bersamaan
Pipa penghubung distilasi dan pipa pirolisis	2 unit	pipa penyalur dan reaktor disambung dengan kemiringan 96° dipasang lebih atas dari tutup reaktor dan menghasilkan aliran laminar sehingga uap dan cairan mengalir lebih banyak,
Reaktor pirolisis	1 unit	Pembakaran dalam yang akan membakar tempurung kelapa.
Elbow	4 unit	Komponen ini sangat penting untuk penyambungan pipa.

2.1.1 Tahapan Perancangan Alat Penyulingan Minyak Daun Sereh Ungu

1. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku-buku pedoman yang berhubungan dengan mekanisme alat penyulingan minyak daun sereh ungu hasil publikasi ilmiah, serta melalui penelitian yang berhubungan dengan perancangan alat penyulingan minyak daun sereh ungu dalam rangka memperoleh dasar teori dan melengkapi perancangan.
2. Analisis siklus penggunaan produk dilakukan pengamatan kebutuhan masyarakat akan penyulingan minyak daun sereh ungu untuk obat-obatan, namun karena sereh ungu tersebut memiliki hama maka perlu alat pengembangan pestisida untuk mengatasi hama batang sereh ungu.
3. Memeriksa setiap bahan yang sudah ditentukan.
4. Analisis beban setiap bagian-bagiannya, menggunakan alat bantu timbangan
5. Mengamati desain dengan teliti, Desain menggunakan alat bantu *software* CAD.
6. Merancang rangka.

7. Merancang reaktor distilasi.
8. Merancang kondensor liebig.
9. Merancang pipa penghubung dari reaktor distilasi ke kondensor liebig.
10. Melakukan simulasi tegangan berdistribusi pada rangka distilasi.
11. Melakukan simulasi tegangan berdistribusi pada rangka kondensor distilasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Berat Komponen

Berikut komponen dengan beban yang di hitung dengan media timbangan berat badan digital masing-masing komponen maka hasil perhitungan komponen bisa dilihat pada tabel 2. Pada perhitungan tersebut maka dilakukan dengan persamaan 1.

$$F = m(kg) \times g (m/s^2) = N \tag{1}$$

Keterangan:

F = gaya ke atas(N)

m = massa(kg)

g = konstanta gravitasi(m/s^2)

Tabel 2. Berat komponen

Nama Komponen	Berat Komponen(kg)	Gaya (N)
Tabung kondensor	4.30	42.10
Reaktor pirolisis	2.65	25.90
Reaktor distilasi	4.80	47.07
Pipa penghubung pirolisis	0.50	4.90
Pipa penghubung distilasi	0.45	4.40
Total	62.20	163,87

3.2 Analisis Beban Distribusi Pada Rangka

Tegangan(*stress*) adalah sekumpulan gaya yang bekerja pada permukaan benda. Semakin sempit permukaannya tetapi gayanya tetap sama, semakin besar tegangannya. Tegangan tertinggi diwakili oleh gradien paling merah, paling kecil adalah paling biru, sedangkan daerah tegangan sedang adalah daerah kuning-hijau-biru muda. Analisis beban tegangan dapat dilihat pada tabel 3.

Perubahan bentuk (*displacement*) merupakan perubahan suatu benda yang disebut gaya, dalam hal ini kelengkungan. Bagian paling melengkung dari rangka ini adalah area merah yang paling dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 3. Hasil analisis tegangan(*stress*)

Lokasi Pembebanan	Minimum (MPa)	Maksimum (MPa)	Hasil
Dudukan Tangki Reaktor Distilasi	0.693	8.321	
Dudukan Tangki Reaktor Pirolisis	0.371	4.447	
Dudukan Tabung Kondensor Distilasi	0.000	1.582	

Dudukan	0.066	0.789	
Tabung			
Kondensor			
Pirolisis			

Dari analisis diatas bisa dilihat bahwa dudukan tangki reaktor distilasi menghasilkan tegangan minimum yaitu 0.693 MPa dan hasil tegangan maksimum 8.321 MPa, analisis selanjutnya dudukan tangki reaktor pirolisis menghasilkan tegangan minimum 0.371 MPa dan tegangan maksimum 4.447 MPa, analisis yang dilakukan pada dudukan tabung kondensor distilasi menghasilkan tegangan minimum 0,000 MPa dan tegangan maksimal 1.582 MPa, dan analisis Dudukan Tabung Kondensor Pirolisis tegangan minimum 0.066 MPa dan tegangan maksimum 0.789 MPa.

Tabel 4. Hasil analisis perubahan bentuk(*displacement*)

Lokasi pembebanan	Minimum (mm)	Maksimum (mm)	Hasil
Dudukan tangka reaktor distilasi	0.003	0.039	
Dudukan Tangka Reaktor Pirolisis	0.002	0.020	

Dudukan	0.001	0.009	
Tabung			
Distilasi			
Dudukan	0.000	0.004	
Tabung			
Kondensor			
Pirolisis			

Dari tabel diatas menjelaskan ada beberapa titik pada rangka yang penulis lakukan analisis perpindahan, dudukan tangki reaktor distilasi memiliki minimum 0.003 mm dan maksimum 0.039 mm analisis selanjutnya dudukan tangka reaktor pirolisis minimum 0.002 mm dan maksimum 0.020 mm, selanjutnya analisis dudukan tabung distilasi minimum perpindahannya 0.001 mm dan maksimum 0.009 mm dan analisis dudukan tabung kondensor pirolisis perpindahan 0.000 mm dan 0.004 maksimum. Perpindahan tertinggi pada dudukan rangka reaktor distilasi sebesar 0.039 mm dari hasil tersebut maka menunjukkan perpindahan yang terjadi tidak signifikan, maka rangka tersebut yang telah dilakukan simulasi pembeban dapat dilanjutkan untuk proses manufaktur komponen.

3.3 Proses Manufaktur Komponen

Adapun tahapan-tahapan dalam proses komponen alat distilasi dan pirolisis dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

1. Proses pengelasan rangka siapkan besi siku 3x3 dengan panjang 920 mm lebar 920 mm dan tinggi 450, mesin las serta elektroda. guna menggabungkan sambungan.
2. Rakit reaktor pirolisis dengan pengelasan galvanis berbentuk krucut lalu *extrude cut* atas krucut berdiameter $\frac{3}{4}$ guna untuk menyambungkan pipa penghubung sehingga tidak terjadi kebocoran pada jalannya fasa pada reaktor menuju kondensor.
3. Rakit reaktor distilasi dengan pengelasan *stainlees steel 201* untuk tutup tabung *extruded cut* atas tutup tabung diameter $\frac{3}{4}$ guna untuk menyambungkan pipa pembuhung *stainlees steel* dengan menggunakan metode buka pasang sehingga mudah untuk memasukan air dengan daun sereh.
4. Rakit kondensor dengan pengelasan *stainlees steel* untuk tutup tabung menggunakan material *stainlees steel* yang di las dengan tabung sehingga tidak terjadi kebocoran, *extruded cut* dengan ukuran $\frac{1}{2}$ dan $\frac{3}{4}$ guna menyambung pipa.

3.4 Hasil Produksi Alat Penyulingan

Gambar 4.2 terdiri dari rangka dan 1 reaktor distilasi dan 1 reaktor pirolisis beserta 2 tabung kondensor dengan pipa penghubung yang disambungkan melalui elbow



Gambar 2. Hasil Produksi Alat Penyulingan.

3.5 Hasil Pengujian Penyulingan

Hasil penyulingan alat minyak daun sereh ungu distilasi menghasilkan 581 ml, dengan proses selama 112 menit.



Gambar 3. Hasil Penyulingan.

KESIMPULAN

1. Dari perancangan yang sudah dilakukan pada software CAD menghasilkan komponen berupa rangka reaktor distilasi, kondensor liebig dan pipa penghubung keluarnya minyak.
2. Penulis dapat mengetahui material yang telah digunakan produksi seperti reaktor distilasi menggunakan *stainless steel* 201, reaktor pirolisis menggunakan material galvanis pipa penghubung material *stainless steel* 304 dan kondensor material *stainless steel* 316 dan elbow material *stainless steel* 316.
3. Menghasilkan rangka dengan Panjang keseluruhan 1600 mm dan beberapa komponen alat pirolisis yaitu tabung reaktor dengan dimensi 470 mm dan diameter 360 mm, tabung kondensor liebig dengan dimensi tinggi 255 mm dan diameter 170 mm dan Panjang pipa penghubung keseluruhan 1260 mm, dan komponen alat distilasi yaitu tabung reaktor distilasi dimensi tinggi 40 mm, diameter 280 mm, tabung kondensor liebig dengan dimensi tinggi 255 mm, diameter 170 mm, dan pipa penghubung Panjang keseluruhan 864 mm.
4. Hasil dari pengujian yang telah dilakukan dengan alat distilasi menghasilkan 581 ml minyak sereh ungu dengan proses selama 112 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Mechanical *et al.*, “Uji Karakteristik Laju Pembakaran Dan Angka Oktan Bahan Bakar Polypropylene Cair Hasil Pemurnian Proses Distilasi Absorsi Dengan Variasi Campuran Oktan Booster,” vol. 1, no. 1, hal. 1–11, 2020.
- [2] R. D. Pangesti, E. Cahyono, dan E. Kusumo, “Indonesian Journal of Chemical Science Perbandingan Daya Antibakteri Ekstrak dan Minyak Piper betle L . terhadap Bakteri Streptococcus mutans,” vol. 6, no. 3, 2017.
- [3] A. Sapitri, U. Mayasari, dan E. Diansari Marbun, “Pemanfaatan Daun Serai Wangi (*Cymbopogon winterianus* Jowitt ex Bor) Sebagai Obat Kumur untuk Mencegah Karies Gigi dan Sariawan,” *J. Biol. Indones.*, vol. 18, no. 2, hal. 127–138, 2022, doi: 10.47349/jbi/18022022/127.
- [4] Sulaswatty dan Adilina, *Minyak Serai Wangi dan Produk Turunannya*. 2019.
- [5] E. Fitriani *et al.*, “Studi Efektivitas Ekstrak Daun Sereh Wangi (*Cymbopogon nardus* L.) Sebagai Anti Fungi *Candida albicans*,” *J. Biocelebes*, vol. 7, no. 2, hal. 1978–6417, 2013.
- [6] A. Jayuska dan L. Destiarti, “BIOAKTIVITAS MINYAK ATSIRI SERAI DAPUR (*Cymbopogon citratus* (DC .) Stapf) TERHADAP RAYAP (*Coptotermes curvignathus* sp),” vol. 7, no. 3, hal. 47–55, 2018.
- [7] F. Farianto, “RANCANG BANGUN ALAT PENYULINGAN MINYAK WANGI KENANGA (*Cinangium Odoratum*),” 2019, [Daring]. Tersedia Pada: [https://repository.ummat.ac.id/id/eprint/357%0Ahttp://repository.ummat.ac.id/357/2/COVER-BAB III.pdf](https://repository.ummat.ac.id/id/eprint/357%0Ahttp://repository.ummat.ac.id/357/2/COVER-BAB%20III.pdf)
- [8] D. Oleh, *SEMARANG*. 2022.
- [9] F. Teknik dan U. M. Kudus, “DESTILASI UAP MINYAK ATSIRI DENGAN METODE ALIRAN SILANG (CROSS FLOW) BERBAHAN BAKU DAUN SERAI WANGI,” 2018.
- [10] W. Schwantoro, F. Hindarti, dan M. Oktivina, “ELEKTRIK SEBAGAI ALAT DESTILASI PADA PROSES PEMBUATAN BIOETHANOL,” hal. 1–10.
- [11] R. T. Pertanian, “Rona Teknik Pertanian, 16 (2) Oktober 2023,” vol. 16, no. 2, hal. 138–144, 2023.



SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD) PENYEBARAN PANAS *HOT TANK* PADA SISTEM DESALINASI AIR LAUT

Aleiza Fadriana¹, Joko Setiyono², Sunny Ineza Putri³

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

E-mail : ¹fadrialeiza25@gmail.com, ²dosen00889@unpam.ac.id, ³sunnyinezaap@gmail.com

Masuk : 15 Agustus 2024

Direvisi : 17 September 2024 Disetujui : 8 Oktober 2024

Abstrak: Desalinasi adalah proses penting untuk menghasilkan air tawar dari air asin. Mekanisme alat yang akan mengubah air asin menjadi air minum dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Dengan menggunakan panci berukuran 20 cm sebagai tangki penampung air laut kompor listrik *rice cooker* sebagai pemanasnya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan distribusi suhu hasil simulasi dengan hasil eksperimen pada perpindahan panas volume air *hot tank*, dengan menggunakan metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) perangkat lunak *Ansys Fluent* digunakan untuk mensimulasikan distribusi panas *hot tank* dan metode eksperimen untuk memvalidasi hasil simulasi pada suhu air laut di dalam *hot tank*, yang merupakan komponen utama sistem desalinasi. Pada metode simulasi menunjukkan bahwa distribusi panas pada *hot tank* berkisar 356,15 Kelvin dalam waktu 1000 detik. Sedangkan untuk distribusi suhu pada air laut dengan volume 0,5 liter mencapai titik didih dalam waktu 760 detik, dan volume 0,75 liter membutuhkan waktu 950 detik. Hasil simulasi ini sejalan dengan hasil eksperimen, yang menunjukkan distribusi suhu pada air laut membutuhkan waktu titik didih sebesar 744 detik untuk volume 0,5 liter dan 978 detik untuk volume 0,75 liter. Dengan demikian, metode CFD *Ansys* terbukti efektif dalam memprediksi temperatur dan waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air laut serta dalam merancang sistem pemanasan yang lebih efisien.

Kata kunci: Desalinasi air laut, Distribusi panas, *Hot tank*, *Computational Fluid Dynamics*, *Ansys Fluent*

Abstract: Desalination is an important process to produce fresh water from salt water. The mechanism of the device that will convert salt water into drinking water can be utilized for daily needs. By using a 20 cm pan as a seawater holding tank with a rice cooker electric stove as the heater. The purpose of this study is to determine the comparison of *Computational Fluid Dynamics* (CFD) simulation method *Ansys Fluent* software is used to simulate the heat distribution of hot tanks and experimental method to validate the simulation result on the temperature of seawater in the hot tank, which is the main component of the desalination system. The simulation method show that the heat distribution in the hot tank is around 356.15 Kelvin within 1000 seconds. Meanwhile, the temperature distribution in seawater with a volume of 0.5 liters reaches the boiling point in 760 seconds, and a volume of 0.75 liters takes 950 seconds. These simulation results are in line with the experimental results, which show that the temperature distribution in seawater requires a boiling point time of 744 seconds for a volume of 0.5 liters and 978 seconds for a volume of 0.75 liters. Thus, the CFD *Ansys* method proved to be effective in predicting the temperature and time required to boil seawater and in designing a more efficient heating system.

Keywords: Seawater desalination, Heat distribution, *Hot tank*, *Computational Fluid Dynamics*, *Ansys Fluent*

PENDAHULUAN

Kebutuhan dasar yang paling krusial untuk mempertahankan eksistensi manusia adalah akses terhadap air bersih untuk diminum. Wilayah perairan mencakup sebagian besar permukaan bumi, namun kemampuan menyediakan air bersih yang cukup bagi umat manusia masih dianggap cukup rendah [1]. Namun hal ini tidak menjamin akses terhadap air bersih karena masih banyak masyarakat pesisir yang kesulitan mendapatkan sumber air bersih untuk kebutuhan sehari-hari, apalagi di wilayah pesisir yang sulit terkena panas matahari [2].

Tidak dapat dipungkiri bahwa wilayah pesisir merupakan lokasi yang kaya akan perairan dan terletak di antara daratan dan lautan. Salah satu wilayah yang kekurangan air bersih adalah di sepanjang bibir pantai. Karena air laut yang masuk berinteraksi dengan kolom air tanah, maka air semacam ini disebut air payau. Buruknya kualitas air di lokasi pesisir disebabkan oleh rembesan air laut sehingga menyebabkan terjadinya salinitas (naiknya garam air) pada air tanah [3]. Oleh karena itu diperlukan teknologi untuk mengubah air laut menjadi air tawar yang layak untuk dikonsumsi manusia.

Pembuatan air tawar dari air asin dilakukan melalui prosedur yang disebut desalinasi. Untuk menciptakan udara yang dapat dihirup makhluk hidup, teknik ini digunakan. Dengan menghilangkan partikel dan ion terlarut, desalinasi menghasilkan air segar sekaligus menghasilkan air bersih. Garam adalah salah satu produk sampingan dari teknik ini. Air laut yang mendidih menyebabkan garam larut dan terlepas, yang menyebabkan air menguap [4]. Mekanisme alat yang akan mengubah air asin menjadi air minum dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Dengan menggunakan panci berukuran 20 cm sebagai tangki penampung air laut dan kompor listrik *rice cooker* sebagai pemanasnya, air laut ini selanjutnya akan diuapkan melalui pipa tembaga AC dalam panci berukuran 22 cm, hingga menghasilkan uap air [5].

Berkat kemajuan pesat dalam teknologi, kini terdapat berbagai macam perangkat lunak yang tersedia untuk tujuan menghitung dan mensimulasikan hambatan yang terjadi, salah satu perangkat lunak yakni *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Teknik ini mencakup penggunaan peralatan penghasil pusaran dan modifikasi geometri tabung, yang merupakan perubahan relatif mudah untuk meningkatkan transmisi panas dengan meningkatkan turbulensi fluida dan area kontak. Untuk mengoptimalkan parameter geometri, studi numerik sering dilakukan sebelum perubahan dilakukan. Penelitian ini dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi CFD [6].

Peningkatan kinerja penyimpanan panas sangat dipengaruhi oleh hukum distribusi suhu dalam tangki. Untuk menguji fitur pergerakan konveksi alami garam cair, perangkat lunak *Ansys* digunakan untuk mensimulasikan dan mengevaluasi distribusi suhu di dalam tangki penyimpanan selama proses eksotermik. Selain itu, dampak dari berbagai wilayah perpindahan panas, konfigurasi penukar panas, dan tata letak terhadap distribusi suhu juga diperiksa [7].

Berdasarkan literatur yang telah disebutkan sebelumnya, penelitian ini mengakui perlunya menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk meneliti distribusi panas di dalam tangki air panas pada sistem desalinasi air laut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang distribusi suhu di dalam tangki air panas. Untuk mencapai hal ini, penelitian ini akan memanfaatkan perangkat lunak *Ansys Fluent 2024 R1*.

METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Pada penelitian simulasi ini perlu adanya perangkat pendukung untuk memastikan kelancaran dan keberhasilan dalam pelaksanaan. Berikut alat yang diperlukan untuk menunjang proses penelitian:

Laptop Lenovo Ideapad Gaming 3 151MH05, Processor Intel® Core™ i5-10300H CPU 2.5Ghz (8 CPUs), RAM 16 GB, SSD NVMe 256 GB, Graphics : Nvidia Geforce GTX 1650 Ti Memory 4 GB digunakan untuk desain 3D modeling *hot tank*. Sementara bahan yang digunakan dalam proses simulasi adalah panci aluminium dengan

volume 2 liter. Adapun tahap pengerjaan yang dilakukan penelitian ini secara simulasi dan eksperimen, dapat dilihat tahapan simulasi sebagai berikut:

1. Menyiapkan alat dan bahan
2. Mengukur bahan yang akan di simulasikan
3. Membuat desain 3D *hot tank*
4. Menyiapkan software Solidworks untuk desain 3D dan software Ansys untuk proses simulasi
5. Membuat geometri, memberi *name selection*, serta *meshing* geometri
6. Melakukan setup dan mengatur model yang akan digunakan
7. Memilih jenis material yang akan digunakan
8. Mengatur *boundary condition* (kondisi batas), objek yang ditentukan yakni, *heater*, *fluid*, *wall*, dan *vapor*
9. Mengatur solusi *initialization* dengan asumsi temperatur awal 298,15 Kelvin atau 25°C
10. Menjalankan simulasi dengan nilai *time step* 1000 hingga mencapai data *convergence*
11. Melakukan analisis data simulasi dan melakukan perbandingan dengan data eksperimen

Untuk tahapan penelitian secara eksperimen dapat dilihat sebagai berikut:

1. Menyiapkan kalibrasi alat termokopel
2. Menjalankan proses pengukuran eksperimen
3. Menganalisis data pengukuran eksperimen
4. Membandingkan hasil pengukuran secara eksperimen dengan pengukuran simulasi
5. Kesimpulan

2.2 Desain Bahan dan Spesifikasi



Gambar 1. Panci 2 liter (*hot tank*)

Tabel 1. Spesifikasi bahan

Spesifikasi bahan	
Diameter	220 mm
Tinggi	123,5 mm
Volume	2 liter
Tebal	1 mm
Bahan	Alumunium

2.3 Properti Material Simulasi

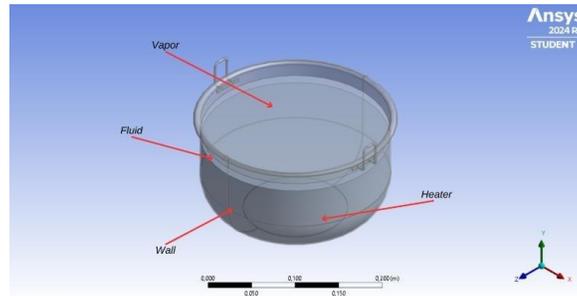
Material yang digunakan untuk proses simulasi pada *hot tank* dan volume air laut terdiri 3 jenis yaitu *density*, *specific heat*, dan *thermal conductivity*. Berikut detail properti material dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Properti material

Properti material	
<i>Density sea water</i>	1025 kg/m ³
<i>Specific heat sea water</i>	3850 J/kg.k
<i>Thermal conductivity aluminum</i>	237 W/m.k
<i>Specific heat aluminum</i>	900 J/kg.K

2.4 Pengaturan *Boundary Conditions*

Deskripsi komprehensif tentang masalah perpindahan panas dalam suatu media memerlukan penjelasan lengkap tentang kondisi termal pada permukaan pembatas media. Ekspresi matematis yang mewakili kondisi termal pada batas-batas ini disebut sebagai kondisi batas [8]. Pada pengujian simulasi ini, kondisi batas yang di tentukan memiliki 4 objek yakni *heater*, *wall*, *fluid*, dan *vapor*. Geometri model pemilihan kondisi batas dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Pemilihan kondisi batas

Boundary conditions yang umum ditemui dalam praktiknya meliputi suhu tertentu dan fluks panas tertentu. Pada pengujian simulasi ini kondisi batas dapat kita asumsikan untuk suhu *vapor*, *fluid* dan *wall*, dapat dilihat pada tabel 3. Sementara untuk fluks panas pada *heater* perlu adanya perhitungan, berikut rumus perhitungan fluks panas yang digunakan.

$$\dot{q} = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Sehingga diketahui :

\dot{q} = Fluks panas

Q = Laju perpindahan panas

A = Luas penampang perpindahan panas

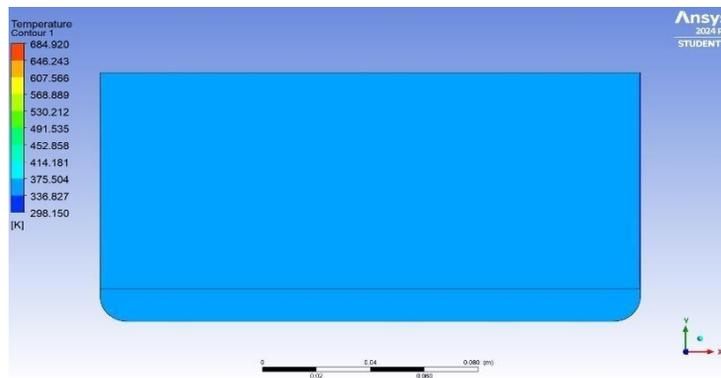
Tabel 3. Properti material

Kondisi Batas	Nilai	Satuan
<i>Heater / Heat flux</i>	12.500	W/m ²
<i>Fluid</i>	25	°C
<i>Vapor</i>	100	°C
<i>Wall</i>	27	°C

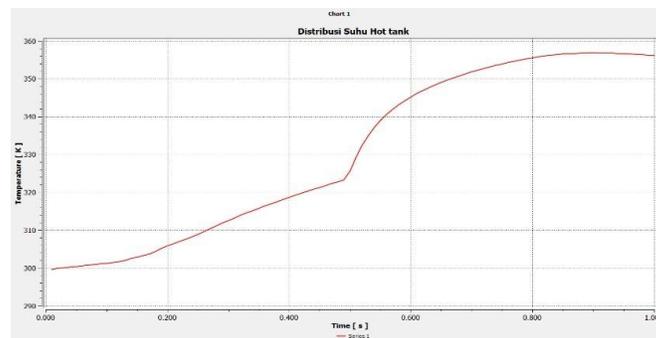
HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

Dalam penelitian ini, hasil simulasi dilakukan pada geometri 2D untuk mengamati distribusi panas di dalam *hot tank* dan volume air laut. Energi panas yang dihasilkan oleh *heater* diasumsikan telah sepenuhnya diserap oleh *hot tank*, sehingga memungkinkan analisis lebih lanjut terhadap penyebaran panas secara efektif pada sistem tersebut.

