

ISSN 2302 – 5182



TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 13 • Nomor 1 • JANUARI • 2024 • Hal. 1 - 77

Program Studi Teknik Mesin–Fakultas Teknik
Universitas Udayana



Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran, Bali 80362
Telp./Fax.: +62 361 703321
<http://www.mesin.unud.ac.id>



JITM-TDM

Volume 13

Nomor 1

Hal. 1-77

Badung, Januari 2024

ISSN 2302-5182

TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin



Volume 13, Nomor 1, Januari 2024, Hal. 1 – 77

Penanggung Jawab

Koordinator Program Studi Teknik Mesin UNUD

Ketua Dewan Redaksi

Dr. I Gede Putu Agus Suryawan, S.T., M.T.

Redaksi Pelaksana/Tim Validasi

Dr. I Made Astika, S.T., M.Erg., MT

Dr. Eng. Made Gatot Karohika S.T, M.T.

Dr. I Made Parwata, S.T., M.T.

Ketut Astawa, S.T., M.T.

Dr. Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, S.T., M.Si.

I Gusti Ngurah Putu Tenaya, S.T., M.T.

Dr. Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, S.T., M.Sc.

Ir.I Nengah Suarnadwipa, M.T.

Editor Ahli

Dosen-dosen di Program Studi Teknik Mesin
Universitas Udayana

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin **TEKNIK DESAIN MEKANIKA** diterbitkan oleh Program Studi Teknik Mesin - Universitas Udayana empat kali dalam setahun pada bulan Januari, April, Juli dan Oktober, berisi artikel hasil penelitian dan kajian teoritis-analitis di bidang Teknik Mesin. Dewan redaksi menerima tulisan yang belum pernah serta tidak sedang dipertimbangkan untuk diterbitkan atau dipublikasikan dalam media lain. Naskah diketik dalam Bahasa Indonesia atau bahasa Inggris dengan mengikuti pedoman yang dapat diunduh di halaman website Teknik Mesin UNUD atau web JITM-TDM.

Alamat Redaksi

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali 80362

Telp. / Fax.: 62 361 703321

E-mail: jitm_tdm@me.unud.ac.id; t_desain_mekanika@yahoo.co.id

Info JITM-TDM: www.mesin.unud.ac.id

Kata Pengantar

Puji syukur tercurahkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas terbitnya Jurnal Ilmiah Teknik Mesin – TEKNIK DESAIN MEKANIKA, Universitas Udayana volume 13 Nomor 1, Januari 2024 ini. Penerbitan jurnal ini bertujuan menyediakan media publikasi untuk hasil-hasil penelitian maupun kajian aplikasi di bidang Teknik Mesin, baik untuk peneliti di kalangan internal maupun eksternal kampus Universitas Udayana, baik dari kalangan mahasiswa maupun dosen.

Dewan redaksi mengucapkan terima kasih atas dukungan dan motivasi dari rekan-rekan di kampus serta pimpinan program studi dalam merealisasikan terbitnya jurnal ini. Dewan redaksi juga menyampaikan terima kasih atas partisipasi rekan-rekan peneliti yang mengirimkan naskahnya untuk dipublikasikan via Jurnal Teknik Mesin Universitas Udayana.

Dalam penerbitan JITM TEKNIK DESAIN MEKANIKA Volume 13 Nomor 1 ini, disajikan 14 artikel, dalam berbagai topik meliputi komposit, material, bahan bakar, sistem bahan bakar, gasifikasi, carbon aktif, dan sistem kontrol.

Akhirnya, Dewan redaksi berharap semoga artikel-artikel dalam jurnal ini bermanfaat bagi pembaca dan memperkuat semangat untuk ikut dalam pengembangan ilmu dan teknologi terutama di bidang Teknik Mesin. Kami tunggu naskah-naskah untuk penerbitan berikutnya.

Dewan Redaksi

TEKNIK DESAIN MEKANIKA

Jurnal Ilmiah Teknik Mesin

Volume 13 • Nomor 1 • Januari 2024 • Hal. 1 – 77

Daftar Isi

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Batang Padi dan Resin Epoxy-Polyester Terhadap Kekuatan Bending dan Daya Serap Air Abizar Ghifari, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Putu Lokantara, I Kt Suarsana	1 - 7
Simulasi Aspek Aerodinamis Aliran Udara 2-D Pada Mobil Model Dengan Variasi Jarak Antar Model Aditya Abyansyah Subekti, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot Karohika	8 - 12
Variasi Laju Pemakanan Bahan Bakar RDF Terhadap Distribusi Temperatur <i>Dual Reaktor Fluidized Bed</i> Anhar Septiawan, I Nyoman Suprapta Winaya, dan I Wayan Arya Darma	13 - 18
Analisis Perhitungan Beban Pendinginan pada Gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana dengan Metode Cooling Load Temperature Difference Arles Kurnia Sandi, Hendra Wijaksana, I Nengah Suarnadwipa	19 - 23
Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Batang Padi Dan Resin Epoxy – Polyester Terhadap Kekuatan Tarik Dan Densitas Ezza Ikhfan Naelendra, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Putu Lokantara	24 - 28
Studi Eksperimental Karakteristik Hambatan Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi Gede Ogie Indra Putra, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya	29 - 34
Analisa Pembebanan Statis Rangka <i>Scooter</i> Listrik Menggunakan <i>Software Autodesk Inventor</i> Herlambang Rizky Kurnianto, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta	35 - 39
Performansi <i>Green Inhibitor</i> Berbasis Ekstrak Propolis Terhadap Laju Korosi Sambungan Las AISI 304-AISI 1037 Pada Medium Korosif Air Laut Krisna Yudha Pratama, I Nyoman Budiarsa, dan I Made Parwata	40 - 43
Rancang Bangun Alat Bantu Penggulung Benang Kain Tenun Gedogan Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness M. Rizal Anas, I Wayan Widhiada, I Nyoman Suprapta Winaya	44 - 49
Simulasi Penggunaan <i>Rounding Front Hood</i> Kendaraan Terhadap Pola Aliran Dan Distribusi Koefisien Tekanan Pada <i>Upside</i> Kendaraan Model Pajar Doli Soripada Marbun, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot Karohika	50 - 54
Analisis <i>Streamlines</i> Udara Di Sepanjang Permukaan Bodi Kendaraan Menggunakan Simulasi ANSYS Fluent Rivaldo Anderson Robert, Made Sucipta, I Made Widiyarta	55 - 60

Pengaruh Variasi Massa Serat Pada Biokomposit Bioplastik Sari Pati Kentang Dan Serat Jerami Terhadap Kekuatan Bending Dan Water Absorption Roccy Yusup Aswardi, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Ketut Adi Atmika	61 - 65
Analisis Pengaruh Bahan Terhadap Faktor Keamanan <i>Footstep</i> Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga Januar Teguh Prasetyo, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata	66 - 71
Analisis Distribusi Beban <i>Velg</i> Sepeda Motor Listrik Dengan Variasi Motif <i>Spoke</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga Putra Kurnia Illahi, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata	72 - 77

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Batang Padi dan Resin Epoxy-Polyester Terhadap Kekuatan Bending dan Daya Serap Air

Abizar Ghifari, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati,
I Putu Lokantara dan I Kt Suarsana
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Produksi batang padi di Indonesia setiap tahunnya cukup melimpah. Pada tahun 2021 produksi padi nasional mencapai 54,42 juta. Di Indonesia sendiri padi menghasilkan limbah yang cukup besar, sekitar 62% Jerami dibakar dan sisanya dimanfaatkan untuk pakan ternak. Sehingga padi dipertimbangkan untuk digunakan pada penelitian ini. Penelitian ini juga menggunakan resin campuran epoxy-polyester dengan perbandingan 9:1 dan hardener 2:1 sebagai matriks. Komposisi serat dengan resin menggunakan fraksi volume 5% serat : 95% resin, 10% serat : 90% resin, dan 15% serat : 85% resin. Dicetak menggunakan cetakan akrilik dengan teknik hand lay-up. Dengan ukuran spesimen berdasarkan pada ASTM D790-03 untuk Uji Bending dan ASTM D570-98 untuk Uji Daya Serap Air. Serta Uji Foto Mikro untuk mendukung Uji lainnya. Data hasil pengujian bending memperlihatkan bahwasanya tegangan bending tertinggi terdapat pada fraksi 5% serat sebesar 47,352 MPa, sedangkan yang terendah pada fraksi 15% serat sebesar 21,463 MPa. Regangan tertinggi pada fraksi 15% serat sebesar 6,064, sedangkan regangan terendah terdapat pada fraksi 5% serat sebesar 4,320. Modulus Elastisitas tertinggi ada pada fraksi 5% serat sebesar 0.927 GPa dan terendah terdapat di fraksi 15% serat sebesar 0.611 GPa, dimana hal ini didukung oleh hasil foto mikro. Hasil pada foto mikro menunjukkan ikatan antara serat dengan matriks yang ada di dalam komposit. Pada pengujian daya serap air didapatkan hasil serapan tertinggi pada fraksi 15% serat sebesar 3,28% dan serapan terendah pada fraksi 5% serat sebesar 2,54%. Dengan hasil pengujian daya serap air diatas pada fraksi 15% serat menjadi nilai tertinggi resapan. Ini terjadi karena serat mempengaruhi kemampuan serap air spesimen.

Kata Kunci : Batang Padi, Resin Epoxy, Resin Polyester, Campuran Resin Epoxy-Polyester, Fraksi Volume, Uji Bending, Uji Daya Serap Air, Foto Mikro

Abstract

Each year, the production of rice straws in Indonesia increases, it is reported that the production reaches 54,42 in 2021. This results in massive waste products in approximately 62% straws were burned and the rest is utilized for livestock feeding. Hence, rice straws are put for consideration to be analyzed in this research. This paper uses the mix of epoxy-polyester resin with the ratio of 9:1, combined with hardener on 2:1 ratio as a matrix. The combination of rice straw fibers and resin in fraction of volume, consists of fibers 5% ; resin 95%, fibers 10% ; resin 90% resin and 15% fibers ; 85% resin. The specimens are moulded using acrylic mold with hand lay-up technique. The size of the specimens are decided upon the ASTM D790-03 for Bending Test and ASTM D570-98 for Water Absorption Test, and Photo Micro Test to support other related assessments. According to the results of this study, the highest bending stress was found in 5% fraction of fiber with 47,352 MPa. In contrast, the lowest stress was found in 15% fraction of fiber with 21,463 MPa. Meanwhile, the highest strain was found in 15% fraction of fiber with 6,064 and the lowest was in 5% fraction of fiber with 4,320. As for the elastic modulus, the highest result was in 5% fraction of fiber with 1,077 GPa and the lowest was in 15% fraction of fiber with 0,408 Gpa. In which this result was supported by the photo micro result. The result shows a bond between fiber and matrix that is present in the composite. According to the water absorption test, the highest absorption ability was found in 15% fraction of fibers with the amount of 3,28% and the lowest was found in 5% fraction of fibers with the amount of 2,54%. All mentioned above concludes that the water absorption ability on 5% fraction of fibers was the highest. This may be due to the effect of fibers on water absorption ability of the specimens.

Keywords: Rice Straw, Epoxy Resins, Polyester Resins, Mix of Epoxy-Polyester Resins, Volume Fraction, Bending Test, Water Absorption Test, Photo Micro

1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi industri manufaktur, komposit dengan penguat serat alam giat ditelusuri kualitas serta kegunaannya. Komposit dapat dijadikan alternatif material pengganti logam sehubungan dengan beberapa keunggulannya yaitu tahan korosi, ringan dan memiliki sifat mekanik yang kuat. Komposit umumnya terdiri atas resin yang

berfungsi sebagai pengikat serat dan juga serat sebagai bahan. Resin polimer yang umum digunakan dalam pembuatan komposit ialah epoxy dan polyester. Sebuah studi menunjukkan bahwa kombinasi dari dua polimer menunjukkan sifat yang lebih unggul dibandingkan dengan komponen tunggal. Prasanna dan Subbaiah, 2013 meneliti campuran matriks antara epoxy dan polyester digabungkan bersamaan dengan katalis masing-masing dan didapatkan nilai kekuatan

tekan dan ketahanan kimianya paling maksimum di 90% epoxy dan 10% polyester. Sementara itu, serat merupakan komponen utama yang menentukan sifat fisik pada suatu material, termasuk komposit. Serat alam mempunyai banyak keunggulan jika dibanding dengan serat sintesis, keunggulan tersebut diantaranya yaitu ramah lingkungan, kekakuan serta kekuatan yang relatif tinggi, dapat diolah secara alami, serta tersedia secara luas seperti serat nanas, jerami, ijuk, sabut kelapa, goni dan lain sebagainya. Fraksi volume diduga berpengaruh terhadap sifat mekanis dan fisik serat pembentuk material yang mana dapat berguna untuk pengembangan penggunaan komposit yang dapat dijadikan sebagai bahan alternatif logam. Penelitian ini bertujuan guna melihat seberapa pengaruh fraksi variasi fraksi volume komposit batang padi dan resin epoxy-polyester terhadap kekuatan bending, mengetahui pengaruh variasi fraksi volume komposit batang padi dan resin epoxy-polyester terhadap uji daya serap air dan mengetahui morfologi komposit batang padi dan resin epoxy-polyester.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa masalah yang akan diteliti, yakni seperti dibawah ini :

1. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume komposit batang padi dan resin *epoxy-polyester* terhadap kekuatan bending?
2. Bagaimana pengaruh variasi fraksi volume komposit batang padi dan resin *epoxy-polyester* terhadap uji daya serap air?
3. Bagaimana morfologi dari komposit batang padi dan resin *epoxy - polyester*?

Untuk memperoleh hasil yang diharapkan dari luasnya lingkup permasalahan yang dibahas, maka agar penelitian dapat terarah sesuai tujuan diatas, ditetapkan beberapa pembatasan kajian seperti :

1. Bahan spesimen terbuat dari material
 - Resin *Epoxy* jenis *Sikadur 52-id* dicampur dengan resin *Polyester Yukalac 157 BQTN*.
 - Penguat komposit limbah jerami (*Oryza sativa*) yang diambil dari Desa Sanding, Kecamatan Tampak Siring, Kabupaten Gianyar.
 - Padi yang dipakai adalah padi yang diambil saat panen.
 - Bagian yang digunakan yaitu batang utama buku kedua dari atas.
2. Variasi fraksi volume batang padi (5%, 10%, 15%)
3. Metode yang dipakai didalam pembuatan spesimen uji komposit ialah metode *hand lay-up*.
4. Susunan batang padi dengan ukuran 3cm pada pembuatan komposit adalah susunan secara acak.

2. Dasar Teori

2.1 Komposit

Komposit ialah sebuah material/bahan yang terdiri dari campuran dua material atau lebih yang mana penyusunannya yaitu bahan pengikat dan bahan penguat. Secara umum matriks dibuat dari bahan

resin. Resin tersebut akan mengikat material fiber, dengan begitu beban yang ada pada komposit nantinya akan terbagi dengan sama rata. Fiber yang telah digabung dengan resin akan mampu menghasilkan sebuah material komposit yang memiliki karakteristik maupun sifat mekanis yang berbeda dengan material pembentuknya, dengan begitu akan lebih mudah difungsikan menjadi berbagai hal [6]. Berdasarkan penguatnya, komposit dapat diklasifikasikan menjadi *particulate composite* atau komposit partikel, *laminated composite* atau komposit lapis, *flake composite* atau komposit serpih dan *fiber composite* atau komposit serat. Lalu berdasarkan matriksnya komposit dapat dibagi menjadi komposit matriks logam (*metal matrix composite*), komposit matriks keramik (*ceramic matrix composite*) serta komposit matriks polimer (*polymer matrix composite*). Jenis matriks yang dipakai untuk penelitian ini termasuk dalam klasifikasi komposit serat dan komposit matriks polimer, di mana komposit serat mudah dibentuk menjadi berbagai bentuk dan juga mudah disusun acak dan sejajar [6]. Sedangkan komposit matriks polimer merupakan jenis komposit dengan serat sebagai matriksnya dan memakai polimer yang memiliki bahan resin, yang mana seperti diketahui resin berfungsi sebagai pengikat berbagai serat seperti kaca, aramid, carbon, dll. Jenis bahan ini umum dipakai di dunia Industri yang memanfaatkan komposit dalam jumlah yang besar [2].

2.2 Matriks

Matriks ialah bahan penyusun komposit yang berfungsi sebagai pengikat pada suatu material. Berdasarkan bahan pembuat komposit, matriks (resin) dapat dikelompokkan menjadi dua jenis yakni alami (bioresin) dan sintesis. Resin sintesis biasanya berbahan polimer dan dibagi menjadi resin termoset dan termoplastik [3]. Adapun resin yang dipakai didalam penelitian ini ialah resin epoxy dan polyester yang termasuk dalam resin termoset.

Resin *epoxy* merupakan salah satu yang memiliki daya rekat serta kekuatan yang tinggi. Epoxy juga memiliki ketahanan yang baik terhadap sifat dielektrik dan isolasi, penyusutan yang rendah serta bahan kimia. Ras ini banyak digunakan dalam dunia industri karena sangat baik secara mekanis dan memiliki sifat ketahanan terhadap bahan kimia [8].



Gambar 1 Resin Epoxy Sikadur 52-id

Sementara itu, resin *polyester* adalah resin termoset cair dengan viskositas rendah dan cukup banyak digunakan dalam banyak bidang. Pada umumnya resin *polyester* bersifat kuat, keras dan tahan terhadap asam, basa, serta panas. *Polyester* juga

tergolong memiliki harga yang murah dibanding resin lainnya [1].



Gambar 2 Resin Polyester Yukalac 157 BQTN

2.3 Serat Batang Padi

Serat memiliki peran sebagai penguat utama dalam menyusun material komposit, sehingga kekuatan yang ada pada material komposit tergantung dari serat pembentuk material komposit tersebut. Ketika bahan (diameter serat) semakin kecil maka bahan tersebut akan semakin kuat dikarenakan minimnya kecacatan [7]. Serat diklasifikasikan menjadi serat sintetis dan serat alami. Pada penelitian ini digunakan serat alami, mempertimbangkan sifatnya yang relatif murah dan ringan, serat alami dinilai lebih ramah lingkungan dibanding dengan serat sintetis. Selain itu densitas yang rendah serta dapat diuraikan secara biologi juga termasuk keunggulan dari serat alam ini [5].

Serat alam yang dipilih untuk penglihatan ini ialah serat jerami yang berasal dari pohon batang padi yang telah dikeringkan. Serat batang padi mudah didapat mengingat mayoritas mata pencaharian penduduk Indonesia yaitu sebagai petani, selain itu provinsi di Indonesia dikenal dengan sentra pertanian padi yang baik dan telah memasok padi di wilayahnya maupun di wilayah sekitarnya. Serat jerami yang digunakan dalam penelitian ini yaitu batang utama jerami padi. Kemudian batang padi akan dipotong menjadi 3 cm supaya bisa dicetak menjadi komposit sesuai dengan fraksi volume yang sudah ditetapkan.



Gambar 3 Batang Padi

Adapun komposisi dari batang padi berupa biomassa berselulosa yang terbentuk atas tiga komponen utama yakni, hemiselulosa, lignin serta selulosa. Selulosa ialah suatu komponen yang ada pada dinding sel tumbuhan dengan presentasi sebanyak 50% dari berat kering tumbuhan. Jerami padi mempunyai kandungan selulosa yang cukup tinggi yaitu sekitar 27,5% hemiselulosa, 12,5% lignin dan 39,1% berat kering (Kartini dalam Rinaddin, 2018).

Jerami adalah serat alam yang baik dalam penguatan polimer dikarenakan mempunyai kekuatan yang tinggi terhadap densitas yang rendah [9]. Serat

jerami padi memiliki nilai Modulus elastisitas sebesar 3.7 Gpa dan kekuatan tarik sebesar 25.431 Mpa. Sehingga bisa dikatakan serat jerami cukup baik untuk menguatkan polimer [10]

2.5 Fraksi Volume

Perbandingan serat dan matrik menjadi salah satu faktor yang cukup penting. Perbandingan ini seringkali diperlihatkan didalam bentuk fraksi berat serat atau fraksi volume serat. Akan tetapi fraksi volume serat lebih sering digunakan karena tingkat keakuratannya yang lebih tinggi dan lebih mudah menentukan nilai perbandingan antara serat dan matriks.

2.6 Uji Bending

Uji bending merupakan uji yang memiliki tujuan guna melihat seberapa besar kekuatan terhadap pembengkokan atau bending. Pengujian dari bending ini berlandaskan pada "Standard Methods of Tension Testing of Metalite Materials" dari ASTM D790-03. Pada uji ini digunakan *three point bending* yang memakai jenis tumpuan bebas. Spesimen akan mengalami tegangan tekan di bagian atas serta di bagian bawahnya akan mengalami tegangan tarik yang kemudian menghasilkan beban oleh benda uji sebelum terjadinya patahan.



Gambar 4 Proses Uji Bending

Rumus untuk menemukan nilai kekuatan, regangan dan modulus elastisitas bending sebagai berikut :

Tegangan Bending

$$\sigma = \frac{3PL}{2bd^2} \quad (1)$$

Regangan Bending

$$\epsilon = \frac{6\delta \cdot d}{L^2} \quad (2)$$

Modulus Elastisitas

$$E = \frac{L^3 \cdot m}{4b \cdot d^3} \quad (3)$$

Keterangan :

σ = Tegangan Bending (Mpa)

P = Beban (N)

L = Panjang Span (mm)

b = Lebar Benda Uji (mm)

d = Tebal Benda Uji (mm)

ϵ = Regangan (mm)

m = Tangen Garis Lurus Pada Load-Deflection Curve

δ = Defleksi (mm)
 E = Modulus Elastisitas (Gpa)

2.7 Uji Daya Serap Air

Uji daya serap air dalam komposit ialah kemampuan yang dimiliki oleh komposit saat menyerap air didalam kurun waktu tertentu. Daya serap air (*water absorption*) pada biokomposit batang padi merupakan uji fisik untuk mengetahui kemampuan biokomposit batang padi menyerap air. Pengujian disini dilakukan dengan cara mengukur selisih berat sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 2 minggu dan ditimbang per 24 jam. Ukuran spesimen yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan ASTM D570-98 dengan panjang 76,2 mm, lebar 24,5 mm, dan tebal 3,2 mm.



Gambar 5 Proses Uji Daya Serap Air

Daya serap air (*water absorption*) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$W_{abs} = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

W_{abs} = Daya serap air (%)
 W_a = Massa basah spesimen (gr)
 W_o = Massa kering spesimen (gr)

2.8 Uji Foto Mikro

Pengujian Foto Mikro dilaksanakan guna melihat unsur kandungan yang ada didalam spesimen yang akan diuji. Uji ini dapat menampilkan gambar permukaan komposit pada pembesaran yang diinginkan. Uji Foto Mikro juga dapat melihat bentuk permukaan spesimen, porositas, kepadatan serta void. Uji Foto Mikro dilaksanakan di laboratorium Metalurgi Teknik Mesin Universitas Udayana.

3. Metode Penelitian

Penelitian serta pengujian pada penelitian ini menggunakan alat dan bahan seperti dibawah ini:

3.1 Alat

Berikut ini ialah berbagai alat yang dipakai didalam penelitian ini :

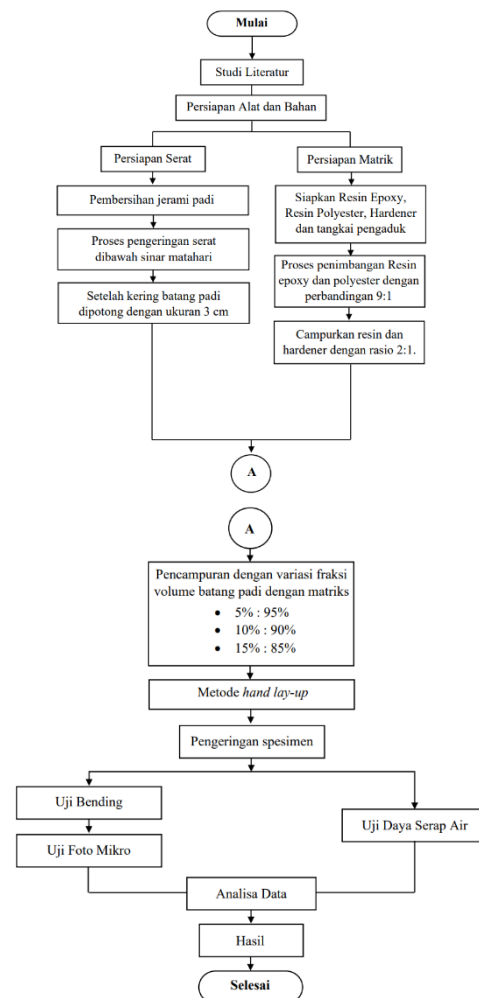
1. Alat Uji Bending Tensilon RTG-1250 dengan ASTM D790-03
2. Uji Daya Serap Air dengan ASTM D570-98
3. Mikroskop Nikon Eclipse LV150.
4. Cetakan terbuat dari bahan akrilik dengan bentuk persegi

5. Jangka sorong
6. Penggaris
7. Gelas ukur
8. Timbangan *digital*.
9. Gunting
10. Cutter
11. Kuas
12. Pengaduk elektronik
13. Lap
14. *Tissue*

3.2 Bahan

Bahan yang dipakai diantaranya yaitu ; matriks berupa *Epoxy sikadur 52-id* dan *Polyester yukalac 157 BQTN*, batang jerami padi (*Oryza sativa*) varietas IR64, *Aquadec*, *Aceton* sebagai pembersih cetakan, lilin (malam) sebagai penutup celah cetakan agar tidak ada kebocoran (keluar dari cetakan) yang menyebabkan terjadinya *void* pada seluruh sisi cetakan.