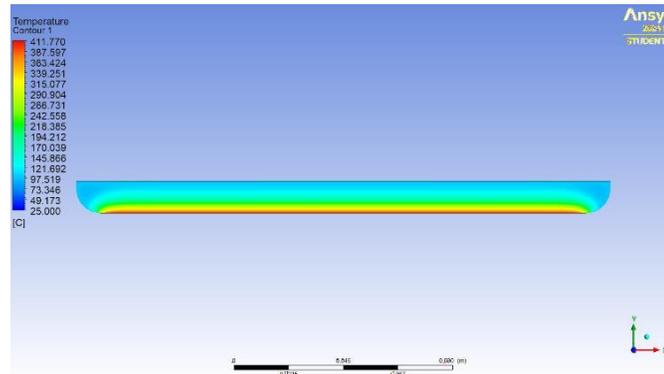


Gambar 3. Hasil simulasi distribusi suhu *hot tank*

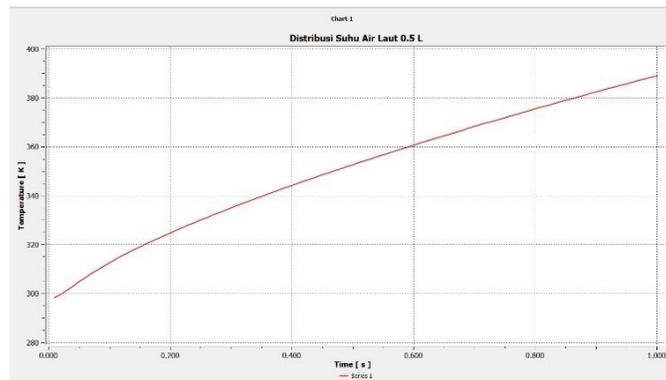


Gambar 4. Grafik distribusi suhu *hot tank* Ansys

Pada hasil simulasi distribusi panas di dalam *hot tank*, suhu maksimal tercatat mencapai sekitar 356,15 Kelvin setelah 16,6 menit (atau 1000 detik) pemanasan yang ditunjuk pada gambar 3 dan 4. Simulasi ini memperlihatkan bahwa panas dari sumber *heater* telah berhasil menyebar secara merata ke dalam volume air laut yang ada di dalam *hot tank*. Suhu tertinggi tampak berada di sumber *heater* dengan suhu berkisar 684,920 Kelvin di sekitar bagian bawah *hot tank*, suhu dari *heater* ini secara bertahap akan menyebar dan bergerak ke atas dinding *hot tank*

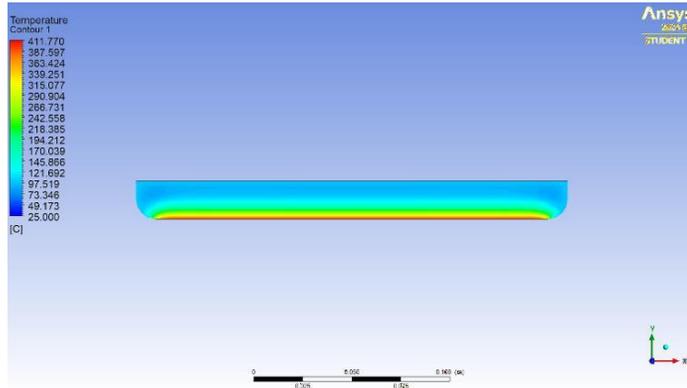


Gambar 5. Hasil simulasi distribusi suhu volume air laut 0,5 liter

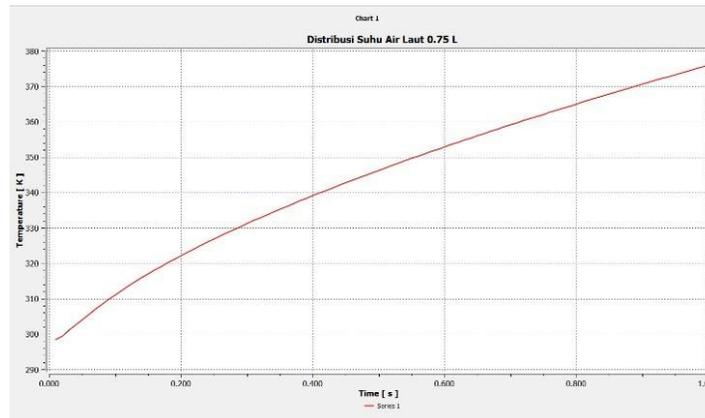


Gambar 6. Grafik distribusi suhu volume air laut 0,5 liter Ansys

Dari hasil simulasi distribusi suhu air laut 0,5 liter yang ditunjuk pada gambar 5, suhu tertinggi terlihat di area sekitar *heater* kontur yang berwarna hijau hingga merah dengan nilai suhu berkisar 195 – 411,770°C . Ini menandakan bahwa *heater* berfungsi sebagai sumber panas utama yang memberikan energi termal ke air di dalam *hot tank*. Sedangkan kontur berwarna biru muda menunjukkan suhu air laut berkisar suhu 373,15 Kelvin. Dari hasil grafik simulasi distribusi yang ditunjuk gambar 6 suhu titik didih 373,15 Kelvin pada volume 0,5 liter menghabiskan waktu berkisar 760 detik (12,6 menit), hingga mencapai suhu maksimal 390 Kelvin dalam waktu 1000 detik (16,6 menit).



Gambar 7. Hasil simulasi distribusi suhu volume air laut 0,75 liter Ansys



Gambar 8. Grafik distribusi suhu volume air laut 0,75 liter Ansys

Dari hasil simulasi distribusi suhu air laut volume 0,75 liter yang ditunjuk pada gambar 7, suhu tertinggi terlihat di area sekitar *heater* kontur yang bewarna hijau hingga merah dengan nilai suhu berkisar 195 – 411,770°C. Ini menandakan bahwa *heater* berfungsi sebagai sumber panas utama yang memberikan energi termal ke air didalam *hot tank*. Sedangkan kontur bewarna biru muda menunjukkan suhu air laut berkisar suhu 100°C. Dari hasil grafik simulasi distribusi yang ditunjuk gambar 8 suhu titik didih pada volume 0,5 liter menghabiskan waktu berkisar 950 detik (15,8 menit), hingga mencapai suhu maksimal 376 Kelvin dalam waktu 1000 detik (16,6 menit).

3.2 Hasil Eksperimen

Setelah melakukan pengujian simulasi, penulis akan melanjutkan dengan proses validasi terhadap hasil pengujian eksperimen. Validasi ini bertujuan untuk mengavaluasi tingkat akurasi dari hasil simulasi dengan membandingkannya secara langsung dengan data eksperimen yang telah diperoleh. Dalam proses ini, penulis akan membandingkan parameter kunci, seperti distribusi suhu dan waktu pencapaian titik didih, antara hasil simulasi dan hasil eksperimen. Dari perbandingan tersebut, penulis dapat menentukan seberapa dekat hasil simulasi dengan kondisi nyata yang tercermin dalam eksperimen, sehingga dapat disimpulkan tingkat keandalan simulasi dalam merepresentasikan fenomena yang terjadi pada proses pemanasan dalam *hot tank*. Berikut hasil pengujian eksperimen dapat dilihat pada gambar 9.

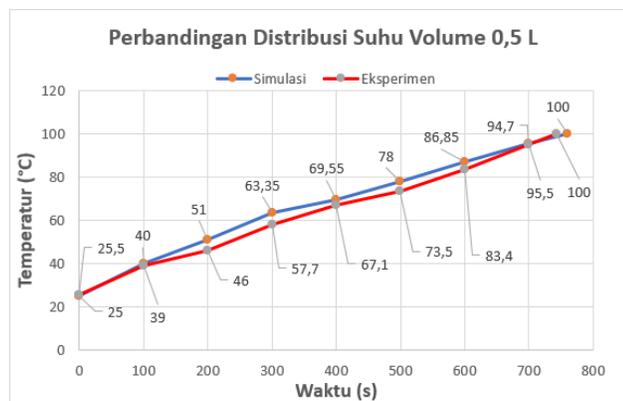


Gambar 9. Hasil pengujian eksperimen

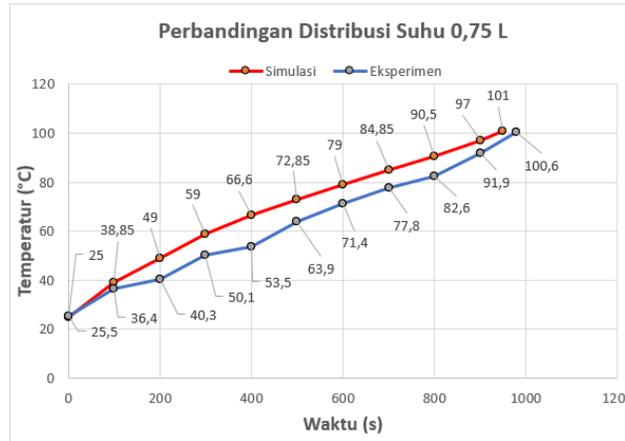
Tabel 4. Hasil pengujian eksperimen distribusi suhu terhadap waktu

Distribusi Temperatur Volume Air Laut 0.5 L (eksperimen)		Distribusi Temperatur Volume Air Laut 0.75 L (eksperimen)	
Waktu (s)	Suhu (°C)	Waktu (s)	Suhu (°C)
0	25,5	0	25,5
100	39	100	36,4
200	46	200	40,3
300	57,7	300	50,1
400	67,1	400	53,5
500	73,5	500	63,9
600	83,4	600	71,4
700	94,7	700	77,8
744	100	800	82,6
		900	91,9
		978	100,6

3.3 Perbandingan Hasil Simulasi dan Hasil Eksperimen



Grafik 1. Perbandingan distribusi suhu volume 0,5 liter



Grafik 2. Perbandingan distribusi suhu volume 0,75 liter

Hasil perbandingan pada grafik 1 dapat dilihat grafik perbandingan distribusi suhu volume 0,5 liter antara simulasi dan eksperimen menunjukkan tren kenaikan suhu yang konsisten baik. Hasil simulasi cenderung memberikan nilai suhu yang sedikit lebih tinggi dibandingkan hasil eksperimen pada setiap waktu. Hal ini terlihat pada berbagai titik waktu seperti 100 detik, dimana simulasi mencapai 40°C, sementara eksperimen mencapai 39°C. Perbedaan serupa terjadi pada titik-titik waktu lainnya. Secara keseluruhan, tren suhu antara simulasi dan eksperimen sangat sejalan, yang menunjukkan keandalan model simulasi ini untuk tujuan prediksi distribusi suhu air laut.

Sementara dari hasil perbandingan pada grafik 2 secara umum, terlihat bahwa pola kenaikan suhu pada kedua data ini hampir serupa. Pada awal pemanasan, terlihat perbedaan yang cukup besar, dimana suhu eksperimen 40,3°C sementara simulasi mencapai 49°C hingga mencapai suhu mendekati titik akhir dengan perbedaan kecil.

Pada grafik sebelumnya untuk volume 0,5 liter, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik didih lebih singkat dibandingkan dengan grafik untuk volume 0,75 liter. Hal ini disebabkan volume air yang lebih kecil lebih cepat panas. Secara keseluruhan, dari kedua grafik di atas menunjukkan bahwa hasil simulasi mendekati hasil eksperimen dengan perbedaan yang masih dalam batas wajar. Mengindikasikan bahwa model simulasi mampu merepresentasikan pemanasan air laut dengan cukup akurat.

Tabel 5. Perbedaan waktu didih volume 0,5 liter

Perbedaan waktu didih volume 0,5 liter			
Eksperimen	Simulasi	Beda	Error %
744 s	760 s	16 s	2,15

Tabel 6. Perbedaan waktu didih volume 0,75 liter

Perbedaan waktu didih volume 0,75 L			
Eksperimen	Simulasi	Beda	Error %
978 s	950 s	28 s	2,86

Secara keseluruhan, kedua tabel menunjukkan bahwa hasil simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang dilakukan memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi dalam merepresentasikan hasil eksperimen. Hal ini terlihat dari persentase error yang sangat rendah, yaitu di bawah 3% untuk kedua volume air laut yang diuji, yakni 0,5 liter dan 0,75 liter. Persentase error yang rendah ini menandakan bahwa metode simulasi CFD dapat memberikan hasil yang konsisten dan mendekati kondisi nyata. Dengan demikian, simulasi ini mampu memberikan gambaran yang cukup akurat tentang distribusi suhu dan waktu yang diperlukan untuk mencapai titik didih dalam pengujian desalinasi air laut. Temuan ini menunjukkan bahwa perangkat lunak *Ansys Fluent* sebagai alat simulasi dapat diandalkan dalam mendukung perancangan sistem pemanasan desalinasi, serta dapat digunakan sebagai metode prediksi yang efektif dalam skenario nyata untuk meningkatkan efisiensi sistem desalinasi air laut di masa mendatang.

KESIMPULAN

Metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan perangkat lunak *Ansys* dapat digunakan secara efektif untuk mensimulasikan penyebaran panas *hot tank* dan distribusi suhu air laut. Sementara hasil simulasi menunjukkan bahwa distribusi panas pada *hot tank* berkisar 356,15 Kelvin dalam waktu 1000 detik (16,6 menit). Untuk hasil distribusi suhu air laut untuk mendapatkan hasil waktu titik didih menunjukkan volume air laut 0,5 liter membutuhkan waktu 760 detik (12,6 menit) sementara volume 0,75 liter membutuhkan waktu 950 detik (15,8 menit). Hasil ini tentunya tidak terlalu jauh beda dengan hasil eksperimen yang membutuhkan waktu 12,4 menit untuk volume 0,5 liter dan untuk volume 0,75 liter membutuhkan waktu 16,3 menit dengan nilai error 2,15% untuk 0,5 liter dan 2,86% nilai error pada 0,75 liter. Dengan demikian, metode simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) *Ansys* terbukti efektif dalam memperkirakan waktu yang diperlukan untuk mendidihkan air laut, serta membantu dalam perancangan sistem pemanasan yang lebih efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramartaningthyas, E. K., Lostari, A., & Ma'shumah, S. (2022). Pembuatan Sistem Desalinasi Solar Menggunakan Konsentrator Sinar Lensa Fresnel Dalam Meningkatkan Pengurangan Kadar Garam Pada Air Laut. *Prosiding Seminar Nasional*, 9, 279–286.
- [2] Rahmalina, D., Pane, E. A., Herdyana, R. C., Pratama, D., Putra, D., & Abdu, R. (2022). Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut. *Otopro*, 17(2), 48–56.
- [3] Gani, F. R. A., Putri, N. A., Habibi, S. S., Nasution, D. A. B., & Putri, D. A. (2022). Desalinasi Dengan Metode Evaporasi Sebagai Penyedia Air. *Jurnal Pasopati*, 4(4), 226–230.
- [4] Sulaiman, N. F. P. S., Purwadana, A., Wahyudi, B., & Fithriyah, N. H. (2022). Limbah Kulit Nanas Sebagai Bahan Baku Pembuatan Membran Untuk Desalinasi. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi, November 2022*, 1–8.
- [5] Setiadi, D. H., Bakhar, M., & Khakim, L. (2021). Rancang Bangun Alat Desalinasi Air Laut Sebagai Sumber Air Minum Berbasis Wemos D1. <http://eprints.poltektegal.ac.id/409/>.
- [6] Cabello, R., Plesu Popescu, A. E., Bonet-Ruiz, J., Curc3 Cantarell, D., & Llorens, J. (2022). Heat transfer in pipes with twisted tapes: CFD simulations and validation. *Computers and Chemical Engineering*, 166(March).

- [7] Zhang, H., Cai, L., Zhang, X., & Li, G. (2021). Research on Temperature Distribution of Single Tank Using Molten Salt for Thermal Storage. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 680(1).

- [8] Puspawan, A., Mirza, A., Pangestu, A., Suandi, A., & Sofwan, F. A. (2020). the Heat Transfer Flow Analysis of Standard Plate Stell of Jis G3106 Grade Sm20B on Pre-Heating Joint Web Plate I-Girder Process Case Study in Pt. Bukaka Teknik Utama, Bogor Regency, West Java Province. *Jurnal Rekayasa Mekanik*, 4(1), 1–8.



ANALISIS POMPA SENTRIFUGAL PADA ALAT UJI ALIRAN FLUIDA TERHADAP DAYA LISTRIK, DAYA HIDROLIS, *HEADLOSS* DAN NILAI EFISIENSI POMPA

Ihat Solihat¹, Ersam Mahendrawan²

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang

e-mail : dosen00990@unpam.ac.id

Masuk : 26 Agustus 2024

Direvisi : 18 September 2024

Disetujui : 8 Oktober 2024

Abstrak: Kebutuhan akan penggunaan pompa dalam kehidupan sehari-hari semakin meningkat, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga keperluan industri, karena pompa digunakan untuk menaikkan cairan dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi atau digunakan untuk mengalirkan cairan secara horizontal melalui pipa yang Panjang. Tujuan penelitian dilakukan untuk menghitung dan mengetahui pengaruh bukaan katup 20⁰, 30⁰, 40⁰, 60⁰ dan 90⁰ terhadap daya listrik, daya hidrolisis, headloss dan nilai efisiensi pada pompa sentrifugal. Metode analisis data untuk mengetahui daya listrik, daya hidrolis dan nilai efisiensi pompa. Pada variasi bukaan katup 20⁰, 30⁰, 40⁰, 60⁰ dan 90⁰. Daya listrik merupakan ukuran seberapa banyak energi listrik yang digunakan atau diproduksi dalam suatu sistem per satuan waktu. Pada bukaan katup 20⁰ sebesar 509,04 Watt, Pada bukaan katup 90⁰ sebesar 565,65 Watt. Bukaan katup pada pompa memiliki pengaruh terhadap daya listrik yaitu semakin besar bukaan katup maka semakin besar daya yang dihasilkan. Daya hidrolis yang didapat pada bukaan katup 20⁰ sebesar 439,04 Watt, pada bukaan katup 90⁰ sebesar 1611,12 Watt, hal ini menyatakan bahwa semakin besar bukaan katup ditambah semakin kecil pula nilai daya hidrolisis yang dihasilkan. Nilai headloss pada bukaan pompa 20⁰ sebesar 0,202 m dan terbesar pada bukaan 90⁰ sebesar 0,423 m. Nilai head total pompa akan menurun karena peningkatan kerugian ini. Sebaliknya, jika bukaan katup diperbesar, aliran fluida akan mengalami penurunan kecepatan dan kerugian gesekan, yang dapat meningkatkan nilai head total pompa. Efisiensi Pompa yang didapat pada bukaan katup 20⁰ sebesar 84,09%, pada bukaan katup 90⁰ sebesar 44,43 %. Nilai bukaan katup mempengaruhi efisiensi pompa semakin besar bukaan katup maka semakin kecil pula nilai efisiensi pompa yang dihasilkan.

Kata kunci : Turbin *Crossflow*, daya, headloss, Efisiensi

Abstract: The need for pump usage in daily life is increasing, ranging from household needs to industrial requirements, as pumps are used to raise liquids from lower surfaces to higher surfaces or to transfer liquids horizontally through long pipes. The aim of this research is to calculate and determine the effect of valve openings of 20⁰, 30⁰, 40⁰, 60⁰, and 90⁰ on electrical power, hydraulic power, head loss, and efficiency values in centrifugal pumps. The data analysis method is used to determine electrical power, hydraulic power, and pump efficiency values at valve openings of 20⁰, 30⁰, 40⁰, 60⁰, and 90⁰. Electrical power is a measure of how much electrical energy

is used or produced in a system per unit of time. At a valve opening of 20° , the power is 509.04 Watts, and at a valve opening of 90° , the power is 565.65 Watts. The valve opening in the pump affects electrical power; as the valve opening increases, the power output also increases. The hydraulic power obtained at a valve opening of 200 is 439.04 Watts, and at a valve opening of 900 it is 1611.12 Watts, indicating that as the valve opening increases, the hydraulic power value decreases. The head loss at a pump opening of 200 is 0.202 m and the largest at an opening of 900 is 0.423 m. The total head value of the pump will decrease due to this increase in losses. Conversely, if the valve opening is increased, the fluid flow will experience a decrease in velocity and friction losses, which can increase the total head value of the pump. The pump efficiency obtained at a valve opening of 200 is 84.09%, while at a valve opening of 900 it is 44.43%. The valve opening value affects pump efficiency; the larger the valve opening, the smaller the efficiency value produced.

Keyword: Crossflow turbines, power, headloss, efficiency

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan penggunaan pompa dalam kehidupan sehari-hari semakin meningkat, mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga keperluan industri, karena pompa digunakan untuk menaikkan fluida dari permukaan yang rendah ke permukaan yang lebih tinggi atau digunakan untuk mengalirkan fluida secara horizontal melalui pipa yang panjang^[1]. Salah satu jenis pompa yang paling banyak digunakan saat ini adalah pompa sentrifugal. Pompa sentrifugal termasuk dalam jenis pompa tekanan dinamis, dimana pompa jenis ini memiliki *impeller* yang berfungsi untuk mengangkat fluida dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang lebih rendah ke tekanan yang lebih tinggi.^[2] Tenaga dari mesin dialirkan ke poros pompa untuk memutar *impeller* yang terpasang pada poros. Akibat dari putaran *impeller* yang menimbulkan gaya sentrifugal, cairan akan mengalir dari pusat *impeller* keluar melalui saluran diantara sudu-sudu dan meninggalkan *impeller* dengan kecepatan tinggi.^[3] Jika *head* atau kapasitas yang dibutuhkan tidak dapat dicapai hanya dengan satu pompa, dua atau lebih pompa dapat digunakan secara seri dan paralel. Oleh karena itu, pengoperasian pompa perlu mendapat perhatian khusus dengan menyesuaikan kondisi pompa.^[4]

Menurut Luwripan pompa dapat bekerja dengan tiga cara yang berbeda, pompa dapat bekerja dengan cara tunggal, seri, dan paralel^[5]. Ketiga cara ini dapat diterapkan pada kondisi yang berbeda, tergantung kebutuhan masing-masing.^[6] Dengan demikian, lebih mudah bagi pengguna alat uji aliran fluida untuk memperoleh informasi untuk menentukan nilai daya listrik, daya hidrolis dan efisiensi pompa dari alat uji aliran fluida. Sehingga rumusan masalah yang dihasilkan yaitu bagaimana pengaruh variasi bukaan katup pompa sentrifugal pada alat uji aliran fluida terhadap daya listrik, daya hidrolisis, *headloss* mayor dan nilai efisiensi pompa.

Beberapa penelitian tentang pompa telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja pompa terbaik, diantaranya penelitian tentang analisis pengaruh variasi pengukuran pipa tekanan PVC pada pompa aksial terhadap kecepatan dorong air. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh ukuran pipa PVC yang menyatakan bahwa semakin kecil ukuran pipa PVC yang diambil maka semakin cepat gaya dorong air yang dihasilkan^[7]. Penelitian selanjutnya adalah penelitian berupa perancangan dan pembuatan alat simulasi pengujian pompa seri dan paralel, pompa yang digunakan adalah jenis pompa sentrifugal yang memiliki *impeller* (baling-baling) untuk mengangkat cairan dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi, untuk mendapatkan muatan air yang lebih tinggi. banyak pompa yang disusun secara paralel dan untuk mendapatkan head tekanan tinggi pompa tersebut disusun secara seri.^[8]

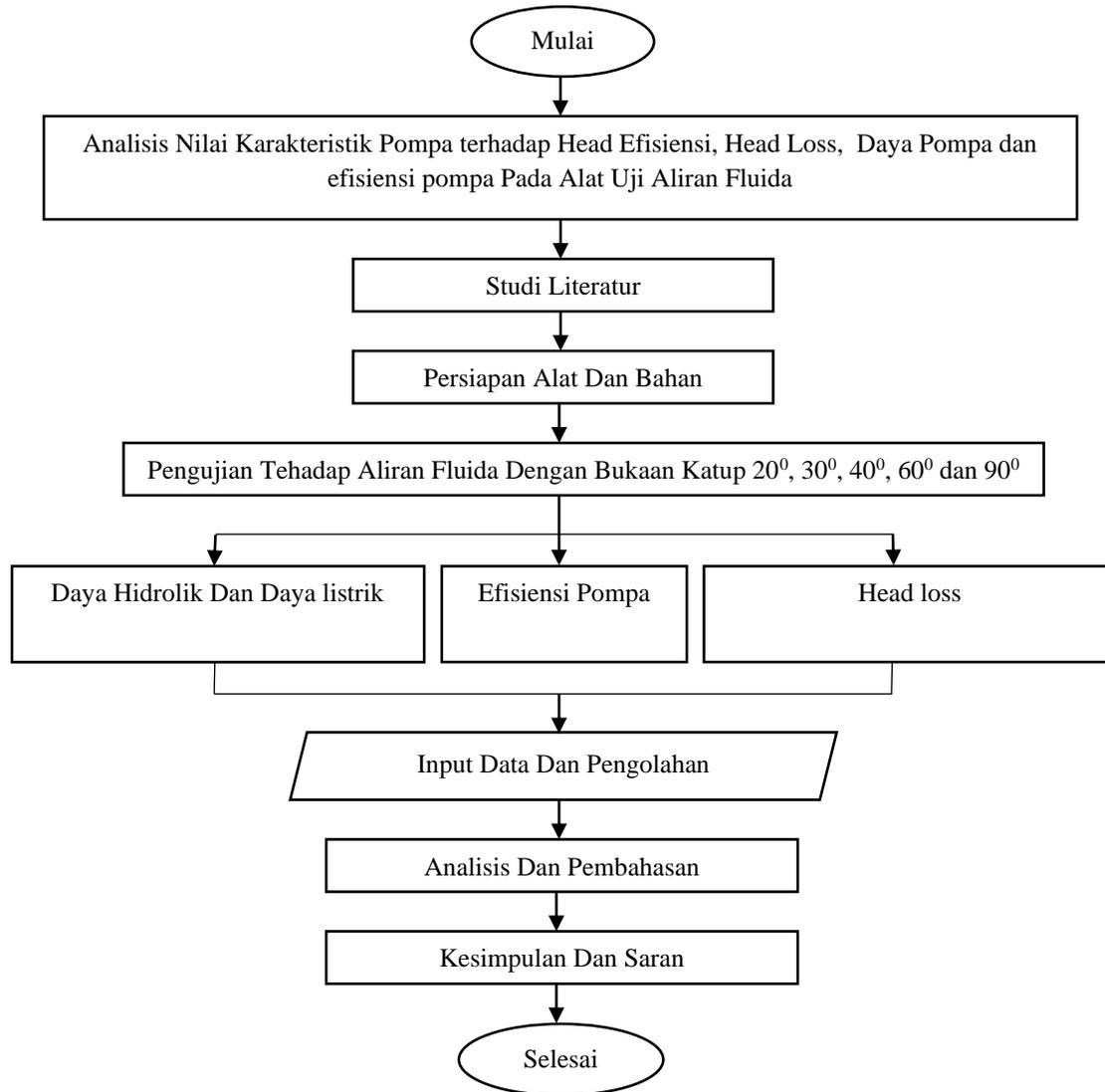
Penelitian terkait yang lain dilakukan oleh (Maulana & Sujana, 2021)^[8] pada jurnal berjudul Perencanaan Rancangan Alat Pompa Sentrifugal Dengan Sistem Paralel Sebagai Alat Uji Karakteristik, yang bertujuan untuk mendapatkan desain alat praktikum pompa sentrifugal dengan sistem paralel, dalam skala laboratorium dan mendapatkan perbandingan kinerja pompa yang ditinjau dari variasi pipa isap (section) $\frac{3}{4}$ " dan 1" (inch).^[9] Parameter yang diambil dari perangkat percobaan terdiri dari : tekanan masuk pada pompa dianggap 0, tekanan keluar pada pompa, debit, kecepatan aliran, head, kapasitas, daya input, daya output dan efisiensi pompa.

Hasil dari percobaan pada penelitian pompa sentrifugal dengan sistem paralel dan pipa isap $\frac{3}{4}$ " bukaan katup 90° didapatkan nilai efisiensinya sebesar 86 % dengan nilai kapasitas $0,00053 \text{ m}^3/\text{s}$. Sedangkan pada pipa isap $1''$ didapatkan nilai efisiensinya sebesar 94 % dengan nilai kapasitas $0,00058 \text{ m}^3/\text{s}$. Ini artinya semakin besar diameter pipa isap (section) yang digunakan, semakin besar pula kapasitas air yang dihasilkan. Kapasitas dan efisiensi mempunyai hubungan yang berbanding lurus, nilai kapasitas yang semakin besar mengakibatkan nilai efisiensi semakin besar.^[10] Fluida adalah zat yang tidak dapat menahan perubahan bentuk secara permanen. Aliran dalam pipa telah kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam eksposisi proses industri.