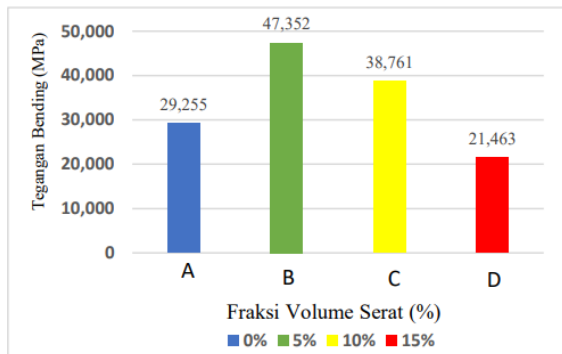
3.3 Diagram Alir Penelitian



4. Hasil dan Pembahasan

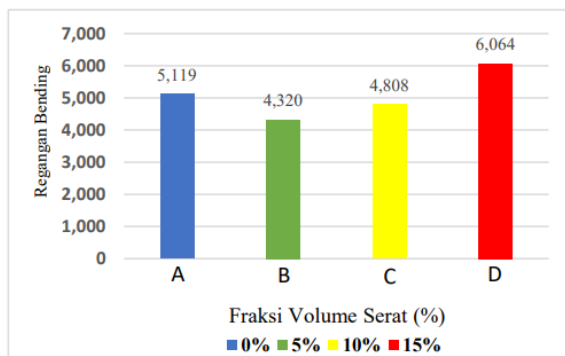
4.1 Hasil Uji Bending

Berikut nilai rata-rata uji bending spesimen komposit batang padi dalam bentuk diagram bisa diketahui melalui gambar 7, 8, dan 9 :



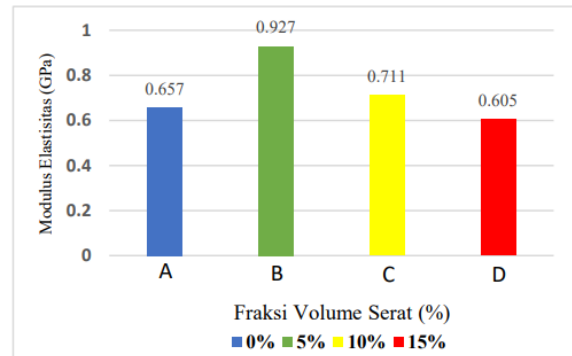
Gambar 7 Grafik Tegangan Bending

Berdasar pada hasil uji yang sudah dilaksanakan didapatkan data yang menunjukkan tingginya nilai tegangan bending dikarenakan oleh sedikitnya serat yang digunakan. Diagram pada gambar 7 menjelaskan bahwasanya semakin banyak serat yang digunakan maka tegangannya pun akan semakin menurun. Pada fraksi volume serat 5% besaran rata rata tegangannya sebesar 47,352 MPa, lebih besar dibanding fraksi 10% dan 15% yang nilainya 38,761 dan 21,463 MPa.



Gambar 8 Grafik Regangan Bending

Berdasarkan diagram pada gambar 8 komposit batang padi dengan variasi 15% serat memiliki nilai rata-rata regangan bending tertinggi sebesar 6,064. Lalu yang terendah di variasi 5% dengan nilai 4,320. Secara garis besar regangan bending pada tiap fraksi volume meningkat, tetapi pada fraksi 5%, dan 10% masih dibawah regangan masih dibawah 0% (resin epoxy-polyester).

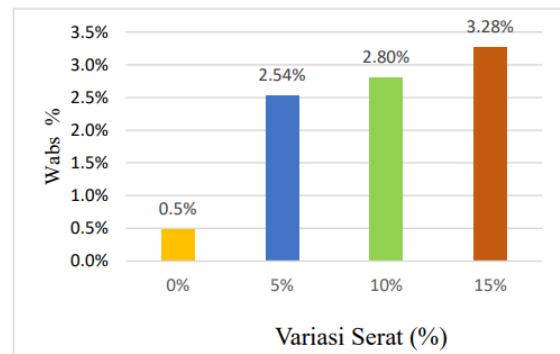


Gambar 9 Grafik Modulus Elastisitas

Grafik modulus elastisitas yang ditunjukkan pada gambar 9 pada komposit fraksi 5% serat memiliki nilai tertinggi sebesar 0,927 Gpa. Sedangkan nilai terkecil di fraksi 15% serat dengan nilai 0,605 GPa. Berdasarkan uraian diagram diatas pada komposit batang padi dan resin campuran epoxy-polyester dengan variasi fraksi volume 5%, 10% dan 15% mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan nilai tegangan dan regangan bending pada tiap fraksi volume. Dimana semakin besar modulus elastisitas kekuatan bahan akan semakin besar dan kemampuan regangannya akan menurun.

4.2 Hasil Uji Daya Serap Air

Berikut nilai rerata uji daya serap air spesimen komposit batang padi dalam bentuk diagram bisa diketahui melalui gambar 10 :



Gambar 10 Grafik Daya Serap Air

Berdasarkan data diatas, komposit batang padi dengan fraksi volume 5% : 95% memiliki rata rata serap air 2,54%. Sedangkan untuk fraksi volume 10% : 90% memiliki rata rata serap air 2.8%. Dan fraksi volume 15% : 85% memiliki rata rata 3.28% Dilihat dari hasil diatas memperlihatkan bahwasanya pada komposit dengan fraksi volume 15% : 85% mempunyai nilai rata-rata tertinggi. Nilai daya serap air dipengaruhi oleh banyaknya serat dan matriks, semakin banyak serat semakin banyak air yang dapat terserap oleh spesimen. Sedangkan matriks mengisi rongga yang mengakibatkan tingkat kerapatannya semakin tinggi, semakin tinggi kerapatannya semakin sulit air bisa teresap ke dalam spesimen.

4.3 Hasil Uji Foto Mikro



Gambar 11 Foto Mikro Fraksi 5%

Pada variasi fraksi 5% serat terlihat pada gambar 11, terlihat matriks mengisi batang padi yang membuat ikatan diantara serat dengan matriks menjadi sangat baik. Serat juga terlapsi dengan baik oleh matriks sehingga bisa membuat nilai kekuatan bending pada fraksi ini diatas fraksi 10% dan 15%.



Gambar 12 Foto Mikro Fraksi 10%

Sedangkan pada variasi fraksi 10% serat terlihat pada gambar 4.12 c, batang padi tidak terisi oleh matriks yang menyebabkan tidak meratanya kekuatan spesimen mendistribusikan beban. Terlihat juga matriks tidak bisa melindungi serat dengan baik sehingga terjadinya *crack* (Gambar 12) yang menyebabkan kekuatannya menurun.



Gambar 13 Foto Mikro Fraksi 15%

Pada variasi fraksi 15% serat juga terlihat void yang muncul, void disini terjadi karena tidak adanya ikatan yang baik antara serat dengan matriks.

5. Kesimpulan

Berdasar pada hasil penelitian mengenai pengaruh variasi fraksi volume biokomposit batang padi dan epoxy-polyester, maka bisa diambil kesimpulan seperti dibawah ini:

1. Pada uji bending diperoleh nilai tegangan, regangan, dan modulus elastisitas bending. Nilai tegangan bending mengalami penurunan pada nilai rerata paling tinggi fraksi volume 5% yaitu sebesar 47,352 MPa, dan nilai rerata terendah pada fraksi volume 15% sebesar 21,463MPa. Regangan bending untuk nilai rerata tertingginya pada fraksi volume 15% serat dengan nilai 6,064, dan

rerata nilai terendah pada fraksi volume 5% serat dengan nilai 4,320. Nilai modulus elastisitas dengan rerata tertinggi ada pada fraksi volume 5% serat dengan nilai 0,927 GPa, dan nilai rerata terendah pada 15% dengan nilai 0,605 GPa.

2. Pengujian daya serap air menunjukkan pada fraksi volume 15% serat memiliki rata-rata nilai serapan tertinggi sebesar 3,28%, dan pada fraksi volume 5% memiliki nilai rerata terendah yakni 2,54%.
3. Terlihat pada foto mikro fraksi volume 5% serat menampilkan bahwa matriks melindungi serat dengan baik dan mampu untuk mengisi volume secara merata. Untuk fraksi volume 10% dan 15% terlihat bahwa matriks tidak mampu mengisi volume yang mengakibatkan banyaknya void, serta tidak melindungi serat dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Bramantyo, 2008, *Pengaruh Konsentrasi Serat Rami Terhadap Sifat Mekanik Material Komposit Poliester – Serat Alam*.
- [2] Callister, W. D., & Rethwisch, D. G., 2014, *Materials Science and Engineering An Introduction*. United States of America: Wiley & Sons, Inc.
- [3] Deka Betan, A., As, A. and Sonief, 2014, *Pengaruh Persentase Alkali pada Serat Pangkal Pelepah Daun Pinang (Areca Catechu) terhadap Sifat Mekanik Komposit Polimer*, Jurnal Rekayasa Mesin.
- [4] Rinaddin (2018) *Pengaruh Fraksi Volume Serat Terhadap Kekuatan Mekanik Material Komposit Berpenguat Jerami Padi Ditinjau Dari Kekuatan Impak*.
- [5] Kusumastuti, A., Jasa, J.T. and Produksi, D., 2009, *Aplikasi Serat Sisal sebagai Komposit Polimer*, Jurnal Kompetensi Teknik.
- [6] Muhajir, M., Alfian Mizar, M. and Agus Sudjimat, D., 2016, *Analisis Kekuatan Tarik Bahan Komposit Matriks Resin Berpenguat Serat Alam Dengan Berbagai Varian Tata letak*.
- [7] Oroh, J., 2013, *Analisis Sifat Mekanik Material Komposit dari Serat Sabut Kelapa*.
- [8] Siregar, I., Yudo, H. and Kiryanto, 2017, *Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear NF Sebagai Pengganti Las*, Jurnal Teknik Perkapalan,5(4), p. 716.

- [9] Suryanto, H., Solichin, S. and Yanuhar, U., 2016, *Natural Cellulose Fiber from Mendong Grass (Fimbristylis globulosa)*, pp. 35–52.
- [10] Wibowo, M., Kencanawati, C. and Lokantara, 2022, *The Effect of Volume Fraction Variations Epoxy-Rice Straw Composite Fibers with NaOH Treatment on Tensile and Bending Strength*, Natural Sciences Engineering and Technology Journal, 3(2), pp. 186–194.

	<p>Abizar Ghifari menyelesaikan studi program sarjana di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Rekayasa Manufaktur.</p>	

Simulasi Aspek Aerodinamis Aliran Udara 2-D Pada Mobil Model Dengan Variasi Jarak Antar Model

Aditya Abyansyah Subekti, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot
Karahika

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kendaraan saat ini sudah menjadi bagian penting dari kehidupan untuk menjalani kehidupan sehari-hari, akibat dari hal tersebut peningkatan konsumsi bahan bakar minyak terus bertambah. Bahan bakar minyak semakin berkurang setiap tahunnya, dikarenakan minyak bumi adalah sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui. Sehingga usaha untuk penghematan konsumsi bahan bakar minyak pada kendaraan mulai dicoba. Salah satunya dengan menggunakan sebuah mobil dengan cara yang efisien. Banyak cara yang dapat dilakukan seperti pengaturan peleton mobil. Peran dasar peleton dalam mengemudi pada jarak menengah pendek antara kendaraan dalam pengaturan bersama-sama menghasilkan pengurangan yang cukup besar dalam *coefficient drag* sehingga pengaturan peleton antar mobil dapat mendapatkan nilai aerodinamis dan akhirnya konsumsi bahan bakar untuk mobil juga semakin hemat. Aliran fluida yang mengalir pada bodi kendaraan akan menimbulkan gaya-gaya aerodinamika, karena adanya distribusi tekanan dan tegangan geser pada permukaan bodi kendaraan. *Computational Fluid Dynamics* adalah bagian aerodinamika dimana hasil nilai aerodinamika didapat melalui hitungan. CFD menjadi alternatif yang lebih efisien dalam perancangan alat atau penelitian untuk mengetahui karakteristik suatu aliran dan interaksinya. Untuk mengetahui hal tersebut, penulis melakukan penelitian menggunakan CFD dengan metode aliran 2-D pada antar model mobil kendaraan yang bervariasi terhadap kecepatan dan jarak antar mobil agar mengetahui perbandingan nilai C_P dan C_D antar model kendaraan. Hasil menunjukkan semakin dekat dan kecilnya kecepatan akan mendapatkan efisiensi kinerja mobil yang signifikan yang terlihat dari perbandingan nilai C_P sebesar 97.57% dan C_D sebesar 96.54% pada antar model.

Kata kunci: Efisiensi, Koefisien Hambat, Koefisien Tekan, Aerodinamika, Computational Fluid Dynamics

Abstract

Vehicles have now become an important part of life to live everyday life, and as a result of this, the increase in fuel oil consumption continues to grow. Fuel oil is decreasing every year because petroleum is a non-renewable energy resource. So efforts to save on fuel consumption in vehicles began to be tried. One of them is by efficiently using a car. There are many ways to do this, such as setting up car platoons. The basic role of the platoon in driving at medium-short distances between vehicles in joint arrangement produces a considerable reduction in the drag coefficient so that platoon arrangements between cars can get aerodynamic values and ultimately fuel consumption for cars is also more efficient. The fluid flow that flows on the vehicle body will cause aerodynamic forces, due to the distribution of pressure and shear stress on the surface of the vehicle body. Computational Fluid Dynamics is a part of aerodynamics where aerodynamic values are obtained through calculations. CFD is a more efficient alternative in tool design or research to determine the characteristics of a flow and its interactions. To find out this, the authors conducted a study using CFD with the 2-D flow method between car models that varied the speed and distance between cars to find out the comparison of the values of C_P and C_D between vehicle models. The results show that the closer and smaller the speed will get a significant car performance efficiency which can be seen from the comparison of the values of C_P of 97.57% and C_D of 96.54% between models.

Keywords: Efficiency, Coefficient Drag, Coefficient Pressure, Aerodynamics, Computational Fluid Dynamics

1. Pendahuluan

Kendaraan sekarang ini sudah jadi bagian yang diperlukan dari kehidupan untuk menjalani kehidupan sehari-hari, akibat dari hal tersebut peningkatan konsumsi bahan bakar minyak terus bertambah. Bahan bakar minyak semakin berkurang setiap tahunnya, dikarenakan minyak bumi adalah sumber daya energi yang tidak bisa diperbaharui. Sehingga usaha untuk penghematan konsumsi bahan bakar minyak pada kendaraan mulai dicoba. Salah satunya adalah menggunakan sebuah mobil dengan cara yang efisien. Banyak cara yang dapat dilakukan agar penggunaan sebuah mobil dapat efisien, salah satu cara yang dapat digunakan seperti pengaturan

peleton mobil. Peran dasar peleton dalam mengemudi pada jarak menengah pendek antara kendaraan dalam pengaturan bersama-sama menghasilkan pengurangan yang cukup besar dalam *coefficient drag* dan akhirnya konsumsi bahan bakar untuk mobil juga semakin hemat. Hasil penelitian lain juga menunjukkan bahwa 20% pengurangan emisi, 10% penurunan angka kematian dan kelancaran arus lalu lintas dengan potensi peningkatan arus lalu lintas dapat dicapai melalui peletonan kendaraan.[6] Menganalisa pola aliran koefisien gaya pada mobil dengan menggunakan CFD akan menghemat waktu pengerjaan analisa dan juga menghemat biaya dari proses analisa eksperimen yang memerlukan model untuk diuji dalam terowongan angin. Akan tetapi,

menggunakan metode simulasi tidak dapat menjadikan hasil yang didapatkan menjadi acuan dikarenakan diperlukan juga metode eksperimen yang lebih aktual untuk dijadikan pembandingan dari hasil analisa. Pada penelitian kali ini, dikarenakan terbatasnya biaya dan waktu maka penelitian akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi dengan CFD.

Dalam hal ini maka ada beberapa persoalan yang akan dianalisa, yaitu:

1. Bagaimana pola aliran udara pada mobil uji B dengan variasi jarak antar model mobil A dan mobil B?
2. Bagaimana koefisien gaya hambat dan tekan pada model mobil uji B dengan variasi jarak 2 m dan 6 m antar model mobil A dan mobil B?

Beberapa batasan ditetapkan dalam penulisan ini meliputi:

1. *Software Computational Fluid Dynamics* yang digunakan adalah ANSYS Fluent 21.2
2. Simulasi dibatasi untuk mengetahui pengaruh pola aliran dan mendeskripsikan aspek aerodinamis pada mobil model B terhadap mobil model A dalam kondisi steady flow dan aliran udara 2D dengan model yang digunakan kendaraan umum.
3. Kecepatan yang dipilih 100 km/j.
4. Simulasi yang dijalankan dengan kondisi temperatur dan tekanan konstan.
5. Aliran udara dalam kondisi turbulen.

2. Dasar Teori

Aliran fluida yang mengalir pada bodi kendaraan akan menimbulkan gaya-gaya aerodinamika. Penyebab timbulnya gaya aerodinamika karena adanya distribusi tekanan dan tegangan geser pada permukaan bodi kendaraan sehingga membentuk resultan gaya yang disebut dengan gaya aerodinamika. *Drag* pada sebuah benda dapat dipecah menjadi dua bagian, yaitu *drag gesekan* yang disebabkan oleh gaya gesek dan *drag tekan* yang diakibatkan oleh tekanan. Dalam bilangan tak berdimensi yang disebut sebagai *Coefficient of Drag*, dapat dituliskan sebagai berikut:

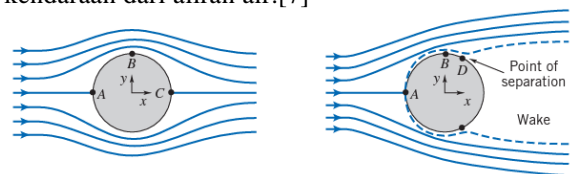
$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (1)$$

Maka benda yang berbentuk seperti mobil, *drag* aerodinamis yang dihasilkan cenderung dari *drag tekan*, dikarenakan bagian depan dari mobil akan mendapatkan tekanan lebih besar dibanding bagian belakang mobil.

Perbedaan bentuk bodi antara permukaan atas dan bawah bodi mobil mengakibatkan aliran udara di bagian atas lebih cepat daripada di bagian bawah mobil karena bentuk bagian atas mobil lebih landai daripada bagian bawah. Menurut hukum Bernoulli, semakin cepat aliran udara bergerak maka tekanannya semakin rendah, sehingga tekanan pada permukaan bawah mobil akan lebih besar daripada tekanan pada permukaan atas mobil, sehingga terjadi

tekanan udara yang menekan yang mengangkat dari bagian bawah bodi mobil ke permukaan atas.

Fenomena yang ditemukan di lapisan batas disebut pemisahan. Pemisahan adalah peristiwa di mana aliran fluida terpisah dari permukaan kendaraan. Cairan terpisah dari permukaan kendaraan karena gesekan antara cairan dan permukaan yang mencegah aliran cairan mengatasi resistensi. Adanya separasi aliran menyebabkan terjadinya wake di belakang badan kendaraan yang menimbulkan hambatan. Semakin cepat pemisahan aliran terjadi, semakin lebar wake dan semakin besar hambatannya. Pada titik di mana lapisan batas terpisah, sebuah wilayah yang disebut wake muncul. Semakin besar wake, semakin besar perbedaan gaya antara bagian depan dan belakang kendaraan, menghasilkan resistensi yang lebih besar terhadap kendaraan dari aliran air.[7]



Gambar 1 Separasi Aliran 2D di sekitar bola

Pada saat ini perkembangan aplikasi CFD banyak digunakan sebagai penghubung antara dunia eksperimen dan teori. Teknik CFD sering digunakan untuk membantu interpretasi dan pemahaman hasil teoritis dan eksperimen, dan sebaliknya. Selain digunakan untuk keperluan penelitian, alat CFD juga menjadi tren di bidang desain teknik karena fleksibilitasnya dan kemudahan menemukan hubungan antara satu parameter dengan parameter lainnya, seperti pada desain baling-baling kipas dengan sudut yang bervariasi. Meskipun memiliki banyak keunggulan dibandingkan metode eksperimental murni, hasil CFD bukanlah pengganti karena:

1. Hasil kode dari CFD yang didapatkan memungkinkan memiliki hasil yang jauh melampaui dari hasil kehidupan nyata,
2. Data hasil percobaan dari penggunaan CFD tidak akan sama persis seperti data yang sebenarnya.

3. Metode Penelitian

Penelitian ini sepenuhnya dilakukan di Lab Komputer PSTM-FT-Universitas Udayana, Bali

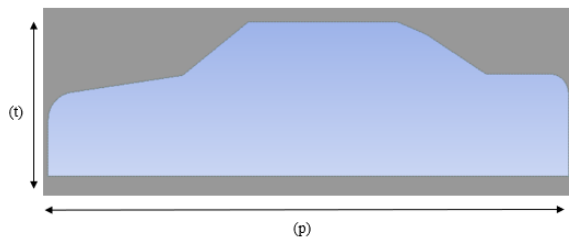
Penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan simulasi pada *software CFD (Computational Fluid Dynamic)* untuk menganalisa satu variable dengan variable lainnya dengan batasan-batasan yang sudah ditentukan. Simulasi ini dilakukan sesuai dengan tujuan pelaksanaan penelitian, yakni mencari pola aliran udara, koefisien gaya hambat, koefisien gaya tekan terhadap jarak antar model mobil uji A kepada model mobil uji B. Pada simulasi ini ada 3 tahapan yang harus dilakukan, antara lain *preprocessing*, *processing*, *postprocessing*.

Geometri yang digunakan dalam penelitian ini adalah model 2D mobil uji yang mendekati ukuran asli

mobil dengan desain disederhanakan dan dianalisa aspek aerodinamis menggunakan *software ANSYS Fluent 21.2*. Adapun geometri dan dimensi dari model mobil yang telah dirancang dapat dilihat pada tabel dan gambar dibawah ini:

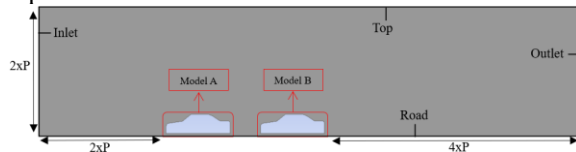
Tabel 1 Dimensi model mobil

Parameter	Dimensi (mm)
panjang	4250
tinggi	1420



Gambar 2 Model Mobil 2D

Dimensi dari domain pemodelan merujuk pada **Pangki Ferdiansyah** yang ditulis dalam tugas akhirnya yang berjudul “Analisa Medan Aliran 2D Bodi Pada Mobil Basudewo” untuk Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Tahun 2015 yang pada domainnya berukuran total $2xP$ pada area depan dari mobil terdapat dan $4xP$ pada area belakang dari mobil terbelakang dengan tinggi domain $2xP$, dimana P pada model mobil = 4250 mm

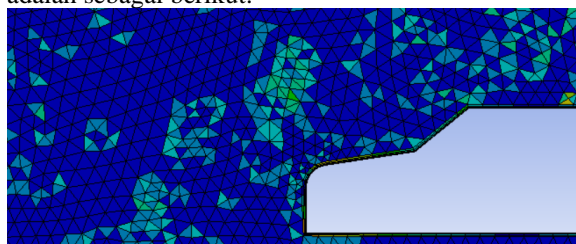


Gambar 3 Domain Pemodelan Mobil

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengaturan Simulasi pada Ansys Workbench

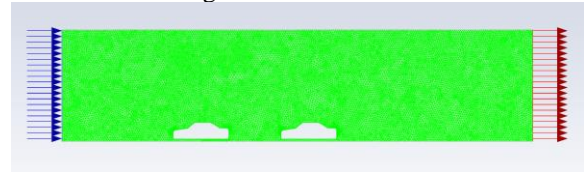
Pengaturan simulasi ini adalah untuk menjelaskan tahapan-tahapan yang dilakukan untuk menjalankan simulasi analisa yang akan dilakukan dengan beberapa prosesnya. Langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Mesh pada mobil model dan domain pemodelan

Pada bagian domain, konsep mesh yang dipilih adalah CFD, Fluent. Setelah konsep mesh sudah ditentukan, akan dilakukan tahapan meshing pada model mobil dan domain. Ukuran mesh yang digunakan sebesar 0,145 m ukuran ini dipilih karena memiliki hasil kualitas skewness yang sangat baik

senilai 0.0056 yang menggambarkan nilai tersebut masuk dalam kategori *Excellent* dalam kualitas mesh.



Gambar 5. Peletakkan laju aliran

Pengaturan setup untuk meletakkan laju aliran yang dapat dilihat pada gambar 5. Pada tahap ini melakukan pengaturan dalam tabel *Models, Materials, Boundary Conditions, dan Reference Values*. Metode yang digunakan dalam *processing* adalah menggunakan SIMPLE dengan penentuan kondisi konvergen apabila nilai residual menunjukkan nilai $1e-6$ atau kondisi konstan. Selanjutnya pada *initialization* menentukan dimulainya perhitungan numerik pada inlet dengan iterasi digunakan sebanyak 2000 iterasi.

4.2. Hasil Simulasi

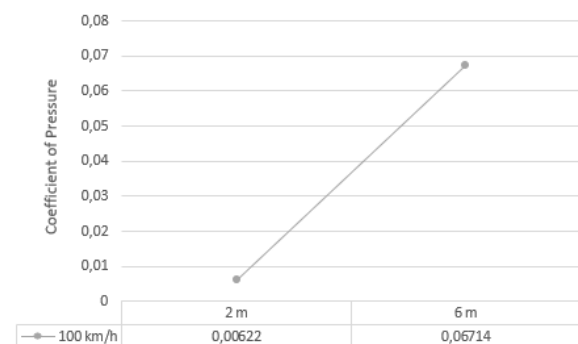
Nilai-nilai yang didapatkan dari hasil simulasi akan dirangkum dan tergambar pada di bawah ini.

Tabel 1. Hasil Simulasi Variasi Jarak 2 m

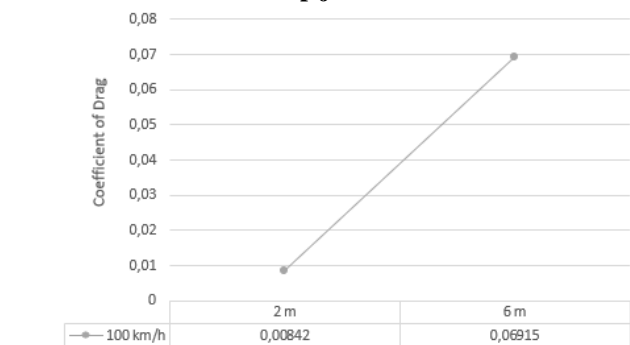
Jarak 2 m	Model A (C_p)	Model B (C_p)	C_p (%)	Model A (C_D)	Model B (C_D)	C_D (%)
100 km/h	0.20956477	0.0062271869	97.02	0.21347233	0.0084285725	96.05

Tabel 2. Hasil Simulasi Variasi Jarak 6 m

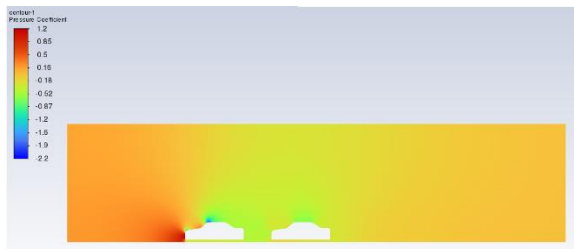
Jarak 6 m	Model A (C_p)	Model B (C_p)	C_p (%)	Model A (C_D)	Model B (C_D)	C_D (%)
100 km/h	0.21213668	0.067144015	68.35	0.21607168	0.069158054	68.99



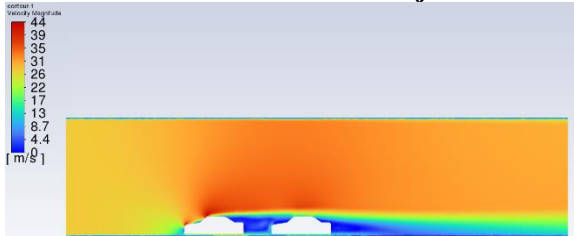
Gambar 6. Grafik Coefficient of Pressure terhadap jarak



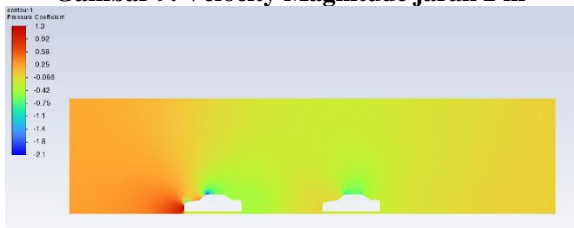
Gambar 7. Grafik Coefficient of Drag terhadap jarak



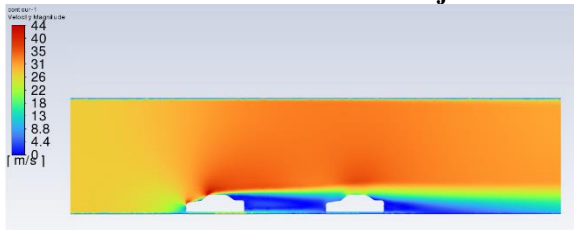
Gambar 8. Pressure Coefficient jarak 2 m



Gambar 9. Velocity Magnitude jarak 2 m



Gambar 10. Pressure of Coefficient jarak 6 m



Gambar 11. Velocity Magnitude jarak 6 m

Dari hasil simulasi yang tertulis pada tabel 1 dan tabel 2 yakni pada tiap variasi jarak antar model A dan B didapatkan perbedaan yang signifikan seperti pada variasi jarak 2 m perbedaan C_p 97.02% dan C_d 96.05% antar model A dan model B terlihat semakin jauh jarak antar model maka nilai C_p dan C_d pada mobil B juga akan meningkat. Hasil tersebut juga dapat dilihat dari pola aliran pada gambar 8-11 yang mana pada mobil A pada daerah frontal areanya mengalami gaya tekanan lebih besar dibandingkan pada model mobil B yang dapat diperhatikan dimana mobil B memanfaatkan kondisi separasi aliran yang terjadi pada mobil A sehingga mengalami besaran kecepatan aliran yang lebih kecil dibandingkan dari kondisi model mobil A yang ada di depannya.

5. Kesimpulan

Dari hasil *Computational Fluid Dynamics* yang telah dilakukan pada aplikasi ANSYS, penelitian simulasi ini untuk menggambarkan kondisi yang terjadi pada model mobil B terhadap dampak model mobil A dari variasi jarak antar keduanya, dan juga dengan pola aliran udara antar model telah divisualisasikan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pada antar model mobil A dan model mobil B dengan variasi jarak 2 m menghasilkan C_p pada mobil B sebesar 0.0062271869 dan C_d sebesar 0.0084285725. Sedangkan pada variasi jarak 4 m menghasilkan C_p pada mobil B sebesar 0.067144015 dan C_d sebesar 0.069158054 dari hasil tersebut dapat disimpulkan semakin jauh jarak antar mobil maka nilai C_p dan C_d pada mobil B juga akan semakin meningkat hingga pada jarak tertentu akan mengalami nilai C_p dan C_d yang sama dengan mobil A
2. Dari hasil analisa simulasi numerik yang sudah dilakukan tersebut dapat disimpulkan semakin jauh jarak antar mobil maka nilai C_p dan C_d pada mobil B juga akan semakin meningkat hingga pada jarak tertentu akan mengalami nilai C_p dan C_d yang sama dengan mobil A

Daftar Pustaka

- [1] Anderson, John. 2017. *Fundamentals of Aerodynamics*. New York, NY.
- [2] Fadhil Bhyantarrah Nugraha. 2021. *Analisis Aliran Udara Di Sekitar Truk Pickup Yang Dipasangi Terpal Di Bagian Bak Menggunakan CFD*.
- [3] Faruk, Umar, and Kamiran. 2012. "1019-4970-1-PB." *Matematika, FMIPA, Institut Sepuluh Nopember*.
- [4] Ferdiansyah, Pangki. 2015. "Studi Numerik: Analisa Medan Aliran 2D Bodi Pada Mobil Basudewo".
- [5] Fox and McDonald's. 2011. "Introduction To Fluid Mechanics".
- [6] Gnatowska, Renata, and Marcin Sosnowski. 2018. "The Influence of Distance between Vehicles in Platoon on Aerodynamic Parameters." in *EPJ Web of Conferences*. Vol. 180. EDP Sciences.
- [7] Gunawan Tista, I. Putu Gede, I. Gusti Ngurah Putra Tenaya, and I. Gusti Ngurah Putu Sudanta. 2018. "Pengaruh Variasi Jarak Penghalang Segitiga Di Depan Silinder Arah Vertikal Terhadap Drag." *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 11(1):11. doi: 10.24843/jem.2018.v11.i01.p03.
- [8] Kamal, Muhammad Nabil Farhan, Izuan Amin Ishak, Nofrizalidris Darlis, Daniel Syafiq Baharol Maji, Safra Liyana Sukiman, Razlin Abd Rashid, and Muhamad Asri Azizul. 2021. "A Review of Aerodynamics Influence on Various Car Model Geometry through CFD Techniques." *Journal of Advanced Research in*

Fluid Mechanics and Thermal Sciences
88(1):109–25. doi:
10.37934/arfm.88.1.109125.

Judul Tugas Akhir Simulasi Aspek Aerodinamis Aliran Udara 2-D Pada Mobil Model Dengan Variasi Kecepatan dan Jarak Antar Model

- [9] Pagliarella, Riccardo M. 2009. *On the Aerodynamic Performance of Automotive Vehicle Platoons Featuring Pre and Post-Critical Leading Forms*.
- [10] Ridwan Nofianto, Muhammad, and Nur I. Aklis Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta Jl Ahmad Yani Tromol Pos Pabelan. n.d. *Simulasi Perilaku Aerodinamika Dalam Kondisi Steady Dan Unsteady Pada Mobil Menyerupai Toyota Avanza Dengan CFD*.
- [11] Robertson, F. H., D. Soper, and C. Baker. 2021. “Unsteady Aerodynamic Forces on Long Lorry Platoons.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 209. doi: 10.1016/j.jweia.2020.104481
- [12] Sutantra, I. Nyoman. 2001. *Teknologi Otomotif: Teori Dan Aplikasinya*. Surabaya: Guna Widya.
- [13] Törnell, Johannes, Simone Sebben, and Per Elofsson. 2021. “Experimental Investigation of a Two-Truck Platoon Considering Inter-Vehicle Distance, Lateral Offset and Yaw.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 213. doi: 10.1016/j.jweia.2021.104596.
- [14] Watkins, S., J. W. Saunders, and H. Kumar. 1992. *Aerodynamic Drag Reduction of Goods Trains*. Vol. 40.
- [15] Yogatama, Marga, and Ramon Trisno. 2018. *Studi Koefisien Drag Aerodinamika Pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik*. Vol. 07.
- [16] Zhang, Xiao Tian, Francis H. Robertson, David Soper, Hassan Hemida, and Shi Di Huang. 2021. “Investigation of the Aerodynamic Phenomena Associated with a Long Lorry Platoon Running through a Tunnel.” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 210. doi: 10.1016/j.jweia.2020.104514



Aditya Abyansyah Subekti merupakan mahasiswa Teknik Mesin Universitas Udayana Angkatan 2019, dan saat ini sedang menempuh tugas akhir dengan topik rekayasa manufaktur.

Variasi Laju Pemakanan Bahan Bakar RDF Terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed*

Anhar Septiawan, I Nyoman Suprpta Winaya, dan I Wayan Arya Darma
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini dilakukan berguna untuk mengetahui pengaruh laju pemakanan bahan bakar RDF terhadap distribusi temperatur pada alat dual reactor fluidized bed, yang dimanfaatkan untuk menanggulangi masalah energi yang ada dimasa kini. metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. hasil yang didapat dalam penelitian ini adalah semakin tinggi laju pemakanan bahan bakar yang digunakan maka semakin rendah distribusi temperatur gasifikasi pada alat dual reactor fluidized bed. Distribusi temperatur pada reaktor gasifikasi mengalami penurunan dikarenakan adanya reaksi endotermik, sedangkan temperatur pada reaktor pembakaran mengalami kenaikan suhu dikarenakan reaksi eksotermik dan akan turun seiring waktu dikarenakan suplai udara bebas dari blower dan kompresor. Udara bebas itu berfungsi untuk memfluidisasikan bahan bakar dan juga bed material.

Kata Kunci : Gasifikasi, Dual Reactor Fluidized Bed, Laju Pemakanan Bahan Bakar

Abstract

This research was conducted to determine the effect of the fuel feeding rate of RDF on the temperature distribution in a dual reactor fluidized bed, which is used to overcome current energy problems. the method used in this research is experimental method. The results obtained in this study are the higher the fuel feeding rate used, the lower the gasification temperature distribution in the dual reactor fluidized bed device. The temperature distribution in the gasification reactor has decreased due to an endothermic reaction, while the temperature in the combustion reactor has increased due to the exothermic reaction and will decrease over time due to the supply of free air from the blower and compressor. The free air functions to fluidize the fuel and also the bed materia.

Keyword : Gasification, Dual Reactor Fluidized Bed, Fuel Feeding Rate

1. Pendahuluan

Energi merupakan sesuatu yang tidak dapat dilepaskan dalam kehidupan sehari-hari, aktivitas manusia selalu membutuhkan energi, seperti perekonomian, industri dan sektor transportasi. Sumber energi yang paling banyak digunakan saat ini berasal dari fosil yang merupakan sumber energi tak terbarukan. Minyak bumi dan gas alam adalah contoh penggunaan bahan bakar fosil. Ketika permintaan akan sumber energi fosil meningkat, ketersediaan sumber-sumber ini berkurang. Selain mengurangi ketersediaan sumber energi fosil, sumber energi tersebut juga berdampak negatif. Polutan dari pembakaran bahan bakar fosil merupakan penyumbang terbesar kabut asap, pemanasan global, hujan asam dan perubahan iklim [1]. Hal ini mempengaruhi penggunaan sumber energi alternatif, dan sumber energi baru terbarukan (EBT) merupakan salah satu sumber pasokan energi.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengatasi krisis energi tersebut, seperti mengembangkan bahan bakar alternatif dari sumber energi terbarukan seperti biomassa.

Biomassa didefinisikan sebagai bahan baku terbarukan atau bahan organik dari tumbuhan dan hewan, serta limbah biologis yang dapat diperoleh menjadi sumber energi. Salah satu sumber biomassa yang dapat dimanfaatkan adalah sampah kota yang dihasilkan dari limbah rumah tangga maupun kegiatan industri, selain mudah didapat pemanfaatan sampah kota juga bisa mengurangi tingkat pencemaran lingkungan yang terjadi.

Di lain pihak, Sampah telah menjadi masalah yang tidak pernah ada habisnya di kota-kota besar di Indonesia, termasuk kota dan kabupaten di Provinsi Bali. Salah satu langkah pengolahan sampah adalah mengubah sampah menjadi *Refuse Derived Fuel* (RDF). Bahan bakar RDF ini adalah salah satu bahan bakar yang diambil dari sampah/limbah yang menghasilkan panas tinggi. Penggunaan sistem RDF dinilai efektif dalam pengelolaan sampah, terutama di perkotaan yang memiliki masalah sampah tinggi [2].

Gasifikasi adalah proses mengubah bahan bakar padat menjadi gas yang membutuhkan lebih sedikit udara daripada yang digunakan untuk proses pembakaran [3]. Contoh bahan bakar padat yang dimaksud

adalah RDF, yang akan diolah kembali menjadi biomassa, dengan kata lain jika diterapkan dengan baik, teknologi gasifikasi ini dapat mengurangi jumlah sampah kota. Selama gasifikasi, bahan berbasis karbon dengan cepat diubah menjadi gas melalui berbagai reaksi yang didorong oleh bahan pembantu gasifikasi [4].

Kemajuan teknologi gasifikasi cukup luar biasa, *dual reactor fluidized bed* merupakan teknologi gasifikasi yang sedang dikembangkan, reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi merupakan reaktor yang digunakan untuk mengembangkan teknologi gasifikasi ini [5].

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan adalah untuk mengetahui Variasi Laju Pemakanan Bahan Bakar RDF Terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed*. Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimanakah pengaruh variasi laju pemakanan bahan bakar RDF terhadap Distribusi Temperatur *Dual Reaktor Fluidized Bed* dengan menggunakan *bed material* pasir silika, maka perlu dilakukan pembatasan masalah antara lain:

1. Proses yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan *dual reactor fluidized bed*.
2. Ukuran RDF yang digunakan adalah 0,6 mm - 0,7 mm.
3. Udara yang dialirkan kedalam reaktor adalah udara bebas dengan bantuan blower dengan berkecepatan 12 m/s.
4. Bed material yang digunakan adalah pasir silika dengan ukuran pasir silika adalah 0,6 mm-0,7 mm.
5. Laju aliran injeksi gas agen H₂O yang digunakan adalah 15 l/menit.

2. Dasar Teori

2.1. Biomassa

Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui fotosintesis sebagai produk atau limbah. Biomassa yang umum digunakan antara lain pohon, rumput, limbah kehutanan, pupuk kandang, kotoran ternak, ubi jalar, dan limbah pertanian. Biomassa digunakan sebagai makanan dan pakan ternak, minyak nabati, bahan bangunan, dll. tetapi juga digunakan sebagai bahan bakar. Keunggulan biomassa mencakup fakta bahwa biomassa merupakan sumber energi terbarukan, sehingga memungkinkannya menyediakan sumber energi berkelanjutan.

Biomassa perlu dikonversi terlebih dahulu menjadi bahan bakar agar dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi yang siap digunakan. Dalam merubah biomassa menjadi

bahan bakar terdapat beberapa teknologi yang dapat digunakan, perbedaan penggunaan teknologi pengkonversian biomassa tersebut menimbulkan perbedaan bahan bakar yang dihasilkan. Teknologi yang digunakan untuk mengkonversi biomassa menjadi bahan bakar dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu: Pembakaran langsung, konversi termokimiawi dan konversi biokimia. Selain teknologi yang digunakan untuk merubah biomassa menjadi bahan bakar, terdapat juga berbagai macam proses yang terjadi pada saat berlangsungnya pengkonversian biomassa menjadi bahan bakar. Proses-proses tersebut antara lain, gasifikasi dan briket.

2.2. Refuse Derived Fuel

Refuse derived fuel (RDF) adalah hasil proses pemisahan limbah padat fraksi sampah mudah terbakar dan tidak mudah terbakar seperti metal dan kaca. RDF mampu mereduksi jumlah sampah dan menjadi *co-combustion*, bahan bakar sekunder industri semen dan industri pembangkit listrik. Dalam pembuatan RDF, fraksi sampah yang mudah terbakar pada umumnya dilakukan reduksi ukuran lalu dikeringkan supaya dapat digunakan sebagai bahan bakar. *Refuse derived fuel* (RDF) merupakan bahan bakar alternatif yang berasal dari proses mekanis dengan bahan baku sampah perkotaan yang tercampur dimana sampah yang *non-combustible* disisihkan untuk menghasilkan campuran yang homogen. Secara umum sistem RDF memiliki dua fungsi yaitu produksi dan pembakaran. Terdapat beberapa karakteristik dan standar yang digunakan dalam mengolah sampah menjadi RDF, antara lain nilai kalor, kadar volatil, kadar abu, dan kadar air [6].



Gambar 1. Refuse Derived Fuel

RDF yang digunakan melewati proses pengujian terlebih dahulu. Pengujian yang dilakukan antara lain, Uji *Proximate*, Uji *Ultimate* dan Uji *Bomb calorimeter*. Pengujian-pengujian tersebut berguna untuk mengetahui kandungan yang terdapat pada RDF yang akan digunakan, sehingga parameter-parameter yang dibutuhkan dapat diketahui.

Tabel 1. Hasil Pengujian Proximate Analysis RDF.

Bahan Bakar	Moisture (%)	Volatile (%)	Ash (%)	Fixed Carbon (%)
RDF	7,11	53,58	24,20	15,10

Tabel 2. Hasil Pengujian Ultimate Analysis RDF.

Bahan Bakar	Carbon (%)	Hydrogen (%)	Nitrogen (%)	Oksigen (%)	Sulfur (%)
RDF	49,75	9,04	10,77	28,55	1,89

Tabel 3. Hasil Pengujian Bomb Calorimeter RDF.

Sampel	Massa (gr)	T1 (C°)	T2 (C°)	HHV (MJ/kg)	LHV (MJ/kg)	Massa H ₂ O (gr)
RDF	1,42515	26,896	29,713	15,889	14,311	0,699

2.3. Fluidisasi

Pada proses gasifikasi terdapat istilah yang dikenal dengan fluidisasi. Fluidisasi merupakan suatu kondisi dimana bahan bakar padat akan diperlakukan seperti fluida dengan memanfaatkan *bed material*. Fluidisasi juga dapat didefinisikan sebagai suatu operasi dimana hamparan zat padat diperlakukan seperti fluida [7].

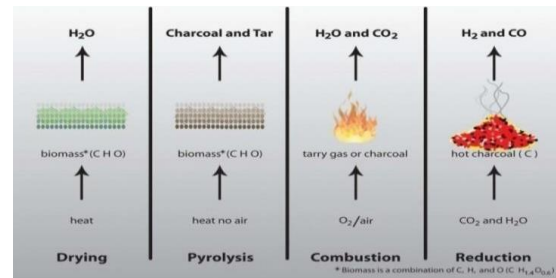
Sistem fluidisasi antara bahan bakar dengan *bed material* terjadi karena permukaan kontak yang luas. Apabila fluida yang melewati unggun partikel berkecepatan rendah maka unggun tidak dapat bergerak, sebaliknya, jika kecepatan dasar meningkat, perbedaan tekanan di sepanjang dasar juga akan meningkat. Ketika perbedaan tekanan sama dengan berat kasur dibagi luas penampang, kasur mulai bergerak dan melayang ke atas. Partikel padat ini akan bergerak dan berperilaku seperti zat cair. Keadaan seperti ini dikenal dengan hamparan terfluidisasikan (*fluidized bed*).

2.4. Teknologi Gasifikasi

Gasifikasi adalah proses perubahan energi dari bahan bakar karbon (padat atau cair) menjadi gas yang disebut gas sintesis (*syngas*), dimana gas tersebut memperoleh nilai bahan bakar melalui oksidasi parsial pada suhu tinggi. Gasifikasi adalah proses perubahan bahan bakar padat menjadi gas mampu bakar (CO, CH₄ dan H₂) melalui proses pembakaran dengan pasokan udara terbatas (20-40% udara stoikiometri). [8].

Proses gasifikasi dibedakan menjadi empat tahapan proses atas dasar perbedaan rentang temperatur, yaitu pengeringan ($T > 150^{\circ}\text{C}$), pirolisis ($150^{\circ}\text{C} < T < 700^{\circ}\text{C}$), oksidasi ($700^{\circ}\text{C} < T < 1500^{\circ}\text{C}$), dan reduksi ($800^{\circ}\text{C} < T < 1000^{\circ}\text{C}$). Proses pengeringan, pirolisis, dan

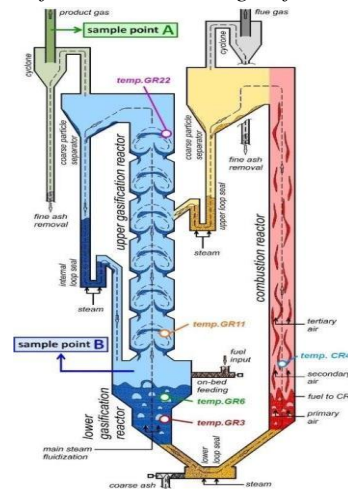
proses oksidasi bersifat melepas panas (eksotermik), sedangkan reduksi bersifat menyerap panas (endotermik) [9].



Gambar 2. Tahapan-tahapan Gasifikasi

2.5. Tipe Reaktor Gasifikasi

Teknik gasifikasi memerlukan reaktor sebagai tempat berlangsungnya sistem yang disebut *gasifier*. *Gasifier* dalam teknik fluidisasi memiliki berbagai macam tipe seiring dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan jenis gasifikasi yang berlangsung di dalamnya. Adapun tipe dari reaktor gasifikasi antara lain, *fixed/moving bed gasifier*, *fluidized bed gasifier* dan *dual*



reactor fluidized bed.

Source: "FIRST SCIENTIFIC RESULTS WITH THE NOVEL DUAL FLUIDIZED BED GASIFICATION TEST FACILITY AT TU WIEN"

Gambar 3. Dual Reactor Fluidized Bed

2.7. Agen Gasifikasi

Agen gasifikasi yang umum digunakan untuk gasifikasi adalah oksigen (O₂), karbondioksida (CO₂) dan uap air (H₂O). Penggunaan media gasifikasi dapat mempengaruhi kandungan gas pada *syngas*. Penggunaan udara bebas menghasilkan senyawa nitrogen yang padat pada *syngas*, berbeda dengan penggunaan oksigen/steam, nilai kalor yang dihasilkan *syngas* lebih baik dibandingkan penggunaan udara.

Penggunaan gas agen gasifikasi berupa H_2O dapat mengubah bahan bakar karbon menjadi *syngas* yang kaya hidrogen yang diakibatkan efek dari reaksi gas dan air [10]. Namun dengan digunakannya agen gasifikasi berupa CO_2 dan H_2O dapat menghasilkan peningkatan konversi arang atau (*char*) menjadi gas sehingga dapat mencapai hasil *tar* yang minimal [11].

2.8. Pembakaran Bahan Bakar

2.8.1. Nilai Pembakaran

Jika dalam 1 kg bahan bakar terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), belerang (S), nitrogen (N), abu (A), air (W) maka dapat dihitung nilai pembakaran atau *heating value* dari bahan bakar tersebut. Rumus yang digunakan untuk menentukan *heating value* adalah sebagai berikut,

$$Q_{high} = 33915 C + 114403 (H - O/8) + 10648 S \quad (kj/kg) \quad (6)$$

$$Q_{low} = 33915 C + 121423 (H - O/8) + 10648 S - 2512 (W + 9 \times O/8) \quad (kj/kg) \quad (7)$$

Dimana, Q_{high} = Nilai pembakaran tertinggi atau *highest heating value*, yang dalam hal ini uap air hasil pembakaran dicairkan terlebih dahulu, sehingga panas pengembunannya turut dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk.

Q_{low} = Nilai pembakaran terendah atau *lowest heating value*, yang dalam hal ini uap air yang terbentuk tidak perlu dicairkan, sehingga panas pengembunan tidak dihitung sebagai panas pembakaran yang terbentuk.

2.9. Bed Material

Bed material pada sistem gasifikasi berfungsi untuk menyimpan energi panas yang nantinya akan berkontak langsung pada permukaan bahan bakar. Sistem gasifikasi DRFB memerlukan bed material dengan ukuran yang relatif kecil sehingga bahan bakar dan bed material mampu mengalami fluidisasi pada tabung reaktor. Selain itu juga *bed material* diharapkan memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi.

Dalam penelitian ini, pembawa panas antar reaktor adalah material dasar pasir silika (99,4-99,9% SiO_2) dengan densitas partikel $2,18 \text{ gr/cm}^3$ dan panas spesifik kecil $0,20 \text{ kal/gram}^\circ\text{C}$. Karena pasir silika adalah bahan dasar yang tidak berpori, semakin kecil nilai kalor bahan tersebut, semakin mudah untuk menaikkan suhunya. Pasir silika memiliki titik lebur yang tinggi hingga mencapai 1800°C ,

sehingga sangat cocok untuk aplikasi *fluidized bed gasification* [12].

Ukuran bed material yang digunakan dalam *fluidized bed* berpotensi mempengaruhi unggun yang akan dihasilkan. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dengan metode rekayasa CFD (*Computational Fluid Dynamic*) pada *software ANSYS* menunjukkan bahwa semakin kecil partikel yang digunakan maka kecepatan partikel dalam unggun akan semakin besar sehingga partikel akan lebih mudah mengalami fluidisasi, yang tentunya juga akan mempercepat proses gasifikasi [13].



Gambar 4. Pasir Silika

2.10. Laju Pemakanan Bahan Bakar (*Fuel Feeding Rate*)

Laju pemakanan bahan bakar (*fuel feeding rate*) mengacu pada jumlah bahan bakar yang disuplai ke mesin atau perangkat pembakaran dalam satuan waktu [14]. Laju pemakanan bahan bakar, konsep ini penting dalam proses pembakaran karena pemakanan bahan bakar yang terlalu rendah dapat mengurangi efisiensi dan performa mesin, sementara pemakanan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada mesin [15].

Secara umum, *fuel feeding rate* dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk desain mesin atau perangkat pembakaran, jenis bahan bakar yang digunakan, dan kondisi operasi seperti suhu dan tekanan. Ada beberapa cara untuk mengukur *fuel feeding rate*, termasuk pengukuran langsung dengan menggunakan *flowmeter* atau pengukuran tidak langsung dengan menghitung konsumsi bahan bakar per unit waktu [15].

Pada mesin pembakaran dalam, *fuel feeding rate* dapat berpengaruh pada efisiensi termal, emisi gas buang, dan performa mesin. Peningkatan *fuel feeding rate* dapat meningkatkan daya mesin, tetapi pada saat yang sama dapat meningkatkan emisi gas buang dan penggunaan bahan bakar. Oleh karena itu, optimasi *fuel feeding rate* menjadi penting dalam upaya untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi, emisi, dan performa mesin yang optimal [14].

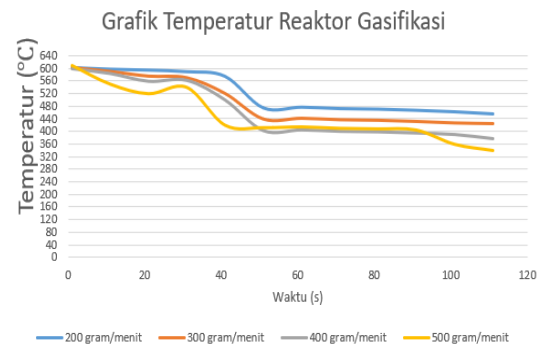
suhu reaktor gasifikasi dan pembakaran yang dihasilkan dari alat pengumpul data.