Fluida lebih mudah mengalir dikarenakan karena ikatan molekul dalam fluida jauh lebih kecil daripada ikatan molekul pada zat padat, yang mengakibatkan fluida mempunyai hambatan yang relatif kecil pada perubahan bentuk karena gesekan.^[10] Pada zat cair dan gas, zat cair tidak dapat mempertahankan bentuk yang tetap, zat cair mengikuti bentuk wadahnya dan volumenya dapat diubah. Zat gas tidak mempunyai bentuk, maupun volume yang tetap, gas akan berkembang mengisi seluruh wadah. Karena suatu fase cair dan gas tidak dapat mempertahankan suatu bentuk yang tetap, keduanya kemampuan untuk mengalir. Oleh karena itu zat cair dan gas sering secara kolektif disebut sebagai fluida^[11]. Aliran fluida, memiliki sifat dasar pada fluida. Adapun sifat dasar dari fluida yang perlu diketahui diantaranya yaitu kerapatan, tekanan dan kekentalan.^[12] Penelitian ini dilakukan menggunakan pengujian dengan 2 pompa. Bukaan Katup yang dilakukan pada penelitian ini sebesar $20^\circ, 30^\circ, 40^\circ, 60^\circ$ dan 90° putaran mesin pompa dibuat tetap sebesar 59.99 Rpm. Dengan arus listrik dibuat tetap sebesar 2,7 Ampere.

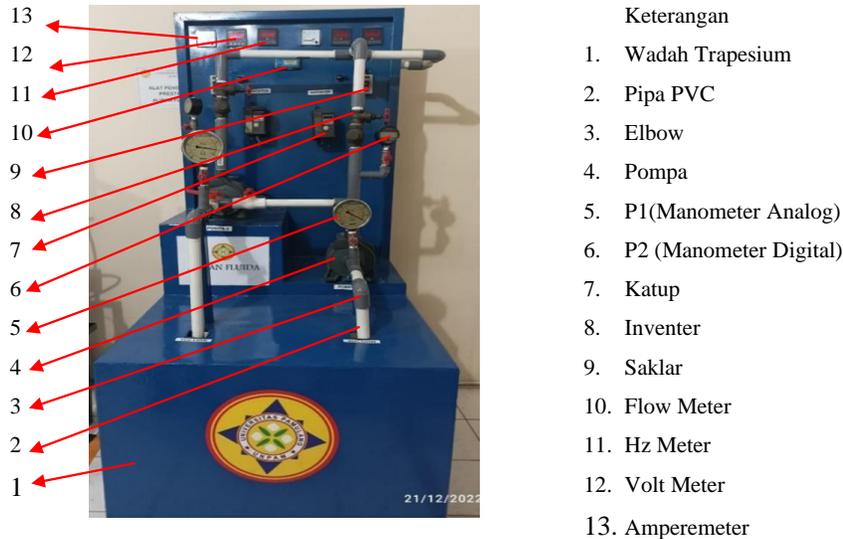
METODOLOGI

Penelitian ini dilakuakn berdasarkan alur di bawah ini:



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Berikut Rangkaian alat uji mesin fluida yang digunakan sebagai berikut;



Gambar 2. Alat Uji Aliran Fluida

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut Wadah persegi sebagai wadah untuk menampung fluida Air. Pipa PVC 1 inchi berfungsi sebagai instalasi pipa untuk mengalirkan air dari pipa isap dan mengalir menuju pipa tekan. *Elbow* berfungsi untuk menyambung pipa yang melengkung, dengan kelengkungan 90°. Katup digunakan untuk memperbesar dan memperkecil laju aliran air dalam pipa pada proses pengujian. Manometer analog digunakan untuk mengetahui tekanan, baik tekanan aliran masuk maupun tekanan aliran keluar pompa. Manometer digital berfungsi untuk mengukur tekanan diferensial yang outputnya berupa angka (numerik) ditampilkan pada layer LCD.

Tingkat ketelitian alat ini pada rentang mulai dari 0 - \pm 100 pascal. Volt Meter Merupakan alat ukur yang berfungsi untuk mengukur besar tegangan listrik yang ada di suatu rangkaian listrik. Hz Meter Digunakan untuk mengukur frekuensi sinyal/gelombang listrik, frekuensi diukur merupakan frekuensi tunggal dan digunakan untuk monitoring perubahan frekuensi listrik PLN. Amperemeter adalah alat yang difungsikan untuk pengukuran tingkat arus listrik yang terdapat pada sebuah alat uji aliran fluida. Inverter berfungsi utama inverter adalah untuk mengubah daya Arus Searah (DC) menjadi arus bolak-balik standar (AC). Flow meter digunakan untuk mengukur kecepatan aliran, volume, atau total massa air. Pompa Sentrifugal merupakan pesawat angkut yang bertujuan untuk memindahkan zat cair melalui saluran tertutup. Saklar digunakan untuk mengendalikan aliran listrik pada suatu perangkat elektronik.

Analisis data pada penelitian ini menggunakan perhitungan yang berdasarkan pada rujukan yang terkait dengan perhitungan pompa, yang dilanjutkan dengan pembuatan tabel dan grafik untuk memudahkan membaca hasil dari menguji terhadap pengaruh – pengaruh hasil pengujian dari variasi bukaan katup dan variasi beban. Pengolahan data yang sudah dilakukan pada saat mesin bekerja memompa air pada turbin hingga menggerakkan sudu turbin dan di ambil datanya berupa nilai daya listrik, daya hidrolis, dan nilai efisiensi pompa. Hasil serangkaian percobaan atau eksperimen langsung (Pengujian dengan pengukuran) dilakukan pada hasil pengujian dengan menggunakan Amperemeter, Volt Meter, Flow Meter, Hz Meter, Manometer (*pressure gauge*) digital dan analog. Untuk mengidentifikasi pengaruh Daya Listrik, Daya Hidrolis, *headloss* Dan Nilai

Efisiensi Pompa. Alat yang digunakan berupa Wadah Trapesium sebagai wadah untuk menampung fluida Air, Pipa PVC 1 inchi berfungsi sebagai instalasi pipa untuk mengalirkan air dari pipa isap dan mengalir menuju pipa tekan, Elbow berfungsi untuk menyambung pipa yang melengkung, dengan kelengkungan 90°. Katup digunakan untuk memperbesar dan memperkecil laju aliran air dalam pipa pada proses pengujian. Manometer analog digunakan untuk mengetahui tekanan, baik tekanan aliran masuk maupun tekanan aliran keluar pompa. Manometer digital, Volt Meter, Hz Meter, Amperemeter, Inverter berfungsi utama inverter adalah untuk mengubah daya Arus Searah (DC) menjadi arus bolak-balik standar (AC). Flow meter. Pompa Sentrifugal merupakan pesawat angkut yang bertujuan untuk memindahkan zat cair melalui saluran tertutup dan saklar tertutup. persamaan yang digunakan dalam penelitian terdiri dari:

Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \cdot I$$

Dengan :

P = Daya Output Pompa (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A) = 2,7 A (Tertera pada badan Pompa)

Daya Hidrolis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_h = \gamma \cdot H \cdot Q$$

Dengan :

P_h = Daya Hidrolis (kW)

γ = berat jenis air 980 (N/m³)

Q = Debit (m³/s)

H_{tot} = Head total (hd 2,5 m + hs 1,5 m = 4 m)

Kehilangan aliran disebabkan oleh koefisien gesekan ketika cairan mengalir di sepanjang katup, pipa, siku, serta permukaan yang lain, yang memengaruhi gradien yang dihasilkan ataupun ketinggian sesungguhnya, sesuai dengan persamaan yang dipakai:^[8]

Kerugian gesekan pipa

1) Kecepatan aliran dalam pipa

$$v = \frac{Q}{A}$$

Dengan :

v = kecepatan aliran rata-rata (m/s)

Q = kapasitas pompa (m³/s)

A = luas penampang pipa (m²)

2) Bilangan reynold (Re)

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

Dengan :

Re = bilangan reynold

v = kecepatan aliran dalam pipa (m/s)

ν = viskositas fluida (m²/s)

D = diameter pipa (m)

3) Koefisien kerugian (λ)^[13]

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

Dengan :

λ = koefisien kerugian

Re = bilangan reynold

4) Kerugian aliran akibat gesekan dalam pipa^[6]

$$h_f = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

Dengan :

h_f = kerugian head (m)

λ = koefisien kerugian

L = panjang pipa (m)

D = diameter pipa (m)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

a. kerugian ujung masuk pipa^[13]

$$h_f = f \frac{v^2}{2g}$$

Dengan :

h_f = kerugian head (m)

f = koefisien kerugian ujung masuk pipa

v = kecepatan aliran (m/s)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

b. Kerugian belokan pipa

1) Koefisien kerugian

$$f = \left[0,131 + 1,847 \cdot \left(\frac{D}{2R} \right)^{3,5} \right] \left(\frac{\theta}{90} \right)^{0,5}$$

Dengan :

f = koefisien kerugian

Θ = sudut belokan (m)

D = diameter pipa (m)

R = jari-jari lengkung belokan (m)

c. Kerugian akibat belokan

$$h_v = f_v \frac{v^2}{2g}$$

Dengan :

f = koefisien kerugian pengecilan pipa

h_v = kerugian head (m)

g = gravitasi (9.81 m/s^2)

v = kecepatan aliran (m/s)

Efisiensi pompa ialah rasio daya yang dialirkan oleh pompa ke cairan dengan daya yang dialirkan ke pompa oleh motor listrik. Perubahan daya memengaruhi daya motor dan efisiensi pompa. Efisiensi pompa (η) diberikan oleh rumus diantaranya:^[14]

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

Dengan :

η = Efisiensi pompa (%)

N_h = Daya hidrolis (kW)

N_m = Daya (kW)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan dari hasil pengujian aliran fluida dengan melakukan variasi terhadap bukaan katup, maka dihasilkan data bukaan katup terhadap daya Listrik , sebagai berikut :

Tabel 1. Analisis Data Terhadap Daya Listrik

Hasil Bukaan katup	Tegangan listrik (Volt)	Daya Listrik (Watt)	Arus Listrik (A)	Daya Hidrolis (Watt)	Debit Air(m ³ /s)	Putaran Mesin pompa (Rpm)	Variable Tetap			Headloss pompa (m)	Efisiensi Pompa(%)
							T		Daya Mekanik (Watt)		
							F (N)	r (m)			
20°	188,6	509,22	2,7	10,974	0,0028	59,99	9,8	0,15	9,23	0,202	84.09%
30°	193,6	522,72		13,328	0,0034					0,234	69.25%
40°	202,7	547,29		17,640	0.0045					0,297	52.32%
60°	206,9	558,63		18,816	0.0048					0,354	49.05%
90°	209,5	565,65		20,776	0.0053					0,424	44.43%

Daya listrik dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = V \cdot I$$

Keterangan :

P = Daya Output Pompa (Watt)

V = Tegangan listrik (V)

I = Arus listrik (A) = 2,7 A (Tertera pada badan Pompa)

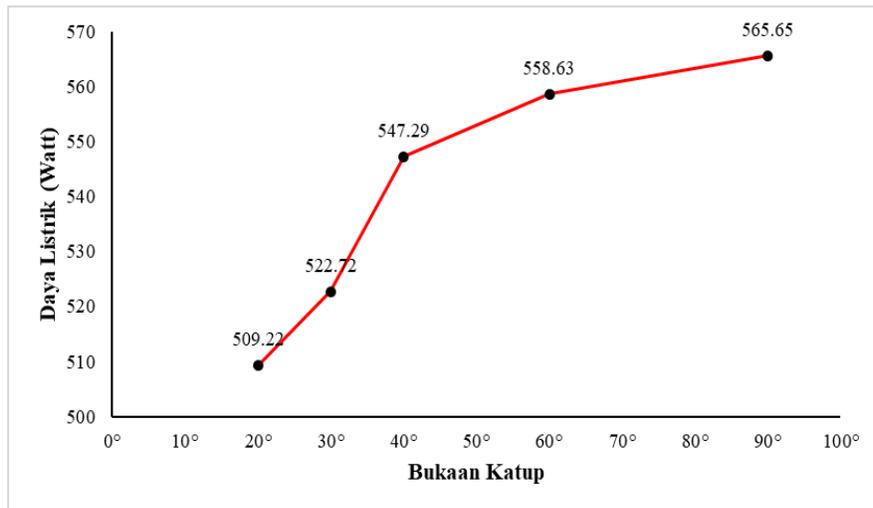
a) Daya listrik listrik pada bukaan katup 20⁰

$$P = V \cdot I$$

$$= 188,6 \text{ Volt} \cdot 2,7 \text{ A}$$

$$= 509,22 \text{ Watt}$$

Berikut hasil grafik hubungan antara bukaan katup dengan daya listrik:



Gambar 2. Garfik hubungan bukaan katup dengan daya listrik

Hasil analisa pompa sentrifugal terhadap daya listrik dengan bukaan katup sangat berpengaruh terhadap daya listrik, yang digunakan sebagai acuan adalah bukaan katup 20⁰ ketika pengujian dilakukan daya listrik yang terpakai sebesar 3,4938 Watt, ketika bukaan katup ditambah menjadi 30⁰, menjadi naik sebesar 4,1931 Watt, lalu ketika bukaan katup ditambah menjadi 40⁰, lalu ketika bukaan katup lebih besar menjadi 60⁰ maka daya listrik yang terpakai menjadi 8,5502 Watt, dan ketika bukaan katup pada posisi 90⁰ daya listrik lebih besar menjadi 10,179 Watt. Artinya semakin besar bukaan katup semakin besar pula daya listrik yang terpakai.

Daya Hidrolis dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_h = \gamma \cdot H \cdot Q$$

Dimana :

$$P_h = \text{Daya Hidrolis (kW)}$$

γ = berat jenis air 980 (N/m³)

Q = Debit (m³/s)

H_{tot} = Head total (hd 2,5 m + hs 1,5 m = 4 m)

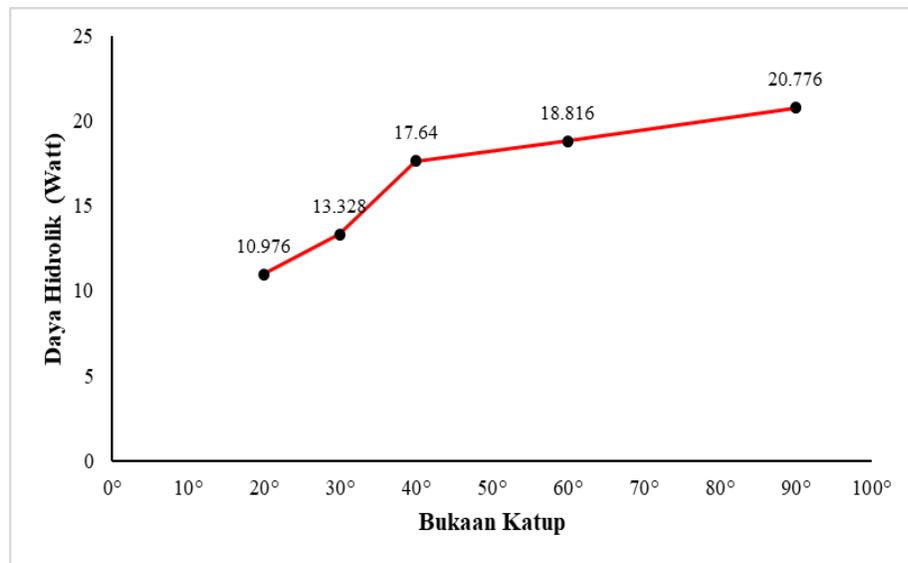
a. Untuk bukaan katup 20°

$$P_h = \gamma \cdot H \cdot Q$$

$$P_h = 980 \text{ N/m}^3 \cdot 4 \text{ m} \cdot 0,228 \text{ m/s}^3$$

$$P_h = 10,976 \text{ Watt}$$

Berikut hasil perhitungan dan analisis pengaruh bukaan katup dengan daya hidrolis



Gambar 3. Garfik hubungan bukaan katup dengan daya hidrolis

Hasil analisa pompa sentrifugal terhadap daya hidrolis dengan variasi bukaan katup, pada bukaan katup 20° sebesar 10,976 Watt, pada bukaan katup 30° didapatkan sebesar 13,328 Watt, pada bukaan katup 40° menjadi 17,64 watt, lalu bukaan katup 60° turun sebesar 18,816 Watt, dan bukaan katup ditambah 90° naik menjadi 20,776 Watt. Artinya semakin besar bukaan katup ditambah semakin besar nilai daya hidrolisis yang dihasilkan.

Sedangkan untuk kehilangan energi atau headloss Berdasarkan pengukuran pada alat uji, untuk panjang pipa tekan (Lt) dengan panjang 1, 20 m, sedangkan untuk panjang pipa isap (Li) dengan panjang 1,10 m. dan ketinggian fluida dari poros pompa ke permukaan air atas (Z1) setinggi 0,73 m. sedangkan permukaan air bawah (Z2) setinggi 0,44 m.

1.) Guna menghitung head statis

$$H_s = Z1 - Z2 \text{ (m)}$$

$$H_s = 0,73 - 0,44 \text{ (m)}$$

$$H_s = 0,29 \text{ m}$$

2.) Head kerugian gesekan dalam pipa hisap dengan bilangan Reynold

Guna memahami kerugian gesek pada pipa (f) haruslah diketahui dulu sifat aliran melalui pemakaian bilangan reynold (Re) V_i = diperoleh melalui perhitungan kecepatan aliran pada sisi isap, d = diameter pipa, μ = diperoleh melalui tabel viskositas kinetik zat cair^[16]. Berikut perhitungan headloss untuk bukaan katup 60°:

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

$$Re = \frac{0.142 \times 0.0190}{1.307 \times 10^{-6}}$$

$$Re = \frac{0.001698}{0.000001307}$$

$$Re = 2064,3 (Re < 4000)$$

Guna memperoleh faktor gesekan pada pipa isap bisa dipakai diagram moody perlu diketahui ϵ/d , sudah diketahui ϵ/d kekasaran relatif pada pipa yaitu: 0,007. Dari diagram moody diperoleh factor gesekan pada pipa isap yakni $\lambda = 5,9$

3.) Head kerugian gesek pada pipa lurus isap (Li)

Dalam menghitung kerugian pada dinding pipa terhadap aliran fluida menggunakan persamaan Darcy. Panjang pipa isap 1,10 m.

$$hf = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} (m)$$

$$hf = 5.9 \frac{1.1}{0.019} \frac{0.142^2}{2 \cdot 9.81} (m)$$

$$hf = 5.9 \frac{0.0222}{0.373} (m)$$

$$hf = 0.35 m$$

4.) Kerugian elbow pada pipa isap (hi)

Pada sambungan pipa isap ada satu sambungan elbow bernilai kerugian yakni $k = 1,129$ (faktor kerugian pada belokan pipa), maka bisa dihitung rumusnya:

$$h_{l1} = n \cdot k_l \frac{v^2}{2g} (m)$$

$$h_{l1} = 1 \cdot 1,129 \frac{0.142^2}{2 \cdot 9.81} (m)$$

$$h_{l1} = 1,129 \frac{0.0222}{19.62} (m)$$

$$h_{l1} = 0.000116 m$$

5.) Kerugian head para saringan bawah dan katup isap

Faktor kerugian pada saringan bawah serta katup isap, $k = 1,97$ (diambil dari tabel faktor kerugian katup) maka:

$$h_{l2} = k \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{l2} = 1,97 \frac{0.142^2}{2 \cdot 9.81} (m)$$

$$h_{l2} = 1,97 \frac{0.0222}{19.62} (m)$$

$$h_{l2} = 0.00203 m$$

melalui hasil hitungan kerugian head, sehingga jumlah keseluruhan kerugian head, head pada pipa isap lurus, sambungan serta katup bawah dan saringan, ialah:

$$h_{li} = h_f + h_{l1} + h_{l2} \text{ (m)}$$

$$h_{li} = 0.35 + 0.000116 + 0.00203 \text{ (m)}$$

$$h_{li} = 0.35319 \text{ m}$$

6.) Head kecepatan keluar

Guna menghitung head ini memakai rumus seperti di bawah:

$$\text{Head kecepatan keluar} = \frac{v_t^2}{2g} \text{ (m/s)}$$

$$\text{Head kecepatan keluar} = \frac{0.142^2}{2.9.81} \text{ (m/s)}$$

$$\text{Head kecepatan keluar} = \frac{0.020164}{19.62} \text{ (m/s)}$$

$$\text{Head kecepatan keluar} = 0.000103 \text{ m/s}$$

7.) Head total pada bukaan katup 60°

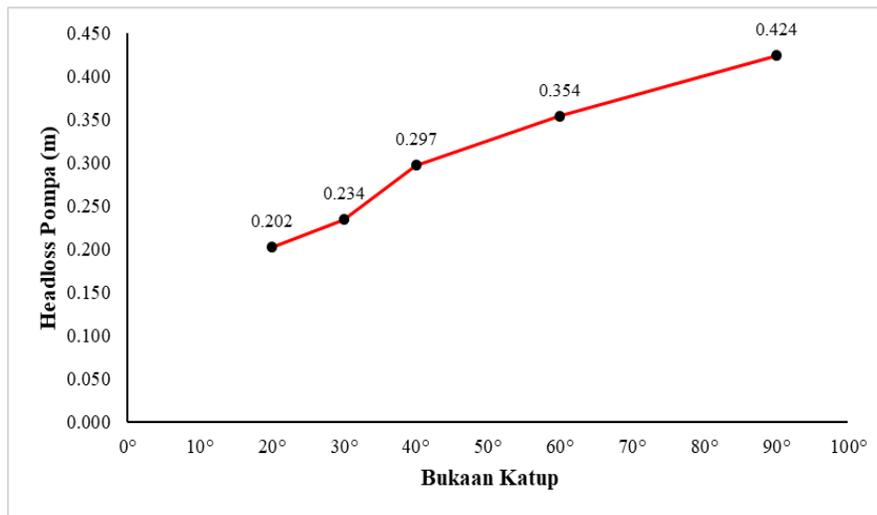
Pada penelitian ini antar permukaan air dalam sisi bawah serta atas tidak mempunyai tekanan maka nilai $DH_p = 0$

$$H = H_s + H_p + h + \frac{v_t^2}{2g} \text{ (m)}$$

$$H = 0.35 + 0 + 0.00319 + 0.00103 \text{ (m)}$$

$$H = 0.354 \text{ m}$$

Berikut hasil pengaruh bukaan katup terhadap headloss pompa yang dihasilkan:



Gambar 4. Garfik hubungan bukaan katup dengan *Headloss* pompa

Head total pompa merupakan kemampuan tekanan maksimal pada titik kerja pompa, sehingga pompa tersebut mampu mengalirkan air dari titik isap sampai ke titik luar. Pada bukaan katup 20° didapat kehilangan energi senilai 0,202 m, pada bukaan katup 40° nilai headlossnya senilai 0,234 m, dan ketika bukaan katup dibuka pada 60° dihasilkan kehilangan energi sebesar 0,354 m, dan tertinggi pada bukaan katup 90° sebesar 0,424 m artinya semakin besaran bukaan katup akan berpengaruh pada kemampuan pompa dalam menyalurkan air dan semakin besar pula

kehilangan energi yang dihasilkan. Dalam penelitian sebelumnya dari (Seri et al., 2020)^[17] yang menunjukan bahwa nilai kehilangan energi yang tidak sama disetiap bukaan katup hal itu menunjukkan bahwa bukaan katup dapat mempengaruhi nilai head total pompa. Ketika bukaan katup diperkecil, aliran fluida di dalam sistem akan mengalami peningkatan kecepatan, yang menyebabkan peningkatan kerugian gesekan dan tekanan dinamis. Jika bukaan katup diperbesar, aliran fluida akan mengalami penurunan kecepatan dan kerugian gesekan, yang dapat meningkatkan nilai head total pompa.

Untuk mengetahui Nilai Efisiensi Pompa terlebih dahulu mengetahui putaran mesin pompa dengan di buat tetap 59,99 rpm, mengitung torsi dan daya mekanik maka persamaan sebagai berikut :

1. Torsi atau momen putar adalah hasil perkalian gaya dengan Panjang lengan gaya, pompa sentrifugal membutuhkan torsi yang besarnya sama dengan torsi yang dikeluarkan oleh motor listrik.

$$T = F \cdot r$$

Dimana :

$$T = \text{Torsi}$$

$$F = \text{Gaya yang bekerja pada pompa (N)}$$

$$r = \text{Panjang Lengan Gaya (m)}$$

Perhitungan torsi

$$T = F \cdot r$$

$$= 9,8 \text{ N} \cdot 0,15 \text{ m}$$

$$= 1,47 \text{ Nm}$$

2. Daya mekanik adalah daya yang dihasilkan pada poros turbin dapat dicari dengan persamaan sebagai berikut :

$$P_m = \frac{2 \cdot n \cdot \pi \cdot T}{60}$$

dimana:

$$P_m = \text{Daya mekanik (Watt),}$$

$$T = \text{Torsi (Nm)}$$

$$\pi = 3.14$$

$$n = \text{kecepatan putar (rpm)}$$

$$\begin{aligned} P_m &= \frac{2 \cdot n \cdot \pi \cdot T}{60} \\ &= \frac{2 \cdot 59,99 \text{ n} \cdot 3.14 \pi \cdot 1,47 \text{ N/m}}{60 \text{ s}} \\ &= 9,230 \text{ Watt} \end{aligned}$$

3. Perhitungan Nilai efisiensi Pompa

$$\eta_p = \frac{P_h}{P_m} \times 100\%$$

Dimana:

η_p = Efisiensi pompa (%)

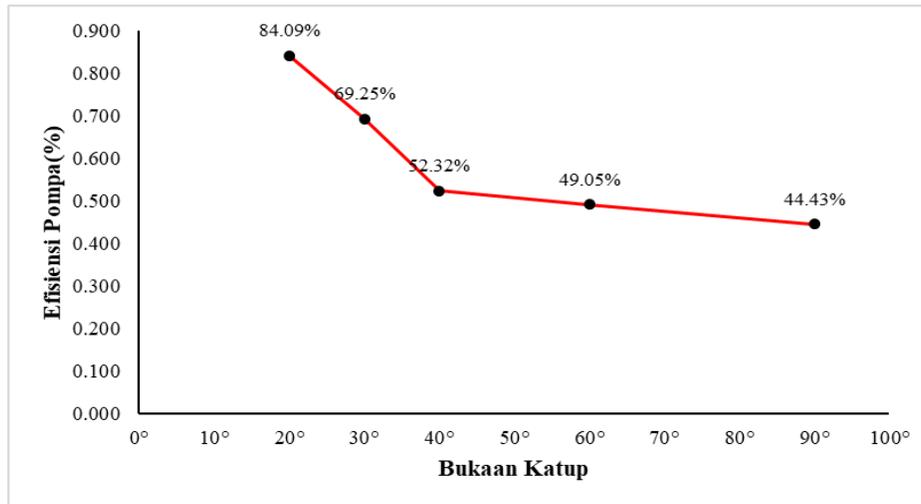
P_h = Daya hidrolis (kW)

P_m = Daya Mekanik (kW)

a. Perhitungan nilai efisiensi pompa dengan bukaan katup 20°

$$\begin{aligned}\eta_p &= \frac{21,483 \text{ kW}}{9,230 \text{ kW}} \times 100\% \\ &= 2,327 \%\end{aligned}$$

Hasil analisis perhitungan pengaruh bukaan katup terhadap efisiensi pompa dapat dilihat dalam grafik di bawah ini:



Gambar 5 Grafik hubungan bukaan katup dengan efisiensi pompa

Hasil analisa pompa sentrifugal terhadap nilai efisiensi pompa dengan variasi bukaan katup, pada grafik nilai efisiensi pompa dari hasil penelitian ini adalah untuk bukaan katup 20° sebesar 84,09 %, pada bukaan katup 30° menjadi turun sebesar 69,25 %, lalu pada bukaan katup 40° turun lebih kecil 53,32 %, pada bukaan katup katup 60° sebesar 49,09 %, dan pada bukaan katup ditambah 90° turun lebih kecil menjadi 44,43 %. Artinya semakin besar bukaan katup maka semakin kecil pula nilai efisiensi pompa yang dihasilkan. Penelitian ini sesuai dengan referensi sebelumnya yang membahas tentang nilai efisiensi pompa yang terpakai pada alat uji aliran fluida pada pompa sentrifugal oleh Reza Levi Sandi.^[18]

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan pada penelitian ini yang didasari pada hasil analisa penelitian, sebagai berikut :

1. Nilai daya listrik yang dihasilkan pada alat uji aliran fluida dengan bukaan katup 20° sebesar 509,22 Watt, dan tertinggi terdapat pada bukaan katup 90° sebesar 565,65 Watt.
2. Nilai daya hidrolis dihasilkan pada alat uji aliran fluida dengan bukaan katup 20° sebesar 0,429 Watt, dan tertinggi terdapat pada bukaan katup 90° sebesar 20,776 Watt.