2.11. Metode Uji

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan unit *dual reactor fluidized bed* (DRFB). DRFB merupakan *gasifier* berbahan *stainless steel schedule 304*, *gasifier* DRFB terdiri dari 2 reaktor, dimana pembakaran dan gasifikasi berlangsung terpisah, kedua reaktor terhubung secara termal oleh *bed material* yang bersirkulasi [16]. Pada bagian ujung reaktor terdapat *cyclone* dengan ukuran 152,4 mm yang berfungsi untuk mensirkulasikan kembali bahan bakar dan *bed material* hingga bahan bakar terbakar secara sempurna. Reaktor pembakaran dan reaktor gasifikasi dihubungkan oleh 2 buah pipa berukuran 25,4 mm yang dinamakan *upper* dan *downer*. Kedua reaktor masing-masing dipasang 2 buah termokopel untuk melihat temperatur di dalam reaktor yang kemudian akan terhubung pada termokontrol dan *data logger*. Termokontrol digunakan menyeting temperatur agar sesuai dengan temperatur operasi dan pada *data logger* digunakan untuk merekam temperatur selama operasi. Kebutuhan udara yang digunakan untuk mensirkulasi bahan bakar dan *bed material* disuplai oleh *blower* dan kompresor. Sebelum memasuki reaktor pembakaran udara dari *blower* akan dipanaskan oleh *heater box* agar tercapai suhu yang telah ditentukan. Sedangkan udara yang disuplai oleh kompresor akan digunakan untuk mensirkulasikan campuran bahan bakar dan *bed material* melalui pipa *downer* dan dilakukan penginjeksian gas agen dari reaktor gasifikasi menuju ke reaktor pembakaran. Disamping itu juga pada pipa *upper* udara yang disuplai oleh kompresor berguna untuk mendorong campuran *bed material* dan bahan bakar dari reaktor pembakaran menuju reaktor gasifikasi serta, pada reaktor gasifikasi terpasang 7 heater dan pada reaktor pembakaran 2 heater yang terhubung langsung pada termokontrol.

2.12. Distribusi Temperatur

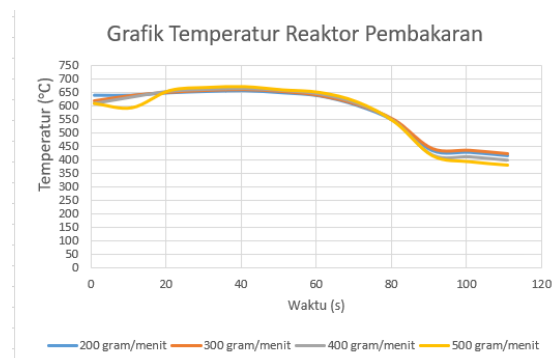
Saat dijalankan pengujian, setiap reaktor dilengkapi dengan dua termokopel yang terhubung ke termokontrol dan *data logger*. Dalam konfigurasi reaktor, termokopel yang terhubung ke termokontrol berperan dalam pengaturan suhu, sementara yang terhubung ke *data logger* berfungsi untuk merekam data suhu selama proses operasional berlangsung. Grafik berikut menunjukkan



Gambar 5. Grafik Temperatur Reaktor Gasifikasi

Pada tahap awal operasi, suhu di dalam reaktor gasifikasi turun seiring berjalannya waktu hingga akhir operasinya dikarenakan adanya reaksi endotermik dimana bahan bakar yang masuk menyerap energi panas yang ada pada *gasifier*. Namun, pada akhir reaksi, terlihat bahwa suhu reaktor gasifikasi masih sekitar 350°C. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar masih dapat mengalami proses gasifikasi.

Pada reaktor pembakaran terjadi peningkatan suhu yang disebabkan oleh proses pembakaran yang terjadi didalam reaktor dan reaksi eksotermik. Dan seiring berjalannya waktu, temperatur reaktor pembakaran mengalami penurunan yang menandakan bahwa bahan bakar pada reaktor telah habis.



Gambar 6. Grafik Temperatur Reaktor Pembakaran

6. Daftar Pustaka

- [1] Kholiq, I. (2015). *Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung*

- Substitusi BBM*. Jurnal IPTEK 19 (2), 75-77.
- [2] Ummatin, Kuntum Khoiro., & Novantio Bagas Putra Pratama. (2021). *Analisa Perilaku Rumah Tangga Dalam Mengelola Sampah Dalam Upaya Mendukung Energi Alternatif Refuse Derived Fuel (RDF)*. Jurnal Dinamika Teknik, 4(1), 40-47.
- [3] Muhammad, Wafi. (2012). *Studi Penerapan Sistem Gasifikasi Tempurung Kelapa Untuk Pembangkit Listrik*. Skripsi. Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- [4] Belgiorno, V., De Feo, G., Della Rocca, C., & Napoli, R. M. A. (2003). *Energy from gasification of solid wastes*. Waste Management, 23(1), 1–15.
- [5] Darma, I. W. A., Winaya, I. N. S., & Wirawan, I. K. G. (2018). *Studi Pengaruh Temperatur Reaktor Gasifikasi Terhadap Fuel Conversion Rate Gasifikasi Dual Reactor Fluidized Bed*. 4(2), 37–42.
- [6] Rania, M. F., I Gede E. L., & Eka M. (2019). *Analisis Potensi Refuse Derived Fuel (RDF) dari Sampah pada Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di Kabupaten Tegal Sebagai Bahan Incinerator Pirolisis*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin. 13(1), 51-59.
- [7] Basu, P & Fraser, S. A. (1991). *Circulating Fluidized Bed Boilers*. Butterworth-Heinemann. United States of America.
- [8] Rinovianto, G. (2012). *Karakteristik Gasifikasi pada Updraft Double Gas Outlet Gasifier Menggunakan Bahan Bakar Kayu Karet*. Skripsi. Universitas Indonesia.
- [9] Widyawidura, W., Ratih, P. L., Muhammad., S. C., Agus. P., Mochhammad. S. (2017). *Pengaruh Jenis Bahan Terhadap Proses Gasifikasi Sampah Organik Menggunakan Updraft Fixed Bed Reactor*. Jurnal Engine, 1(2), 30- 37.
- [10] Kuo, P., & Wu, W. (2015). *Design, Optimization and Energetic Efficiency of Producing Hydrogen-Rich Gas from Biomass Steam Gasification*. Energies. 8(1). 94–110.
- [11] Jeremias, M. (2017). *CO₂ gasification of biomass: The effect of lime concentration in a fluidized bed*. Applied Energy 217 (2018) 361–368.
- [12] Winaya, I N.S., Wirawan. I. K. G., Darma. I. W. A., Lokantara. I. P., Hartati. R. S. (2018). *An increase in bed temperature on gasification of dual reator fluidized bed*. International Journal of E3S Web of Conferences.
- [13] Winaya. I. N. S., Putrawan. I. M. A., Sujana. I. N. G., & Sucipta. M. (2014). *CFD Simulation of Heat Transfer in Fluidized Bed Reactor*. Trans Tech Publications Ltd. 493. 267-272.
- [14] Kalam, M, A., Masjuki, H, H., Hazrat, M, A., & Amalina, M, A. (2017). *Effects of fuel injection rate and timing on the combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with biodiesel-diesel blends*. International Journal of Energy Research.
- [15] Singh, S., Sharma, A., Singh, G, K., Singla, A., & Singh, N, K. (2018). *Optimization of performance and emission parameters of direct injection diesel engine fuelled with pongamia methyl esters-response surface methodology approach*. Industrial Crops and Products. (125). 218-226
- [16] Wilk, V., & Hofbauer, H. (2013). *Conversion of fuel nitrogen in a dual fluidized bed steam gasifier*. Fuel. (106). 793-801
- [17] Djokosetyardjo, M J. (1999). *Ketel Uap*. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- [18] Schmid, J. C., Müller, S., & Hofbauer, H. (2016). *First Scientific Results with the Novel Dual Fluidized Bed Gasification Test Facility at TU Wien*. In 24th European Biomass Conference and Exhibition (pp. 842–846).



Analisis Perhitungan Beban Pendinginan pada Gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana dengan Metode Cooling Load Temperature Difference

Arles Kurnia Sandi, Hendra Wijaksana, I Nengah Suarnadwipa
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Pengondisian udara pada bangunan perkuliahan bertujuan menciptakan kondisi yang nyaman bagi penghuni dalam suatu ruangan melalui proses perlakuan terhadap udara dalam mengatur suhu, kebersihan, kelembaban dan pendistribusian secara serentak. Perhitungan beban pendinginan bertujuan agar kapasitas pada beban puncak sesuai dengan yang diinginkan, mengurangi kerusakan akibat kerja unit yang terlalu berat dan mengurangi pemborosan energi. Pada penulisan dalam penelitian ini, penulis menggunakan metode cooling load temperature difference dalam menghitung beban pendinginan. Perhitungan metode ini berdasarkan pada penentuan letak posisi gedung, dimensi, detail bahan penyusun bangunan penentuan temperature udara dalam dan luar bangunan dan perhitungan beban internal dan eksternal. Dari hasil perhitungan beban pendinginan pada gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana, penulis dapat merekomendasikan kapasitas AC Split & AC Central. Nilai total beban pendinginan seluruh gedung dengan safety factor 10% sebesar 1.930.101,204 btu/h atau 565,66 kW.

Kata Kunci : Beban pendinginan, CLTD, Safety factor

Abstract

Air conditioning in lecture buildings aims to create comfortable conditions for occupants in a room through the process of treating air in regulating temperature, cleanliness, humidity and distribution simultaneously. Calculation of the cooling load aims to make the capacity at peak load as desired, reduce damage due to unit work that is too heavy and reduce energy wastage. At the time of writing in this study, the authors used the cooling load temperature difference method in calculating the cooling load. The calculation of this method is based on determining the position of the building, dimensions, details of building materials, determining the air temperature inside and outside the building and calculating internal and external loads. From the results of calculating the cooling load in the Advanced Research Laboratory building, Faculty of Engineering, Udayana University, the author can recommend the capacity of Split AC & Central AC. The total value of the cooling load for the entire building with a safety factor of 10% is 1,930,101.204 btu/h or 565.66 kW.

Keywords: Cooling load, CLTD, Safety factor.

1. Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan anomali kondisi alam terhadap kondisi normalnya dalam jangka waktu tertentu [1]. Perubahan suhu udara yang meningkat secara signifikan hingga perubahan musim menjadi salah satu tanda perubahan iklim [2]. Peningkatan suhu udara di Indonesia dalam kurun waktu 1990-2019 mengalami peningkatan sebesar 0,11°C - 1,24°C [3].

Peningkatan suhu ruangan dapat berpengaruh kepada konsentrasi belajar mahasiswa yang menurun. Pengondisian udara pada bangunan bertujuan menciptakan kondisi yang nyaman bagi penghuni dalam suatu ruangan melalui proses perlakuan terhadap udara dalam mengatur suhu, kebersi-

han, kelembaban dan pendistribusian secara Serentak [4]. Perhitungan beban pendinginan bertujuan agar kapasitas pada beban puncak sesuai dengan yang diinginkan, mengurangi kerusakan akibat kerja unit yang terlalu berat dan mengurangi pemborosan energi.

Temperatur udara puncak di Kabupaten Badung, Provinsi Bali pada tahun 2021 adalah 35,1°C dengan kelembaban relative atau relative humidity (RH) sebesar 56% [5]. Hal ini melebihi kondisi kenyamanan termal optimal untuk daerah tropis menurut kondisi perencanaan sebesar 24°C hingga 27°C dengan kelembaban relative 60% ± 5% [6]. Dengan kondisi tersebut, mesin pengondisian udara sangat

diperlukan untuk menunjang kenyamanan dalam beraktivitas dalam ruangan sesuai SNI 6390:2011.

Menyadari gangguan konsentrasi belajar mahasiswa karena pengaruh suhu lingkungan dan pentingnya kesesuaian kapasitas mesin pendingin di gedung Advanced Research Laboratory (ARL) Fakultas Teknik Universitas Udayana. Maka, penelitian ini akan menganalisis dan menghitung beban pendinginan gedung dengan metode cooling load temperature difference.

2. Dasar Teori

2.1. Pengkondisian Udara

Pengkondisian udara bertujuan mencapai kenyamanan termal penghuni yang berada didalam ruangan dengan mengatur suhu, kebersihan, kelembaban dan pendistribusian secara serentak [4].

Beberapa ruang lingkup penggunaan pengkondisian udara dan refrigerasi dalam kehidupan sehari-hari sebagai berikut :

1. Pengkondisian udara pada bangunan
2. Pengkondisian udara pada industri
3. Pengkondisian udara pada kendaraan
4. Pengkondisian udara pada pemrosesan makanan
5. Pengkondisian udara pada industri kimia dan proses

2.2. Kenyamanan Termal

Kenyamanan termal manusia didalam gedung dapat dilihat pada ketentuan kondisi perencanaan [6] sebagai berikut :

1. Ruang kerja
Temperature ruang kerja antara 24°C hingga 27°C dengan kelembaban relative 60% ± 5%.
2. Ruang koridor atau lobi
Temperatur ruang lobi antara 27°C hingga 30°C dengan kelembaban relative 60% ± 10%.

2.3. Beban pendinginan

Beban pendinginan adalah usaha mempertahankan kondisi udara ruangan pada kondisi tertentu dengan membuang atau mengeluarkan panas dalam ruangan [1]. Dalam menghitung beban pendinginan secara umum terdapat 3 metode sebagai berikut [7].

1. Metode Fungsi Transfer (TFM)
2. Metode Total Equivalent Temperature Difference (TETD)

3. Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD)

2.4. Cooling load temperature difference

Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) adalah metode manual untuk menghitung beban pendinginan melalui perolehan panas yang berasal dari faktor internal dan eksternal sebuah gedung.

Menurut [7] berdasarkan metode yang lain, Metode CLTD memiliki keunggulan sebagai berikut :

1. Keakuratan Metode
2. Perhitungan bersifat manual, murah dan cepat
3. Penyederhanaan dari metode lain

2.5. Perhitungan Beban Pendinginan

Untuk menghitung beban pendinginan diperlukan data-data sebagai berikut :

- a. Orientasi letak geografik
- b. Kontruksi ruangan
- c. Kondisi penentuan udara rancangan

2.5.1 Beban transmisi melalui dinding

Beban transmisi merupakan beban yang berasal dari panas konduksi sebuah kontruksi melalui atap, dinding hingga kaca. Beban transmisi melalui dinding dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times CLTD_c \quad (1)$$

$$CLTD_c = (CLTD + LM) K + (78 - tr) + (ta - 85) \quad (2)$$

$$ta = to - (DR/2) \quad (3)$$

Dimana :

Q = Beban pendinginan dinding (Btu/h atau watt)

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (Btu/h.ft²°F)

A = Luas permukaan (ft²)

CLTD_c = Nilai CLTD terkoreksi (°F)

LM = Faktor koreksi untuk bulan dan posisi lintang

K = Faktor kesesuaian warna dinding

K = 1 (untuk warna hitam / merah)

K = 0,83 (untuk coklat terang, biru muda)

K = 0,65 (untuk warna terang ; krem)

ta = Temperatur udara luar rata-rata (°F)

tr = Temperatur ruangan (°F)

to = Temperatur udara luar (°F)

DR = Daily range / kisaran temperatur harian

2.5.2 Beban transmisi melalui atap

Beban transmisi melalui atap dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times CLTD_c \quad (4)$$

$$CLTD_c = [(CLTD + LM) K + (78 - tr) + (ta - 85)] \times f \quad (5)$$

Dimana :

Q = Beban pendinginan dinding (Btu/h atau watt)

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (Btu/h.ft²°F)

A = Luas permukaan (ft²)

CLTD_c = Nilai CLTD terkoreksi (°F)

LM = Faktor koreksi untuk bulan dan posisi lintang

tr = Temperatur ruangan (°F)

ta = Temperatur udara luar rata-rata (°F)

to = Temperatur udara luar (°F)

DR = Daily range / kisaran temperatur harian

f = Faktor fan /saluran

f = 1 (tanpa aktif fan / saluran)

f = 0,75 (menggunakan aktif fan)

2.5.3 Beban transmisi melalui kaca

Beban transmisi melalui kaca dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times CLTD_c \quad (6)$$

$$CLTD_c = (CLTD + LM) + (78 - tr) + (ta - 85) \quad (7)$$

Dimana :

Q = Beban pendinginan dinding (Btu/h atau watt)

U = Koefisien perpindahan kalor menyeluruh (Btu/h.ft²°F)

A = Luas permukaan (ft²)

CLTD_c = Nilai CLTD terkoreksi (°F)

LM = Faktor koreksi untuk bulan dan posisi lintang

tr = Temperatur ruangan (°F)

ta = Temperatur udara luar rata-rata (°F)

to = Temperatur udara luar (°F)

DR = Daily range / kisaran temperatur harian

2.5.4 Beban radiasi melalui kaca

Beban radiasi merupakan beban yang berasal dari kaca yang terkena sinar matahari / energi dari matahari. Beban radiasi melalui kaca dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = SHGF \times A \times SC \times CLF \quad (8)$$

Dimana :

Q = Beban kalor radiasi (Btu/h)

SHGF = Maximum solar heat gain factor (Btu/h.ft²)

A = Luas kaca (ft²)

CLF = Cooling load factor

SC = Shading coefficient

2.5.5 Beban infiltrasi

Beban infiltrasi merupakan beban yang berasal dari ketidaksengajaan udara masuk kedalam ruangan yang dikondisikan. Beban infiltrasi dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q_s = 1,1 \times (CFM \times A) \times \Delta T \quad (9)$$

$$Q_l = 0,68 \times (CFM \times A) \times (\omega_o - \omega_i) \quad (10)$$

Dimana :

Q_s = Kalor sensible (Btu/h)

Q_l = Kalor laten (Btu/h)

CFM = Nilai laju udara masuk infiltrasi (CFM/ft²)

ΔT = Selisih antara temperatur udara luar dan dalam (°F)

ω_o, ω_i = Selisih rasio kelembaban udara (g/kg)

A = Luas permukaan (ft²)

2.5.6 Beban ventilasi

Beban ventilasi adalah udara yang secara sengaja dimasukkan kedalam ruangan yang didinginkan untuk menambah kandungan oksigen dan mengurangi polutan dalam ruangan. Beban ventilasi dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$Q_s = 1,1 \times (CFM \times A) \times \Delta T \quad (11)$$

$$Q_l = 0,68 \times (CFM \times A) \times (\omega_o - \omega_i) \quad (12)$$

Dimana :

Q_s = Kalor sensible (Btu/h)

Q_l = Kalor laten (Btu/h)

CFM = Nilai laju udara masuk infiltrasi (CFM/ft²)

ΔT = Selisih antara temperatur udara luar dan dalam (°F)

ω_o, ω_i = Selisih rasio kelembaban udara (g/kg)

A = Luas permukaan (ft²)

2.5.7 Beban partisi

Beban partisi merupakan beban yang berasal dari penjalaran panas dari ruangan yang bersebelahan langsung antara ruangan terkondisikan dengan ruangan yang tidak terkondisikan. Beban partisi dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (13)$$

Dimana :

Q = Beban kalor melalui partisi (Btu/h)

U = Koefisien perpindahan panas menyeluruh (Btu/h.ft² °F)

A = Luas permukaan (ft²)

ΔT = Beda temperatur antara ruangan yang dikondisikan dengan ruangan yang tidak dikondisikan (°F).

2.5.8 Beban penerangan / lampu

Beban penerangan lampu dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = 3,4 \times (n \times W) \times BF \times CLF \quad (14)$$

Dimana :

Q = Beban kalor lampu (Btu/h)

n = Jumlah lampu

W = Daya lampu (watt)

BF = Ballast factor

BF = 1,25 (lampu neon /TL/LED)

BF = 1 (lampu pijar/bohlam)

CLF = Cooling load factor

CLF = 1 (untuk sistem pendingin tidak digunakan 24 jam)

2.5.9 Beban penghuni / manusia

Manusia melepaskan kalor sensible dan kalor laten ke ruangan yang dikondisikan. Beban penghuni dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = q_s \times n \times CLF \quad (15)$$

$$Q_l = q_l \times n \quad (16)$$

Dimana :

Q_s = Kalor sensible (Btu/h)

Q_l = Kalor laten (Btu/h)

q_s , q_l = Perolehan panas sensible dan laten

n = Jumlah orang

CLF = Cooling load factor

CLF = 1,0 apabila sistem dimatikan pada malam hari.

2.5.10 Beban peralatan

Beban peralatan merupakan beban panas yang diakibatkan oleh peralatan. Beban peralatan dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q = n \times HG \text{ Peralatan} \quad (17)$$

Dimana :

Q = Beban kalor peralatan (Btu/hr)

n = Jumlah peralatan yang terpakai

HG Peralatan = Heat gain peralatan (Btu/hr)

2.5.11 Faktor keamanan

Faktor keamanan dalam sebuah perencanaan alat pengkondisian udara harus dimasukkan untuk mengurangi perubahan alat pengkondisian udara dimasa mendatang. Standar ASHRAE fundamental tahun 1997 chapter 28 faktor keamanan beban pendingina ditambahkan sebesar 10% dari total beban pendinginan [8].

3. Metode penelitian

Penelitian dilakukan dari bulan November 2022 hingga Juni 2023 dengan temperature dan kelembaban udara rancangan sebesar

24°/55%. Lokasi penelitian ini bertempat di Gedung Advanced Research Laboratory (ARL) Fakultas Teknik Universitas Udayana, Badung, Bali dengan koordinat 8°47'42.5"S 115°10'35.9"E.



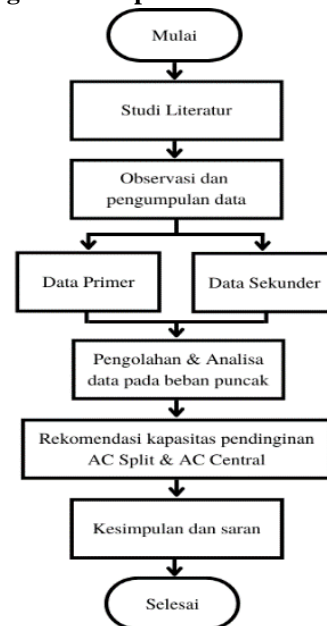
Gambar 1. Tampak depan gedung ARL

3.1 Alat

Dalam penelitian ini, peralatan yang digunakan sebagai berikut :

- Seperangkat laptop sebagai hardware dalam membantu penyusunan skripsi ini.
- Roll meter sebagai alat ukur.
- Kalkulator sebagai alat hitung.
- Hygrometer sebagai alat ukur temperature & kelembaban udara

3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan dengan tahapan penelitian yang telah dilakukan, penulis mendapatkan hasil penelitian. Hasil yang didapatkan dari perhitungan beban pendinginan gedung advanced research laboratory fakultas teknik universitas udayana ditunjukkan seperti gambar berikut.

Rekomendasi perhitungan beban pendinginan gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana				
No	Nama	Beban pendinginan (btu/h)	Rekomendasi AC SPLIT (PK)	Rekomendasi AC VRV (PK)
1	Ruangan 1.1	44.735,031	5	390.248,612 btu/h (Mitsubishi PUHY- P1050YSKD) @392.400btu/h
2	Ruangan 1.2	43.097,794	5	
3	Ruangan 1.3 (Technopreuner)	33.817,576	4	
4	Ruangan 1.4 (Ruang Rapat)	29.884,877	3,5	
5	Lab. Teknik sipil 1	42.877,128	5	
6	Lab. Teknik sipil 2	47.647,137	5,5	
7	Lab. Instrumental pemodelan	35.423,550	4	
8	Lab. K3	35.695,330	4	
9	Lab. NRCE	28.884,715	3,5	
10	Lab. Kualitas lingkungan	26.955,219	3	
11	Lab. Limbah padat	21.393,715	2,5	
12	Ruangan 2.1	40.026,731	4,5	
13	Ruangan 2.2	38.939,210	4,5	
14	Ruangan 2.3	45.270,676	5,5	
15	Ruangan 2.4	41.161,182	5	
16	Lab. Industri manufaktur	36.772,096	4,5	
17	Lab. Fenomena teknik mesin	51.832,881	6	
18	Lab. Analisa bahan	58.388,292	7	
19	Lab. Mekanika material	30.524,192	3,5	
20	Lab. Tesmic	31.517,628	3,5	
21	Lab. Rekayasa material	26.920,128	3	
22	Ruang Dosen	6.439,952	0,75	
23	Lab. Heatpipe & nanotech	21.673,800	2,5	
24	Ruang Studio 3.1	147.973,215	17	
25	Ruang tugas akhir 3.2	165.132,966	18,5	
26	Ruang studio besar 3.3	142.254,177	16	
27	Ruang studio C 3.4	27.390,723	3,5	
28	Ruang studio B 3.5	42.049,508	5	
29	Ruang studio A 3.6	27.390,723	3,5	
30	Ruangan 4.1	45.429,683	5,5	
31	Ruangan 4.2	53.770,662	6	
32	Ruangan 4.3	51.089,921	6	
33	Ruangan 4.4	56.992,366	6,5	
34	Lab. Elektronika 1	43.514,220	5	
35	Lab. Elektronika 2	49.467,365	5,5	
36	Lab. Komputer bersama	162.552,587	18,5	
37	Lab. Energy powersystem	27.810,093	3,5	
38	Lab. Smart grid & EV	37.663,177	4,5	
39	Lab. Mekatronika	29.904,438	3,5	
TOTAL (btu/h)			1.930.101,204	

Gambar 3. Hasil dan rekomendasi perhitungan beban pendinginan

5. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan penelitian sebagai berikut :

- Beban pendinginan total untuk gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana sebesar 1.930.101,204 btu/h atau 565,66 kW dengan distribusi beban pendinginan pada lantai 1 sebesar 390.248,612 btu/h, lantai 2 sebesar 429.466,769 btu/h, lantai 3 sebesar 552.191,313 btu/h dan lantai 4 sebesar 558.193,512 btu/h
- Dari hasil perhitungan beban pendinginan pada gedung Advanced Research Laboratory Fakultas Teknik Universitas Udayana penulis merekomendasikan menggunakan alat pengkondisian udara seperti pada gambar 3.

6. Daftar Pustaka

- Puspitasari, N. dan Surendra, O. 2016 *Analisis Tren Perubahan Suhu Udara Minimum Dan Maksimum Serta Curah Hujan Sebagai Akibat Perubahan Iklim Di Provinsi*. Journal Sains 16(2), 66–72.

- Alfiandy, S., dan Permana, D. S. 2020. *Tren Curah Hujan Berbasis Data Sinoptik Bmkg Dan Reanalisis Merra-2 Nasa Di Provinsi Sulawesi Tengah*. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca, 21(2), 63–72 <https://doi.org/10.29122/jstmc.v21i2.4132>

- Prasetyo, S. dan Riama, N. F. 2021. *Variasi dan Trend Suhu Udara Permukaan di Pulau Jawa Tahun 1990-2019*. Jurnal Geografi : Media Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian, 18(1), 60–68 <https://doi.org/10.15294/jg.v18i1.27622>

- W. F. Stocker dan S. Hara. 1982. *REFRIGERATION AND Second Edition*

- BMKG III Denpasar. 2022. *Pengamatan Unsur Iklim di Stasiun Meteorologi I Gusti Ngurah Rai Kabupaten Badung , 2021 Observation*.

- Badan Standarisasi Nasional. 2011. SNI 6390:2011 *tentang Konservasi Energi pada Sistem Tata Udara*. Sni 6390:2011

- Badan Standarisasi Nasional. 2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara pada Bangunan Gedung*. Sni 03 - 6572 - 2001, 1–55

- Rachmayanti, S. A. 2015. *Perhitungan ulang sistem pengkondisian udara pada lantai 3 mall di Surabaya*. <https://repository.its.ac.id/72193/>

	<p>Arles Kurnia Sandi telah menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 hingga 2023.</p>
<p>Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan Mekanikal, Elektrikal, Plumbing & HVAC (MEP-HVAC).</p>	

Pengaruh Variasi Fraksi Volume Biokomposit Batang Padi Dan Resin *Epoxy – Polyester* Terhadap Kekuatan Tarik Dan Densitas

Ezza Ikhfan Naelendra, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Putu Lokantara
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana kekuatan tarik dan densitas komposit epoxy-polyester berpenguat batang padi dengan fraksi volume 5%, 10%, 15%. Penelitian ini menggunakan batang padi sebagai penguat dan campuran resin epoxy-polyester sebagai pengisi. Batang yang digunakan berukuran 3cm. Proses pencetakan menggunakan teknik *Hand Lay-up* dengan susunan serat acak serta menggunakan ASTM D-3039, ASTM D 792-08 sebagai acuan pengujian tarik dan densitas. Hasil uji tarik didapatkan kekuatan tarik tertinggi berada pada variasi 5% sebesar 10,432 MPa. Dan kekuatan tarik terendah berada pada variasi 15% sebesar 4,589 MPa. Pada uji densitas nilai tertinggi didapatkan pada variasi 5% sebesar 1,057 gr/cm³. Dan nilai terkecil pada variasi 15% sebesar 1,038 gr/cm³. Hal ini diperkuat dari pengamatan foto mikro dimana komposit berpenguat batang pada variasi 5% mampu mengikat sempurna dengan matriks sehingga mempunyai kekuatan tarik tertinggi, namun seiring penambahan variasi batang padi, ikatan yang terjadi semakin memburuk sehingga pull out atau terlepasnya serat dari matriks yang semakin meningkat. Dapat disimpulkan bahwa pada komposit dengan variasi 5% batang padi memiliki kekuatan maksimum.

Kata kunci : Batang jerami padi, Resin Epoxy, Resin Polyester, Fraksi Volume, Uji Tarik, Uji Densitas, Foto Mikro

Abstract

The purpose of this study was to determine the tensile strength and density of epoxy-polyester composites reinforced with rice stalks with volume fractions of 5%, 10%, 15%. This research uses rice straw as reinforcement and epoxy-polyester resin blend as filler. The stems used are 3cm in size. The molding process uses the Hand Lay-up technique with random fiber arrangement and uses ASTM D-3039, ASTM D 792-08 as a reference for tensile and density testing. The tensile test results obtained the highest tensile strength was in the 5% variation of 10.432 MPa. And the lowest tensile strength was in the 15% variation of 4.589 MPa. In the density test, the highest value was found in the 5% variation of 1.057 gr/cm³. And the smallest value in the 15% variation of 1.038 gr/cm³. This is reinforced from the observation of micro photos where the stem-reinforced composite at the 5% variation is able to bind perfectly with the matrix so that it has the highest tensile strength, but as the variation of rice stalks is added, the bonding that occurs is getting worse so that the pull out or detachment of the fibers from the matrix is increasing. It can be concluded that the composite with 5% variation of rice stalks has the maximum strength.

Keywords : Rice straw stalk, Epoxy resin, Polyester resin, Volume fraction, Tensile test, Density test, micro photo

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang pesat pada industri manufaktur menghasilkan material yang dikenal sebagai komposit. Komposit dirancang sebagai material pengganti logam, keunggulan pada komposit seperti; mempunyai daya tahan korosi sangat baik, pembuatan material yang sangat murah, dan memiliki kekuatan mekanik cukup tinggi [1]. Polimer salah satu yang paling sering digunakan sebagai matrix pada pembuatan komposit modern [2]. Penggabungan dua atau lebih polimer sering menunjukkan sifat yang lebih unggul dibanding dengan satu komponen saja [3].

Serat merupakan salah satu komponen utama pada pembuatan komposit, serat dibedakan menjadi dua yaitu alami dan sintetis. Komposit serat alami mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan dengan serat sintesis yaitu kualitas dari serat dapat divariasikan, mudah didapatkan dan dapat didaur ulang [4]. Serat yang dapat menjadi pertimbangan adalah serat jerami. Jerami padi masih belum dimanfaatkan secara maksimal; 36–62% darinya dibakar atau dibuang, dan hanya 7–16% yang digunakan dalam industri. Dibandingkan dengan

limbah pertanian lainnya, jerami padi merupakan limbah pertanian yang cukup mudah didapatkan. [5].

Batasan masalah ditujukan untuk menghindari adanya pelebaran pokok masalah, adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- 1) Bahan specimen terbuat dari material
 - Resin *epoxy sikadur 52-id* dicampur dengan resin *polyester yukalac 157 BQTN*.
 - Hardener
 - Penguat komposit dari limbah jerami padi yang diambil dari Desa Sanding, Kecamatan Tampaksiring, Kabupaten Gianyar.
 - Jerami padi yang digunakan, jerami baru panen Varietas IR64.
 - Bagian yang digunakan yaitu batang utama buku kedua dari atas.
- 2) Variasi fraksi volume Batang Padi (5%, 10%, 15%)

- 3) Metode pembuatan spesiemen komposit menggunakan teknik *hand lay-up*
- 4) Susunan serat batang padi pada pembuatan komposit adalah susunan secara acak dengan ukuran 3 cm.

2. Landasan Teori

2.1 Batang Padi

Batang padi berasal dari tanaman dengan nama latin *Oriza sativa* atau biasa dikenal dengan padi merupakan tanaman penghasil beras dan menjadi sumber pangan utama bagi penduduk di negara Indonesia. tidak hanya di Indonesia hampir separuh penduduk dunia, terutama penduduk Benua Asia menggantungkan hidupnya dari tanaman padi [6]. Pada jerami padi mengandung selulosa 39%, hemiselulosa 27,5%, lighnin 12,5% dan abu 11,5% [7].

2.2 Resin Epoxy

Resin Epoxy adalah salah satu jenis dari polimer termoset dimana sering digunakan sebagai pengikat komposit. Keuntungan resin epoksi antara lain memiliki kekuatan tinggi, karakteristik isolasi dan dielektrik, penyusutan rendah, dan stabilitas dimensi. [8]

2.3 Resin Polyester

Resin polyester memiliki kekentalan lebih rendah jika dibandingkan dengan epoxy serta harganya yang lebih terjangkau. Resin polyester banyak digunakan pada kontruksi sebagai komposit, dll [9]. Adapun sifat dari resin polyester mempunyai gaya adhesi yang cukup baik namun lebih rendah dari epoxy [10]

2.4 Uji Tarik

Uji tarik merupakan pengujian pada material yang bertujuan untuk mengetahui modulus elastisitas, tegangan, dan regangan bahan tersebut.. pada penelitian ini digunakan standar uji tarik ASTM D3039. Dalam pengujian ini dilakukan pengamatan terhadap penambahan beban dan pertambahan panjang secara terus-menerus selama proses pengujian berlangsung.



Gambar 1. Uji Tarik

Rumus untuk mencari nilai kekuatan tarik serta regangan pada spesiemen komposit adalah sebagai Berikut :

$$\text{Tegangan Tarik } \sigma = \frac{P}{A_0} \quad (1)$$

$$\text{Regangan Tarik } \epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Modulus elastisitas } E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3)$$

Keterangan:

σ = Tegangan Tarik (MPa)

P = Gaya (N)

A_0 = Luas Penampang awal (mm²)

ϵ = Regangan Tarik (%)

ΔL = Pertambahan Panjang Spesiemen (mm)

E = Modulus Elastisitas (GPa)

L_0 = Panjang Spesiemen Awal (mm)

2.5 Uji Densitas

Densitas merupakan kepadatan suatu zat dapat dinyatakan secara matematis sebagai rasio massa terhadap volume. Perhitungan massa jenis dapat digunakan dalam penelitian ini dengan menggunakan standar uji massa jenis ASTM D792-08 untuk membantu mengidentifikasi sifat-sifat material yang akan menentukan apakah akan mengapung atau tenggelam dalam fluida.



Gambar 2. Uji Densitas

Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai densitas material pada penelitian ini sebagai berikut :

$$\rho = \frac{M_s}{M_b - (M_g - M_k)} \times \rho_{\text{minyak tanah}} \quad (4)$$

Keterangan :

ρ = Densitas Sampel

M_k = Massa kawat penggantung (gr)

M_s = Massa spesiemen udara (gr)

M_g = Massa spesiemen digantung (gr)

M_b = Massa spesiemen basah (gr)

2.6 Pengamatan Fotomikro

Uji SEM merupakan sebuah teknik yang berfungsi untuk mengamati morfologi pada permukaan material uji. Pengamatan fotomikro dapat menghasilkan gambar dari material uji sesuai dengan pembesaran yang diinginkan. Mengamati dengan skala mikroskopik dapat mengungkapkan bagaimana bentuk permukaan material uji, mode kegagalan yang terjadi, kepadatan seta mengetahui kandungan *void* yang berada pada material uji.

3. Metode Penelitian

3.1 Proses Pembuatan Spesimen

- 1 Siapkan bahan penelitian dan alat-alat penelitian.
- 2 Timbang Batang Padi dan campuran resin sesuai dengan fraksi volume yang ditentukan (5% : 95%, 10% : 90%, 15% : 85%).
- 3 Resin yang telah ditimbang, dicampur hardener dengan perbandingan 2:1 kedalam gelas ukur, kemudian diaduk hingga tercampur dengan baik.
- 4 Menyiapkan cetakan spesimen.
- 5 Bersihkan cetakan dengan acetone, agar cetakan bersih.
- 6 Berikan sealan untuk menutup celah pada cetakan agar komposit tidak merembes atau bocor keluar cetakan.
- 7 Tuangkan setengah campuran resin pada cetakan secara merata dengan menggunakan kuas.
- 8 Kemudian masukan batang padi kedalam cetakan dengan susunan serat acak, setelah itu masukan kembali sisa resin kedalam cetakan. Usahakan tidak tercipta Void.
- 9 Tutup cetakan dengan memberikan tekanan sekaligus meratakan, untuk mengurangi void atau rongga dalam spesimen.
- 10 Tunggu proses pengeringan komposit selama 12-24 jam.
- 11 Setelah kering, lepaskan komposit dari cetakan secara hati-hati dan perlahan agar tidak rusak.
- 12 Kemudian potong spesimen sesuai dengan standar ASTM yang telah ditentukan. Untuk uji tarik menggunakan ASTM D3039 dan untuk uji densitas menggunakan ASTM D792 – 08. Jumlah spesimen untuk setiap fraksi volume dan masing-masing pengujian adalah 3 spesimen.

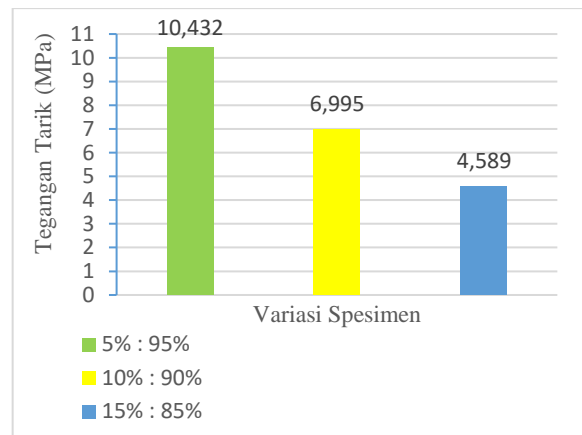
4. Hasil Dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Penelitian Uji Tarik

Berikut nilai rata-rata uji tarik spesimen komposit bertulang batang padi dalam bentuk grafik batang seperti pada Gambar 3:



Gambar 3. Patahan Spesimen Uji



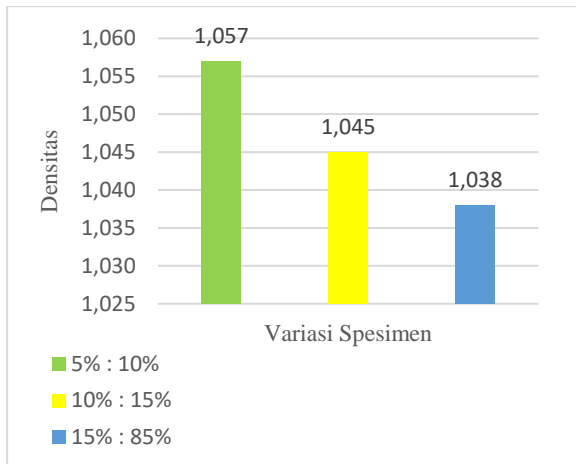
Gambar 4. Grafik Kekuatan Tarik

Dari gambar 4, dapat dilihat bahwa nilai tertinggi didapatkan pada variasi 5% penambahan batang padi sebesar 10,432 Mpa, pada variasi 10% penambahan batang padi sebesar 6,995 MPa dan nilai terendah didapatkan pada variasi 15% batang padi sebesar 4,589 MPa.

Secara umum terjadi penurunan disetiap penambahan variasi batang padi, hal ini disebabkan ikatan yang terjadi semakin melemah pada setiap variasi penambahan batang padi yang dilakukan. Hal tersebut diakibatkan dari kandungan *wax* dan silika yang dapat menghalangi terbentuknya ikatan antara batang padi dan matrik [11]. Pada kondisi seperti ini spesimen komposit mengalami kegagalan lebih awal walaupun masih mampu menahan beban lebih tinggi [12]. Jika ditinjau dari patahan yang terjadi, patahan didominasi oleh *Pull Out* atau terlepasnya batang padi dari matriks yang semakin meningkat disetiap penambahan variasi batang padi.

4.2 Hasil Uji Densitas

Berikut adalah nilai rata-rata yang didapatkan pada pengujian densitas yang disajikan dalam bentuk diagram batang pada gambar 5 :



Gambar 5. Rata-rata Nilai Densitas

Pada hasil pengujian densitas yang ditunjukkan gambar 5, nilai terbesar didapatkan pada variasi 5% batang padi sebesar 1,057 gr/cm³, pada variasi 10% sebesar 1,045 gr/cm³, dan nilai terendah didapatkan pada variasi penambahan 15% batang padi sebesar 1,038 gr/cm³.

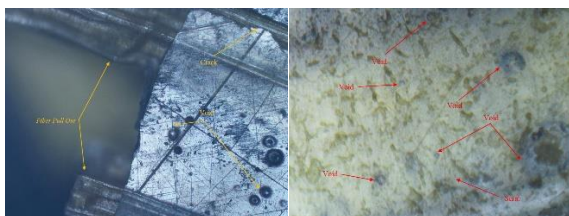
Berdasarkan hasil pengujian densitas, terjadi penurunan nilai pada setiap penambahan variasi batang padi. Hal tersebut disebabkan dari nilai densitas pada batang padi lebih kecil dari nilai densitas matriks yang digunakan [13]. Serta banyaknya rongga-rongga yang tidak dapat terisi dengan baik menjadikan nilai densitas pada biokomposit semakin menurun [14].

4.3 Hasil pengamatan foto mikro

Berikut adalah hasil pengamatan foto mikro pada permukaan bikomposit batang padi.



Gambar 6. Pengamatan Foto Mikro Variasi 5% Batang Padi



Gambar 7. Pengamatan Foto Mikro Variasi 10% Batang Padi



Gambar 8. Pengamatan Foto Mikro Variasi 15% batang padi

Berdasarkan hasil pengamatan foto mikro yang dilakukan pada permukaan komposit dapat dilihat bahwa patahan yang terjadi disebabkan oleh terlepasnya batang padi dari matriks atau *Fiber Pull Out* yang terjadi karena ikatan pada komposit semakin meburuk [15]. Serta ditemukannya void yang terbentuk dari udara yang terperangkap pada saat penuangan resin dan proses penekanan pada pencetakan

5. Penutup

5.1 Simpulan

Dari hasil penelitian ini mengenai pengaruh variasi fraksi volume batang padi dan resin epoxy-polyester terhadap kekuatan tarik dan densitas dapat disimpulkan bahwa :

1. Hasil uji tarik didapatkan nilai tegangan Nilai rata-rata tegangan tarik mengalami penurunan pada setiap penambahan variasi fraksi volume, nilai terbesar terdapat pada variasi fraksi volume 5% batang padi sebesar 10,432 Mpa dan nilai terendah didapatkan pada variasi fraksi volume 15% sebesar 4,589 MPa.
2. Pada pengujian densitas menunjukkan bahwa nilai densitas tertinggi terdapat pada variasi fraksi volume 5% batang padi sebesar 1,057 gr/cm³ dan nilai paling sebesar 1,038 gr/cm³ pada variasi fraksi volume 15% batang padi.
3. Hasil pengamatan foto mikro yang menunjukkan komposit dengan variasi fraksi volume 5% batang padi mempunyai ikatan paling baik antara batang padi dan matriks, dibandingkan dengan variasi 10% dan 15% batang padi, sehingga nilai maksimum didapatkan pada variasi 5% batang padi.

5.2 Saran

Dengan hasil penelitian pengaruh variasi fraksi volume biokomposit batang padi dan resin epoxy-polyester terhadap kekuatan tarik dan densitas, adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis dengan harapan dapat membantu untuk mengembangkan dan menjadi pertimbangan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian tentang komposit batang padi dengan matriks campuran epoksi dan polyester adalah hal yang baru, diharapkan pada penelitian selanjutnya dilakukan dengan memvariasikan variabel-variabel yang berpengaruh agar mendapatkan hasil pengujian yang lebih optimal.

2. Untuk meningkatkan kekuatan komposit dapat juga menggunakan perlakuan atau penggunaan panjang pada batang padi.
3. Pemilihan metode lain seperti *vacuum bag*, *pressure bag* dll yang dapat meningkatkan kekuatan dari komposit..

Daftar Pustaka

- [1] Tarumanagara, A. J. T. M. U. (2014). Kekuatan Tarik Komposit Matrik Polimer Berpenguat Serat Alam Bambu Gigantochloa Apus Jenis Anyaman Diamond Braid dan Plain Weave. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol*, 7(1), 1-118.
- [2] Saidah, A., Susilowati, S. E., & Nofendri, Y. (2018). Analisa perbandingan kekuatan tarik dan impak komposit serat jerami padi polyester dengan komposit serat jerami padi-epoxy dengan metode hand lay up. *Prosiding snast*, 291-298.
- [3] Prasanna, G. V., & Subbaiah, K. V. (2013). Modification, flexural, impact, compressive properties & chemical resistance of natural fibers reinforced blend composites. *Malaysian Polymer Journal*, 8(1), 38-44.
- [4] Lokantara, I. P., Suardana, N. P. G., & Karohika, I. M. G. (2009). Efek Fraksi Volume Serat dan Penyerapan Air Tawar Terhadap Kekuatan Bending Komposit Tapis Kelapa/Polyester. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CakraM*, 3(2), 138-143.
- [5] Rochim, M. N., & Ningsih, T. H. (2021). Penggunaan Serat Jerami Padi Dalam Pembuatan Material Komposit Sebagai Alternatif Bahan Bumper Mobil. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(03), 1-6.
- [6] Supartha, I. N. Y., Wijana, G. E. D. E., & Adnyana, G. M. (2012). Aplikasi jenis pupuk organik pada tanaman padi sistem pertanian organik. *E-Jurnal agroekoteknologi tropika*, 1(2), 98-106.
- [7] Putri, P. Y. (2014). *Pemanfaatan Limbah Ampas Aren Dan Jerami Padi Sebagai Media Tambahan Untuk Menunjang Pertumbuhan Dan Produktivitas Jamur Tiram Putih (Pleurotus Ostreatus)* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- [8] Siregar, I. C. R., Yudo, H., & Kiryanto, K. (2017). Analisa Kekuatan Tarik dan Tekuk pada Sambungan Pipa Baja dengan Menggunakan Kanpe Clear NF sebagai Pengganti Las. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4).
- [9] Arnando, I. N. (2016). Pengaruh fraksi volume serat terhadap ketangguhan impact komposit berpenguat serat kulit batang melinjo (gnetum gnetum)-resin epoxy.
- [10] Aji Prasetyaningrum, A. P., Rokhati, N., Rokhati, N., & Anik Kristi, A. K. (2009). Optimasi proses pembuatan serat eceng gondok untuk menghasilkan komposit serat dengan kualitas fisik dan mekanik yang tinggi. *Riptek*, 3(1), 45-50.
- [11] Raharjo, Wisnu. W., & Ariawan, D. (2008). Pengaruh pemakaian serbuk jerami ir 64 sebagai filler komposit uprs terhadap kekuatan tarik ditinjau dari variasi fraksi berat. *Mekanika*, 7(1).
- [12] Diharjo, K. (2006). Pengaruh perlakuan alkali terhadap sifat tarik bahan komposit serat rami-polyester. *Jurnal Teknik Mesin*, 8(1), 8-13..
- [13] Siagian, E. M. (2017). Sifat Komposit Berpenguat Serat Pinang Dengan Fraksi Berat 2%, 4%, 6%, dan 8%. *Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*.
- [14] Mahfuzin, A. N., Respati, S. M. B., & Dzulfikar, M. (2020). Analisis Filter Keramik Berpori Berbasis Zeolit Alam dan Arang Sekam Padi dalam Menurunkan Kandungan Partikel Air Sumur Galian. *Majalah Ilmiah Momentum*, 16(1).
- [15] Nurdiansyah, F. F., Sulardjaka, S., & Iskandar, N. (2021). Pengaruh fraksi massa dan arah orientasi serat terhadap kekuatan tegangan geser komposit berpenguat serat rami dengan matriks gondorukem. *Jurnal teknik mesin*, 9(1), 81-90.
- [16] Sujana, W., & Widi, I. K. A. (2013). Pemanfaatan Silicon Rubber Untuk Meningkatkan Ketangguhan Produk Otomotif Buatan Lokal. *Jurnal Energi dan Manufaktur Vol*, 6(1), 1-94.



Ezza Ikhfan Naelendra menyelesaikan studi program sarjana pada program studi Teknik Mesin Universitas Udayana

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur

Studi Eksperimental Karakteristik Hambatan Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi

Gede Ogie Indra Putra, Hendra Wijaksana, I Gede Teddy Prananda Surya
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sistem pendingin udara saat ini banyak yang berbasis kompresor, telah menyebabkan penggunaan energi listrik mengalami peningkatan. Mesin-mesin pendingin tersebut diatas yang menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja, juga memicu peningkatan kerusakan lingkungan dan menyebabkan terjadinya pemanasan global. sistem direct evaporative cooling adalah cooling pad (bantalan pendingin), yang merupakan media basah dimana terjadi kontak antara udara dan air. Kebanyakan dari material bantalan pendingin yang digunakan adalah jenis material yang memerlukan pembasahan menggunakan pompa. Dalam penelitian ini akan mengkaji secara spesifik bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida dengan menggunakan fluida kerja air untuk mengetahui gaya hambat yang terjadi pada pori material pada material bambu betung, nantinya akan dihasilkan material karbon aktif bambu betung dengan porositas dan distribusi pori untuk menganalisa bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida material bambu betung yang telah melalui proses karbonisasi dan aktivasi tanpa holding time. Dengan menggunakan tiga variabel yaitu variabel bebas karbonisasi dengan variasi temperatur 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. Variabel terikat yaitu karakteristik hambatan kekentalan fluida. Dan variabel kontrol dengan melakukan aktivasi dengan temperatur 600°C (tanpa holding time). Setelah dilakukan penelitian material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC800 menghasilkan gaya hambat terkecil yakni 4.36×10^{-7} N dengan daya tampung paling sedikit hanya sebesar 0.87×10^{-10} m³ namun memiliki kenaikan kapiler tertinggi yaitu 7.61 m. sedangkan material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC500 menghasilkan gaya hambat terbesar yakni sebesar 7.12×10^{-7} N dengan daya tampung volume fluida terbesar yakni 1.42×10^{-10} m³ namun memiliki tingkat kenaikan kapiler paling rendah yaitu hanya 4.66 m. Material karbon aktif bambu betung dengan diameter pori yang lebih besar, akan menghasilkan gaya hambat yang besar dan juga memiliki daya tampung yang lebih besar dengan kenaikan kapilernya yang lebih rendah dibandingkan diameter pori yang lebih kecil.

Kata Kunci: kenaikan kapiler, hambatan, karbonisasi, material karbon, bambu, tanpa holding time

Abstract

Currently, many air conditioning systems are compressor-based, which has caused the use of electrical energy to increase. The cooling machines mentioned above, which use refrigerants as working fluids, also trigger an increase in environmental damage and cause global warming. The direct evaporative cooling system is a cooling pad, which is a wet medium where air and water come in contact. Most of the cooling pad materials used are materials that require wetting using a pump. In this study will examine specifically how the characteristics of the fluid viscosity resistance by using water working fluid to determine the drag force that occurs in the pore material on the betung bamboo material, later betung bamboo active carbon material will be produced with porosity and pore distribution to analyze how the characteristics of the viscosity resistance betung bamboo material fluid that has gone through the process of carbonization and activation without holding time. By using three variables, namely carbonization independent variables with temperature variations of 400°C, 500°C, 600°C, 700°C and 800°C. The dependent variable is the fluid viscosity resistance characteristics. And the control variable is activated with a temperature of 600°C (without holding time). After doing research, the activated carbon material of betung bamboo with QRC800 code produces the smallest drag force, namely 4.36×10^{-7} N with a minimum capacity of only 0.87×10^{-10} m³ but has the highest capillary rise of 7.61 m. while the bamboo betung activated carbon material with QRC500 code produces the largest drag force of 7.12×10^{-7} N with the largest fluid volume capacity of 1.42×10^{-10} m³ but has the lowest capillary rise rate of only 4.66 m. Betung bamboo activated carbon material with a larger pore diameter, will produce a large drag force and also has a greater capacity with a lower capillary rise than a smaller pore diameter.

Keywords: capillary rise, resistance, carbonization, carbon material, bamboo, without holding time

1. Pendahuluan

Penggunaan sistem pendingin udara berbasis kompresor yang sangat luas saat ini, telah memicu peningkatan penggunaan energi listrik berbahan bakar energi fosil. Mesin-mesin pendingin tersebut diatas yang menggunakan refrigeran sebagai fluida kerja, juga memicu peningkatan kerusakan

lingkungan. Berdasarkan keadaan tersebut diatas, banyak peneliti mencoba mencari sistem pendingin alternatif untuk sistem pendingin berbasis kompresor Air Conditioning (AC) tersebut. Pendingin evaporatif sendiri dapat dikelompokkan menjadi tiga bagian besar yakni Direct Evaporative Cooling (DEC), Indirect Evaporative Cooling (IEC) dan Semi-

Indirect Evaporative Cooling (SIEC). Sistem DEC merupakan sistem pendingin evaporatif yang paling sederhana konstruksinya. Pada sistem pendingin ini, ketika udara panas dan lembab melewati permukaan basah *cooling pad*, maka air akan menguap dan udara kehilangan panas sensibelnya, dan pada saat yang bersamaan akan menghasilkan panas laten penguapan air dalam jumlah yang sama dengan panas sensibelnya, yang pada akhirnya akan menurunkan temperatur udara yang melewati *cooling pad* yang basah tersebut. Komponen utama dari sistem *direct evaporative cooling* adalah *cooling pad* (bantalan pendingin), yang merupakan media basah dimana terjadi kontak antara udara dan air. Kebanyakan dari material bantalan pendingin yang digunakan adalah jenis material yang memerlukan pembasahan menggunakan pompa.