3. Nilai *Headloss* total pompa pada bukaan katup 20⁰ sebesar 0,202 m dan tertinggi terdapat pada bukaan katup 90⁰ sebesar 0,424 m.
4. Nilai efisiensi yang dihasilkan pada alat uji aliran fluida tertinggi pada bukaan katup 20⁰ sebesar 84,09% %, dan terendah bukaan katup 90⁰ sebesar 44, 43% %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agustian. (2013). *Tipe Sistem Kendali*. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- [2] Digdoyo, A., & Djamruddin, D. (2020). *Performa Alat Uji Pompa Sentrifugal Pada Putaran 1200 RPM dan 800 RPM*. 1–7.
- [3] Zahara, S. (2018). *Analisa Permansi Pompa Sentrifugal Dengan Variasi Kecepatan Putaran Mesin Dan Debit Aliran*. Teknik Mesin, Universitas IBA, Palembang, 6(2), 102–110.
- [4] Tornando, T. (2020). *Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Pompa pada Perancangan Alat Uji Pompa Tunggal, Seri Dan Paralel*. In *Analisa Pengaruh Variasi Kecepatan Putaran Pompa pada Perancangan Alat Uji Pompa Tunggal, Seri Dan Paralel*.
- [5] Luwripan, A. B. A. K. (2019). *Analisa Unjuk Kerja Pada Alat Uji Pompa Seri Dan Paralel*. *Paulus Mechanical Engineering Journal*, 1(1), 1–13.
- [6] Maulana, M. I., & Sujana, I. (2021). *Perencanaan Rancangan Alat Pompa Sentrifugal Dengan Sistem Paralel Sebagai Alat Uji Karakteristik*. 2(1), 75–80.
- [7] Syahrizal, I., & Perdana, D. (2019). *Kajian eksperimen instalasi pompa seri dan paralel terhadap efisiensi penggunaan energi*. 8(2), 194–200.
- [8] Tarigan, K. (2020). *Pengujian Karakteristik Pompa Sentrifugal Susunan Seri Dan Paralel Dengan Tiga Pompa Pada Spesifikasi Yang Berbeda*. *Jurnal Ilmiah Kohesi Universitas Darma Agung*, 4(2), 31–42.
- [9] Surya Agus Pratama. (2017). *Analisa Kinerja Aliran Fluida Pada Pompa Sentrifugal Dengan Variasi Panjang Sudu Impeller*. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69).
- [10] Muhfari. (2020). *Aliran pada Saluran Tertutup (Pipa)*. *Mekanika Fluida*, 1–23.
- [11] Dharma, U. S., & Prasetyo, G. (2015). *Pengaruh Perubahan Laju Aliran Terhadap Tekanan Dan Jenis Aliran Yang Terjadi Pada Alat Uji Praktikum Mekanika Fluida*. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 1(2). <https://doi.org/10.24127/trb.v1i2.653>
- [12] Surya Agus Pratama. (2017). *Analisa Kinerja Aliran Fluida Pada Pompa Sentrifugal Dengan Variasi Panjang Sudu Impeller*. In *Gastronomía ecuatoriana y turismo local*. (Vol. 1, Issue 69).
- [13] Suwoto, G. (2014). *Kaji Eksperimental Kinerja Turbin Air Hasil Modifikasi Pompa Sentrifugal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. SNST Ke-3 Tahun 2012, 60–64.
- [14] Wadan, F. K. wutun, Sains, F., Teknologi, D. A. N., & Dharma, U. S. (2015). *Low-Speed Centrifugal Pump Number Blades 3 With the Head 2 , 1 Meters*.
- [15] Wardianto, D. (2016). *BAB I PENDAHULUAN 1 . 2 . Tujuan Perancangan Pada Rangkaian Pipa Elbow 1 . 4 . Manfaat Perancangan Pada Pipa Fluida Air*.
- [16] Luwripan, A. B. A. K. (2019). *Analisa Unjuk Kerja Pada Alat Uji Pompa Seri Dan Paralel*. *Paulus Mechanical Engineering Journal*, 1(1), 1–13.
- [17] Seri, R., Paralel, D. A. N., & Widodo, E. (2020). *Analisis head pompa sentrifugal pada rangkaian seri dan paralel*. 46–56.
- [18] Reza Levi Sandi, T., Energi, K., Studi, P., Mesin, T., Teknik, F., Muhammadiyah, U., & Utara, S. (2017). *Analisa kinerja aliran fluida pada Pompa sentrifugal dengan variasi jumlah sudu impeller*



ANALISIS PERPINDAHAN PANAS WATER HEATER DENGAN VARIASI PANJANG PADA PIPA BENTUK HELICAL MEMANFAATKAN PANAS DARI PIPA KOMPRESOR AC SPLIT 1 PK

Baihaqi Maulana Ali¹, Nailul Atifah²

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

E-mail : : ¹baihaqimaulanaali29@gmail.com, ²dosen00410@unpam.ac.id

Masuk : 26 Julii 2024

Direvisi : 18 September 2024

Disetujui : 29 September 2024

Abstrak: Sumber energi utama dari *air conditioner* (AC) dan *water heater* adalah energi listrik. Menurut Badan Pusat Statistik, dari tahun 2018 sampai tahun 2022 sebesar 65% listrik yang dihasilkan di Indonesia berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap berbahan bakar batu bara.. Batu bara merupakan sumber energi yang tidak terbarukan dan penggunaannya dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Solusi alternatif dari permasalahan ini adalah peralihan sumber energi bagi *water heater* dari energi listrik ke energi panas yang berasal dari pipa kompresor AC. Pada penelitian ini dilakukan analisis perpindahan panas sensibel dari pipa kompresor AC ke air pada tangki *water heater* menggunakan pipa helical. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa helical terhadap lama operasi sistem, daya input, daya output dan efisiensi sistem.. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan panjang pipa helical sebesar 6 m, 9 m, dan 12 m sebagai alat penukar panas di dalam tangki *water heater*. Penelitian dilakukan sampai suhu air di dalam tangki mencapai 60°C. Dari penelitian yang dilakukan dapat diketahui bahwa semakin panjang pipa helical yang digunakan maka waktu operasi sistem semakin pendek. Pada variasi panjang pipa 12 m memerlukan waktu operasi 59 menit, variasi panjang pipa 9 m memerlukan waktu operasi 62 menit, dan variasi panjang pipa 6 m memerlukan waktu operasi 89 menit. Nilai rata-rata daya input pada variasi panjang pipa 12 m adalah 0,779 kW, pada variasi panjang pipa 9 m adalah 0,785 kW, dan pada variasi panjang pipa 6 m adalah 0,809 kW. Nilai rata-rata daya output pada variasi panjang pipa 12 m adalah 0,226 kW, pada variasi panjang pipa 9 m adalah 0,183 kW, dan pada variasi panjang pipa 6 m adalah 0,122 kW. Nilai rata-rata efisiensi termal pada variasi panjang pipa 12 m adalah sebesar 32,15%, pada variasi panjang pipa 9 m adalah sebesar 25,16%, dan variasi panjang pipa 6 m adalah sebesar 15,44%.

Kata kunci: perpindahan panas, variasi panjang pipa, *air conditioner water heater*, efisiensi

Abstract: The main energy source for *air conditioners* (AC) and *water heaters* is electrical energy. According to the Central Bureau of Statistics, from 2018 to 2022, 65% of electricity generated in Indonesia comes from coal-fired Steam Power Plants. Coal is a non-renewable energy source and its use can cause environmental pollution. An alternative solution to this problem is to switch the energy source for *water heaters* from electrical energy to heat energy from the AC compressor pipe. In this study, an analysis of sensible heat transfer from the AC compressor

pipe to the water in the water heater tank using a helical pipe was carried out. This study aims to determine the effect of variations in the length of the helical pipe on the system's operating time, input power, output power and system efficiency. The study was conducted by varying the length of the helical pipe by 6 m, 9 m, and 12 m as a heat exchanger in the water heater tank. The study was carried out until the water temperature in the tank reached 60 ° C. From the research conducted, it can be seen that the longer the helical pipe used, the shorter the system's operating time. The variation of pipe length 12 m requires 59 minutes of operation time, the variation of pipe length 9 m requires 62 minutes of operation time, and the variation of pipe length 6 m requires 89 minutes of operation time. The average value of input power in the variation of pipe length 12 m is 0.779 kW, in the variation of pipe length 9 m is 0.785 kW, and in the variation of pipe length 6 m is 0.809 kW. The average value of output power in the variation of pipe length 12 m is 0.226 kW, in the variation of pipe length 9 m is 0.183 kW, and in the variation of pipe length 6 m is 0.122 kW. The average value of thermal efficiency in the variation of pipe length 12 m is 32.15%, in the variation of pipe length 9 m is 25.16%, and in the variation of pipe length 6 m is 15.44%.

Keywords: heat transfer, pipe length variation, air conditioner water heater, thermal efficiency

PENDAHULUAN

Air conditioner (AC) dan water heater memiliki kesamaan yang terletak pada energi yang digunakan, yakni listrik. Menurut Badan Pusat Statistik, dari tahun 2018 sampai tahun 2022 sebesar 65% listrik yang dihasilkan di Indonesia berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Uap[1]. Bahan utama yang digunakan dalam proses pembangkitan listrik tenaga uap adalah batu bara yang termasuk dalam sumber energi yang tidak terbarukan, penggunaannya secara terus menerus akan menimbulkan krisis energi. Disisi lain, batu bara akan mengakibatkan masalah pencemaran lingkungan. Solusi dari permasalahan ini adalah peralihan sumber bahan baku yang digunakan untuk membangkitkan listrik[2].

Terkait dampak dari penggunaan listrik, water heater yang bersumber pada energi listrik dapat menggunakan sumber energi alternatif pengganti listrik. Sumber energi alternatif tersebut adalah dengan menggunakan energi panas dari sinar matahari atau dengan memanfaatkan panas dari pipa kompresor pada air conditioner. Namun, untuk mengaplikasikan water heater dengan memanfaatkan energi matahari biayanya cukup mahal[3,4]. Air conditioner water heater merupakan gabungan dari alat air conditioner (AC) dan water heater. Air conditioner bekerja dengan menggunakan siklus dari refrigerasi kompresi uap. Komponen yang terlibat pada siklus ini diantaranya; kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Dalam siklus refrigerasi kompresi uap, refrigeran akan mengalami kenaikan suhu dan tekanan setelah melewati kompresor, kemudian refrigeran akan mengalami penurunan suhu setelah melewati kondensor. Pada alat air conditioner water heater, tangki water heater akan ditambahkan ke dalam siklus refrigerasi kompresi uap. Penempatan tangki water heater ini adalah setelah refrigeran melewati kompresor. Suhu dan tekanan tinggi refrigeran akan diserap oleh air di dalam tangki water heater sehingga refrigeran akan mengalami penurunan suhu sebelum masuk ke kondensor untuk lebih didinginkan kembali[5].

Penelitian dengan memanfaatkan air conditioner untuk memanaskan air pada water heater sudah dilakukan sebelumnya. Pada penelitian [6] memvariasikan bentuk dari pipa pada water heater dengan bentuk helical, spiral, dan serpentine. Penelitian ini juga memvariasikan panjang dari pipa yang digunakan pada masing-masing bentuk pipa yang divariasikan dengan panjang 1 m, 2 m, dan 3 m pada tangki bervolume 50 liter. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai perpindahan panas yang didapat dari masing-masing bentuk dan panjang pipa yang divariasikan. Nilai perpindahan panas tertinggi terjadi pada pipa dengan bentuk helical dan dengan panjang 3 meter, nilai perpindahan panas tersebut adalah 4047,63 Watt dalam waktu 10 menit.

Penelitian lainnya dilakukan oleh [7] dengan menggunakan AC window berkapasitas ¾ PK dan panjang pipa 6 m sebagai media penghantar panas pada air dengan volume 10 liter dapat memanaskan air hingga 46°C selama 240 menit. Penelitian lainnya dilakukan oleh [8], dengan memvariasikan besarnya suhu evaporator 16°C, 18°C, dan

20°C, dan juga panjang pipa sebesar 8 m dengan 15 lilitan, dan 16 m dengan 30 lilitan. Suhu air tertinggi pada *water heater* didapat pada pipa dengan panjang 16 m yaitu sebesar 53,81 °C dengan menggunakan suhu evaporator sebesar 16°C selama 60 menit.

Pada penelitian ini, pipa yang digunakan didalam tangki *water heater* adalah pipa dengan bahan tembaga berdiameter ¼ inch yang dibentuk helical dan dengan panjang pipa yang divariasikan. Dengan memvariasikan panjang pipa didalam tangki water heater akan mempengaruhi besarnya perpindahan panas yang terjadi pada air didalam tangki. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi panjang pipa helical terhadap lama operasi sistem, daya input, daya output dan efisiensi sistem.

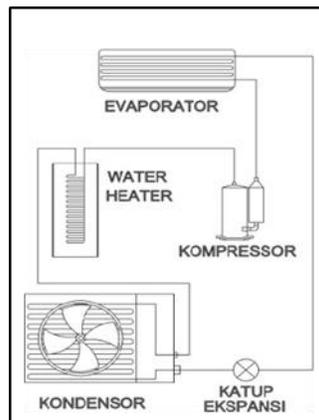
METODOLOGI

2.1 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu AC berkapasitas 1 PK, tangki air berkapasitas 30 liter, termometer digital, pressure gauge, air, pipa helical dengan panjang 6 m, 9 m, dan 12 m. Diameter pipa helical sebesar 17 cm. Pipa dengan panjang 6 m memiliki 10 lilitan, sedangkan pipa dengan panjang 9 m memiliki 16 lilitan, dan pipa dengan panjang 12 m memiliki 22 lilitan.



Gambar 1. Alat Air Conditioner Water Heater



Gambar 2. Skema Alat Air Conditioner Water Heater



Gambar 3. Pipa Helical Panjang 6 m, 9 m, dan 12 m

2.2 Tahapan Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Persiapan

Persiapan dilakukan dengan menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk melakukan rancang bangun alat *air conditioner water heater*, dan juga menyiapkan pipa tembaga dengan variasi panjang pipa 6 m, 9 m, dan 12 m yang akan dibentuk helical. Setelah itu, masing-masing pipa tembaga yang telah dibentuk helical akan dipasang secara bergantian didalam tangki *water heater*.

2. Pengujian

Pengujian dilakukan dengan menyalakan AC yang bertujuan untuk mengetahui kemungkinan terjadinya kebocoran pipa pada alat air conditioner water heater.

3. Pengambilan Data

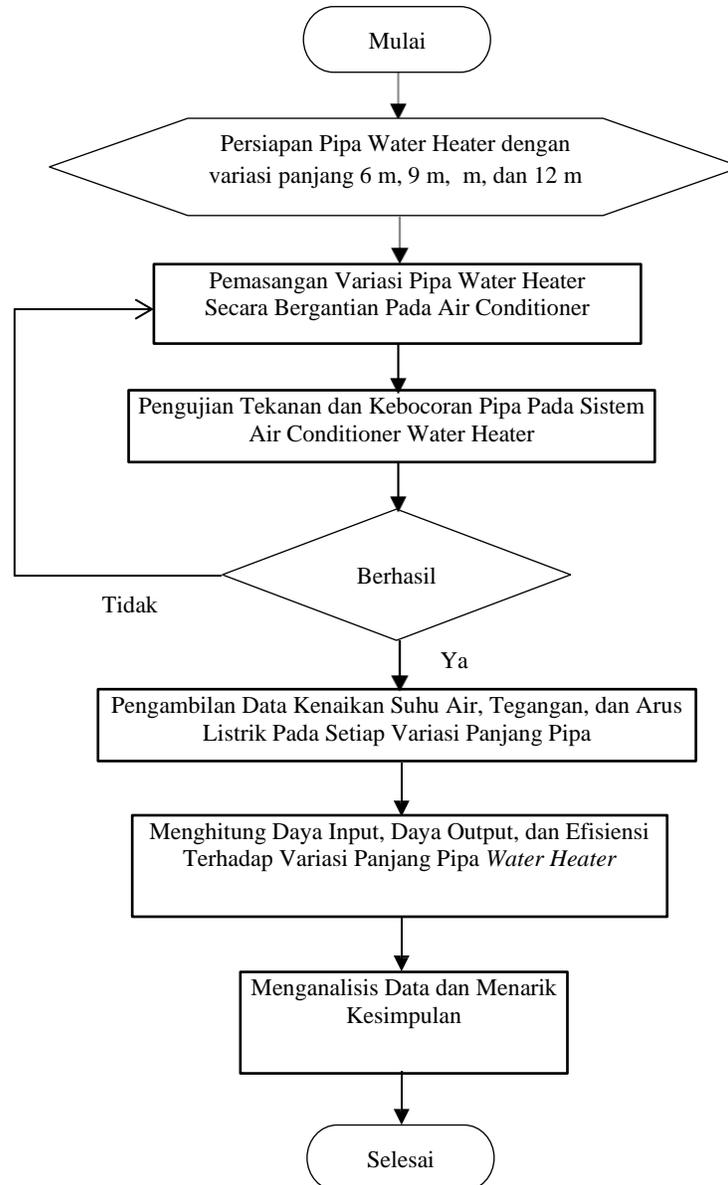
Pengambilan data dilakukan pada ketiga variasi panjang pipa helical. Adapun data yang diambil adalah nilai dari amperemeter, voltmeter, dan suhu air sampai suhu air didalam tangki mencapai 60°C . Pengambilan data dimulai dengan memasang pipa helical dengan panjang 6 meter pada tangki. Selanjutnya memasukkan refrigeran dengan tekanan standar pada freon R22 maksimal 80 psi. Setelah itu memasukkan air kedalam tangki dengan suhu awal air sebesar $30,7^{\circ}\text{C}$. Sistem dinyalakan dan pengambilan data variasi panjang pipa 6 m dilakukan sampai suhu air mencapai 60°C . Pengambilan data selanjutnya adalah dengan menggunakan variasi panjang pipa helical 9 m. Sebelum mengganti pipa helical, terlebih dahulu melakukan pump down refrigerant dengan tujuan untuk menyimpan refrigeran yang berada didalam pipa pada sistem *air conditioner water heater* ke bagian outdoor AC. Hal ini dilakukan untuk meminimalisir terjadinya pelepasan refrigeran ke lingkungan akibat dari pergantian pipa helical. Selanjutnya, menambahkan refrigeran pada sistem dengan menyesuaikan nilai standar tekanan freon R22 maksimal 80 psi. Setelah itu mengganti air yang ada didalam tangki dengan menggunakan air sumur dan diperoleh suhu awal air sebesar $31,8^{\circ}\text{C}$. Sistem dinyalakan dan pengambilan data variasi panjang pipa 9 m dilakukan sampai suhu air mencapai 60°C . Pengambilan data selanjutnya adalah dengan menggunakan variasi panjang pipa 12 m. Sama seperti sebelumnya, sebelum mengganti pipa helical perlu dilakukan pump down refrigerant dengan tujuan untuk menyimpan refrigeran yang berada didalam pipa pada sistem *air conditioner water heater* ke bagian outdoor AC. Selanjutnya menambahkan refrigeran pada sistem dengan menyesuaikan nilai standar tekanan freon R22 sebesar 80 psi. Setelah itu mengganti air pada tangki dengan menggunakan air sumur dan diperoleh suhu awal air sebesar $30,4^{\circ}\text{C}$. Sistem dinyalakan dan pengambilan data pada variasi panjang pipa 12 m dilakukan sampai suhu air mencapai 60°C .

4. Analisis Data

Analisis dilakukan dengan membandingkan daya input, daya output, dan efisiensi sistem terhadap variasi panjang pada pipa *water heater*,

2.3 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

2.4 Perhitungan Daya Input

Energi input dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P = V \cdot I \tag{1}$$

dengan:

P : Daya Listrik (Watt)

V : Tegangan Listrik (Volt)

I : Kuat Arus Listrik (Ampere)

2.5 Perhitungan Daya Output

Energi kalor output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kalor sensibel:

$$Q_{out} = \frac{m \cdot c_p \cdot \Delta T}{t} \tag{2}$$

dengan:

Q_{out} : Daya kalor output (kW)

m : Massa air pada tangki(kg)

c_p : Kalor spesifik air (kJ/kg.°C)

ΔT : Selisih suhu air (°C)

t : Waktu pengambilan data (detik)

2.6 Perhitungan Efisiensi Termal

$$\eta = \frac{Q_{out}}{P} \cdot 100\% \tag{3}$$

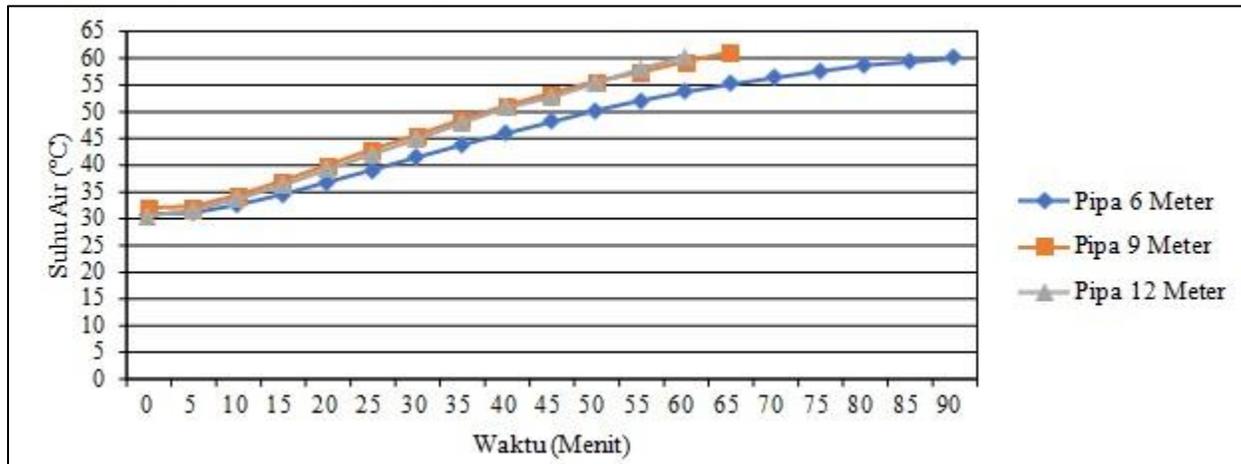
dengan :

η : Efisiensi Termal (%)

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Eksperimen

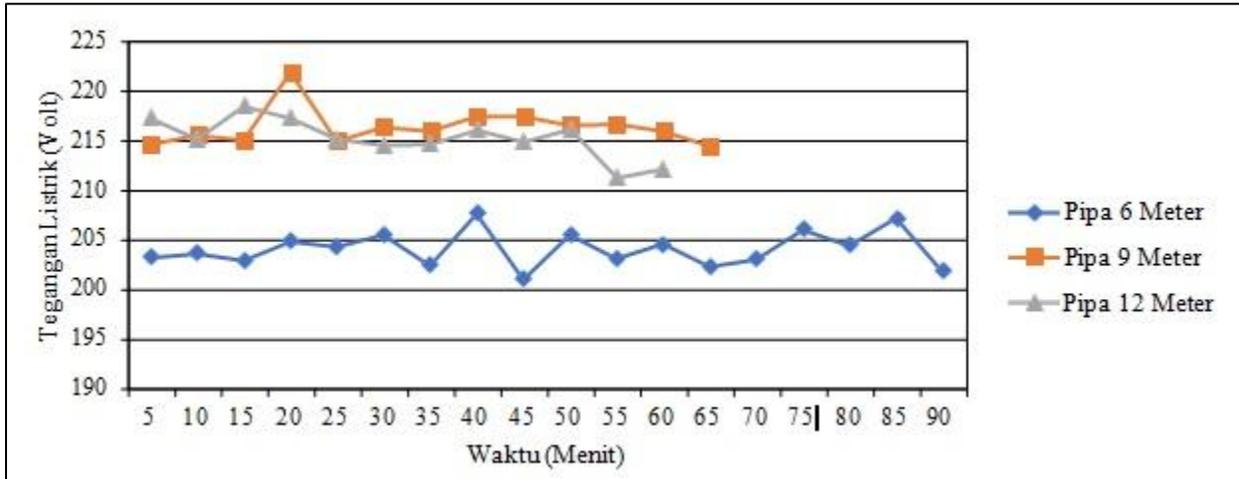
Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, diperoleh data perubahan suhu air sampai mencapai suhu 60 °C. Data perbandingan suhu air ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan Suhu Air Terhadap Variasi Panjang Pipa

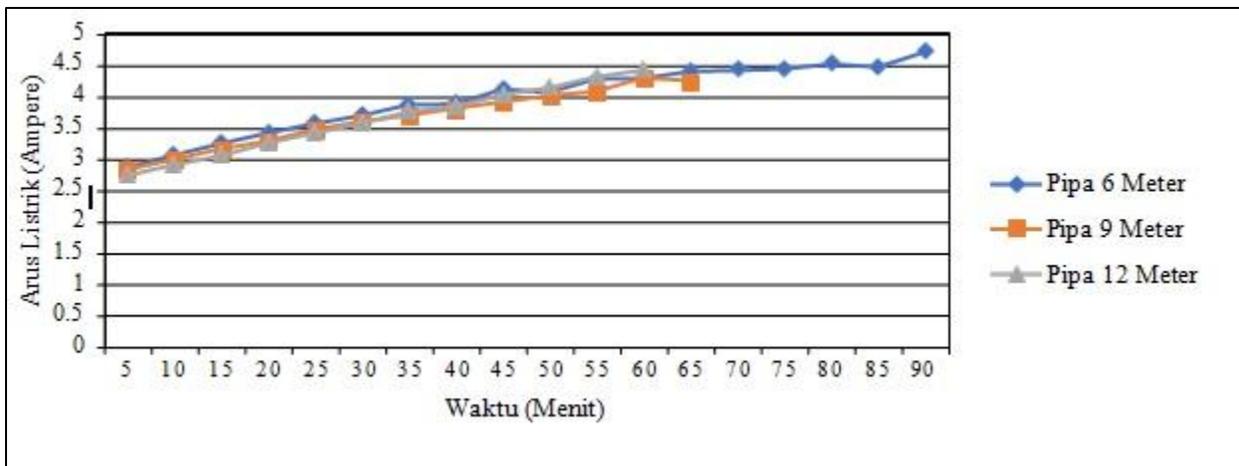
Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa penggunaan panjang pipa yang berbeda sebagai media penghantar panas dapat mempengaruhi nilai kenaikan suhu air dan lama waktu yang dibutuhkan untuk memanaskan air sampai suhu 60°C. Nilai rata-rata kenaikan suhu air pada variasi pipa dengan panjang 12 m adalah sebesar 2,5 °C, sedangkan pipa dengan panjang 9 m memiliki rata-rata kenaikan suhu air sebesar 2,2 °C, dan pipa dengan panjang 6 m memiliki rata-rata kenaikan suhu air sebesar 1,6 °C. Untuk menghasilkan suhu air sebesar 60°C, pipa dengan panjang 12 m memerlukan waktu 59 menit, sedangkan pipa 9 m memerlukan waktu 62 menit, dan pipa 6 m memerlukan waktu 89 menit. Pengambilan data pada setiap variasi panjang pipa diakhiri sampai suhu air mencapai 60 °C. Hal ini dikarenakan menurut [9,10] suhu air di dalam tangki *water heater* perlu mencapai 60°C dengan tujuan untuk menghilangkan bakteri *Legionella* yang ada pada air.

Data perbandingan tegangan selama kenaikan suhu air pada variasi panjang pipa ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan Tegangan Listrik Terhadap Variasi Panjang Pipa

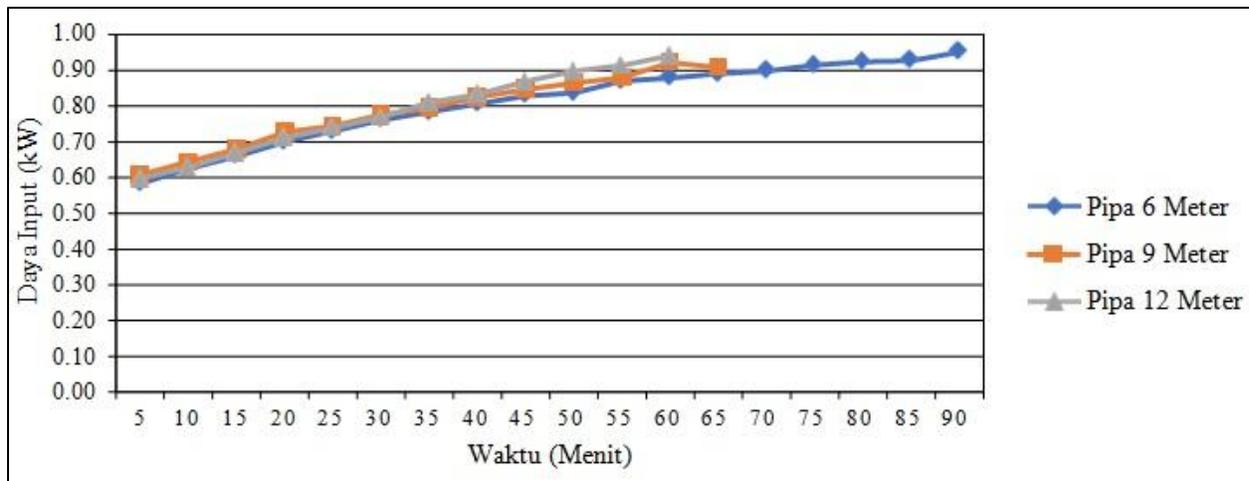
Data perbandingan arus listrik selama kenaikan suhu air pada variasi panjang pipa ditunjukkan Gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Arus Listrik Terhadap Variasi Panjang Pipa

Daya Input

Dari data tegangan dan arus AC, daya input dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1). Hasil perhitungan daya input pada variasi panjang pipa 6 m, 9 m, dan 12 m ditunjukkan pada Gambar 8. berikut.



Gambar 8. Perbandingan Daya Input terhadap Variasi Panjang Pipa

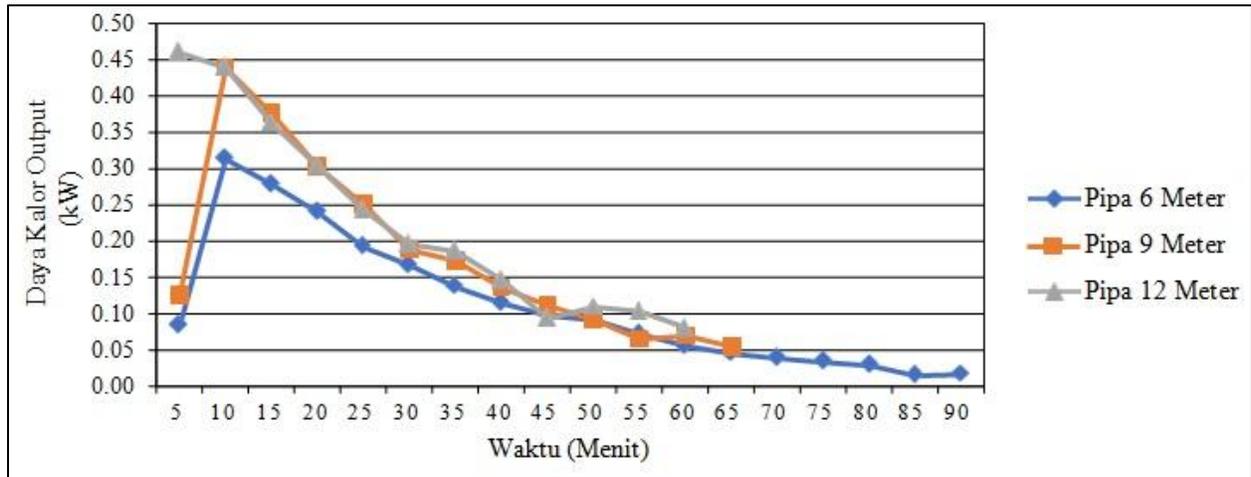
Berdasarkan Gambar 8. di atas, daya input mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya waktu operasi. Hal ini terjadi pada semua variasi panjang pipa, meskipun kenaikannya tidak signifikan. Hal ini dikarenakan semakin lama sistem *air conditioner water heater* beroperasi, arus yang dikonsumsi semakin besar.

Nilai rata-rata daya input pada variasi panjang pipa 12 m adalah 0,779 kW dengan kenaikan rata-rata konsumsi daya input sebesar 0,031 kW. Nilai rata-rata daya input pada variasi panjang pipa 9 m adalah 0,785 kW dengan kenaikan rata-rata daya input sebesar 0,025 kW. Nilai rata-rata daya input pada variasi panjang pipa 6 m adalah 0,809 kW dengan kenaikan rata-rata daya listrik sebesar 0,022 kW. Variasi panjang pipa 12 m memiliki nilai rata-rata kenaikan daya input paling besar dibandingkan yang lain. Hal ini dikarenakan jumlah freon yang digunakan pada sistem *air conditioner water heater* dengan panjang pipa 12 m lebih banyak jika dibandingkan dengan variasi panjang pipa 6 m, dan 9 m. Besarnya daya input ini terkait dengan besarnya beban kerja kompresor pada sistem *air conditioner water heater*.

Daya Output

Berdasarkan tabel data *thermophysical properties*, densitas air (ρ) adalah 998,21 kg/m³, dan kalor jenis (C_p) adalah 4,184 kJ/kg°C. Volume air dalam tangki sebesar 30 liter memiliki massa (m) 29,946 kg. Daya output dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2). Nilai rata-rata daya output pada variasi panjang pipa 12 m adalah sebesar 0,226 kW. Nilai rata-rata daya output pada variasi panjang pipa 9 m adalah sebesar 0,183 kW. Nilai rata-rata daya output pada variasi panjang pipa 6 m adalah sebesar 0,122 kW.

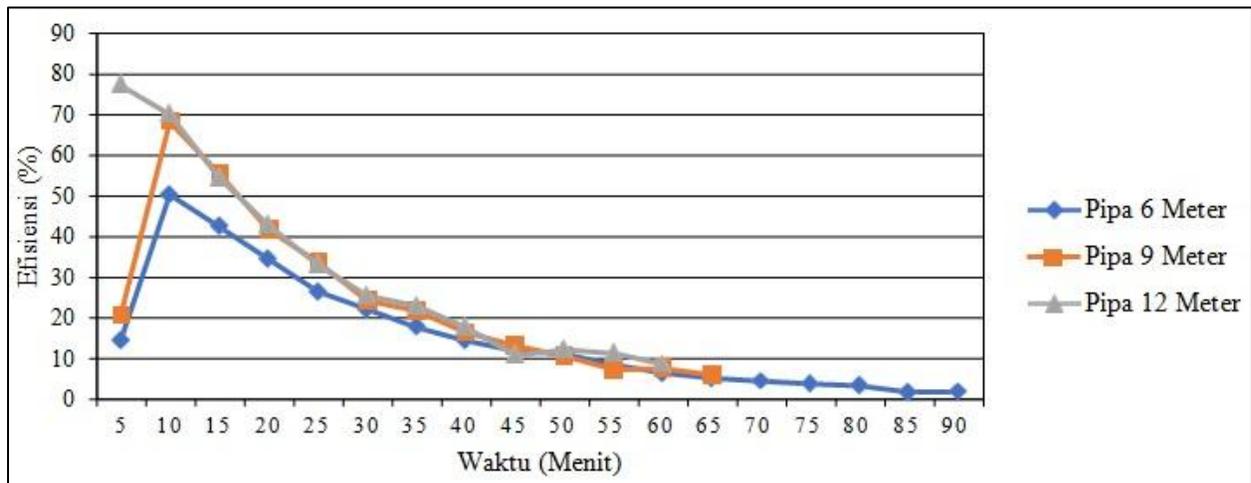
Hasil perhitungan daya output pada variasi panjang pipa 6 m, 9 m, dan 12 m ditunjukkan pada Gambar 9. Dari Gambar 9. dapat diketahui bahwa pada variasi panjang pipa 12 m memiliki nilai daya output yang lebih besar dibandingkan dengan variasi panjang pipa 6 m, dan 9 m. Pada menit ke-5, variasi panjang pipa 12 m memiliki daya output yang jauh lebih besar dibandingkan variasi panjang pipa 6 m, dan 9 m. Hal ini dikarenakan selisih kenaikan suhu air lebih besar daripada yang lain, yaitu sebesar 1,1 °C. Sedangkan selisih kenaikan suhu air pada variasi panjang pipa 9 m sebesar 0,3°C, dan pada variasi panjang pipa 6 m sebesar 0,2 °C. Selanjutnya, terjadi penurunan nilai daya output pada semua variasi panjang pipa. Dari Gambar 9. dapat diketahui bahwa pada variasi panjang pipa 12 m dan 9 m memiliki nilai penurunan yang relatif hampir sama dibandingkan dengan variasi panjang pipa 6 m. Hal ini terjadi karena semakin lama waktu operasi sistem *air conditioner water heater*, jumlah kalor sensibel yang dapat dipindahkan semakin kecil.



Gambar 9. Perbandingan Daya Output terhadap Variasi Panjang Pipa

Efisiensi Termal

Efisiensi termal sistem dapat dihitung dengan persamaan (3). Untuk variasi panjang pipa 12 m, efisiensi sistem pada menit ke-5 sebesar 77,160 %. Perbandingan efisiensi sistem untuk semua variasi panjang pipa selama operasi untuk mencapai suhu air 60 °C ditunjukkan Gambar 10.



Gambar 10. Perbandingan Efisiensi Kalor Terhadap Variasi Panjang Pipa

Berdasarkan Gambar 10. dapat diketahui bahwa efisiensi terbesar adalah pada variasi pipa dengan panjang 12 m. Nilai efisiensi rata-rata variasi panjang pipa 12 m sebesar 32,147%, variasi panjang pipa 9 m sebesar 25,156%, dan variasi panjang pipa 6 m sebesar 15,439%. Hal ini dikarenakan semakin panjang pipa helical yang digunakan di dalam tangki *water heater*, nilai daya output yang dihasilkan semakin besar. dan daya input yang dibutuhkan semakin kecil. Nilai daya input yang dibutuhkan semakin kecil karena waktu operasi untuk mencapai suhu air 60 °C semakin pendek.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk memanaskan air sampai suhu sebesar 60°C, variasi panjang pipa 12 m memerlukan waktu 59 menit, sedangkan variasi panjang pipa 9 m memerlukan waktu 62 menit, dan variasi panjang pipa 6 m memerlukan waktu 89 menit.
2. Nilai rata-rata daya input pada variasi panjang pipa 12 m adalah 0,779 kW, pada variasi panjang pipa 9 m adalah 0,785 kW, dan pada variasi panjang pipa 6 m adalah 0,809 kW.
3. Nilai rata-rata daya output pada variasi panjang pipa 12 m adalah 0,226 kW, pada variasi panjang pipa 9 m adalah 0,183 kW, dan pada variasi panjang pipa 6 m adalah 0,122 kW
4. Nilai rata-rata efisiensi termal pada variasi panjang pipa 12 m adalah sebesar 32,15%, pada variasi panjang pipa 9 m adalah sebesar 25,16%, dan variasi panjang pipa 6 m adalah sebesar 15,44%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Septiyono, A. E. (2023). Statistik Listrik 2018-2022. *Badan Pusat Statistik*, 12.
- [2] Sumbu, A., & Tipe, V. (2018). *Rancang Bangun dan Analisa Kinerja Generator Fluks Aksial Magnet Permanen Putaran Rendah untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Savonius*. 2(1), 12–17.
- [3] C A Siregar, A M Siregar, D. S. (2021). Efek Penambahan APK Pipa Kapiler Bersirip Sebagai Penghantar Panas Terhadap Performance AC Pada Aplikasi ACWH. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 4(1), 131–139.
- [4] Napitupulu, F. H., & Ambarita, H. (2014). *Studi Eksperimental Performansi Solar Water Heater Jenis Kolektor Plat Datar Dengan Penambahan Thermal Energy Storage*. 1(2), 27–36
- [5] Wibawa, L. A. N. (2019). Turbulen: jurnal teknik mesin universitas tridinanti Palembang. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(2), 66
- [6] Mustakim, M., & Ir. Gatut Priyo Utomo, M. S. (2018). *Analisa Pengaruh Tipe Dan Panjang Heat Exchanger Terhadap Nilai Kalor Yang Dibutuhkan Untuk Memanaskan Air Pada Air Conditioner Water Heater Daya 1 Pk*. 1(2), 1–5.
- [7] Sebayang, M. D. (2019). Pemanfaatan Panas Kondensor Ac Window ¾ Pk Untuk Pemanas Air. *Prosiding Konferensi Nasional Engineering, 2019*, 345–347.
- [8] Amirsyah, C., Siregar, P., & Siregar, A. M. (2020). Studi Eksperimental Pengaruh Efektifitas Acwh Terhadap Panjang Pipa Kapiler Sebagai Penghantar Panas. *Jurnal SIMETRIS*, 11(2).
- [9] WHO. (2002). *Guidelines for Drinking-Water Quality*. <http://www.cde.ca.gov/sp/ss/dh/documents/proguidlms.pdf>
- [10] Levésque, B., Lavoie, M., & Joly, J. (2004). *Residential water heater temperature* : 15(1), 11–13.



PENGARUH FRAKSI VOLUME TERHADAP SIFAT MEKANIK KAMPAS REM BERBAHAN SERBUK KAYU JATI

Ihham Sholehuddin¹, Nely Ana Mufarida², Kosjoko³

^{1,2,3}Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Jember

E-mail : nelyana@unmuhjember.ac.id

Masuk : 9 Agustus 2024

Direvisi : 4 September 2024

Disetujui : 29 September 2024

Abstrak: Industri otomotif saat ini sedang mengembangkan material baru, dan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat seiring dengan potensi akses terhadap material dengan kualitas unggul yang tumbuh dengan pesat. Material komposit umumnya dapat diaplikasikan pada industri otomotif, khususnya pada penggunaan kampas rem. Dengan mencampurkan elemen-elemen dengan kualitas luar biasa, material komposit dapat menciptakan material baru dengan sifat yang lebih baik lagi. Oleh karena itu, diperlukan penelitian untuk menentukan proses terancang dalam memproduksi kampas rem murah dari bahan yang ramah lingkungan. pada suhu pirolisis 450°C berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian, variasi fraksi volume serbuk kayu jati (60 % + 40 % resin poliuretan) menghasilkan nilai keausan tertinggi, dengan rata-rata nilai keausan sebesar 0,0031685815 mm³/kg.m. Variasi fraksi volume serbuk kayu menghasilkan nilai keausan paling rendah. Jati 40% + 60% resin poliuretan, dengan nilai keausan 0,00030104 mm³/kg.m.

Kata kunci: kampas rem, resin *polyurethane*, serbuk kayu jati

Abstract: The automotive industry is currently developing new materials, and the number of motorized vehicles in Indonesia is increasing along with the potential for access to superior quality materials growing rapidly. Composite materials can generally be applied in the automotive industry, especially in the use of brake linings. By mixing elements with extraordinary qualities, composite materials can create new materials with even better properties. Therefore, research is needed to determine the most advanced process for producing cheap brake linings from environmentally friendly materials. at a pyrolysis temperature of 450°C based on data obtained from test results, variations in the volume fraction of teak wood powder (60% + 40% polyurethane resin) produced the highest wear value, with an average wear value of 0.0031685815 mm³/kg.m. Variations in the volume fraction of sawdust produce the lowest wear values. Teak 40% + 60% polyurethane resin, with a wear value of 0.00030104 mm³/kg.m.

Keywords: break canvass, polyurethane resin, teak wood powder

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi otomotif menyebabkan terciptanya kendaraan bermotor yang membutuhkan suku cadang dan material dalam jumlah besar. menggabungkan komponen kelistrikan, sasis, dan mesin[1]. Sektor otomotif saat ini telah mengalami peningkatan pesat dalam penciptaan material baru dan perolehan material dengan kualitas yang lebih baik, dan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia meningkat seiring dengan jenis dan mereknya. Selain itu, permintaan akan barang-barang material otomotif juga meningkat. Kebutuhan untuk menyediakan barang-barang material otomotif yang terjangkau, berkualitas tinggi, dan laku di pasaran sangat kuat di Indonesia karena situasi ekonomi negara yang tidak stabil. Meningkatkan kualitas produk dan bersaing dengan barang-barang yang ada saat ini merupakan tujuannya [2]. Secara umum bahan friksi kampas rem memiliki tiga penyusun bahan yaitu bahan pengikat, bahan serat dan bahan pengisi. Bahan pengikat terdiri dari berbagai resin diantaranya phenolic, epoxy, polyester, silicone dan rubber. Resin tersebut berfungsi untuk pengikat berbagai zat penyusun didalam friksi. Bahan pengikat dapat membentuk sebuah matriks pada suhu yang relatif stabil. Serat berfungsi untuk meningkatkan koefisien gesek dan meningkatkan kekuatan mekanik bahan. Serat terdiri dari serat buatan dan alami. Serat buatan misalnya nilon, Cu-Zn, Al, karbon, rock wool dan serat gelas. Serat alami yang sering dipakai sebagai penguat yaitu serat yang terdapat di alam yang sifatnya alami misalnya bambu, rami, serabut kelapa, tongkol jagung dan masih banyak yang lainnya. Serat tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan dalam pembuatan kampas rem non-asbestos[3].

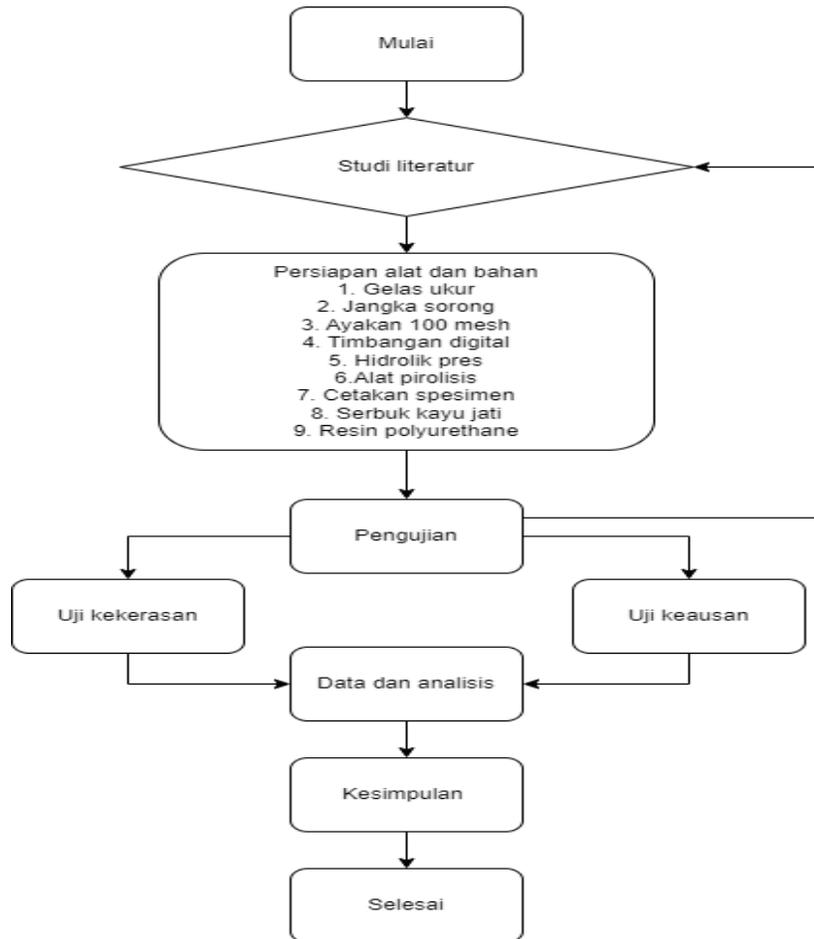
Saat ini sudah banyak ditemukan kampas rem berbahan asbes dan non asbes, 60% dari komponen yang digunakan dalam pembuatan kampas rem asbes merupakan serat utama yang digunakan untuk membuat kampas rem, karet sintesis, resin, serpihan logam, dan keramik yang digunakan sebagai bantalan tahan aus[4]. Asbes merupakan bahan baku yang digunakan pada kampas rem sepeda motor, namun memiliki beberapa kelemahan. Pertama, material yang keras dapat membuat cakram rem menjadi aus. Kedua, asbes berdampak buruk bagi lingkungan karena melepaskan zat yang dapat menyebabkan kanker jika partikelnya terkikis dan bergesekan dengan lapisannya sehingga debu kampas rem yang berterbangan terhirup oleh manusia[5].

Penelitian ini didasari dengan adanya penelitian terdahulu yang sudah dilakukan. Kosjoko 2021 yang membahas tentang “Serbuk Kayu Jati (*Tectona Grandis* L.F) sebagai Bahan Penguat Komposit Brake Pad Sepeda Motor Bermatriks Epoxy” didapatkan hasil pengujian kekerasan brake pad material komposit serbuk gergaji kayu jati bermatriks epoxy dengan campuran fraksi volume uji kering 40% : 60% = 61,83, fraksi volume uji kering 50% : 50% = 60,30, fraksi volume uji basah 40% : 60% = 56,30, fraksi volume uji basah 50% : 50% = 54,50. Uji kering yang ada di pasaran 52,00, uji basah 50,00. Uji keausan kering dengan fraksi volume 40% : 60% = 0,001 gr/mm².S, 50% : 50% = 0,003. Uji keausan basah fraksi volume 40% : 60% = 0,004 gr/mm².S, 50% : 50% = 0,01 gr/mm².S. Hasil uji keausan kering yang ada di pasaran = 0,015 gr/mm².S, Hasil uji keausan basah yang ada di pasaran = 0,04 gr/mm².S.[6]. Moh Irawan 2024 yang membahas tentang “Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Serbuk Kayu Jati Dengan Penambaha Resin Epoxy Terhadap Uji Kekerasan Pada Kampas Rem” didapatkan hasil pirolisis serbuk kayu jati menunjukkan penurunan berat yang signifikan. Uji kekerasan dengan metode Shore D Durometer menghasilkan nilai tertinggi 65.5 HD pada campuran 70 gr serbuk kayu jati, 30 gr resin epoxy pada suhu 350 °C. Suhu pirolisis 450 °C memberikan nilai kekerasan terendah sebesar 42.8 HD.[7]. Saiful Arif 2019 membahas tentang “Analisis Sifat Mekanis Perbandingan Campuran Komposit Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy Untuk Material Kampas Rem Cakram” didapatkan nilai kekerasan semakin bertambah seiring dengan meningkatnya persentase resin yang diberikan pada komposit. Sedangkan nilai max strength tertinggi dihasilkan oleh komposit dengan bahan dasar serbuk gergaji kayu jati sebanyak 60% dan epoxy sebanyak 40%.[8]. M. Fuad 2022 membahas tentang “Analisa Keausan Kampas Rem Sepeda Motor Berbahan Komposit Serbuk Tempurung Buah Maja” Hasil penelitian menunjukkan nilai yang paling optimal terdapat pada volume 30% dengan nilai keausan 2,008 x 10⁻⁶ mm²/kg. Hal itu menunjukkan semakin banyak volume serbuk, maka kekuatan komposit akan meningkat. Nilai tersebut yang paling mendekati dengan nilai kampas rem sepeda motor merk Indoparts. Maka dari itu, komposit serbuk tempurung buah maja dapat direkomendasikan sebagai material alternatif kampas rem sepeda motor.[9]

Penelitian ini menggunakan sumber daya alam seperti serbuk kayu jati yang terbuat dari potongan pohon jati sebagai bahan campuran karena pilihan bahan terbatas pada tujuan penggunaannya, seperti meningkatkan kualitas kampas rem ramah lingkungan dengan harga yang lebih terjangkau. Material tersebut dipilih untuk menggantikan penggunaan material berbahaya seperti asbes dengan material yang lebih alami guna memenuhi kebutuhan dan meningkatkan kualitas kampas rem sehingga aman bagi kesehatan manusia[10].