Sehubungan dengan hal tersebut diatas, dalam penelitian ini dilakukan pengujian karakteristik kapilaritas material *pad* alternatif yang berbahan dasar bambu betung. Dimana melalui proses karbonisasi dan aktivasi pada material bambu betung, akan dihasilkan material karbon aktif bambu betung yang memiliki sifat kapilaritas. Dengan karakteristik kapilaritasnya, diharapkan material karbon aktif bambu betung akan mampu untuk membasahi dirinya sendiri dengan cara memompakan/menaikkan air kedalam pori-porinya secara kapiler sehingga tidak diperlukan tambahan energi listrik untuk pompa.

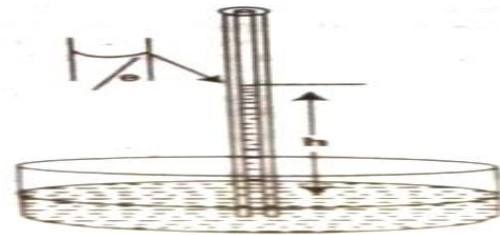
Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah, bagaimana karakteristik hambatan kekentalan fluida pada material karbon aktif bambu betung sebagai material *pad* alternatif dengan variasi temperatur karbonisasi. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan dari luasnya permasalahan yang ada, maka perlu dilakukan pembatasan antara lain:

1. Material dasar penelitian ini adalah Bambu Betung lokal Bali
2. Pengujian hanya meliputi proses karbonisasi, proses aktivasi dan pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*.
3. Pori Material-material karbon aktif bambu betung diasumsikan berbentuk silinder.
4. Perhitungan diameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah berdasarkan nilai rata-rata distribusi jari-jari pori hasil uji *Scanning Electron Microscope (SEM)*
5. Suhu ruangan tempat pengujian dianggap konstan.
6. Fluida kerja yang digunakan dalam penelitian ini adalah air.

2. Dasar Teori

2.1 Kenaikan kapiler (*capillary rise*)

Kenaikan Kapiler (*Capillary Rise*) adalah kenaikan yang terjadi pada permukaan fluida yang disebabkan oleh gaya adhesi karena terjadi gaya tarik menarik antara molekul air dengan dinding pori material.



Gambar 1. Capillary Rise

Capillary rise merupakan kombinasi gaya kohesi dan gaya adhesi yang menyebabkan permukaan fluida menjadi naik kedalam diameter yang sempit melalui saluran pori. Jika gaya adhesi (gaya tarik menarik antara molekul air dengan dinding pori material) lebih kuat dari gaya kohesi (gaya tarik menarik antara molekul-molekul air), maka fluida akan membasahi dinding pori (*capillary wall*) dan akan menghasilkan kenaikan permukaan fluida hingga level tertentu, dengan meniskus berbentuk cekung (*concave*). Sebaliknya bila gaya adhesi lebih lemah dari gaya kohesi, maka permukaan fluida akan mengalami penurunan dengan meniskus berbentuk cembung (*convex*). Dirumukan sebagai berikut:

$$2\pi r \cdot \sigma \cdot \cos\gamma = \pi r^2 \cdot h \cdot \rho \cdot g \quad (1)$$

R = jari-jari meniskus = jari-jari pori (m)

Σ = tegangan permukaan cairan = 0.0727

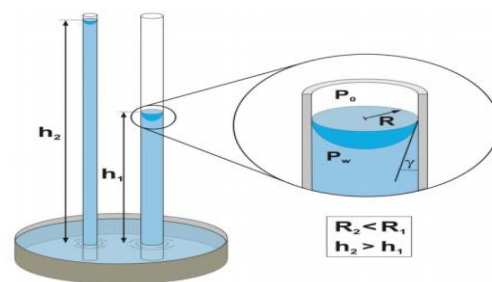
N/m (suhu air 20°C)

γ = sudut meniskus cairan dengan dinding pori (°)

h = ketinggian kenaikan kapiler (m)

ρ_w = massa jenis air = 1000 kg/m³

g = percepatan gravitasi = 10 m/s²



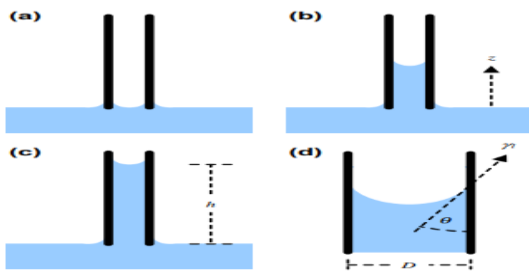
Gambar 2. Skematik Kenaikan Untuk Kapiler Silinder

Bila diketahui untuk kebanyakan cairan, termasuk air, sudut γ yang terbentuk sangat kecil dan mendekati nol, dan tekanan kapilernya (P_c) sama dengan Tekanan Hidrostatiknya (P_h), maka ketinggian kenaikan Kapiler, h dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut:

$$h = \frac{2\sigma\cos\gamma}{\rho_w g r} \quad (2)$$

2.2 Mekanisme Kenaikan Kapiler

Mekanisme naiknya ketinggian permukaan fluida pada pori kapiler dapat diperlihatkan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme Kenaikan Kapiler pada Pori Kapiler

1. Pori kapiler disentuh dengan cairan (fluida) yang memiliki tegangan permukaan sebesar γ , dengan massa jenis, ρ , dan viskositas, μ . (Gambar 2.7a).
2. Kemudian mulai terbentuk meniscus pada diameter dalam pori kapiler dan selanjutnya meniscus akan membasahi pori material dengan sudut kontak θ , yang diasumsikan konstan terhadap waktu dan posisi. Selanjutnya cairan dengan cepatnya mulai naik pada pori kapiler dalam arah z atau vertikal, sangat cepat di awal tetapi kemudian melambat, seperti ditunjukkan oleh Gambar (2.7b). Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai ketinggian z , dapat diperkirakan dengan menggunakan Persamaan Lucas–Washburn:

$$t = \frac{-128\gamma\mu}{\rho^2 g^2 D^3} \left[\frac{\rho g D z}{4\gamma_l} + \cos\theta \cdot \ln \left(1 - \frac{\rho g D z}{4\gamma_l \cos\theta} \right) \right] \quad (3)$$

3. Selanjutnya cairan akan berhenti naik, setelah mencapai ketinggian akhir, h . Jika diameter pori sangat kecil dibandingkan dengan ketinggian h , $h > D$, maka ketinggian maksimum, h dapat diestimasi sebagai berikut:

$$h = \frac{4\gamma_l \cos\theta}{\rho g D} \quad (4)$$

2.3 Energi Potensial

Pengujian energi yang berhubungan dengan kaikan cairan (*liquid rising*) pada pori kapiler pertama kali dilakukan oleh (Brown, 1941). Disebutkan bahwa kesetimbangan energi pada pori kapiler (*capillary tube*) mengandung tiga bentuk energi yakni (1) Kerja yang dilakukan untuk menaikkan cairan, W . (2) Energi Kinetik yang dalam hal ini diwakili oleh adanya viscous dissipation (hambatan karena kekentalan) pada cairan mengalir dalam pori kapiler, K . (3) Energi Potensial yang merupakan energi yang tersimpan dalam kolom cairan pada pori kapiler, ΔU . Hubungan ketiga energi tersebut diatas dapat dirumuskan seperti pada persamaan berikut:

$$W - K = -\Delta U \quad (5)$$

Berdasarkan Teori Termodinamika Dasar bahwa perubahan energi potensial ($-\Delta U$) dapat dihitung dengan mengintegrasikan gaya hidrostatis (f_i) yang bekerja di dalam pori yang menyebabkan kenaikan cairan dari $z=0$ ke $z=h$.

$$-\Delta U = \int_0^h f_i \cdot dz \quad (6)$$

Sementara gaya hidrostatis merupakan perkalian antara tekanan hidrostatis (ΔP) dengan luas penampang pori (A_c) dan dirumuskan seperti pada persamaan:

$$f_i = \Delta P \cdot A_c = \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \quad (7)$$

Kombinasi Persamaan (2.14) dan (2.15) menghasilkan besarnya perubahan energi potensial akibat kenaikan kapiler:

$$-\Delta U = \int_0^h \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \cdot dz = \frac{\pi}{8} \rho g D^2 h^2 \quad (8)$$

2.4 Energi Kinetik

Dalam kesetimbangan energi pada pori kapiler, hambatan kekentalan fluida adalah merepresentasikan energi kinetik yang terjadi dalam pori kapiler. Hambatan kekentalan fluida ini menyebabkan kehilangan sebagian energi yang digunakan untuk mengangkat fluida ke dalam pori. Dengan demikian hambatan kekentalan fluida ini dihitung sebagai kehilangan energi untuk aliran laminar fluida yang melewati luas permukaan pori kapiler dan besarnya dapat diestimasi dari volume fluida dan perubahan tekanan (ΔP) pada pori kapiler sebagai:

$$K = \int_0^{\Delta P} V \cdot d(\Delta P) \quad (9)$$

Untuk kenaikan kapiler, Persamaan (2.16) berubah menjadi:

$$K = \int_0^h \frac{\pi}{4} \rho g D^2 z \cdot dz = \frac{\pi}{8} \rho g D^2 h^2 \quad (10)$$

K = Hambatan Kekentalan Fluida = Energi Kinetik (kJ)

3. Metode Penelitian

Penelitian dan pengujian karbon aktif bambu betung ini mempergunakan peralatan sebagai berikut:

1. Timbangan untuk menghitung berat dari bambu betung yang sudah diukur sebelum dan sesudah karbonisasi.
2. Oven untuk menghilangkan kadar air sebelum proses karbonisasi.
3. Reaktor *Pyrolysis* sebagai tempat proses karbonisasi bambu betung.
4. *Stopwatch* untuk mengukur waktu karbonisasi dan aktivasi.
5. Nitrogen sebagai gas penghilang oksigen pada saat proses karbonisasi dalam reaktor.
6. *Scanning Electron Microscope* (SEM) untuk mendapatkan gambar struktur mikro dari material karbon aktif bambu betung.
7. *Image J* sebagai aplikasi penganalisa sesudah dilakukannya uji *Scanning Electron Microscope* (SEM).

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bambu betung yang digunakan sebagai material

akan diuji dalam penelitian ini dari Baturiti, Tabanan, Bali.

Variabel penelitian dalam penelitian ini ada tiga variabel yaitu variabel bebas dalam penelitian ini yaitu variasi temperatur karbonisasi 400°C, 500°C, 600°C, 700°C dan 800°C. variabel terikat dalam penelitian ini yakni hambatan kekentalan fluida. Variabel kontrol yang dikontrol dalam penelitian ini yaitu temperatur aktivasi 600°C (tanpa *holding time*).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Data Hasil Proses Karbonisasi dan Aktivasi Bambu Betung

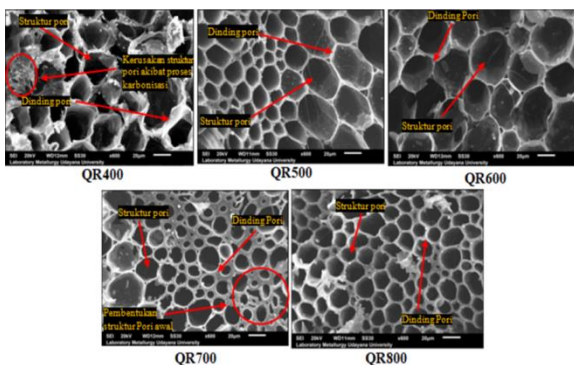
Adapun nama dan pengkodean material arang dan karbon aktif bambu betung sebagai berikut:

Nama Material	Karbonisasi		Aktivasi	
	T°C	Kode	T°C	Kode
Pad 1	400°C	QR400	600°C	QRC400
Pad 2	500°C	QR500	600°C	QRC500
Pad 3	600°C	QR600	600°C	QRC600
Pad 4	700°C	QR700	600°C	QRC700
Pad 5	800°C	QR800	600°C	QRC800

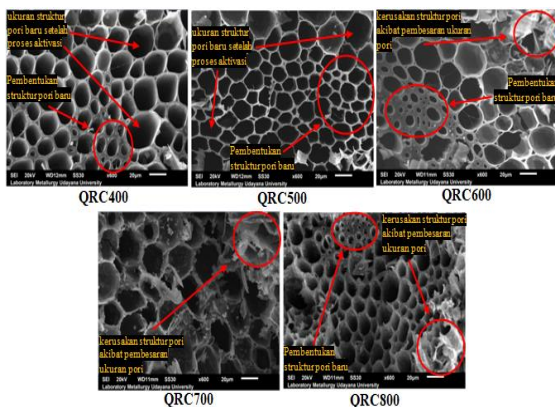
Gambar 4. Kode Nama Material Uji

4.2 Struktur Pori

Berdasarkan hasil uji SEM dengan pembesaran 600x, didapat struktur pori dari material karbon (arang) dan karbon aktif bambu betung sebagai berikut:



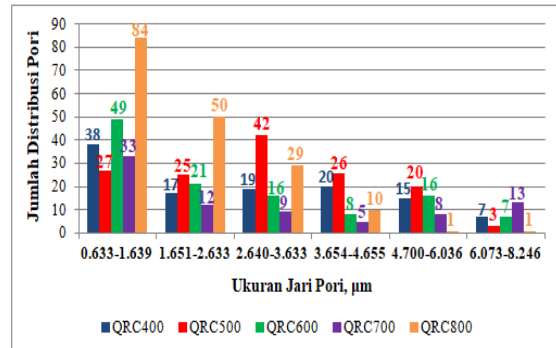
Gambar 5. Struktur Pori Material Bambu Betung Hasil Proses Karbonisasi



Gambar 6. Struktur Pori Material Bambu Betung Hasil Proses Aktivasi

4.3 Distribusi Ukuran Pori

Dapat dilihat pada grafik adalah jumlah ukuran jari pori yang di distribusikan dari masing-masing material bambu betung sebagai berikut:



Gambar 7. Distribusi Ukuran Jari Pori Material Karbon Aktif Bambu Betung

Material karbon aktif bambu betung dengan kode QRC800 memiliki jumlah pori sejumlah 175 pori, sedangkan QRC700 memiliki jumlah pori yang paling sedikit yakni 81 pori hal ini disebabkan adanya dinding pori pecah akibat penetrasi panas yang terlalu tinggi.

Selanjutnya dari data distribusi ukuran pori, dapat ditentukan ukuran jari pori rata-rata material karbon aktif bambu betung. Ukuran jari pori rata-rata didapat dengan membagi jumlah semua ukuran jari pori dengan jumlah porinya.

No	Nama Material	Jumlah Pori	Jumlah Ukuran Jari Pori (μm)	Ukuran Jari Pori Rata-Rata (μm)
1	QRC400	116	351.01	3.03
2	QRC500	143	453.69	3.12
3	QRC600	120	309.74	2.58
4	QRC700	81	235.69	2.91
5	QRC800	175	333.99	1.91

Gambar 8. Ukuran Jari Pori Rata-Rata

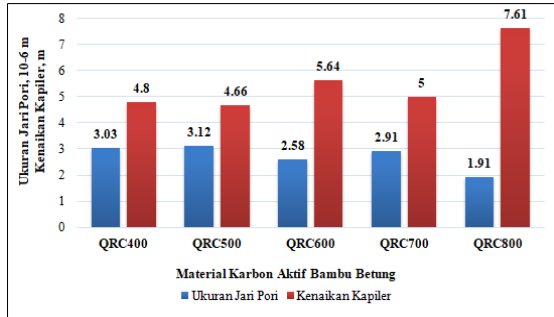
4.4 Ketinggian Kenaikan Kapiler

Besarnya ketinggian kenaikan fluida untuk masing-masing karbon aktif bambu betung. Pada gambar 8 QRC800 dengan ukuran jari pori terkecil (1.91 μm), menghasilkan ketinggian kenaikan kapiler tertinggi yakni 7.61 m. sedangkan ketinggian kenaikan kapiler terendah yakni sebesar 4.8 m dihasilkan oleh material karbon aktif bambu betung QRC500 dengan ukuran jari pori terbesar (3.12 μm).

Nama Material	Tegangan Permukaan Fluida (N/m)	Ukuran Jari Pori Material 10^{-6} (m)	Kenaikan Kapiler (m)
QRC400	0.0727	3.03	4.80
QRC500	0.0727	3.12	4.66
QRC600	0.0727	2.58	5.64
QRC700	0.0727	2.91	5.00
QRC800	0.0727	1.91	7.61

Gambar 9. Ketinggian Kenaikan Kapiler

Hal ini berguna untuk menentukan panjang (tinggi) material *pad* yang digunakan dalam aplikasi sistem *direct evaporative cooling*. Hubungan antara ukuran jari pori material dan kenaikan kapilernya dapat digambarkan seperti grafik pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hubungan Ukuran Jari Pori dan Kenaikan Kapiler

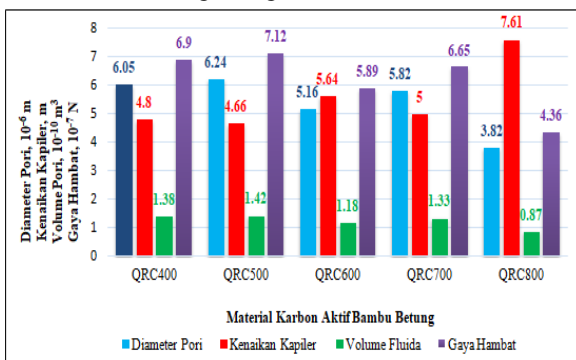
4.5 Ketinggian Kenaikan Kapiler

Hasil perhitungan volume fluida, gaya hambat dan energi hambatan kekentalan fluida untuk masing-masing material karbon aktif bambu betung sebagai berikut:

Nama Material	Diameter Pori 10^{-6} (m)	Kenaikan Kapiler (m)	Volume Fluida 10^{-10} (m ³)	Gaya Hambat Kekentalan Fluida 10^{-7} (N)	Energi Hambatan Kekentalan Fluida 10^{-6} (J)
QRC400	6.05	4.80	1.38	6.90	3.3122
QRC500	6.24	4.66	1.42	7.12	3.3188
QRC600	5.16	5.64	1.18	5.89	3.3243
QRC700	5.82	5.00	1.33	6.65	3.3237
QRC800	3.82	7.61	0.87	4.36	3.3169

Gambar 11. Gaya Hambat dan Energi Hambatan Kekentalan Fluida

Namun demikian ketinggian kapilernya yang dihasilkan oleh material yang memiliki pori yang lebih besar akan menjadi lebih rendah, karena tekanan hidrostatis yang dihasilkan menjadi lebih kecil dengan lebih rendahnya kenaikan kapilernya. Hubungan antara diameter pori, kenaikan kapiler, volume fluida dan gaya hambat pada material karbon aktif bambu betung sebagai berikut:



Gambar 12. Grafik Hubungan Diameter Pori, Kenaikan Kapiler, Volume Fluida dan Hambat

Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Bambu Betung

Gambar 12 memberikan informasi mengenai karakteristik kapilaritas material karbon aktif bambu betung termasuk didalamnya pengaruh ukuran pori terhadap kenaikan kapiler, volume fluida yang mampu dinaikkan, gaya hambat yang dialami fluida dan juga kehilangan energi akibat kekentalan fluida. Hal ini akan sangat bermanfaat dalam memilih hasil uji material karbon aktif bambu betung dengan sistem *direct evaporative cooling* sebagai material *pad*. Dalam sistem *direct evaporative cooling*, material *pad* digunakan sebagai medium pendingin dimana terjadi interaksi antara udara yang akan didinginkan dengan air yang ada pada permukaan material *pad*. Semakin banyak jumlah massa air yang terkandung dalam material *pad*, maka akan semakin banyak panas udara luar yang akan diserap oleh air untuk proses evaporasi dan dengan demikian udara keluarannya akan mengalami penurunan temperatur yang lebih besar dan udara akan menjadi lebih dingin. Berdasarkan konsep tersebut diatas, maka untuk hasil pengujian ini, akan dipilih material karbon aktif bambu betung dengan jumlah volume fluida terbanyak yang dapat dinaikkan, yakni material karbon aktif bambu betung QRC500, dimana material ini mampu mengangkat dan menampung jumlah volume fluida terbanyak yakni sebesar $1.42 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ per pori material, walaupun panjang (tinggi) material yang dapat digunakan dibatasi oleh ketinggian kenaikan kapilernya yang paling rendah dibanding material lain dengan diameter pori yang lebih kecil, yakni hanya sebesar 4.66 m. Dalam artian bahwa pada material QRC500, fluida hanya mampu naik ke permukaan pori material hanya setinggi 4.66 m.

Namun dengan volume fluida per porinya yang paling besar diantara material lainnya, maka diperkirakan material QRC500 akan menampung jumlah volume fluida yang paling banyak diantara material karbon aktif bambu betung lainnya. Jadi dalam pemilihan material *pad* untuk sistem *direct evaporative cooling*, lebih diinginkan material *pad* yang mampu menampung jumlah volume/massa air yang lebih besar dibanding kemampuan kenaikan kapilernya. Disamping itu, material dengan diameter pori yang lebih besar, akan memiliki permeabilitas yang lebih besar dibanding material lain dengan diameter pori yang lebih kecil, sehingga fluida yang mengalir masuk ke dalam material akan lebih mudah karena memiliki diameter pori yang lebih besar.

5. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini karakteristik hambatan kekentalan fluida pada material karbon aktif bambu betung diatas, dapat ditarik beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Material karbon aktif bambu betung QRC800 menghasilkan gaya hambat kekentalan fluida terkecil yakni hanya sebesar $4.36 \times 10^{-7} \text{ N}$, yang

hanya mampu menampung jumlah volume fluida per porinya yang paling sedikit yakni hanya sebesar $0.87 \times 10^{-10} \text{ m}^3$, namun memiliki kenaikan kapiler yang tertinggi yakni sebesar 7.61 m.

2. Material karbon aktif bambu betung QRC500 menghasilkan gaya hambat kekentalan fluida yang terbesar yakni sebesar $7.12 \times 10^{-7} \text{ N}$, namun memiliki daya tampung volume fluida yang terbesar juga yakni $1.42 \times 10^{-10} \text{ m}^3$ per porinya, namun memiliki tingkat kenaikan kapiler yang paling rendah yakni hanya 4.66 m.
3. Material karbon aktif bambu betung dengan diameter pori yang lebih besar, akan menghasilkan gaya hambat yang besar dan juga memiliki daya tampung volume fluida yang lebih besar, dengan kenaikan kapilernya yang lebih rendah dibanding dengan material dengan diameter pori yang lebih kecil.
4. Direkomendasikan untuk menggunakan material karbon aktif basmbu betung QRC500 sebagai material *pad* alternatif sistem *direct evaporative cooling*.

Kedepannya perlu kembali dilakukan penelitian menggunakan fluida kerja yang lebih rendah tegangan permukaannya seperti etanol, metanol, gliserin, hidrogen sulfida dan lain-lain.

Daftar Pustaka

- [1] Barnes, G. and Gentle, I., 2005. *Capillary and the mechanics of surface*, In *Interfacial science*. Oxford University Press Oxford.
- [2] Dani Or, 2018. *Capillary Processes in Porous Media (An introduction to Soil Physics)*. Department of Environmental System Science (D-USYS), Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zurich)
- [3] El-Dessouky H., Ettouney H., and Al-Zeefari A., 2004. *Performance Analysis of Two Stage*

Evaporative Coolers, Chemical Engineering Journal, 102, pp.255-266

- [4] El-Dessouky H., Ettouney H., and Al-Zeefari A., 2004. *Performance Analysis of Two Stage Evaporative Coolers*, Chemical Engineering Journal, 102, pp.255-266
- [5] Extrand C.W., Sung In Moon, 2013. *Experimental Measurement of Forces and Energies Associated with Capillary Rise in a Vertical Tube*. Journal of Colloid and Interface Science 407 (2013) 488-492
- [6] Ngo, C.-V. & Chun, D.-M. 2017. *Fast Wettability Transition From Hydrophilic To Superhydrophobic Laser-Textured Stainless Steel Surfaces Under Low-Temperature Annealing*. Applied Surface Science, 409, 232-240
- [7] Kulkarni R.K., Rajput S.P.S., 2011. *Theoretical Performance Analysis of Indirect-Direct Evaporatif Cooler in Hot and Dry Climates*, International Journal of Engineering Science and Technology, 3, pp.1239-1251
- [8] Porumb, B. et al., 2015. *A Review of Indirect Evaporative Cooling Technology*. Energi Procedia, 85 (November 2015), pp.461–471.



Gede Ogie Indra Putra telah menyelesaikan pendidikan S1 Teknik Mesin di Universitas Udayana dari tahun 2017 hingga 2023 dengan topik penelitian Studi Eksperimental Karakteristik Hambatan Kekentalan Fluida Pada Material Karbon Aktif Dengan Variasi Temperatur Karbonisasi.

Bidang Penelitian yang diminati adalah topik yang berkaitan dengan material karbon aktif.

Analisa Pembebanan Statis Rangka *Scooter* Listrik Menggunakan *Software Autodesk Inventor*

Herlambang Rizky Kurnianto, I Made Gatot Karohika, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Scooter listrik menjadi populer sebagai pilihan transportasi di banyak kota. Penelitian ini fokus pada pengaruh material rangka terhadap tegangan dan deformasi pada scooter listrik. Penelitian menggunakan carbon steel dan galvanized steel, dengan pengujian menggunakan Autodesk Inventor 2022 Professional Student. Titik penyangga pada frame scooter listrik dan distribusi beban saat pengendara duduk dalam posisi normal. Titik penyangga terletak di bagian atas garpu depan dan di bagian penopang roda belakang. Penelitian bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan material rangka terhadap bentuk deformasi akibat pembebanan pengendara. Dalam simulasi pembebanan statis, penggunaan material low carbon steel pada rangka scooter listrik menghasilkan von mises stress sebesar 21,2 MPa, displacement sebesar 0,4207 mm, dan safety factor sebesar 15. Sementara itu, penggunaan material galvanized steel menghasilkan von Mises stress sebesar 21,12 MPa, displacement sebesar 0,4201 mm, dan safety factor sebesar 9,8. Perbedaan hasil ini menunjukkan bahwa rangka dengan low carbon steel memiliki keandalan yang lebih tinggi dan mampu menahan beban dengan lebih baik dibandingkan dengan galvanized steel. Dapat ditarik kesimpulan bahwa rangka dengan material low carbon steel memiliki von mises stress yang hampir sama dengan rangka galvanized steel, namun memiliki displacement yang sedikit lebih tinggi. Lebih penting lagi, rangka dengan material low carbon steel memiliki safety factors yang lebih tinggi dibandingkan dengan rangka galvanized steel.