METODOLOGI

Metode penelitian dengan menyiapkan alat dan bahan untuk membuat spesimen kampas rem dengan suhu pirolisis 450°C dengan penahanan pada suhu pirolisis selama 1 jam, ukuran partikel serbuk kayu jati 100 mesh dan variasi fraksi volume serbuk kayu jati 40% +60% resin *polyurethane*, serbuk kayu jati 50% + 50% resin *polyurethane*, serbuk kayu jati 60% + 40% resin *polyurethane* dengan menggunakan tekanan pada cetakan spesimen 1.100 Psi dengan pengujian kekerasan menggunakan durometer dan pengujian keausan menggunakan oghosi.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pirolisis

Pirolisis adalah prosedur yang digunakan untuk melakukan tes ini. Korelasi antara pirolisis dalam pembuatan kampas rem dalam proses pemanasan tidak terjadi pembakaran sehingga tidak menghasilkan emisi gas ataupun polutan ke lingkungan. Pembakaran pirolisis dapat menghasilkan produk utama yang berupa arang (char), asap cair (bio-oil) dan gas, sedangkan proses lain tidak bisa menghasilkan produk tersebut. Serbuk kayu jati ditemukan mengalami penurunan berat dari 300 gram menjadi 104 gram selama satu jam pirolisis pada suhu 450°C, tabel hasil pirolisis adalah sebagai berikut.

Tabel 1 Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati

No	Bahan	Temperatur (°C)	Sebelum Pirolisis	Sesudah Pirolisis	Lama Penahanan
1	Serbuk Kayu Jati	450	300 gram	104 gram	1 jam



Gambar 2 Proses Pirolisis Serbuk Kayu Jati

Gambar 2 merupakan alat pirolisis serbuk kayu jati dengan menggunakan energi listrik untuk menghasilkan panas



Gambar 3 Hasil Pirolisis Serbuk Kayu Jati

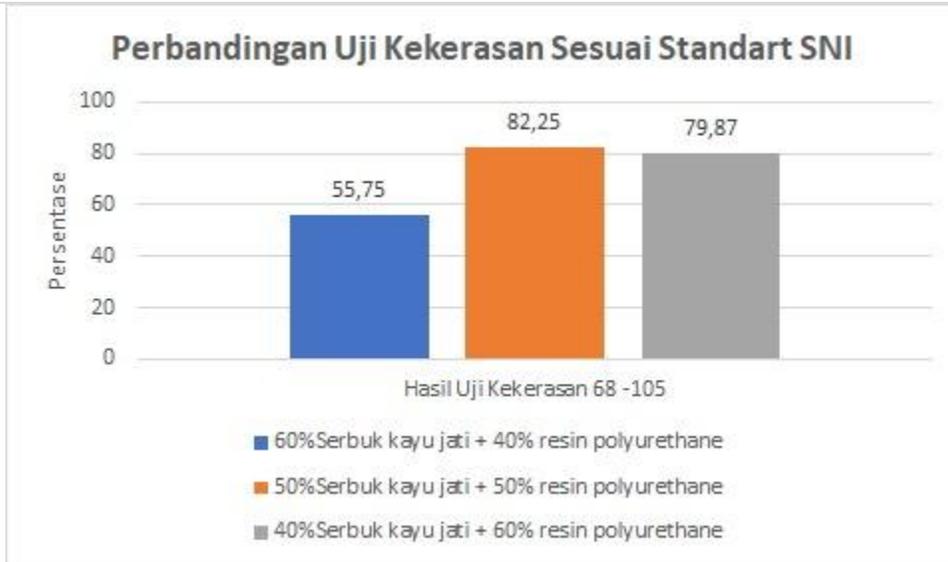
Gambar 3 merupakan hasil pirolisis serbuk kayu jati dengan berat semula 300 gram setelah proses pirolisis berat serbuk kayu jati menjadi 104 gram.

3.2 Uji kekerasan

Uji kekerasan ini menggunakan metode uji durometer, dan penelitian yang telah dilakukan akan dibahas dari hasil uji kekerasan kampas rem menggunakan serbuk kayu jati dan resin poliuretan dimana setiap spesimen akan dibandingkan dalam tabel dan grafik sebagai berikut.

Tabel 2 Pengujian Kekerasan Kampas Rem

No	Nama Peneliti	Suhu Pirolisis	Hasil Uji Kekerasan
1	Nilai kekerasan sesuai standart SNI	-	68-105 (HD)
2	60%Serbuk kayu jati + 40% resin <i>polyurethane</i>	450°C	55,75 HD
3	50%Serbuk kayu jati + 50% resin <i>polyurethane</i>	450°C	82,25 HD
4	40%Serbuk kayu jati + 60% resin <i>polyurethane</i>	450°C	79,87 HD



Gambar 4 Diagram Hasil Uji Kekerasan

Berdasarkan gambar 4 diatas campuran spesimen yang terdiri dari 50% resin poliuretan dan 50% serbuk kayu jati menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 82,25 HD pada uji kekerasan Shore D Durometer yang dilakukan pada suhu pirolisis 450°C. Campuran benda uji yang terdiri dari 40% serbuk kayu jati dan 60% resin poliuretan memberikan hasil uji kekerasan sedang, dengan nilai rata-rata 79,87 HD. Campuran benda uji yang terdiri dari 60% serbuk kayu jati dan 40% resin poliuretan menghasilkan nilai kekerasan rata-rata terendah (55,75 HD) pada temuan uji kekerasan. Dengan demikian, semakin keras benda uji pada suhu 450°C maka semakin banyak pula kombinasi serbuk kayu jati yang terdapat pada benda uji tersebut.

3.3 Uji keausan

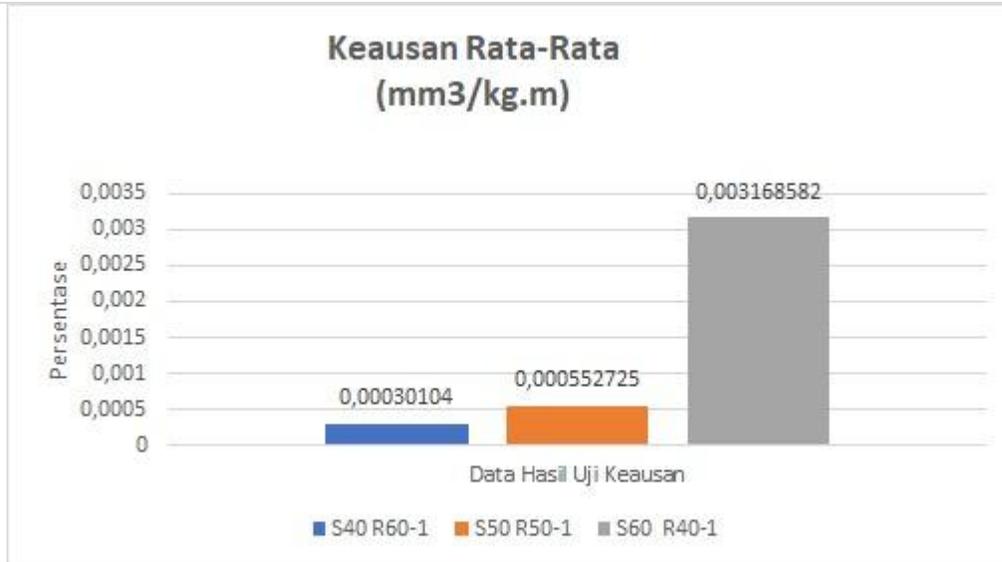
Uji keausan oghosi dilakukan untuk mendapatkan nilai keausan yang spesifik dari setiap spesimen kampas rem serbuk kayu jati dan resin polyurethane dan hasil perbandingan setiap spesimen ditunjukkan pada table dan diagram berikut:

Tabel 3 Pengujian Keausan Kampas Rem

No	Kode Spesimen	Nilai b0 (mm)	B (mm)	r (mm)	P0 (kg)	lo (m)	Keausan Spesifik (Ws) (mm ³ /kg.m)	Rata-Rata (mm ³ /kg.m)
1	S40 R60-1	1.0310	3	13	6.36	15	0.000331372	0.000301040
2	S40 R60-2	0.9638	3	13	6.36	15	0.000270708	
3	S50 R50-1	1.1634	3	13	6.36	15	0.000476131	0.000552725
4	S50 R50-2	1.2768	3	13	6.36	15	0.000629373	
5	S60 R40-1	2.1236	3	13	6.36	15	0.002895728	0.003168582
6	S60 R40-2	2.2494	3	13	6.36	15	0.003441435	

Keterangan tabel:

- B : Tebal piringan pengaus (mm)
- b : Panjang Goresan (mm)
- r : Jari-jari piringan pengaus (mm)
- P : Beban yang digunakan (kg)
- l : Jarak tempuh dari proses pengausan (m)
- w : Volume tergores / keausan (mm)
- Ws : Nilai keausan spesifik (mm³/kg.m)
- S : Serbuk kayu jati
- R : Resin *Polyurethane*



Gambar 5 Diagram Hasil Uji Keausan

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil pengujian, variasi fraksi volume serbuk kayu jati 60% + resin poliuretan 40% menghasilkan nilai keausan tertinggi yaitu 0,0031685815 mm³/kg.m, dan variasi fraksi volume kayu jati 40% + Resin poliuretan 60% menghasilkan nilai keausan terendah, 0,00030104 mm³/kg.m.

KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil uji kekerasan Shore D Durometer yang dilakukan pada suhu 450°C untuk pirolisis, dapat disimpulkan bahwa fraksi volume berpengaruh terhadap sifat mekanik baik resin poliuretan maupun serbuk kayu jati. bantalan rem. Campuran spesimen yang terdiri dari 50% serbuk kayu jati dan 50% resin poliuretan menghasilkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 82,25 HD. Campuran spesimen yang terdiri dari 60% serbuk kayu jati dan 40% resin poliuretan menghasilkan nilai kekerasan rata-rata terendah yaitu 55,75 HD pada temuan uji kekerasan.
2. Dengan nilai rata-rata keausan sebesar 0,0031685815 mm³/kg.m, nilai keausan tertinggi terdapat pada variasi fraksi volume 60% serbuk kayu jati + 40% resin poliuretan, berdasarkan data yang dikumpulkan dari hasil pengujian. Nilai keausan terendah terdapat pada fraksi volume yang bervariasi. 60% resin poliuretan dan 40% serbuk kayu jati, dengan nilai keausan rata-rata 0,00030104 mm³/kg.m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. D. Rambe *et al.*, "Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Desember 2018 (ISSN : 0216-7492) Edisi Cetak Jurnal Dinamis , Desember 2018 (ISSN : 0216-7492)," *J. Din.*, no. 4, pp. 60–73, 2018.
- [2] R. Ariana, "Bab I Latar Belakang Hipertensi," vol. 2, no. C, pp. 1–23, 2016.
- [3] Suhardiman and M. Syaputra, "Analisa Keausan Kampas Rem Non Asbes Terbuat Dari Komposit Polimer Serbuk Padi dan Tempurung Kelapa," *J. Invotek Polbeng*, vol. 07, no. 2, pp. 210–214, 2017.

-
- [4] M. H. Alamsyah and G. Gundara, "Analisis Sifat Mekanik Komposit Bahan Kampas Rem Dengan Penguat Serbuk Kayu Jati Dan Serbuk Kuningan," *R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) J.*, vol. 5, no. 1, pp. 9–13, 2021, doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.870.
- [5] F. Yudhanto, S. A. Dhewanto, and S. W. Yakti, "Karakterisasi Bahan Kampas Rem Sepeda Motor Dari Komposit Serbuk Kayu Jati," *Quantum Tek. J. Tek. Mesin Terap.*, vol. 1, no. 1, pp. 19–27, 2019, doi: 10.18196/jqt.010104.
- [6] R. Amzamsyah, Kosjoko, and M. L. Umar, "J-Proteksion : Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin," *J-Proteksion*, vol. 4, no. 13, pp. 1–6, 2020.
- [7] M. Irawan and N. A. Mufarida, "Pengaruh Variasi Temperatur Pirolisis Serbuk Kayu Jati Dengan Penambaha Resin Epoxy Terhadap Uji Kekerasan Pada Kampas Rem," vol. 3, no. 1, pp. 444–450, 2024.
- [8] S. Arif, D. Irawan, and M. Jainudin, "Analisis Sifat Mekanis Perbandingan Campuran Komposit Serbuk Gergaji Kayu Jati Dengan Matrik Epoxy Untuk Material Kampas Rem Cakram," *J. Technopreneur*, vol. 7, no. 2, pp. 58–63, 2019, doi: 10.30869/jtech.v7i2.385.
- [9] M. T. N. Fuad and H. Yudiono, "Analisa Keausan Kampas Rem Sepeda Motor Berbahan Komposit Serbuk Tempurung Buah Maja," *J. Pendidik. Tek. Mesin Undiksha*, vol. 10, no. 1, pp. 55–62, 2022, doi: 10.23887/jptm.v10i1.44431.
- [10] P. I. Purboputro, "PEMBUATAN KAMPAS REM MENGGUNAKAN VARIASI BUTIRAN MESH ALUMUNIUM SILICON (Al-Si) 50, 60, 100 DENGAN SERBUK KAYU JATI TERHADAP NILAI TINGKAT KEKERASAN, KEAUSAN DAN KOEFISIEN GESEK," *Media Mesin Maj. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 35–45, 2020, doi: 10.23917/mesin.v21i1.9753.



ANALISA DAYA PADA SIMULATOR PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DENGAN VARIASI TURBIN ARCHIMEDES SCREW

Muhammad Naufal Fawwaz¹, Ihat Solihat²

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

E-mail : mnaufalfawwaz1@gmail.com

Masuk : 18 Agustus 2024

Direvisi : 19 September 2024

Disetujui : 30 September 2024

Abstrak: Energi merupakan salah satu kebutuhan pokok manusia dalam memenuhi kebutuhan hidup dalam kesehariannya. Energi terbarukan dihasilkan oleh sumber daya energi yang bersifat alamiah, yang mana tidak akan habis sehingga dapat berkelanjutan jika melalui pengelolaan yang baik, contohnya seperti Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang merupakan pembangkit listrik dengan memanfaatkan aliran air berskala kecil serta menjadi salah satu sumber energi listrik terbarukan yang sangat potensial di Indonesia. Tujuan dilakukan penelitian ini untuk menganalisa pengaruh kinerja turbin Archimedes Screw dengan variasi ketinggian jatuhnya air terhadap daya yang dihasilkan. Dari hasil pengujian Turbin Archimedes Screw dengan variasi ketinggian jatuhnya air yang diukur dari tanah adalah 1,2 m, 1,4 m, dan 1,6 m, dengan bukaan katup tetap 30°, kemiringan turbin tetap 20° dengan jumlah sudu tetap, sudu 9. Pada ketinggian 1,2 m daya listrik yang dihasilkan sebesar 2,4252 watt, pada ketinggian 1,4 m daya listrik yang dihasilkan sebesar 2,5024 watt, dan pada ketinggian 1,6 m daya listrik yang dihasilkan yaitu sebesar 2,3736 watt. Nilai Efisiensi tertinggi dari ketiga variasi ketinggian dari turbin ini adalah pada ketinggian 1,2 m yaitu sebesar 19,23 %.

Kata kunci: PLTMH, Turbin, Ketinggian, Daya Listrik

Abstract: Energy is one of the basic needs of humans in meeting their daily needs. Renewable energy is produced by natural energy resources, which will not run out so that it can be sustainable if through good management, for example, such as Micro Hydro Power Plant (MHP) which is a power plant by utilizing small-scale water flow and is one of the potential renewable electrical energy sources in Indonesia. The purpose of this research is to analyze the effect of Archimedes Screw turbine performance with variations in water fall height on the power produced. From the test results of the Archimedes Screw Turbine with variations in the height of the water fall measured from the ground are 1.2 m, 1.4 m, and 1.6 m, with a fixed valve opening of 30°, a fixed turbine slope of 20° with a fixed number of blades, 9 blades. At a height of 1.2 m the electric power generated was 2.4252 watts, at a height of 1.4 m the electric power generated was 2.5024 watts, and at a height of 1.6 m the electric power generated was 2.3736 watts. The highest efficiency value of the three height variations of this turbine is at a height of 1.2 m, which is 19.23%.

Keywords: MHP, Turbine, Altitude, Electrical Power.

PENDAHULUAN

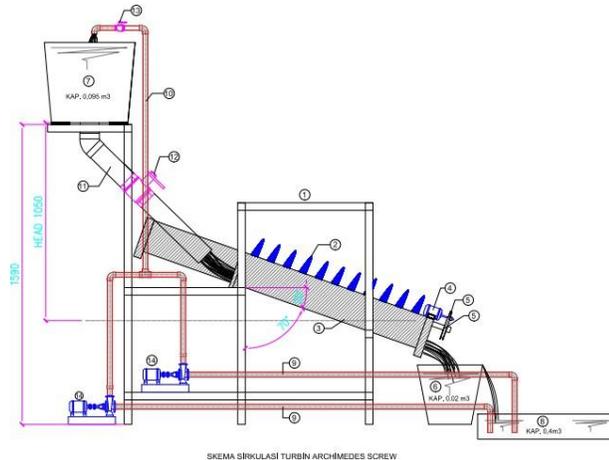
Energi merupakan kebutuhan pokok bagi manusia untuk memenuhi kebutuhan hidup setiap harinya. Energi sangat penting dalam menjalankan berbagai aktivitas manusia, baik dalam sektor industri, sistem transportasi, maupun rumah tangga. Energi baru di dalam Perpres No. 5 Tahun 2006 mengenai Kebijakan Energi Nasional, merupakan bentuk dari salah satu energi yang dihasilkan teknologi baru yang berasal dari energi terbarukan maupun energi yang tidak terbarukan. Energi baru dalam hal ini adalah gas alam batubara (coal bed methane), batubara yang dicairkan (liquefied coal), hidrogen, nuklir. Energi terbarukan dihasilkan oleh sumber daya energi yang bersifat alamiah yang tidak akan pernah habis sehingga dapat berkelanjutan jika melalui pengelolaan yang baik. Contoh energi terbarukan diantaranya adalah panas bumi, panas surya, angin, aliran air sungai, bahan bakar nabati (biofuel), biogas, biomassa, suhu kedalaman laut, dan ombak laut [1]. Karenanya, penelitian tentang sumber energi yang baru dan terbarukan menjadi sangat penting untuk memenuhi kebutuhan energi untuk masa depan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW), dengan memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber utama penghasil energinya. PLTMH termasuk dalam sumber energi terbarukan dan layak disebut clean energy karena ramah terhadap lingkungan. Aliran sungai kecil ataupun danau yang dibendung kemudian dari ketinggian tertentu menjadikannya sumber tenaga PLTMH, aliran sungai memiliki debit yang sesuai dapat menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi penampang sungai maka, jatuhnya air semakin besar begitu juga energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik [2]. Prinsip kerja dari Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah dengan memanfaatkan perbedaan elevasi dan debit aliran air per detik dari sumber seperti sungai, dari saluran irigasi, ataupun dari air terjun. Aliran air ini nantinya akan menggerakkan poros turbin yang kemudian akan mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian digunakan untuk menggerakkan generator yang menghasilkan listrik [3]. Sedangkan energi potensial adalah energi yang diperoleh oleh suatu material akibat posisinya dalam suatu medan gaya. Ini mencakup energi gravitasi, serta energi yang berkaitan dengan fluida yang terkompresi [4]. PLTMH sendiri memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan pembangkit listrik lainnya, yaitu bersih terhadap lingkungan, tidak konsumtif terhadap pemakaian air, lebih awet (tahan lama/long life), biaya operasionalnya lebih kecil dan sesuai untuk daerah terpencil [5]. PLTMH Archimedes Screw menggunakan konsep dari teknologi kuno yaitu Archimedes screw (ulir archimedes) adalah sebuah teknologi yang digunakan dalam berbagai aplikasi. Prinsip kerja turbin ulir melibatkan aliran air melalui celah-celah berulir, di mana tekanan menurun karena laju aliran air melambat akibat hambatan yang terdapat di celah tersebut. Penurunan tekanan ini menyebabkan air memutar turbin dan, secara bersamaan, juga memutar generator [6].

Dalam pembangunan PLTMH dengan menggunakan turbin ulir, beberapa hal yang harus dipertimbangkan adalah lebar sungai, bagian dari dasar sungai, hambatan alam seperti batu, populasi pohon dan stabilisasi alur sungai. Prinsip kerjanya adalah tekanan air yang melewati bilah-bilah sudu akan menurun akibat hambatan dari sudu tersebut. Penurunan tekanan ini menyebabkan turbin berputar, dan putaran ini kemudian menggerakkan generator listrik setelah energi rotasi poros diteruskan melalui gearbox [7]. Untuk itu dilakukannya penelitian ini untuk menganalisa daya PLTMH yang dihasilkan dengan menggunakan turbin Archimedes Screw. Karena sangat penting sebagai upaya untuk mendukung pembangunan PLTMH di Indonesia. Analisa daya PLTMH bertujuan untuk mengetahui kapasitas dan daya listrik yang dapat dihasilkan dari suatu PLTMH, serta menganalisa faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kinerja PLTMH, seperti debit air, head, dan efisiensi turbin.

METODOLOGI

Pengujian ini mulai dilaksanakan secara langsung di perumahan Cluster de'ROSE – Bumi Jati Elok Jalan Raya Legok Parung Panjang, KM. 2, Malang Nengah, Kec. Pagedangan, Kab. Tangerang, Banten 15330



2.2 Teknik Pengambilan Data :

Percobaan pengujian Turbin Archimedes Screw dilakukan serentak untuk menentukan debit air, voltase, ampere, kuat arus dan rpm. Proses pengambilan data ini dilakukan pada setiap variasi ketinggian yaitu pada ketinggian 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m. Dalam proses pengambilan data sedikitnya dilakukan tiga kali percobaan.

1. Mempersiapkan alat uji turbin dan peralatan pendukung yang diperlukan untuk pengambilan data.
2. Menyalakan pompa untuk mengalirkan fluida berupa air dari penampungan awal untuk menuju pengisian penampungan akhir (bak atas).
3. Menyiapkan avometer pada posisi sudah terpasang pada generator dc dan *tachometer* sudah *standby*.
4. Setelah bak pada ketinggian 1,2 m terisi penuh, kemudian katup dibuka pada posisi bukaan 30°, bukaan

katup pada pengujian alat ini tetap. Kemudian air akan mengalir mengarah pada sudu yang mengakibatkan sudu berputar. Selama sudu berputar nilai angka akan muncul pada avometer dan tachometer kemudian nilai tersebut dicatat pada buku.

5. Mengulangi percobaan sampai tiga kali pada ketinggian variasi tetap, jika sudah dilakukan sampai tiga kali, selanjutnya dilakukan percobaan pada ketinggian berikutnya, yang nantinya nilai yang di dapatkan akan dihitung untuk mendapatkan rata – ratanya.
6. Matikan pompa jika pengambilan data sudah selesai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit air merupakan besar volume aliran air dalam satuan waktu [8]. Pengujian debit air bertujuan untuk mengetahui seberapa banyaknya air yang mengalir dalam satuan volume per waktu.

Ketinggian (*Head*) berpengaruh pada kinerja turbin yang menghasilkan nilai putaran, disebabkan oleh perbedaan head. Besaran head akan menghasilkan nilai putaran yang semakin meningkat seiring dengan variasi ketinggian air jatuh yang digunakan dalam pengujian penelitian. *Head* bersih merupakan perbedaan antara head ketinggian kotor dan *head* kerugian dalam sistem pipa pada pembangkit listrik mikrohidro.

Data hasil pengujian Turbin Archimedes Screw diambil menggunakan alat ukur *Avometer* untuk mengetahui tegangan dan kuat arus yang dihasilkan oleh putaran turbin yang disalurkan ke generator dc melalui *vbelt*, kemudian untuk mengukur putaran turbin (*rpm*) menggunakan alat *Tachometer*.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Variasi Ketinggian Jatuhan Air

Ketinggian (m)	Waktu (s)	Volume Air (m ³)	Putaran Turbin (rpm)	Q (m ³ /s)	Tegangan (volt)	Kuat Arus (ampere)
1,2	10,12	0,02	72,27	0,00198	5,64	0,43
1,4	9,18	0,02	76,90	0,00218	5,44	0,46
1,6	9,84	0,02	82,10	0,00203	5,16	0,46

Pada ketinggian 1,2 m didapatkan *head* sebesar 0,65 m, untuk ketinggian 1,4 m *head* yang di dapatkan adalah sebesar 0,85 m, sedangkan pada ketinggian 1,6 m *head* mengalami peningkatan sebesar 1,05 m. *Head* akan meningkat seiring dengan tingginya jatuhnya air; semakin tinggi jatuhnya air, semakin besar pula nilai *head* nya.

1. Analisa Perhitungan Data Pada Ketinggian Jatuhan Air 1,2 m

Ketinggian (m)	Waktu (s)	Volume Air (m ³)	Putaran Turbin (rpm)	Q (m ³ /s)	Tegangan (volt)	Kuat Arus (ampere)
1,2	10,12	0,02	72,27	0,00198	5,64	0,43

1. Perhitungan mencari debit

$$\begin{aligned} \text{air: } Q &= \frac{V}{t} \\ &= \frac{0,02}{10,12} \\ &= 0,00198 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Perhitungan mencari daya hidrolis:

$$\begin{aligned} P_{in} &= p \cdot g \cdot Q \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00198 \cdot 0,65 \text{ m} \\ &= 12,61 \text{ watt} \end{aligned}$$

3. Perhitungan mencari daya listrik:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 5,64 \times 0,43 \\ &= 2,4252 \text{ watt} \end{aligned}$$

4. Menghitung daya

$$\begin{aligned} \text{mekanik: } T &= \frac{P_{out}}{2\pi \frac{N}{60}} \\ &= \frac{2,4252}{2,3,14 \frac{72,27}{60}} \\ &= 0,320 \text{ Nm} \end{aligned}$$

5. Mencari efisiensi dari turbin:

$$\begin{aligned} \eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,4252}{12,61} \times 100\% \\ &= 19,23 \% \end{aligned}$$

2. Analisa Perhitungan Data Pada Ketinggian Jatuhan Air 1,4 m

Ketinggian (m)	Waktu (s)	Volume Air (m ³)	Putaran Turbin (rpm)	Q (m ³ /s)	Tegangan (volt)	Kuat Arus (ampere)
1,4	9,18	0,02	76,90	0,00218	5,44	0,46

1. Perhitungan mencari debit

$$\begin{aligned} \text{air: } Q &= \frac{V}{t} \\ &= \frac{0,02}{9,18} \\ &= 0,00218 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Perhitungan mencari daya hidrolis:

$$\begin{aligned} P_{in} &= p \cdot g \cdot Q \cdot h \\ &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00218 \cdot 0,85 \text{ m} \\ &= 18,15 \text{ watt} \end{aligned}$$

3. Perhitungan mencari daya listrik:

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \times I \\ &= 5,44 \times 0,46 \\ &= 2,5024 \text{ watt} \end{aligned}$$

4. Menghitung daya

$$\begin{aligned} \text{mekanik: } T &= \frac{P_{out}}{2\pi \frac{N}{60}} \\ &= \frac{2,5024}{2,3,14 \frac{76,90}{60}} \\ &= 0,310 \text{ Nm} \end{aligned}$$

5. Mencari efisiensi dari turbin:

$$\begin{aligned} \eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{2,5024}{18,15} \times 100\% \\ &= 13,78 \% \end{aligned}$$

3. Analisa Perhitungan Data Pada Ketinggian Jatuhan Air 1,6 m

Ketinggian (m)	Waktu (s)	Volume Air (m ³)	Putaran Turbin (rpm)	Q (m ³ /s)	Tegangan (volt)	Kuat Arus (ampere)
1,6	9,84	0,02	82,10	0,00203	5,16	0,46

1. Perhitungan mencari debit air:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{V}{t} \\ &= \frac{0,02}{9,84} \\ &= 0,00203 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

2. Perhitungan mencari daya hidrolis:

$$\begin{aligned}
 P_{in} &= \rho \cdot g \cdot Q \cdot h \\
 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 0,00203 \cdot 1,05 \text{ m} \\
 &= 20,88 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

3. Perhitungan mencari daya listrik:

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= V \times I \\
 &= 5,16 \times 0,46 \\
 &= 2,3736 \text{ watt}
 \end{aligned}$$

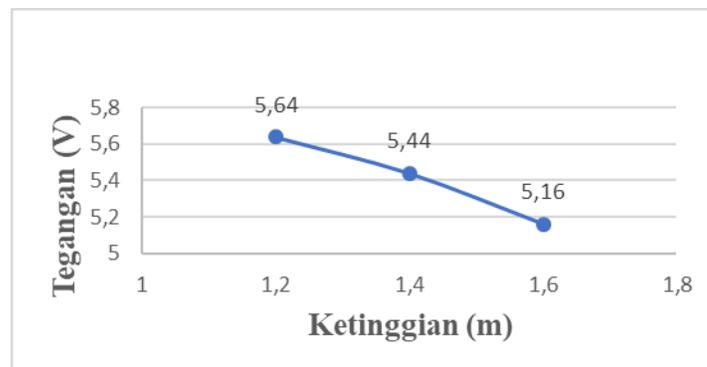
4. Menghitung daya mekanik: T

$$\begin{aligned}
 &= \frac{P_{out}}{2\pi \frac{N}{60}} \\
 &= \frac{2,3736}{2,3,14 \frac{82,10}{60}} \\
 &= 0,276 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

5. Mencari efisiensi dari turbin:

$$\begin{aligned}
 \eta T &= \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \\
 &= \frac{2,3736}{20,88} \times 100\% \\
 &= 11,36 \%
 \end{aligned}$$

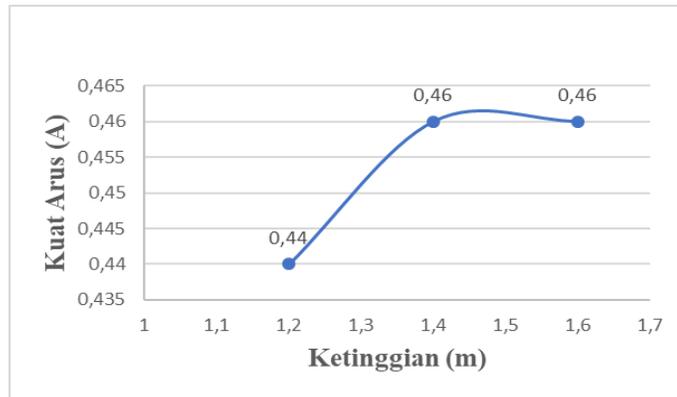
4. Pengaruh Variasi Ketinggian Jatuhan Air Terhadap Tegangan



Gambar 1. Grafik Tegangan Yang Dihasilkan

Dari hasil grafik di atas menunjukkan bahwa nilai tegangan yang di dapatkan pada ketinggian 1,2 m lebih besar di dibandingkan pada ketinggian 1,6 m. Untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan pada turbin ini diperlukan nilai dari tegangan, karenanya tegangan ini akan berpengaruh nilainya terhadap perbedaan variasi ketinggian jatuhnya air. Pada ketinggian 1,2 m cenderung lebih besar karena pada saat pengujian alat aliran fluida cenderung lebih lancar dan stabil di dibandingkan pada ketinggian 1,4 m dan 1,6 meter yang mengalami crash akibat dari gaya dorong aliran air yang semakin tinggi akan semakin kuat.

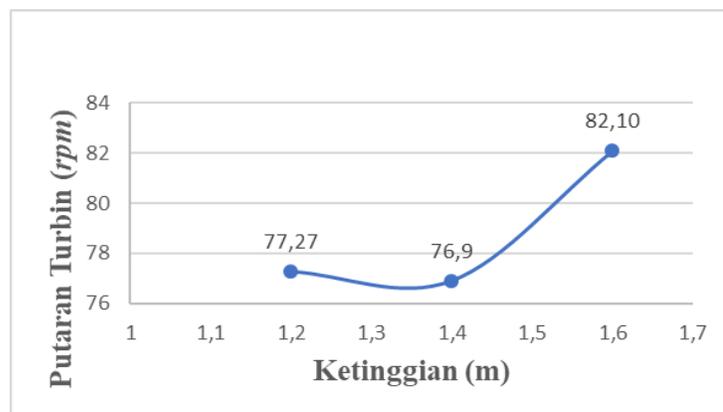
5. Pengaruh Variasi Ketinggian Jatuhan Air Terhadap Kuat Arus



Gambar 2. Grafik Kuat Arus Yang Dihasilkan

Berdasarkan dari hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat melalui grafik di atas bahwa pada ketinggian 1,2 m kuat arus yang di dapat adalah sebesar 0,44 A, untuk ketinggian 1,4 m dan 1,6 m kuat arus yang di dapat adalah sama yaitu sebesar 0,46 A. Hubungan antara ketinggian jatuhnya air dengan kuat arus sama halnya seperti tegangan, dan rpm, karena untuk mengetahui daya listrik yang dihasilkan turbin ini perlu untuk mengetahui nilai dari tegangan, kuat arus, dan juga rpm untuk dihitung dan di analisa.

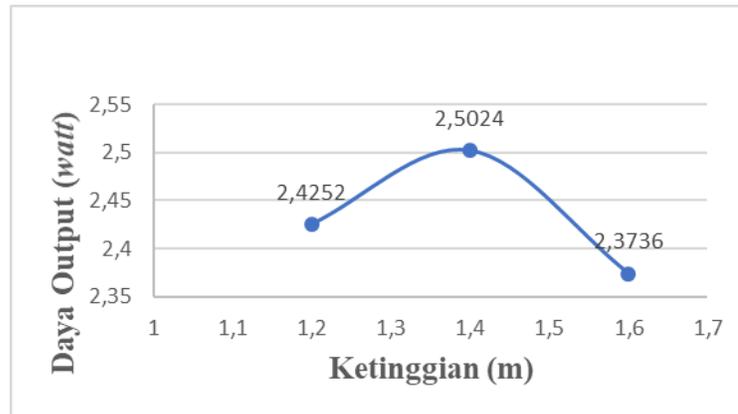
6. Pengaruh Variasi Ketinggian Jatuhan Air Terhadap Putaran Turbin



Gambar 3. Grafik Putaran Turbin Yang Dihasilkan

Grafik di atas menunjukkan bahwa kecepatan putaran turbin sangat tergantung pada ketinggian (head) turbin. Semakin tinggi head yang dimiliki, semakin besar pula kecepatan putaran turbin yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh pengaruh percepatan gravitasi serta head dari aliran air di setiap variasi ketinggian. Dapat dilihat bahwa pada ketinggian 1,2 m putaran yang di dapat adalah sebesar 77,27 rpm, untuk ketinggian 1,4 m putaran yang di dapat adalah sebesar 76,9 rpm, dan pada ketinggian 1,6 m putaran yang di dapat adalah sebesar 82,10.

7. Pengaruh Variasi Ketinggian Jatuhan Air Terhadap Daya Output Listrik



Gambar 4. Grafik Daya Output Yang Dihasilkan

Berdasarkan gambar 4.7 di atas, pada ketinggian 1,2 m, daya listrik yang dihasilkan adalah 2,4252 watt. Pada ketinggian 1,4 m, daya listrik yang diperoleh meningkat menjadi 2,5024 watt, sementara pada ketinggian 1,6 m, daya listrik yang dihasilkan turun menjadi 2,3736 watt.

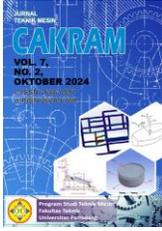
Pada ketinggian 1,6 m mengalami penurunan disebabkan oleh faktor diantaranya, vbelt mengalami slip dikarenakan air yang mengalir mengalami tumpahan sehingga kinerja turbin tidak maksimal secara keseluruhan, sehingga daya listrik yang dihasilkan mengalami penurunan, karena kecepatan daya aliran air yang besar sehingga air memiliki daya dorong yang kuat mengakibatkan terjadinya turbulensi pada turbin sehingga turbin mengalami goyangan yang tidak stabil.

KESIMPULAN

1. Daya output yang dihasilkan dari hasil percobaan menunjukkan hasil pada variasi ketinggian 1,4 m mendapatkan hasil lebih tinggi yaitu sebesar 2,5024 watt, dibandingkan dengan ketinggian 1,2 m dan 1,6 m yaitu sebesar 2,4252 watt dan 2,3736 watt. Pada ketinggian 1,6 m mengalami penurunan daya listrik karena terjadi turbulensi ataupun tubrukan yang tidak normal pada turbin sehingga air mengalami tumpahan dan tidak stabil.
2. Nilai efisiensi yang didapat turbin Archimedes Screw diatas berpengaruh terhadap variasi ketinggian. Efisiensi turbin tertinggi dihasilkan pada ketinggian 1,2 m sebesar 19,23%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Selatan, “Jurnal Mahasiwa Ilmu Administrasi Publik (JMIAP),” vol. 2, no. 4, pp. 28–35, 2020.
- [2] 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>
- [3] J. Teknik, E. Politeknik, N. Padang, K. Limau, and M. Padang, “Studi Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Daya yang dihasilkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kecamatan IV Nagari Bayang Utara Analysis Study of Water Discharge Influence Towards the Power that Resulting from Micro Hydro Power Plant i,” vol. 11, no. April, pp. 53–63, 2016.
- [4] J. Ilmiah and W. Pendidikan, “1 , 2 , 3,” vol. 8, no. 14, pp. 286–296, 2022.
- [5] N. D. dan H. Mohammad2, “Analisis Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik,” pp. 1–10, 2018.
- [6] M. Archimedes, S. Pada, D. Pedalaman, M. Tebai, F. Hunaini, and M. Mukhsim, “Journal of Application and Science Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Portable Menggunakan,” vol. 3, no. October 2021, pp. 29–39, 2022.
- [7] I. P. Wahyu Indra Wedanta, W. Arta Wijaya, and L. Jasa, “Analisa Pengaruh Kemiringan Head Dan Variasi Sudut Blade Turbin Ulir Terhadap Kinerja Pltmh,” *J. SPEKTRUM*, vol. 8, no. 1, p. 73, 2021, doi: 10.24843/spektrum.2021.v08.i01.p9.
- [8] D. Program, S. Teknik, F. Teknik, and K. B. Jimbaran, “OUTPUT PADA PROTOTYPE PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH) DENGAN MENGGUNAKAN TURBIN CROSSFLOW,” vol. 7, no. 3, 2020.



ANALISIS TAHANAN, STABILITAS, *SEAKEEPING* DAN FENOMENA *SLAMMING* PADA KAPAL DENGAN VARIASI SUDUT *DEADRISE*

Naufal Fadillah¹, Asral², Awaludin Martin³

^{1,2,3}Universitas Riau

E-mail : awaludinmartin01@gmail.com

Masuk : 28 Juli 2024

Direvisi : 6 September 2024

Disetujui : 24 September 2024

Abstrak: Kajian ini bertujuan untuk memberikan tinjauan komprehensif mengenai pengaruh variasi sudut *deadrise* terhadap performa kapal, termasuk aspek tahanan, stabilitas, *seakeeping*, dan fenomena *slamming*. Fokus utama dari *review* ini adalah menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu dan mengevaluasi dampak sudut *deadrise* terhadap kinerja kapal dalam berbagai kondisi operasi. Pada aspek tahanan, penelitian menunjukkan bahwa penurunan sudut *deadrise* dapat meningkatkan gaya angkat, mengurangi tahanan total, namun meningkatkan risiko *slamming*. Dari segi stabilitas, posisi *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) yang lebih dekat ke haluan dapat memengaruhi periode dan amplitudo gerakan *pitch* serta *porpoising*, terutama pada kapal dengan sudut *deadrise* rendah. Untuk *seakeeping*, kapal dengan sudut *deadrise* rendah memiliki kecenderungan mengalami gerakan *porpoising* lebih besar, yang berpotensi meningkatkan risiko operasional, terutama dalam kondisi laut ekstrem. Fenomena *slamming* juga menjadi perhatian utama, karena gelombang yang bertabrakan dengan lambung kapal dapat menghasilkan tekanan besar yang tiba-tiba, mengancam struktur kapal. Dengan menganalisis berbagai temuan dari studi eksperimental dan numerik, *review* ini memberikan pemahaman yang mendalam tentang tantangan dan peluang desain kapal dengan variasi sudut *deadrise*. Hasil *review* ini diharapkan dapat membantu perancang kapal dalam mengoptimalkan desain yang efisien dan aman untuk beroperasi di berbagai kondisi laut, sekaligus meminimalkan risiko kerusakan struktur akibat *slamming*.

Kata kunci: Sudut *Deadrise*, Tahanan, Stabilitas, *Seakeeping*, *Slamming*, *Porpoising*

Abstract: This study aims to provide a comprehensive review of the impact of *deadrise* angle variations on ship performance, including resistance, stability, *seakeeping*, and *slamming* phenomena. The primary focus of this review is to analyze findings from previous research and evaluate the effects of *deadrise* angle variations on ship performance under various operational conditions. In terms of resistance, studies indicate that reducing the *deadrise* angle can increase lift force, decrease total resistance, but elevate the risk of *slamming*. Regarding stability, the *Longitudinal Center of Gravity* (LCG) located closer to the bow can affect the period and amplitude of *pitch* and *porpoising* motions, particularly in ships with lower *deadrise* angles. For *seakeeping*, vessels with lower *deadrise* angles are prone to larger *porpoising* motions, potentially increasing operational risks, especially in extreme sea conditions. *Slamming* phenomena are also a key concern, as waves striking the ship's hull can generate sudden, intense pressures that threaten the vessel's structural integrity. By analyzing various findings from experimental and numerical studies,

this review offers an in-depth understanding of the challenges and opportunities in designing ships with varying deadrise angles. The insights from this review are expected to assist ship designers in optimizing efficient and safe designs for operation in diverse marine conditions while minimizing structural damage risks due to slamming.

Keywords: *Deadrise Angle, Resistance, Stability, Seakeeping, Slamming, Porpoising*

PENDAHULUAN

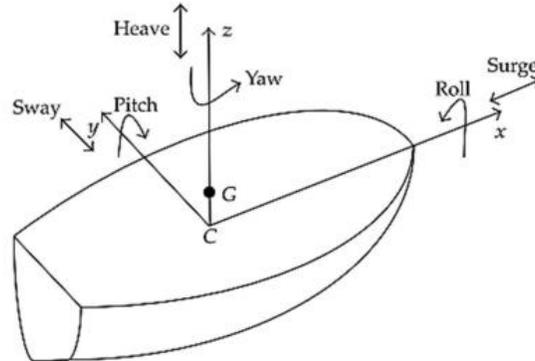
Dalam beberapa tahun terakhir, lambung *planing* telah dianggap sebagai alternatif dari kapal *displacement* karena kemampuannya untuk bergerak dengan kecepatan tinggi [1]. Kapal *planing* hanya bisa mencapai kecepatan tinggi jika gaya angkat hidrodinamik mendukung sebagian besar beratnya [2]. Salah satu keunggulan utama lambung *planing* dibandingkan kapal konvensional adalah rendahnya tahanan viskus dan tahanan gelombang [3]. Namun, peningkatan kecepatan juga bisa menimbulkan beberapa masalah seperti meningkatnya sudut kemiringan kapal, peningkatan hambatan, serta ketidakstabilan baik secara longitudinal maupun transversal [4]. *Review* ini bertujuan untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai hubungan antara variasi sudut *deadrise* dan performa kapal dalam berbagai kondisi operasi, untuk mendukung desain kapal yang lebih efisien dan aman. Metodologi *review* ini mencakup pencarian literatur dalam *database Scopus* dan *Scimago Journal Ranking (SJR)*. Literatur yang digunakan dalam studi ini dipilih berdasarkan kesesuaian dengan topik penelitian, dipublikasikan dalam 5 tahun terakhir dan menggunakan metode eksperimental atau simulasi numerik. Literatur tersebut kemudian dianalisis untuk memahami bagaimana variasi sudut *deadrise* memengaruhi kinerja kapal.

Kapal yang terangkat oleh daya apung pada *Froude Number* di bawah 0,4 disebut kapal *displacement*. Jika sebagian besar berat kapal didukung oleh gaya hidrodinamis pada *Froude Number* di atas 1, kapal itu disebut kapal *planing*. Kapal *semi-planing* berada di antara *Froude Number* 0,4 dan 1. Kapal *planing* digunakan sebagai kapal angkatan laut, kapal balap, kapal layanan, kapal rekreasi, dan kapal ambulans. Biasanya, kapal *planing* berlayar dengan haluan terangkat dan buritan tenggelam karena permukaan *planning* [5]. Interaksi antara komponen resistensi kapal dapat ditunjukkan oleh jumlah koefisien *drag* kapal dan *Number Reynold* dan *Froude*. Untuk kapal cepat, mekanisme pembentukan komponen resistensi kapal berkembang dari resistensi yang terbentuk akibat karakteristik gerakan kapal. Kapal cepat mendapatkan gaya hidrostatis dan hidrodinamik, bagian kapal yang terendam dalam air menjadi lebih kecil, menyebabkan resistensi kapal yang lebih rendah [6]. Klasifikasi berdasarkan *Froude number* (F_n) dari sebuah lambung adalah salah satu faktor paling penting saat mempelajari resistensi dan pemacu daya sebuah kapal. [7].

Ketika kapal bergerak di air, kapal mengalami gaya yang membuatnya sulit bergerak maju. Ini disebut resistensi total kapal. Resistensi ini terdiri dari tiga bagian utama yaitu gesekan air di sekitar kapal, pembentukan gelombang dan hambatan udara. Saat kecepatan meningkat, pembentukan gelombang menjadi faktor utama yang mempengaruhi resistensi kapal [8]. Dalam kondisi *planing*, jika kapal memiliki sudut yang terlalu tinggi atau terlalu rendah, itu akan membuatnya tidak stabil. Ini bisa menyebabkan gerakan naik-turun yang disebut *porpoising* dan jika tidak dikendalikan dengan baik, dapat menyebabkan kecelakaan [9]. Kapal memiliki bentuk yang ramping telah memberikan aliran aerodinamis yang dapat mengurangi resistensi pembentukan gelombang. Perilaku resistensi rendah telah memberikan kecepatan layanan yang lebih tinggi dengan daya mesin yang lebih rendah [10].

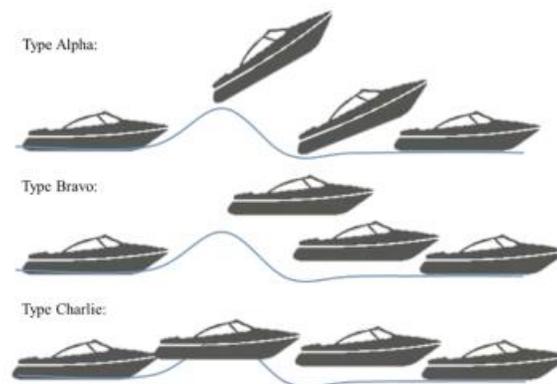
Gelombang dan gerakan kapal adalah penyebab utama kecelakaan laut. Oleh karena itu, penting untuk memahami dan mengoptimalkan gerakan kapal di laut, yang dapat dipelajari dalam beberapa topik seperti gerakan kapal dan kejadian *slamming*, kinerja baling-baling di gelombang, dampak kondisi laut pada desain struktural atau stabilitas kapal di gelombang. Semua ini dikenal dengan istilah *seakeeping* [11]. Dalam upaya meningkatkan kinerja *seakeeping* selama perancangan dan optimalisasi kapal, para perancang kapal tidak hanya mengejar pengurangan *drag*, tetapi juga fokus pada peningkatan kinerja kapal dalam menghadapi gelombang [12]. Gerakan kapal berkecepatan tinggi sangat dipengaruhi oleh kecepatan dan gaya dinamis yang mulai menjadi penting untuk *Froude number* yang tinggi. Metode *seakeeping*, yang didasarkan pada asumsi *linier* dan *non-linier* yang berlaku pada kapal *displacement*, tidak mampu memperhitungkan pemisahan aliran pada *hard chine* dan memperhitungkan pengangkatan

dinamis, sehingga akan menghasilkan evaluasi gerakan dan beban yang tidak akurat dalam gelombang [13]. Mempelajari perilaku *seakeeping* kapal sangat penting pada tahap awal desain, untuk memastikan bahwa kapal tersebut mampu menjalankan misinya di bawah kondisi kondisi laut yang ekstrem [14]. Oleh karena itu, perlu dipastikan di mana kapal akan berlayar, bagaimana kondisi laut di sana, dan jenis operasi apa yang akan dilakukan [15]. Kinerja *seakeeping* kapal melibatkan gerakan 6-DOF kapal di laut yang bergelombang dan dampak seperti *slamming* dan gelombang besar yang dihasilkan oleh gerakan tersebut [12]. Gerakan kapal seperti (*pitching*, *rolling*, *yawing*) dipertimbangkan sebagai faktor penting dalam analisis *seakeeping*. Karakteristik gerakan tersebut dapat berbeda tergantung pada arah dan kondisi gelombang yang dihadapi kapal [16].



Gambar 1. Gerakan dari 6 derajat kebebasan kapal [16]

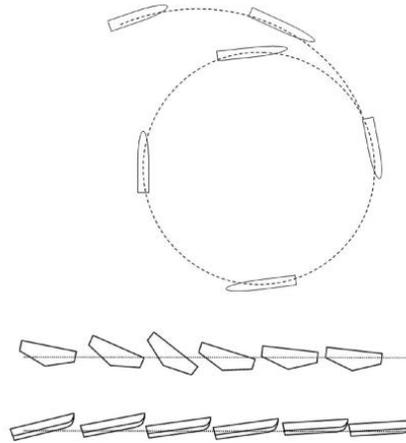
Slamming adalah fenomena ketika gelombang bertabrakan dengan lambung kapal, menciptakan tekanan tiba-tiba dan kuat. Tekanan ini dapat menyebabkan kerusakan pada lambung kapal, bahkan dapat mengancam keutuhan struktur keseluruhan kapal. Oleh karena itu, penting untuk dapat memprediksi dan memahami tekanan yang dihasilkan oleh *slamming* untuk meningkatkan keselamatan dan kinerja kapal secara keseluruhan [17]. *Slamming* terbagi menjadi 3 yaitu *alpha*, *bravo*, dan *charlie*. Kejadian *alpha* adalah jatuh bebas dengan mendarat di buritan terlebih dahulu, sementara *bravo* mirip tetapi tanpa gerakan *pitching*. Kejadian *charlie* melibatkan tabrakan dengan gelombang, menyebabkan gerakan *pitching* ke depan [18].



Gambar 2. Jenis-jenis *slamming* pada kapal [18]

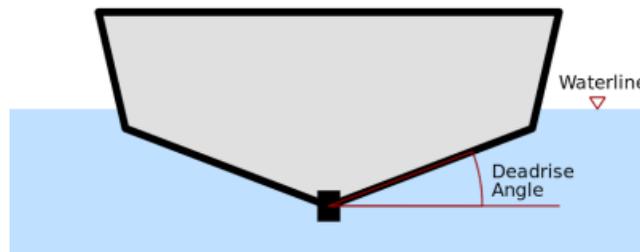
Stabilitas adalah kecenderungan atau sifat kapal untuk kembali ke posisi aslinya setelah miring akibat gaya eksternal. Stabilitas kapal saat beroperasi di laut tergantung pada gerakan berguling yang dialami oleh kapal. Ketika mengalami gerakan berguling, sisi kanan kapal akan bergerak ke sisi kiri secara longitudinal dan berulang secara bergantian. Jika kapal mengalami gerakan berguling yang terus menerus, hal ini akan menyebabkan ketidakstabilan dan berisiko membuatnya terbalik [16]. Uji *drift* stabil pada kapal *planing hull* menunjukkan bahwa selama kapal berbelok, gerakan naik-turun (*porpoising*) dan miring ke depan-belakang (*pitch*) berubah-ubah seiring waktu.

Perubahan ini mempengaruhi gaya dan momen yang mengendalikan manuver hidrodinamis kapal [19]. Keamanan kapal sangat penting untuk menjaga stabilitasnya dan kenyamanan awak saat berlayar. Ini membantu mencegah terbalik, mengurangi gerakan kapal yang berlebihan dan mencegah air membasahi dek [20].



Gambar 3. Sebuah lambung berencana bermanuver ke arah kanan: lintasan kapal dalam bidang horizontal (atas), gerakan *roll* (tengah) dan gerakan vertikal (bawah) selama manuver berbelok [19].

Indikator yang bisa diubah dari permukaan lambung termasuk sudut *deadrise*. Mengoptimalkan bentuk lambung pada sudut *deadrise* akan mengurangi *wetted surface area* (WSA), sehingga mengurangi hambatan dan meningkatkan stabilitas [21]. *Deadrise* adalah sudut kemiringan yang diukur antara bagian bawah kapal dan horizontal. Biasanya diukur di bagian tengah kapal. Ketika sudut *deadrise* berubah, itu memengaruhi sudut *trim* kapal. Semakin kecil sudut kemiringan *deadrise*, semakin kecil sudut *trim*-nya. Selain itu, sudut *deadrise* juga memengaruhi stabilitas kapal. Pada kecepatan rendah, sudut *trim* yang tinggi bisa mengganggu stabilitas kapal secara horizontal [22]. Ketika kapal mencapai kecepatan tertentu, aliran air terpisah dari step tersebut dan udara dari atmosfer masuk untuk membentuk rongga udara. Rongga udara ini secara signifikan mengurangi area basah dibandingkan dengan lambung *planing* konvensional, sehingga meningkatkan kinerja kapal [23]. Hasil *review* ini diharapkan memberikan panduan bagi perancang kapal untuk mengoptimalkan bentuk lambung dengan mempertimbangkan sudut *deadrise* yang ideal, sehingga meningkatkan efisiensi operasi, stabilitas dan kemampuan *seakeeping*, serta meminimalkan risiko kerusakan akibat *slamming*.