Kata kunci: scooter, rangka, tegangan von mises, simulasi, autodesk inventor

Abstract

Electric scooters have become a popular choice for urban transportation in many cities. This research focuses on the influence of frame materials on stress and deformation in electric scooters. The study uses carbon steel and galvanized steel, with testing conducted using Autodesk Inventor 2022 Professional Student. The support points on the electric scooter frame and load distribution when the rider is in a normal sitting position are considered. The support points are located at the top of the front fork and at the rear wheel support. The research aims to analyze the impact of using different frame materials on the deformation behavior due to rider loading. In static loading simulations, the use of low carbon steel for the electric scooter frame resulted in a Von Mises stress of 21.2 MPa, a displacement of 0.4207 mm, and a safety factor of 15. Meanwhile, the use of galvanized steel produced a Von Mises stress of 21.12 MPa, a displacement of 0.4201 mm, and a safety factor of 9.8. The difference in these results indicates that the frame made of low carbon steel has higher reliability and can withstand loads better compared to galvanized steel. It can be concluded that the low carbon steel frame has nearly the same Von Mises stress as the galvanized steel frame but has slightly higher displacement. More importantly, the low carbon steel frame has higher safety factors compared to the galvanized steel frame.

Keywords: scooter, frame, von mises stress, simulation, autodesk inventor

1. Pendahuluan

Beberapa tahun belakangan *scooter* listrik telah menjadi pilihan populer untuk transportasi di berbagai kota di seluruh dunia. *Scooter* listrik biasanya lebih efisien dalam penggunaan energi dibandingkan dengan kendaraan konvensional, sehingga *scooter* listrik dapat menempuh jarak yang lebih jauh dengan pengisian daya yang lebih sedikit.

Perancangan sebuah kendaraan sangat dipengaruhi oleh desain struktur, pemilihan jenis bahan, geometrik dan rangka (*frame*), beban pengendara, komponen penggerak, dan posisi tubuh seorang pengendara yang memengaruhi sebuah

kenyamanan dan keamanannya pada saat kendaraan digunakan¹.

Geometri dan rangka *scooter* listrik menjadi salah satu komponen penting yang menunjang komponen-komponen lainnya yang terdapat pada *scooter* listrik. Karenanya kekuatan sebuah rangka *scooter* penting untuk diperhatikan. Kegagalan dalam rangka bisa membahayakan dan berdampak langsung terhadap pengendara dan komponen-komponen yang terpasang pada rangka.

Maka dari itu, dilakukan studi tentang pengaruh penggunaan material rangka terhadap distribusi

tegangan dan deformasi yang terjadi akibat pembebanan pengendara pada rangka *scooter* listrik. Studi yang dilakukan meliputi penghitungan beban yang terjadi oleh pengendara. Hasil perhitungan akan digunakan sebagai input gaya yang terjadi pada aplikasi *Autodesk Inventor* dengan masing-masing geometri menerima beban yang sama.

Batasan penelitian ditetapkan untuk membatasi lingkup dalam penelitian ini yang meliputi:

1. Jenis material yang diaplikasikan adalah *carbon steel* dan *galvanized steel*.
2. Pengujian menggunakan perangkat lunak *autodesk inventor*.

2. Dasar Teori

2.1. Low carbon steel

Low carbon steel (baja karbon rendah) memiliki kurang dari 0,25% kadar karbon. Material ini umumnya berbentuk pelat yang dibentuk melalui *cold roll* dan proses *annealing*. Kandungan karbon yang rendah dan fasa ferit dan perlit membentuk mikrostruktur yang membuat material ini memiliki kekerasan yang rendah namun memiliki keuletan dan ketangguhan yang baik.

Behavior	Isotropic
Young's Modulus	4,351E-03 psi
Poisson's Ratio	0,03
Shear Modulus	1,450E-03 psi
Density	0,004 pound per cubic inch

Gambar 1. Sifat Mekanik *Low carbon steel*

2.2. Galvanized steel

Galvanized steel merupakan baja yang dilapisi dengan menggunakan lapisan seng untuk menjegah baja tersebut dari korosi. *Galvanized steel* juga dapat memberikan perlindungan katodik, dimana lapisan seng bertindak sebagai "*sacrificial coating*" yang melindungi bajadi bawahnya.

Behavior	Isotropic
Young's Modulus	2,901E+07 psi
Poisson's Ratio	0,30
Shear Modulus	1,100E+07 psi
Density	0,284 pound per cubic inch

Gambar 2. Sifat Mekanik *Galvanized steel*

2.3. Konsep Tegangan dan Regangan

Dalam sebuah bidang yang terkena gaya, terdapat beberapa jenis tegangan yang memengaruhi bidang tersebut, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal merupakan tegangan yang bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda dan disebabkan oleh gaya aksial dan momen lentur. Sementara itu, tegangan geser merupakan tegangan yang bekerja pada bidang yang sejajar dengan permukaan benda dan disebabkan oleh gaya geser, gaya puntir, dan torsi. Ketika benda kerja tersebut menerima gaya-gaya tersebut, tegangan dapat terbentuk di dalam material tersebut².

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana σ = Tegangan (N/m²)
 F = Gaya yang bekerja (N)
 A = Luas bidang (m²)

Regangan merupakan perubahan panjang suatu material yang disebabkan adanya gaya tarikan yang dialami oleh material.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots \dots \dots (2)$$

Dimana ε = Regangan
 ΔL = Pertambahan panjang (m)
 L = Panjang mula-mula (m)

Secara matematis hubungan tegangan dengan regangan dapat dilihat pada persamaan hukum *hooke* yang mana semakin besar nilai tegangan, maka semakin besar regangan yang terjadi.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana E = Modulus Elastisitas
 σ = Tegangan (N/m²)
 ε = Regangan

2.4. Von mises stress

Von mises stress adalah sebuah parameter dalam mekanika kekuatan untuk mengukur tegangan yang terjadi dalam sebuah benda padat ketika berada di bawah beban. Tegangan *von mises* menggabungkan kontribusi tegangan normal dengan tegangan geser yang terjadi dalam benda dan menghitung tegangan ekuivalen yang menyebabkan kegagalan bahan. Dalam bidang ilmu material dan teknik, parameter kegagalan luluh *von mises* juga dapat dirumuskan dalam tegangan *von mises* atau tegangan ekuivalen. Dalam kasus ini, suatu material atau bahan dianggap luluh pada saat tegangan *von mises* mencapai nilai kritis yang dikenal dengan kekuatan luluh (*yield strength*)³.

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{(\sigma^{12} + \sigma^{22} + \sigma^{32} - \sigma^1\sigma^2 - \sigma^2\sigma^3 - \sigma^3\sigma^1)} \dots \dots \dots (4)$$

2.5. Deformasi

Deformasi merupakan suatu perubahan bentuk atau ukuran akibat dari gaya luar yang diberikan kepada suatu material⁴. Dalam analisa deformasi, perubahan ukuran atau bentuk suatu benda sering diukur dengan menggunakan persamaan *strain* yang merupakan perbandingan perubahan dimensi benda dengan dimensi aslinya. *Strain* sering dinyatakan sebagai rasio perubahan panjang (*linear strain*) atau perubahan sudut (*shear strain*) terhadap panjang atau sudut awalnya. Secara matematis, rumus perhitungan *linear strain* sama dengan persamaan 2.1, sedangkan secara matematis, persamaan untuk *shear strain* dapat dituliskan sebagai:

$$\gamma = \Delta\theta \dots \dots \dots (5)$$

Dimana γ = *Shear strain*
 $\Delta\theta$ = Perubahan sudut

2.5. Faktor Keamanan (*Safety Factor*)

Dalam pembuatan suatu product, rangka, maupun suatu benda terdapat hal utama yang perlu diperhatikan yaitu kekuatan. Pada dasarnya, kekuatan adalah kapasitas suatu objek dalam memikul ataupun menopang beban⁵. Faktor keamanan dapat dihitung dengan persamaan:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma_e} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana S_y = *Yield strength*
 σ_e = *Von mises stress*

Pada penelitian ini ada beberapa variabel yang akan dikontrol yaitu :

1. Pengujian ini memvariasikan penggunaan material dengan *galvanized steel* dan *carbon steel*.
2. Beban yang terjadi pada *frame* sebesar 637,65 N.

3. Metode Penelitian

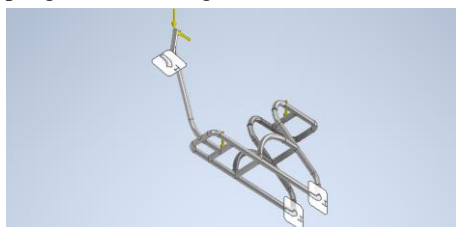
3.1. Alat

Alat yang digunakan untuk melakukan penelitian ini merupakan perangkat lunak *Ansys Workbench* yang berbasis metode elemen hingga dalam analisisnya.

3.2. Perancangan Penelitian

3.2.1 Titik penyangga

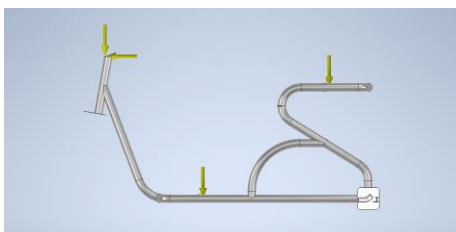
Di bagian depan, titik penyangga terletak pada bagian atas garpu depan di bagian stang kemudi atau batang penyangga terhubung. Sementara di bagian belakang, titik penyangga terletak pada bagian yang menopang roda belakang.



Gambar 3. Letak Titik Penyangga pada *Frame*

3.2.2 Distribusi beban

Dalam penelitian dilakukan pembebanan untuk pengendara yang duduk dalam posisi normal. Hal ini disebabkan oleh sifat *scooter* listrik yang cenderung santai dengan kecepatan rendah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa bagaimana variasi material pada rangka memengaruhi bentuk deformasi yang terjadi sebagai hasil dari pembebanan yang diberikan.



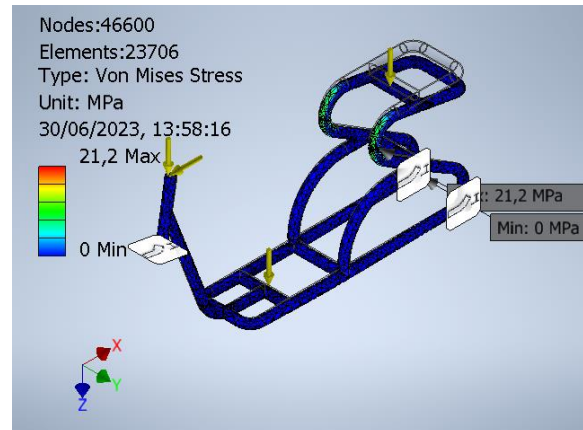
Gambar 4. Distribusi Beban yang Terjadi oleh Pengendara

Tabel 1. Distribusi beban yang terjadi

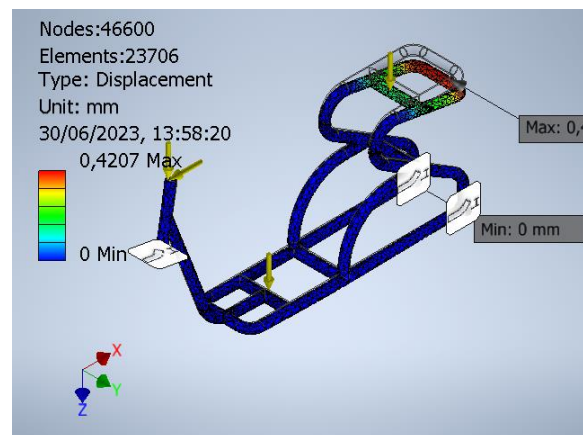
Tangan		Badan	Kaki
F_{1x}	F_{1y}	F_{2y}	F_{3y}
11,321%	3,923%	58,536%	13,117%
72,1883565	25,0150095	373,254804	83,6405505

4. Hasil dan Pembahasan

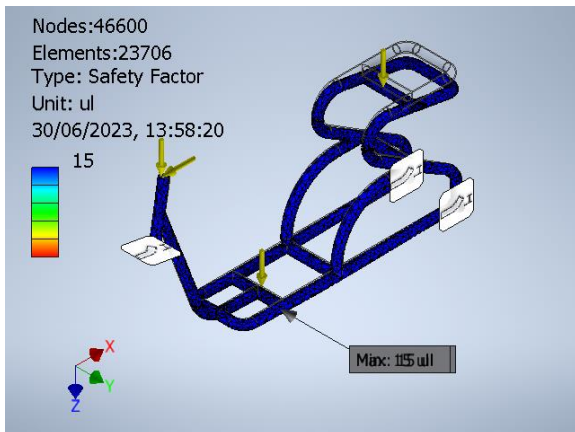
Dari hasil simulasi yang dilakukan, diperoleh distribusi tegangan ekuivalen (*von mises stress*) yang terjadi, *deformation shape* yang diwakili dengan *displacement* untuk masing-masing rangka dengan material yang berbeda.



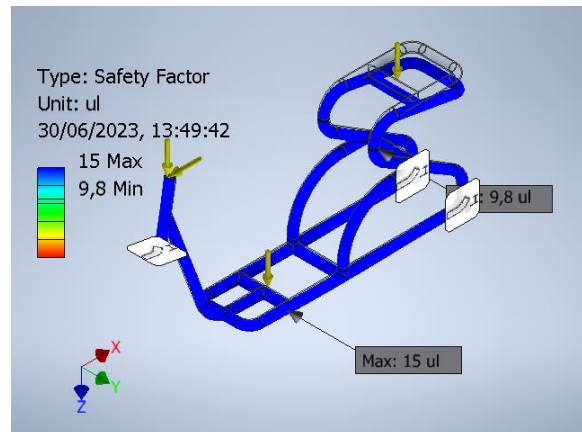
Gambar 5. Kontur *von mises stress* untuk rangka *low carbon steel*



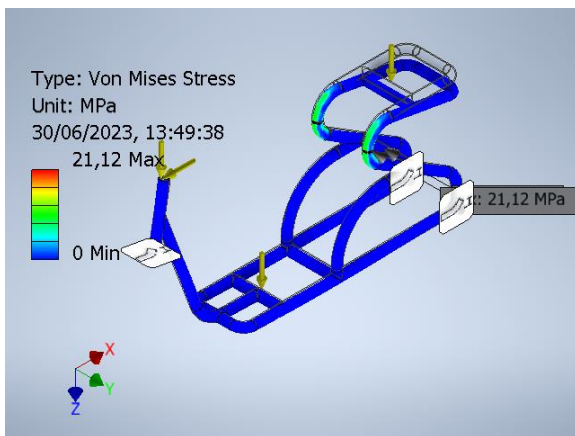
Gambar 6. Kontur *displacement* untuk rangka *low carbon steel*



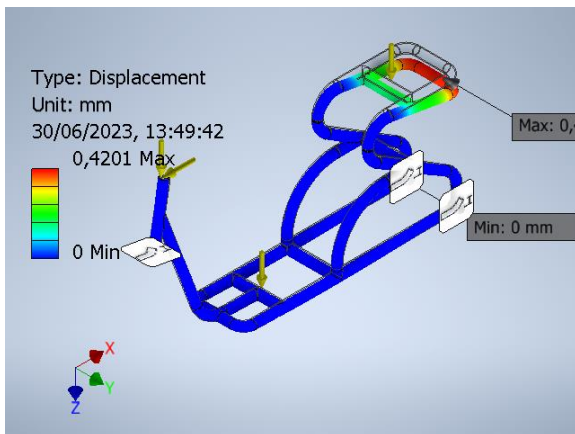
Gambar 7. Safety factor pada rangka low carbon steel



Gambar 10. Safety factor pada rangka galvanized steel



Gambar 8. Kontur von mises stress untuk rangka galvanized steel



Gambar 9. Kontur displacement untuk rangka galvanized steel

Dalam simulasi pembebanan statis pada rangka menggunakan material *low carbon steel*, hasil yang diperoleh adalah *von mises stress* sebesar 21,2 MPa, *displacement* (perpindahan) sebesar 0,4207 mm, dan *safety factor* (faktor keamanan) sebesar 15. *Von mises stress* merupakan ukuran tegangan ekuivalen yang menggabungkan kontribusi tegangan dari tiga arah yang berbeda, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. *Displacement* merupakan perpindahan atau deformasi yang terjadi pada rangka akibat pembebanan. *Safety factor* adalah perbandingan antara batas tegangan material dengan tegangan yang terjadi, yang mengindikasikan sejauh mana rangka mampu menahan beban sebelum terjadi kegagalan struktural.

Di sisi lain, dalam simulasi pembebanan statis pada rangka menggunakan material *galvanized steel*, ditemukan *von mises stress* sebesar 21,12 MPa, *displacement* sebesar 0,4201 mm, dan *safety factor* sebesar 9,8. *Galvanized steel* adalah baja yang telah dilapisi menggunakan lapisan seng untuk meningkatkan ketahanan terhadap korosi.

Perbedaan hasil simulasi antara penggunaan *low carbon steel* dan *galvanized steel* menunjukkan variasi dalam respons rangka terhadap pembebanan. Meskipun *von mises stress* dan *displacement* memiliki nilai yang hampir sama, tetapi terdapat perbedaan signifikan pada *safety factor* karena jika ditinjau dari persamaan 2.6 yang memengaruhi besaran *safety factor* adalah besaran maksimum *von mises stress* yang terjadi dengan besar *yield strength* pada masing-masing material. Hal ini bisa dilihat pada tabel dan perhitungan berikut:

Tabel 2. Besar yield strength dan von mises stress pada masing-masing material

Material	Yield Strength (MPa)	Von Mises Stress (MPa)
Galvanized Steel	207 MPa	21,1187 MPa
Low Carbon Steel	350 MPa	21,2 MPa

1. Perhitungan faktor keamanan *galvanized steel*

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= \frac{207 \text{ MPa}}{21,1187 \text{ MPa}} \\ \text{Keamanan} &= 9,8017 \end{aligned}$$

2. Perhitungan faktor keamanan *low carbon steel*

$$\begin{aligned} \text{Faktor} &= \frac{350 \text{ MPa}}{21,2038 \text{ MPa}} \\ \text{Keamanan} &= 16,5064 \end{aligned}$$

Terlihat walaupun terdapat perbedaan *von mises stress* yang sangat kecil, tetapi dipengaruhi oleh besar *yield strength* dengan perbedaan yang signifikan, sehingga memengaruhi perbedaan pada besar *safety factor* yang didapat pada hasil simulasi. *Safety factor* yang lebih tinggi pada penggunaan *low carbon steel* menunjukkan bahwa rangka dengan material tersebut memiliki keandalan yang lebih tinggi dan lebih mampu menahan beban sebelum terjadi kegagalan dibandingkan dengan *galvanized steel*.

5. Kesimpulan dan Saran

Dapat ditarik kesimpulan bahwa rangka dengan material *low carbon steel* yang memiliki *von mises stress* yang hampir sama dengan rangka *galvanized steel*, namun memiliki *displacement* yang sedikit lebih tinggi. Lebih penting lagi, rangka dengan material *low carbon steel* memiliki *safety factors* yang lebih tinggi dibandingkan dengan rangka *galvanized steel*.

Sehubungan dengan hasil penelitian yang dilakukan pada penelitian ini bahwa penggunaan material *low carbon steel* sangat baik digunakan mengingat *safety factor* sangat tinggi. Akan tetapi, pemilihan material juga harus dipertimbangkan berdasarkan faktor lainnya seperti biaya. Maka dari itu untuk selanjutnya penulis menyampaikan saran sebagai berikut:

1. Penelitian tentang tegangan yang terjadi bila memvariasikan tebal struktur rangka yang digunakan.
2. Penelitian tentang tegangan yang terjadi bila memvariasikan beban pada pengendara *scooter* listrik hingga *safety factor* berada di angka ≥ 4
3. Penelitian tentang tegangan yang terjadi untuk modifikasi tipe rangka, penampang batang, lengkungan, dan sebagainya.

Daftar Pustaka

1. Imran AI, Samhuddin S, Salimin S, Hasanuddin L., 2018, *Perancangan, Analisa Dan Simulasi Rangka Sepeda Listrik Untuk Masyarakat Perkotaan*. *Din J Ilm Tek Mesin*;9(2):0-6.doi:10.33772/djitm.v9i2.4188
2. Popov E., ed., 1984, *Mekanika Teknik*. PT. Erlangga Jakarta.

3. Mulyanto T, Sapto AD., 2017, *Analisis Tegangan Von Mises Poros Mesin Pemotong Umbi-Umbian Dengan Software Solidworks*. *J PRESISI*;18(2):24-29. <https://ejournal.istn.ac.id/presisi/article/view/122>

4. Albana MH, Sukmana B., 2019, *Analisa Pengaruh Berat Pengemudi terhadap Deformasi pada Rangka Utama Sepeda Penyapu Sampah*. *J Integr*;9(1):67. doi:10.30871/ji.v9i1.266

5. Isworo H., 2018, *Mekanika Kekuatan Material I (Hmkk319)*. *Buku Ajar*. Published online :19-22.

Performansi *Green Inhibitor* Berbasis Ekstrak Propolis Terhadap Laju Korosi Sambungan Las AISI 304-AISI 1037 Pada Medium Korosif Air Laut

Krisna Yudha Pratama, I Nyoman Budiarsa, dan I Made Parwata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Pada penelitian ini diterapkan metode penelitian secara eksperimen, yaitu melakukan pengujian perendaman (*immersion*) di medium korosif air laut pada 4 spesimen pelat hasil las titik yang diberi variasi konsentrasi pengaplikasian inhibitor korosi dari ekstrak propolis sebesar 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. Propolis yang digunakan adalah propolis lebah Kele-kele (*Trigona Sp.*) dari daerah Lombok. Inhibitor berbahan dasar alami dipilih karena sifatnya yang ramah terhadap lingkungan, mudah didapat, dan relatif murah. Hasil dari pengujian laju korosi selama perendaman 14 hari didapat bahwa spesimen dengan konsentrasi inhibitor 2 ml (pada 1000 ml medium air laut) memiliki efisiensi inhibisi tertinggi sebesar 41,046%, kemudian secara berturut-turut diikuti oleh spesimen dengan konsentrasi inhibitor 6 ml sebesar 17,274% dan 4 ml sebesar 16,482%.

Kata Kunci : *Inhibitor Alami, Propolis, Pengujian Laju Korosi, Kele-Kele, Trigona Sp.*

Abstract

In this study, an experimental research method was applied, namely conducting immersion testing in seawater corrosive medium on 4 specimens of spot welded plates that were given variations in the concentration of applying corrosion inhibitors from propolis extract by 0 ml, 2 ml, 4 ml, and 6 ml. The propolis used is Kele-kele bee propolis (*Trigona Sp.*) from Lombok area. Natural-based inhibitor was chosen because it is environmentally friendly, easily available, and relatively inexpensive. The results of corrosion rate testing during 14 days immersion found that specimen with inhibitor concentrations of 2 ml (in 1000 ml seawater medium) had the highest inhibitor efficiency of 41.046%, followed by specimens with inhibitor concentrations of 6 ml of 17.274% and 4 ml of 16.482%.

Keywords: *Natural-Based Inhibitor, Propolis, Corrosion Rate Testing, Kele-Kele, Trigona Sp.*

1. Pendahuluan

Penggunaan logam pada berbagai keperluan hidup, industri, peralatan, material kendaraan, *marine*, dan lain-lain semakin meningkat. Apalagi di era reformasi industri 4.0 dimana semakin banyak ide-ide dan inovasi produk yang sangat bervariasi dan pembuatannya berbasis material logam. Logam terdapat banyak jenisnya sehingga dapat digunakan pada berbagai keperluan dengan menyesuaikan karakteristik-karakteristik yang ada pada logam. Tak jarang diperlukan penyatuan bagian-bagian pada material logam sesuai dengan fungsi dan tujuannya dilapangan. Metode yang paling sering digunakan untuk menyambung logam adalah pengelasan.

Spot welding atau las titik adalah metode pengelasan yang sering diaplikasikan untuk material berbentuk pelat. Contoh industri yang menggunakan metode *spot welding* adalah manufaktur bodi kendaraan, bodi kapal laut, dan pembuatan bejana tekan.

Pada sambungan las biasanya rentang terhadap korosi. Korosi menyebabkan

penurunan mutu material yang digunakan. Oleh karena itu dilakukan berbagai macam upaya untuk mencegah atau menghambat laju korosi. Salah satunya adalah dengan pengaplikasian inhibitor korosi.

Di lapangan inhibitor korosi terbukti dapat menurunkan laju korosi pada logam, tetapi inhibitor korosi yang digunakan sebagian besar adalah inhibitor korosi berbahan kimia. Inhibitor korosi berbahan dasar kimia industri ternyata berdampak negatif terhadap kelestarian lingkungan. Untuk itu, diperlukan alternatif inhibitor korosi yang ramah terhadap lingkungan, yaitu dengan melakukan inovasi inhibitor korosi berbahan dasar bahan-bahan alami.

Bahan alami yang dapat dijadikan inhibitor adalah bahan-bahan yang mengandung antioksidan didalamnya. Antioksidan dapat berperan sebagai penghambat korosi karena mempunyai kemampuan untuk mengikat oksigen yang kuat. Disamping itu cara kerja inhibitor adalah dengan membentuk lapisan film pada permukaan logam. Lapisan film inilah yang melindungi permukaan logam dari kontak

dengan oksigen atau zat korosif lainnya. Dimana zat antioksidan juga dapat mengikat oksigen sebelum oksigen bereaksi dengan permukaan logam.

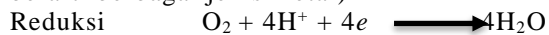
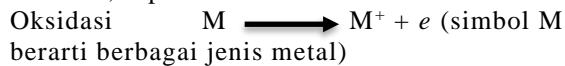
Pada penelitian ini dilakukan pengujian performansi inhibitor berbahan dasar ekstrak propolis Kele-kele (*Trigona Sp.*) dari wilayah Lombok.