Gambar 4. Geometris dari sudut kemiringan *deadrise* [22]

METODOLOGI

2.1 Analisis Tahanan

Analisis tahanan dilakukan menggunakan pendekatan numerik dan eksperimental. Pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak seperti *ANSYS* sedangkan eksperimental menggunakan *towing tank* untuk menguji kapal bergerak di air dalam skala yang kecil. Variabel yang diuji yaitu sudut *deadrise*, bilangan *Froude volumetric*, jarak *step* dari transom dan *total wetted area*. Dengan membandingkan sudut *deadrise* 15°, 20°, 25° dan 30°, melibatkan model konfigurasi *hull* dengan setiap perubahan sudut *step hull* sebesar 180°, 210°, 240°, dan 270°. Adapun rumus yang digunakan pada pengujian tahanan adalah sebagai berikut:

$$R_t = R_p + R_f + R_s$$

Dimana: R_t = Total tahanan (kgf)

R_p = Tahanan tekanan (kgf)

R_f = Tahanan gesekan (kgf)

R_s = Tahanan percikan air (kgf)

2.2 Analisis Stabilitas

Untuk menganalisis stabilitas kapal, menggunakan *Metacentric Height* (GM) yang merupakan indikator untuk menilai seberapa stabil kapal terhadap gangguan seperti gelombang atau angin. Kapal dengan berbagai sudut *deadrise* digunakan untuk menghitung pusat apung (B) dan pusat gravitasi (G) kapal. Dari data tersebut dapat menghitung GM untuk setiap variasi sudut *deadrise*. Kurva stabilitas melintang (*Cross Curve of Stability*) dapat digunakan untuk menunjukkan hubungan antara sudut kemiringan kapal (*heel angle*, φ) dengan posisi titik KN(φ), yaitu titik di mana gaya apung bekerja saat kapal miring. Dengan perangkat lunak *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menguji dua variabel utama yaitu LCG di 50% LOA dan LCG di 53% LOA. Kapal diuji menggunakan lambung *monohull planing vessel called Cougar* model *vessel single-step* dan model *vessel without step* di air tenang dengan *deadrise* 25°. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$KN(\varphi) = GZ(\varphi) + KG_{estimated} \sin(\varphi)$$

Dimana: $KN(\varphi)$ = Posisi titik gaya apung ketika kapal miring (m)

$GZ(\varphi)$ = Momen pemulihan kapal ketika miring (m)

$KG_{estimated}$ = Tinggi titik gravitasi dari lunas kapal (m)

2.3 Analisis *Seakeeping*

Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi respons kapal terhadap gelombang laut, termasuk gerakan *heave*, *pitch*, *roll* dan fenomena *slamming*. Metode yang digunakan menggunakan teori massa tambahan (*added mass theory*) dan variasi momentum dengan mempertimbangkan kecepatan *roll* untuk menentukan turunan waktu dari *half-wetted beam* (lebar bagian *wedge* yang bersentuhan dengan air) yang mencakup efek redaman (*damping terms*). Hasil simulasi dibandingkan dengan data eksperimen yaitu gerakan *roll* dan tanpa gerakan *roll* dengan memvariasikan sudut *deadrise* 10°, 20°, 30° dan 40°. Adapun rumus yang digunakan dapat dilihat sebagai berikut:

$$S(\omega) = 172,8 \times T_1 \times (\tau\omega_{1/3})^2 (T_1 \times \omega)^{-5} \cdot \exp[-691T_1 \cdot \omega]^{-4}$$

Dimana: $S(\omega)$ = Spektrum daya gelombang laut terhadap frekuensi sudut

T = Periode puncak gelombang (s)

$\tau\omega_{1/3}$ = Tinggi gelombang signifikan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan, banyak jenis sudut *deadrise* yang digunakan dalam analisis pengaruh terhadap performa hidrodinamik kapal. diantaranya yaitu sebagai berikut:

3.1 Pengaruh Tahanan Terhadap Sudut *Deadrise*

Menurut Moghaddas dan Sadeghi (2021) dari hasil penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan 5,71 m/s, terjadi peningkatan hampir 20% dalam permukaan basah (*wetted surface area*) saat menggunakan sudut *deadrise* 25° dibandingkan dengan sudut 20°. Selain itu, ketika membandingkan koefisien total resistansi pada kecepatan yang sama, yaitu 5,71 m/s, koefisien total resistansi kapal dengan sudut *deadrise* 20° lebih tinggi sebesar 15% dibandingkan dengan kapal yang menggunakan sudut *deadrise* 25°. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ANSYS untuk pendekatan numerik dan *towing tank* untuk pendekatan eksperimental. Adapun tabel hasil percobaan menunjukkan koefisien total resistansi dan permukaan basah (*wetted surface area*) pada berbagai kecepatan untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° dapat dilihat sebagai berikut:

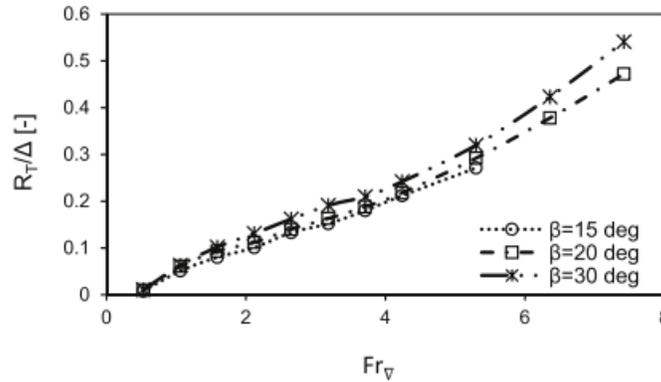
Tabel 1. Koefisien total resistansi untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° [4]

<i>Speed</i> (m/s)	<i>Coefficient Total For</i> <i>Deadrise</i> 20°	<i>Coefficient Total For</i> <i>Deadrise</i> 25°
1,41	0,011407948	0,011452778
2,28	0,02160211	0,021077096
3,42	0,022864073	0,021503322
4,56	0,027293048	0,024926761
5,71	0,025215466	0,021301616

Tabel 2. *Wetted surface* pada berbagai kecepatan untuk sudut *deadrise* 20° dan 25° [4]

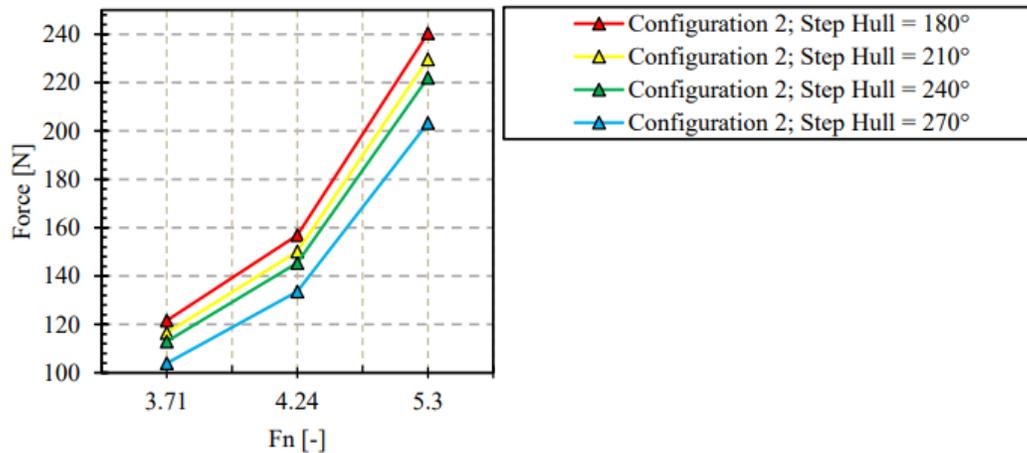
<i>Speed</i> (m/s)	<i>Wetted Surface For</i> <i>Deadrise</i> 20° (m ²)	<i>Wetted Surface For</i> <i>Deadrise</i> 25° (m ²)
1,41	0,41	0,4248
2,28	0,33	0,3445
3,42	0,1557	0,1661
4,56	0,08629	0,09634
5,71	0,06741	0,08039

Menurut Najafi dkk (2020) penelitian ini menggunakan model lambung *Fridsma* dengan sudut *deadrise* 15°, 20°, dan 30° untuk menguji performanya di dalam *towing tank*. Gambar 5, grafik menunjukkan kenaikan karena perubahan sudut *deadrise* dan *Froude number* mengubah karakteristik hidrodinamis kapal. Seiring peningkatan sudut *deadrise* atau *Froude number*, resistansi total meningkat karena adanya peningkatan hambatan hidrodinamis yang dihasilkan oleh interaksi antara kapal dan air.



Gambar 5. Hambatan total berdasarkan berbagai sudut *deadrise* dan *froude number* [24]

Menurut Rayhan dkk (2023) Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari koefisien tahanan total dan tahanan pada kapal cepat dengan variasi sudut *deadrise*, sudut, ketinggian, dan panjang *step hull*. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pengaruh variasi sudut *step hull* terhadap tahanan atau *drag*. Penelitian ini menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*) dan melibatkan tiga model konfigurasi *hull* dengan setiap perubahan sudut *step hull* sebesar 180°, 210°, 240°, dan 270°. Objek penelitian terdiri dari tiga konfigurasi *hull* yang berbeda. Konfigurasi 1 dan 2 memiliki kesamaan dalam panjang *hull* bagian belakang (600 mm), ketinggian *hull* (20 mm untuk konfigurasi 1 dan 30 mm untuk konfigurasi 2) dan sudut *deadrise* (15° untuk konfigurasi 1 dan 20° untuk konfigurasi 2). Konfigurasi 3 memiliki kesamaan dengan panjang *hull* bagian belakang 800 mm, ketinggian *hull* 20 mm dan sudut *deadrise* 15°. Adapun hasil penelitian dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 6. Tahanan vs *froude number* dari konfigurasi 2 [20]

Grafik tersebut dengan jelas menunjukkan bahwa seiring dengan meningkatnya *Froude number*, tahanan kapal juga meningkat. Teori aliran potensial memberikan estimasi yang cukup akurat untuk berbagai aplikasi praktis pada berbagai *Froude number*, mencakup *drag* gelombang, gaya angkat hidrodinamis, momen *pitch*, penurunan, trim, dan profil gelombang sepanjang lambung kapal. Hal ini dilihat pada Gambar 6, dimana tidak ada satupun grafik yang menunjukkan *Froude number* lebih tinggi dengan penurunan tahanan. Variasi warna pada gambar menunjukkan perbedaan sudut *step hull* dari model kapal. Gambar 6 membuktikan bahwa seiring dengan meningkatnya *Froude number*, sudut *step hull* juga.

3.2 Pengaruh Stabilitas Terhadap Sudut Deadrise

Menurut Aliffrananda dan Sulisetyono (2021) penelitian ini bertujuan untuk memahami perilaku gerakan *porpoising* pada *floatplane* dengan *deadrise* 10° dan 20° yang beroperasi dengan kecepatan tinggi. Penelitian dilakukan melalui simulasi dinamis menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan sudut *deadrise* dapat meningkatkan gaya angkat pada kapal *floatplane*, yang menghasilkan gerakan naik turun (*porpoising*) yang lebih cepat dibandingkan dengan kapal yang memiliki sudut *deadrise* tinggi. Sudut *deadrise* yang tinggi memungkinkan lambung kapal untuk lebih mudah menembus permukaan air, mengurangi dampak dari beban yang terjadi di bagian bawah lambung (*slaming*). Namun, sudut *deadrise* yang rendah meningkatkan risiko kecelakaan pada kapal berkecepatan tinggi.

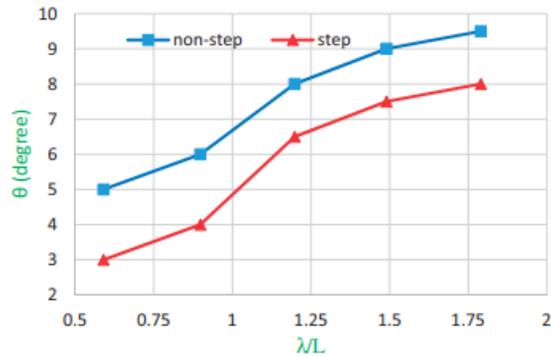
Posisi LCG yang dekat dengan haluan dapat memperbesar periode dan amplitudo gerakan naik turun (*porpoising*) dan *pitch* saat kapal mengalami *porpoising*. Selain itu, perubahan sudut *deadrise* juga memengaruhi amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*). Pada kondisi tertentu, penurunan sudut *deadrise* menyebabkan peningkatan amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*). Pada tabel 3 dapat dilihat pada konfigurasi dengan sudut *deadrise* sebesar 20° dan LCG sebesar 0.50 LOA, amplitudo rata-rata adalah 0,23 meter, sedangkan pada sudut *deadrise* 10°, amplitudo rata-rata adalah 0,26 meter. Terdapat peningkatan amplitudo rata-rata sebesar 3 cm dengan perubahan sudut *deadrise*. Adapun tabel rata-rata periode dan amplitudo akibat *porpoising* dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 3. Rata-rata periode dan amplitudo akibat *porpoising* [9]

<i>Configuration</i>	<i>Average Heave Porpoising Period (s)</i>	<i>Average Heave Porpoising Amplitude (m)</i>
$\beta=20^\circ$, LCG=0,50LOA	1,75	0,23
$\beta=20^\circ$, LCG=0,55LOA	1,97	0,32
$\beta=10^\circ$, LCG=0,50LOA	1,73	0,26
$\beta=10^\circ$, LCG=0,55LOA	-	-

Menurut Sajedi dkk (2021) tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik kinerja kapal berkecepatan tinggi baik dalam kondisi air tenang maupun gelombang laut. Penelitian ini dilakukan dengan kapal *mono-hull planing vessel called Cougar* menguji model *vessel single-step* dan model *vessel without step* di air tenang dengan *deadrise* 25 °. *Vessel single-step* adalah kapal yang dilengkapi dengan satu langkah (*step*) transversal di bawah lambungnya sedangkan *Vessel without step* adalah kapal tanpa langkah, adalah kapal yang tidak memiliki langkah transversal di bawah lambungnya. Dalam hal ini, lambung kapal tetap memiliki kontur yang relatif lurus tanpa perubahan tiba-tiba dalam profilnya. Kapal ini memiliki permukaan basah (*wetted surface area*) yang lebih besar daripada kapal dengan langkah (*vessel single-step*), yang dapat mempengaruhi resistansi dan kinerja hidrodinamis kapal secara keseluruhan.

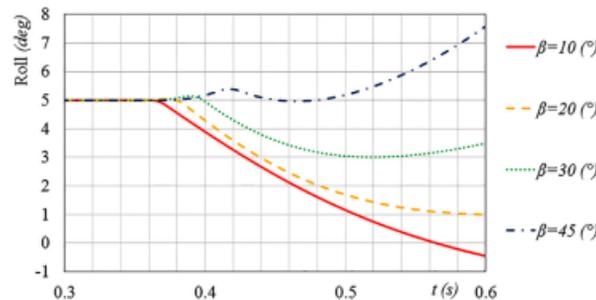
Rentang kecepatan yang diuji adalah dari 1 m/s hingga 9 m/s, yang setara dengan rentang jumlah *Beam Froude numbers* dari 0,43 hingga 3,87. *Beam Froude numbers* adalah untuk mengevaluasi perbandingan antara gaya inersia dan gaya gravitasi terhadap suatu objek yang bergerak di atas permukaan air. Pada Gambar 7 Grafik menunjukkan bahwa terjadi peningkatan pengaruh sudut *pitch* kapal terhadap λ/L , yang merupakan perbandingan antara panjang gelombang (λ) dengan panjang kapal (L). Sudut *pitch* menggambarkan bagaimana bagian depan atau belakang kapal miring ke atas atau ke bawah dari bidang horizontal.



Gambar 7. Perbandingan antara sudut *pitch* terhadap kapal model *vessel single-step* dan *vessel without step* [1]

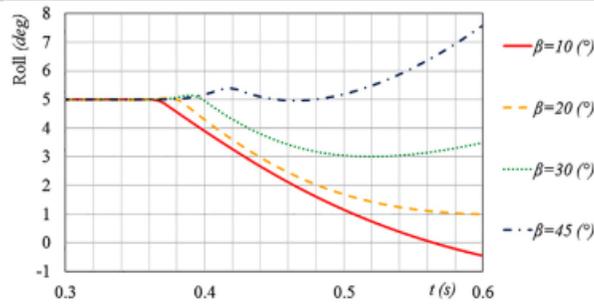
3.3 Pengaruh *Seakeeping*

Penelitian Ghadimi dkk bertujuan untuk membuat model matematika yang mengalami gerakan *roll* dan *heave* ketika kapal mengalami dampak secara asimetris. Mereka ingin memahami bagaimana parameter fisik, seperti sudut *deadrise*, sudut *roll* awal, dan kecepatan awal, mempengaruhi respons dinamis dari kapal tersebut. Dengan kata lain, mereka ingin melihat bagaimana kapal akan merespons ketika terjadi tabrakan dalam kondisi yang tidak simetris. Adapun grafik hasil penelitian tersebut dapat dilihat sebagai berikut:



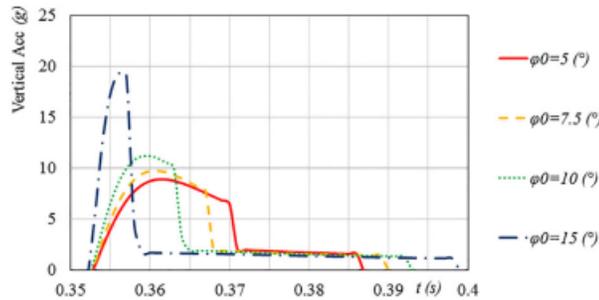
Gambar 8. Grafik pengaruh sudut *deadrise* pada sudut *roll* dengan ketinggian jatuh sebesar 0,61 m dan sudut *roll* awal sebesar 5° [25]

Grafik diatas menunjukkan bagaimana sudut *roll* sebuah kapal berubah seiring waktu untuk empat sudut *deadrise* yang berbeda. Untuk sudut *deadrise* 10° , 20° , dan 30° , kapal cenderung stabil. Namun, ketika kemiringan mencapai 45° , kapal cenderung memiliki sudut *roll* positif yang besar. Ini menandakan bahwa semakin besar sudut *deadrise*, semakin kecil gaya apungnya karena area kapal yang terendam juga semakin kecil. Ketika sudut kemiringan semakin tinggi, titik pusat tekanan mungkin bergeser ke sisi yang terguling. Kondisi ini bersama-sama meningkatkan risiko munculnya momen restorasi negatif dan dapat menyebabkan ketidakstabilan dalam gerakan *roll*.



Gambar 9. Grafik pengaruh sudut *roll* awal terhadap percepatan vertikal dengan ketinggian jatuh 0,61 m [25]

Bagian ini membahas bagaimana respons sebuah kapal terhadap perubahan sudut *roll* awal. Kapal tersebut memiliki massa 123,9 kg dan lebar 0,61 m, dengan sudut *deadrise* sebesar 20°. Ketinggian jatuhnya adalah 0,61 m. Empat sudut *roll* awal yang berbeda, yaitu 5°, 7,5°, 10°, dan 15°, diperhitungkan. Pada Gambar 9, kita bisa melihat bagaimana percepatan vertikal yang diprediksi bervariasi untuk setiap sudut *roll* awal. Semakin besar sudut *roll* awalnya, semakin tinggi puncak percepatannya. Ini karena sisi dengan sudut kemiringan lebih kecil yang mendorong ke bawah menjadi lebih dominan dalam menciptakan gaya hidrodinamik. Jadi, saat sudut *roll* awal meningkat, kita bisa mengharapkan percepatan yang lebih tinggi.



Gambar 10. Grafik pengaruh sudut *roll* awal terhadap percepatan sudut dengan ketinggian jatuh 0,61 m [25]

Grafik diatas menunjukkan bagaimana percepatan kapal berubah dengan berbagai sudut *roll* awal. Dapat dilihat bahwa ketika sudut *roll* awal meningkat, percepatannya menjadi lebih kecil. Namun, pada sudut *roll* awal 15°, kapal menunjukkan perilaku yang tidak stabil, di mana percepatannya terus meningkat tanpa mencapai nol. Hasilnya menunjukkan bahwa semakin besar sudut *roll* awal, semakin tidak stabil. Selain itu, perubahan sudut *roll* awal tidak memiliki pengaruh yang signifikan pada perpindahan kapal ke atas dan ke bawah (*heave*), hanya ada sedikit peningkatan dalam magnitudonya.

KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa tahanan, stabilitas, *seakeeping* dan fenomena *slamming* pada kapal dipengaruhi oleh variasi sudut *deadrise*. Penurunan sudut *deadrise* cenderung meningkatkan kemungkinan gerakan naik-turun (*porpoising*), sementara sudut *deadrise* yang tinggi dapat mengurangi dampak dari beban *slamming*. Posisi LCG yang dekat dengan haluan juga memengaruhi periode dan amplitudo gerakan naik-turun (*porpoising*) dan *pitch* saat kapal mengalami *porpoising*. Hasil ini memberikan wawasan yang lebih baik tentang faktor-faktor yang memengaruhi kinerja kapal dalam berbagai kondisi laut, yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan desain kapal yang lebih efisien dan aman di masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. M. Sajedi, P. Ghadimi, and A. Ghadimi, "Experimental appraisal of hydrodynamic performance and motion of a single-stepped high-speed vessel in calm water and regular waves," no. 424, 2020, doi: 10.1177/0954406220968126.
- [2] K. Sadati and H. Zeraatgar, "Investigation of planing craft maneuverability using full-scale tests," pp. 1–12, 2021, doi: 10.1177/14750902211030386.
- [3] S. M. Sajedi and P. Ghadimi, "Experimental and numerical analyses of wedge effects on the rooster tail and porpoising phenomenon of a high-speed planing craft in calm water," vol. 0, no. 424, pp. 1–16, 2019, doi: 10.1177/0954406219833722.
- [4] M. Sadeghi and A. Moghaddas, "Effect of Deadrise Angle on Wet Surface and Hydrodynamic Parameters of Planning Vessel by Experimental and Numerical Methods," no. November 2021, 2022, doi: 10.22034/ijmst.2021.532756.1528.
- [5] A. O. Elaghabash, "ARTICLE A CFD Study of the Resistance Behavior of a Planing Hull in Restricted Waterways," vol. 03, no. 01, pp. 32–55, 2021.
- [6] J. Wang *et al.*, "Resistance Analysis of Rescue Boat in Calm Water Condition," 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1052/1/012062.
- [7] D. S. Bogahawatte, L. Athukorala, K. A. Kurukulaarachchi, and A. Priyashan, "Empirical Feasibility Study to Design and Build Rigid Hull Inflatable Boat for Special Operation Units in Sri Lanka Navy," pp. 75–82.
- [8] M. Theses and M. J. Crosby, "ScholarWorks @ GVSU A CFD Study on the Performance of High Speed Planing Hulls," 2019.
- [9] M. Hafiz, N. Aliffrananda, A. Sulisetyono, and Y. A. Hermawan, "Numerical Analysis of Floatplane Porpoising Instability in Calm Water During Takeoff," vol. 13, no. May 2021, pp. 190–201, 2022, doi: 10.14716/ijtech.v13i1.4903.
- [10] A. Windyandari, A. K. Yusim, A. Windyandari, and A. K. Yusim, "BEHAVIOR OF PATROL BOAT USING AXE BOW HULL FORM TO SUPPORT SURVEILLANCE FORM TO SUPPORT SURVEILLANCE ACTIVITIES," vol. 19, no. 2021, pp. 822–832, doi: 10.5937/jaes0-29354.
- [11] P. Ghadimi, S. M. Sajedi, and P. Taghikhani, "Statistical Analysis of Wedge Effect on the Seakeeping of a Planing Hull in Irregular Waves at the Onset of the Planing Region Longitudinal Center of Gravity," vol. 11, no. 4, pp. 905–918, 2018, doi: 10.29252/jafm.11.04.
- [12] L. Zha, R. Zhu, L. Hong, and S. Huang, "Hull form optimization for reduced calm-water resistance and improved vertical motion performance in irregular head waves," *Ocean Eng.*, vol. 233, no. January, p. 109208, 2021, doi: 10.1016/j.oceaneng.2021.109208.
- [13] U. Shipyard, N. Architecture, and M. Faculty, "A New Approach for Seakeeping Performance Assessment of Alternative Hull Forms in Optimization Process," vol. 2020, no. 1, pp. 236–248, 2020, doi: 10.31202/ecjse.629094.
- [14] B. Lagemann, "Efficient seakeeping performance predictions with CFD," 2019.
- [15] R. Perez and J. M. Riola, "CONTRIBUTION TO THE SEAKEEPING ANALYSIS OF MULTIHULL WARSHIPS," vol. 70, no. 4, pp. 35–50, 2019.
- [16] T. Rahmaji, A. R. Prabowo, T. Tuswan, T. Muttaqie, and N. Muhayat, "Design of Fast Patrol Boat for Improving Resistance , Stability , and Seakeeping Performance," 2024.
- [17] L. Duan, L. Zhu, M. Chen, and P. Terndrup, "Experimental study on the propagation characteristics of the slamming pressures," *Ocean Eng.*, vol. 217, no. August, p. 107868, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107868.
- [18] M. W. Shephard and C. Gilbert, "Slamming of High-Speed Craft : A Machine Learning & Parametric Study of Slamming Events Slamming of High-Speed Craft : A Machine Learning & Parametric Study of Slamming Events," 2022.
- [19] S. Tavakoli and A. Dashtimanesh, "A six-DOF theoretical model for steady turning maneuver of a planing hull," *Ocean Eng.*, vol. 189, no. September, p. 106328, 2019, doi: 10.1016/j.oceaneng.2019.106328.
- [20] F. A. Rayhan, A. Masrul, A. K. Akbar, and B. A. Putra, "Numerical Study on Resistance of Stepped Planing Hull," vol. 7, no. 2, pp. 106–118, 2023, doi: 10.17977/um016v7i22023p106.
- [21] B. Ariani, R. C. Ariesta, A. Wildani, M. H. Hakim, and M. Oktaviani, "SHIP PERFORMANCE INVESTIGATION DUE TO DEADRISE," pp. 608–617, 2023.

-
- [22] A. R. Prabowo, U. S. Maret, T. Muttaqie, T. Tuswan, and U. Diponegoro, "EFFECT OF HULL DESIGN VARIATIONS ON THE RESISTANCE PROFILE AND WAVE PATTERN : A CASE STUDY OF THE PATROL BOAT VESSEL THE RESISTANCE PROFILE AND WAVE PATTERN :," no. February, 2022.
- [23] D. Yang, Z. Sun, Y. Jiang, and Z. Gao, "A Study on the Air Cavity under a Stepped Planing Hull," 2019.
- [24] A. Najafi, H. Nowruzi, and M. J. Ameri, "Hydrodynamic assessment of stepped planing hulls using experiments," *Ocean Eng.*, vol. 217, no. 424, p. 107939, 2020, doi: 10.1016/j.oceaneng.2020.107939.
- [25] P. Ghadimi, S. Tavakoli, and A. Dashtimanesh, "Dynamic response of a wedge through asymmetric free fall in 2 degrees of freedom," no. 424, 2017, doi: 10.1177/1475090217733150.

INDEX OF AUTHOR

A

Aleiza Fadjriana

Asral

Awaludin Martin

B

Baihaqi Maulana Ali

D

Dimas Rizqie Febriyansyah

E

Ersam Mahendrawan

I

Ilham Sholehuddin

Ihat Solihat

J

Joko Setiyono

K

Karyadi Awwaluddin

Kosjoko

M

Muhammad Naufal Fawwaz

N

Nailul Atifah

Naufal Fadillah

Nely Ana Mufarida,

R

Rizki Aulia Nanda

S

Sunny Ineza Putri



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**