2. Dasar Teori

2.1 Korosi

Korosi secara umum dapat diartikan sebagai kerusakan ataupun degradasi material logam karena pengaruh lingkungannya. Proses korosi ini terjadi secara kimia dan elektrokimia yang melibatkan unsur logam dan oksigen atau zat lain sehingga terbentuk oksida logam. Reaksi secara kimia adalah proses korosi yang langsung bereaksi dengan lingkungannya, sedangkan reaksi secara elektrokimia berarti terdapat perbedaan potensial antara 2 jenis metal pada medium elektrolit. Hal ini dapat terjadi karena sebagian besar material logam di bumi adalah tidak stabil. Ketidakstabilan dari logam mendorong adanya reaksi korosif yang membentuk oksida logam(korosi dengan pengikatan ion oksigen) atau sulfida logam(korosi dengan pengikatan ion asam). Reaksi korosif tersebut menjadikan logam senyawa yang stabil, seperti saat logam tersebut berada di alam sebelum dilakukan perlakuan sehingga menjadi logam siap pakai di industri.

Pada umumnya terjadinya korosi dapat dijelaskan dengan reaksi Reduksi dan Oksidasi (Redoks). Oksidasi adalah reaksi ketika senyawa atau unsur melepaskan elektron ke oksigen atau senyawa atau unsur lainnya. Sedangkan Reduksi adalah reaksi ketika senyawa atau unsur menerima elektron dari senyawa atau unsur lainnya. Reaksi oksidasi dan reduksi pada logam dapat dipahami sebagai reaksi pelepasan dan penerimaan elektron, seperti :



Laju korosi dapat dihitung menggunakan rumus[1] :

$$CR = \frac{KW}{AT\rho} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana:

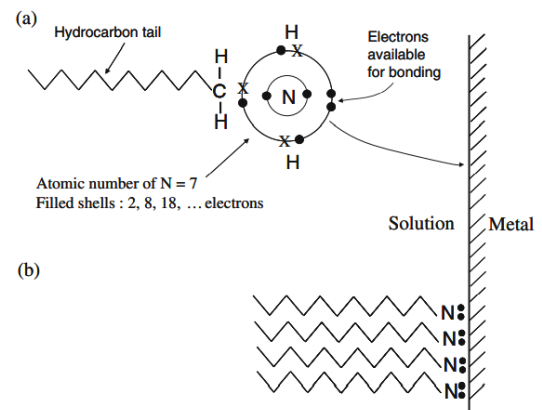
- CR = Laju Korosi / Corrosion Rate (mpy)
- W = Kehilangan berat / Weight loss (gram)
- K = Konstanta
- ρ = Densitas spesimen (gr/cm^3)
- A = Luas permukaan / Surface area (cm^2)
- T = Waktu / Exposure Time (jam)

2.2 Inhibitor Korosi

Bagaimana laju korosi dapat menurun adalah tergantung daripada laju perpindahan elektron dan lingkungan dalam hal ini sifat-sifat metalurgi material untuk mencapai kesetimbangan. Korosi dapat meningkat maupun berkurang tergantung pada konstituen elektrolit. Contoh dalam reaksi $Fe + OH^- \longrightarrow FeOH^-$ jika terganggu oleh konstituen elektrolit maka korosi menurun. Yang dimaksud konstituen elektrolit adalah suatu konstituen reaktif yang lebih cenderung bereaksi dengan metal daripada oksigen atau senyawa lain yang menyebabkan korosi.

Jadi dengan adanya inhibitor maka metal/logam karena sifat kimia(keelektronegatifan) dan metalurginya akan lebih tertarik bereaksi dengan zat inhibitor tersebut. Reaksi dengan zat inhibitor ini menjadikan metal/logam mencapai kestabilan sehingga tidak reaktif lagi untuk mengalami korosi. Tetapi reaksi dari metal/logam dengan zat inhibitor hanya terjadi di bagian permukaan metal/logam tersebut sehingga tidak mempengaruhi sifat-sifat kimia logam secara signifikan dan tidak mengurangi kekuatan material logam.

Reaksi inhibitor dengan permukaan logam setelah beberapa lama akan membentuk lapisan film. Lapisan film ini berfungsi mengisolir permukaan logam dari lingkungan luar yang korosif. Cara kerja inhibitor divisualisasi melalui gambar dibawah ini[4].



Gambar 1. Cara Kerja Inhibitor

Inhibitor organik digunakan sebagai inhibitor dikarenakan struktur heteroatom yang dimilikinya seperti sulfur, nitrogen, dan oksigen. Beberapa kelompok fungsi dapat dilihat pada tabel 1. Gugus fungsi ini menunjukkan senyawa yang melekat pada rantai utama sehingga meningkatkan kemampuan molekul inhibitor untuk melindungi luas permukaan.[3]

Tabel 1. Gugus Fungsi Inhibitor Organik

Struktur	Nama	Struktur	Nama
-OH	hydroxyl	-CONH2	amide
-C≡C-	yne	-SH	thial
-C-O-C-	epoxy	-S-	sulfide
-COOH	carboxy	-S=O	sulfoxide
-C-N-C-	amine	-C=S-	thio
-NH2	amino	-P=O-	phosphonium
-NH	imino	-P-	phospo
-NO2	nitro	-As-	arsano
-N=N-N-	triazole	-Se-	seleno

Efisiensi inhibisi dapat dihitung menggunakan rumus[1]:

$$\eta = \frac{CRx - CRy}{CRx} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Dimana :

η = Efisiensi Inhibitor (%)

CRx = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) tanpa inhibitor (mpy)

CRy = Laju Korosi (*Corrosion Rate*) dengan inhibitor (mpy)

2.3 Propolis

Propolis merupakan lapisan tipis berwarna coklat yang menyelimuti kantung madu dan kantung bee pollen. Propolis adalah lem lebah yang digunakan sebagai pertahanan diri Lebah Trigona sp. Untuk melindungi diri dari serangan predator. Oleh karena itu, propolis diproduksi lebih banyak daripada madu. Komposisi propolis dipengaruhi oleh jenis, umur tumbuhan, dan darimana propolis tersebut berasal.

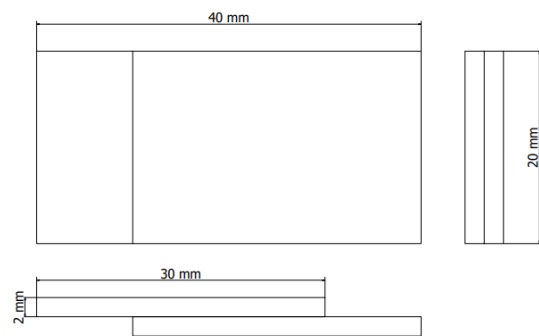
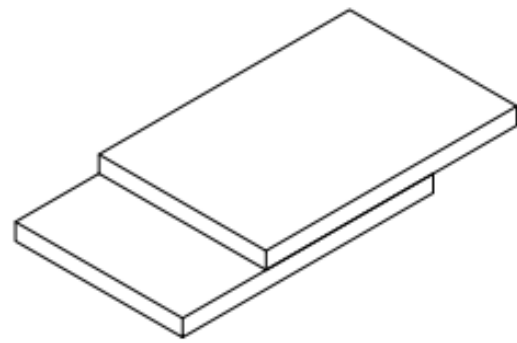
Propolis terdiri dari beberapa senyawa alami kompleks yaitu, terpenoid, flavonoid, ester, asam fenolat, asam imbrikatoloat, phinocembrin, festin, dan lainnya. Propolis juga dikenal dengan kandungan fenol yang tinggi. Dimana fenol adalah suatu senyawa yang memiliki gugus hidroksil (OH-) yang mempunyai efek sebagai antioksidan karena mampu mengikat dan menetralkan radikan bebas [2].

3. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan cara eksperimen. Pada awalnya spesimen uji dilakukan pengelasan titik. Spesimen uji yang digunakan adalah *stainless steel* AISI 304 dan *steel* AISI 1037. Dengan data pengelasan titik dan dimensi spesimen sebagai berikut.

Tabel 2. Data Pengelasan Spesimen Uji

No Spesimen	Welding Time	Diameter Elektroda	Gaya Tekan Kompresor	Daya Puncak Pengelasan
1	3,10 detik	6 mm	4 bar	5,89 KW
2	3,18 detik	6 mm	4 bar	5,73 KW
3	3,22 detik	6 mm	4 bar	5,75 KW
4	3,15 detik	6 mm	4 bar	5,78 KW



Gambar 2. Dimensi Spesimen Uji

Selanjutnya spesimen diuji korosi dengan cara merendamnya (*immersion*) pada medium korosif air laut. Terdapat 4 spesimen uji dimana masing-masing diberi inhibitor 0 ml, 2 ml, 4 ml, dan 6 ml. Spesimen uji direndam pada wadah dengan volume 1000 ml air laut. Perendaman dilakukan selama 14 hari, setelah 14 hari maka spesimen dikeluarkan dan dibersihkan dengan cara dibilas menggunakan *aquades*, selanjutnya dicelupkan pada HCL selama 5 menit agar material yang mengalami korosif terurai, lalu dibilas lagi dengan *aquades* kemudian aseton, dan terakhir dibilas dengan alkohol agar lebih bersih.

Setelah dilakukan pembersihan, spesimen dipanaskan diatas *hot plate* dengan suhu 192,5°C selama 2 jam. Pemanasan dilakukan untuk menghilangkan kadar air yang terdapat dalam spesimen uji.



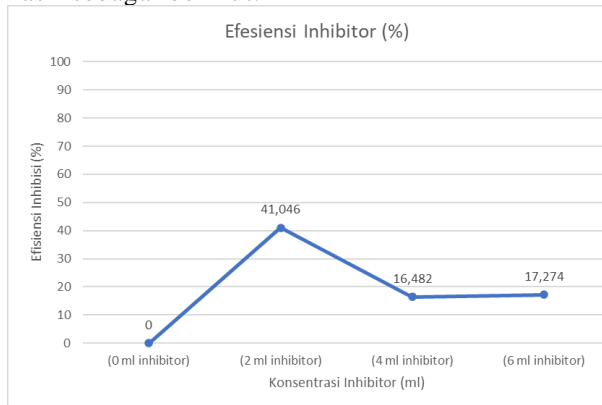
Gambar 3. Perendaman Spesimen Uji

Langkah terakhir yang dilakukan adalah penimbangan massa akhir masing-masing spesimen uji.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Efisiensi Inhibitor

Setelah dilakukan pengujian, didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Inhibitor

Dengan penambahan inhibitor maka laju korosi dapat dihambat. Pada penambahan dengan 2 ml inhibitor menghasilkan efisiensi inhibisi 41,046%, pada penambahan 4 ml inhibitor menghasilkan efisiensi inhibisi 16,482%, pada penambahan 6 ml inhibitor menghasilkan efisiensi inhibisi 17,274%.

Maka performansi tertinggi inhibitor didapat pada konsentrasi 2 ml di 1000 ml medium korosif air laut. Pada umumnya penambahan konsentrasi inhibitor sebanding dengan peningkatan efisiensi inhibisi sampai pada titik tertentu. Penambahan konsentrasi inhibitor yang terlalu pekat akan menyebabkan melemahnya interaksi logam dengan inhibitor sehingga mengakibatkan lapisan film protektif yang terbentuk di permukaan logam akan larut ke larutan dan merusak lapisan film itu sendiri[5]. Jadi penting untuk mengaplikasikan inhibitor dengan konsentrasi yang tepat agar mencapai efisiensi tertingginya.

5. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, dapat ditarik kesimpulan bahwa inhibitor korosi dapat menghambat laju korosi. Dimana pada penelitian ini didapat efisiensi inhibisi terbaik adalah pada konsentrasi 2 ml inhibitor di 1000 ml medium air laut. Dengan efisiensi sebesar 41,046% selama perendaman 14 hari.

Daftar Pustaka

[1]. Mulyaningsih, N., Mujiarto, S., & Gyani. (2019). PENGARUH DAUN JAMBU BIJI SEBAGAI INHIBITOR KOROSI ALAMI RANTAI KAPAL. *Journal of Mechanical Engineering*, 36-42.

- [2]. Amic, D., Stepanic, V., Lucic, B., Markovic, Z., & Dimitric Markovic, J. M. (2013). PM6 study of free radical scavenging mechanisms of flavonoids: why does O–H bond dissociation enthalpy effectively represent free radical scavenging activity? *Journal of Molecular Modeling*, 2593-2603.
- [3]. Gapsari, F. (2017). *Pengantar Korosi*. Malang: UB Press.
- [4]. McCafferty, E. (2010). *Introduction to Corrosion Science*. New York: Springer Science+Business Media.
- [5]. Indra, R. P. (2012). *Studi Ekstrak Daun Beluntas (Pluchea Indica Less) Sebagai Inhibitor Korosi Ramah Lingkungan Terhadap Baja Karbon Rendah Di Lingkungan 3,5% NaCl*. Jakarta: Departemen Teknik Material Dan Metalurgi UI.
- [6]. Roberge, P. R. (1999). *Handbook of Corrosion Engineering*. New York: McGraw-Hill.
- [7]. Schweitzer, P. A. (2010). *Fundamentals of Corrosion Mechanisms, Causes, and Preventative Methods*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.



Krisna Yudha Pratama telah menyelesaikan pendidikan di Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana dari tahun 2019 hingga 2023

Bidang penelitian yang diminati adalah topik tentang material, corrosion inhibitors, welding engineering, energi listrik, sistem hidrolik dan konversi energi.

Rancang Bangun Alat Bantu Penggulung Benang Kain Tenun Gedogan Dengan Metode Overall Equipment Effectiveness

M. Rizal Anas, I Wayan Widhiada, I Nyoman Suprpta Winaya
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Bukit, Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini merancang alat bantu penggulungan benang dengan menggunakan dua motor DC 200 rpm 12 Volt menggunakan metode overall equipment effectiveness untuk mengukur nilai efektivitas mesin yang memiliki tiga elemen produktivitas yang diukur, yaitu availability rate, performance rate, dan quality rate dengan menggunakan 3 variasi kecepatan yaitu 50 rpm, 100 rpm, dan 200 rpm. Performa alat bantu penggulung otomatis lebih efektif digunakan dari pada alat bantu penggulung benang manual pada kecepatan 200 rpm yang sudah memenuhi standar global nilai OEE dengan nilai sebesar 95% dengan hasil gulungan yang memiliki kerataan dan tidak mengalami kusut pada gulungan.

Kata Kunci: Alat Bantu Penggulung Benang, Motor DC, Overall Equipment Effectiveness, Availability Rate, Performance Rate, Quality Rate

Abstract

This research design a screw rolling tool using two 12 Volt 200 rpm DC motors using the overall equipment effectiveness method to measure the effectiveness value of the machine which has three productivity elements measured, namely availability rate, performance rate, and quality rate using 3-speed variation namely 50 rpm, 100 rpm, and 200 rpm. The performance of the automatic winding tool is more effective than the manual yarn winding tool at a speed of 200 rpm which has met the global standard of OEE value with a value of 95% with the results of rolls that have flatness and do not experience tangles on the roll.

Keywords: Thread Winding Aid, DC Motor, Overall Equipment Effectiveness, Availability Rate, Performance Rate, Quality Rate

1. Pendahuluan

Perkembangan dan banyaknya industri yang semakin meningkat dalam bidang produksi dikarenakan semakin cepat ilmu dan teknologi yang berkembang dengan sumber daya manusia yang mendukung, mendorong keinginan manusia untuk menciptakan alat untuk mengurangi beban yang dilakukan seseorang, maka kegiatan yang dilakukan kian efektif. Namun masih banyak home industry yang maju dan masih digunakannya tenaga manusia menggunakan alat yang masih tradisional saat operasi pembuatannya, contohnya yaitu pembuat kain tenun gedogan yang berada di desa Kembang Kerang Daya, kecamatan Aikmel, kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat.

Kerajinan tenun gedogan dalam menghasilkan kain tenun yang berkuaitas dibutuhkan ketelitian, keuletan dan ketekunan yang tinggi dalam pengerjaan menenun sehingga membutuhkan waktu sehari-hari dalam proses pembuatannya, dikarenakan proses penggulung benang masih dilakukan dengan tradisional dan memerlukan proses yang memakan waktu lama dalam penggulungan.

Kerajinan kain tenun tradisional gedogan Lombok sudah cukup lama sekitar 1522 tahun dengan prospek pengembangan usaha di Kecamatan Pringgasele dengan nilai R/C ratio sebesar 1,82 yang berarti usaha kerajinan kain tenun gedogan baik dan layak untuk diusahakan [1].

Modifikasi alat penggulung benang gelasan otomatis dapat menggulung dengan persentase keberhasilan 100% dengan komunikasi antar muka[2]. Waktu yang dibutuhkan untuk menggulung benang berdasarkan nama gulungan adalah unyil 2,76 detik, 3,99 detik, 20,56 detik dan 1000 yard 5,02 detik[3]. Alat penggulung benang kain songket Palembang dengan sistem. Otomatisasi *Transverse Roll* selama waktu 60 detik dengan putaran motor satu sebesar 2500 rpm dan motor dua sebesar 1500 rpm menghasilkan gulungan seberat 19,37 gram dengan tingkat kerapian, kerataan, dan kekencangan yang sangat baik[4]. Penerapan sistem mikrokontroler arduino uno sebagai alat penggulung lilitan kawat dengan kontrol kecepatan akurasi jumlah lilitan yang tinggi dengan ketelitian penggulungan rata-rata sebesar 99,73% [5].

Peneliti tertarik memberikan solusi kepada penenun yang ada di desa Kembang Kerang Daya berfokus dalam proses penggulungan benang yang lebih baik dan cepat untuk memudahkan penenun kain tenun gedogan. Bertitik tolak dari permasalahan tersebut maka peneliti akan merancang alat bantu penggulung benang dengan metode *Overall equipment effectiveness* (OEE) yang bertujuan mengukur nilai efektivitas mesin yang memiliki tiga elemen produktivitas yang diukur, yaitu *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate*. Data yang didapatkan melalui OEE dengan variasi kecepatan 50 rpm, 100 rpm, dan 200 rpm nantinya digunakan untuk mengidentifikasi efektifitas dan efisiensi dari alat bantu penggulung benang. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai OEE dari alat bantu penggulung benang dan meningkatkan efektifitas dari penggulungan benang kain tenun gedogan di desa Kembang Kerang Daya.

Tujuan dari penelitian ini, adalah untuk Mengetahui pengaruh variasi kecepatan 50 rpm, 100 rpm dan 200 rpm terhadap performa waktu, efisiensi alat bantu penggulung benang sistem *microcontroller* dan kualitas benang yang dihasilkan. Adapun masalah pada penelitian ini yang akan dibahas dalam adalah, Bagaimana pengaruh variasi kecepatan 50 rpm, 100 rpm dan 200 rpm terhadap performa waktu, efisiensi alat bantu penggulung benang sistem *microcontroller* dan kualitas benang yang dihasilkan. Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Perencanaan alat meliputi membatasi pemilihan 2 motor dc 12 volt dengan 200 rpm.
2. Perencanaan alat bantu penggulung benang dengan variasi kecepatan 50 rpm, 100 rpm dan 200 rpm.
3. Perencanaan komponen alat bantu penggulung benang dengan menggunakan *microcontroller* arduino uno.

2. Dasar Teori

2.1. Arduino UNO

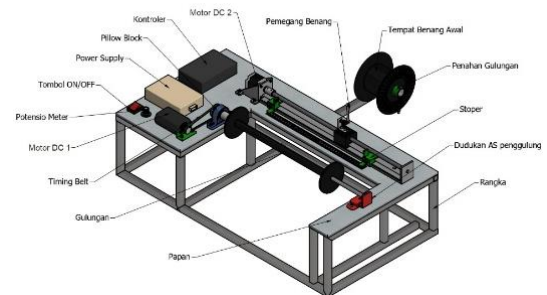
Arduino UNO merupakan komponen *papan microcontroller* berbasis ATmega328. Arduino UNO mempunyai 14 pin *input* atau *output* dimana 6 pin berfungsi sebagai *output* PWM. 6 *analog input*, sebuah *crystal* osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Board ini juga mendukung mikrokontroler untuk terkoneksi ke computer dengan kabel USB dan mampu menyuplai menggunakan suatu adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai buat memulainya[6].

2.2. Motor DC

Motor listrik yang memerlukan arus searah yang dibuat nantinya akan diganti menjadi energi mekanik yang akan berputar. Dalam motor DC memiliki bagian kumparan diantaranya kumparan medan yang digunakan untuk menghasilkan medan magnet dan kumparan jangkar yang digunakan sebagai terbentuknya gaya gerak listrik. Jika arus dalam kumparan jangkar berinteraksi dengan medan magnet, akan timbul torsi yang akan memutar motor.

Berdasarkan aturan tangan kiri *Fleming*, jempol menggambarkan arah gerak, jari telunjuk mengartikan arah medan, dan jari tengah mengartikan arah arus. Jika sebuah kumparan yang di arus listrik diletakkan di sekitar medan magnet yang diwujudkan oleh medan magnet tetap, sehingga sehingga pada penghantar mengalami gaya. Prinsip ini nantinya yang digunakan pada motor [8].

3. Metode penelitian



Gambar 1. Desain Alat bantu penggulung benang sistem mikrokontroler

Gambar 1, penggulung benang dengan sistem mikrokontroler arduino uno yang menggunakan dua motor DC. Motor DC 1 sebagai penggerak penggulung dan motor DC 2 sebagai penggerak untuk kerapian gulungan.

3.1. Alat

- Motor DC 1 berfungsi sebagai motor penggulung benang.
- *Timing belt* berfungsi sebagai penghubung dari poros motor 1 ke poros gulungan.
- Gulungan berfungsi sebagai tempat hasil gulungan yang digerakkan oleh motor DC 1.
- Potensio meter berfungsi untuk mengatur resistensi tegangan dan arus listrik.
- Tombol OFF/ON digunakan untuk mematikan dan menghidupkan alat bantu penggulung benang.
- *Power supply* digunakan untuk mengatur daya tegangan naik atau turun dan mengubah tegangan AC menjadi DC.

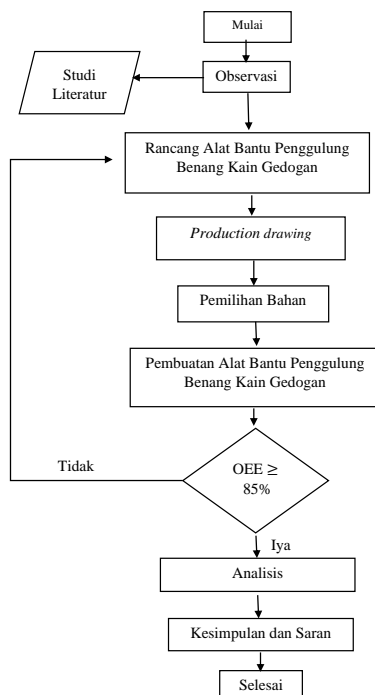
- Kontroler berfungsi untuk mengatur atau mengontrol dari alat bantu penggulung benang tersebut.
- Motor DC 2 berfungsi sebagai motor yang mengatur kerapian dari gulungan benang yang dihasilkan.
- Pemegang benang berfungsi sebagai pegangan benang disaat proses penggulungan untuk mencegah benang putus.
- Tempat benang awal berfungsi sebagai tempat benang yang akan digulung.
- Penahan gulungan berfungsi untuk menahan gulungan pada posisinya.
- *Stopper* berfungsi sebagai batasan dari motor 2, pada saat proses penggulungan mengenai *stopper* maka motor akan berubah arah searah jarum jam dan mengubah arahnya ke arah yang sebaliknya.
- *Pillow block* sebagai bantalan dari poros penggulung.
- Papan berfungsi sebagai alas dari alat bantu penggulung benang.

3.2. Bahan

Bahan yang mendukung pada penelitian ini menggunakan benang kapas.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini diuraikan secara sistematis mengenai langkah-langkah dalam penelitian. Hal yang dilakukan pada penelitian ini ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

3.4. Metode Pengambilan Data

Metode *Overall Equipment Effectiveness* berfungsi untuk membilang jumlah *effectiveness* atas suatu alat produksi. Apabila jumlah $OEE \geq 85\%$, bahwa alat dapat digambarkan efektif. Apabila $OEE < 85\%$, alat tersebut dikatakan bukan *effective* dan akan dilakukannya kajian sehingga mendapat sumber permasalahannya, pada proses kalkulasi, *OEE* terdapat beberapa indikator penting, yaitu *availability rate*, *performance rate*, dan *quality rate* [9].

Tabel 1. World-class standard OEE

OEE Factor	World-class standard
Availability rate	$\geq 90,0\%$
Performance rate	$\geq 95,0\%$
Quality rate	$\geq 99,9\%$
OEE	$\geq 85,\%$

Availability rate merupakan mengukur efektivitas *maintenance* mesin produksi dalam kondisi produksi saat berlangsung. Maka untuk mencari *availability rate* adalah:

$$\begin{aligned}
 \text{Availability rate} &= \frac{\text{operation time} \times 100\%}{\text{loading time}} \\
 &= \frac{[(\text{loading time} - \text{down time}) \times 100\%]}{\text{loading time}} \quad (1)
 \end{aligned}$$

Performance rate menggambarkan unsur berapa produk yang dihasilkan selama proses produksi berlangsung. Maka rumus mencari *performance rate* adalah:

$$\text{perf.rate} = \frac{\text{processed amount} \times \text{ideal cycle time} \times 100\%}{\text{operation time}} \quad (2)$$

Quality rate merupakan hasil semua produk yang sukses terhadap jumlah produk dari suatu proses, jadi rumus mencari *quality rate* adalah:

$$\text{quality rate} = \frac{[(\text{processed amount} - \text{defect amount}) \times 100\%]}{\text{processed amount}} \quad (3)$$

Setelah mendapatkan hasil dari tiga indikator di atas, maka selanjutnya menghitung nilai *OEE* dengan rumus:

$$OEE = \text{availability rate} \times \text{performance rate} \times \text{quality rate} \quad (4)$$

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Data Perhitungan *Availability Rate* Penggulung Otomatis

Tabel 2. Data *Availability Rate* Penggulung Otomatis

Variasi kecepatan	Operation time (detik)	Downtime (detik)	Loading time (detik)
50 rpm	360	0	360
100 rpm	360	0	360
200 rpm	360	0	360

$$\text{Availability rate} = \frac{\text{operation time} \times 100\%}{\text{loading time}}$$

$$= \frac{(\text{loading time} - \text{down time}) \times 100\%}{\text{loading time}}$$

$$\text{Pengujian 50 rpm} = \frac{(360-0) \times 100\%}{360} = 100\%$$

$$\text{Pengujian 100 rpm} = \frac{(360-0) \times 100\%}{360} = 100\%$$

$$\text{Pengujian 200 rpm} = \frac{(360-0) \times 100\%}{360} = 100\%$$

Pada tabel 2, alat bantu penggulung benang otomatis tanpa mengalami *downtime* disaat pengoperasian mesin penggulung karena kecepatan yang konsisten tanpa penurunan kecepatan sehingga tidak menghambat *loading time* dan *operation time* atau mengulur waktu penggulungan dan memenuhi standar global.

4.2. Data Perhitungan *Performance Rate* Penggulung Otomatis

Tabel 3. Data *Performance Rate* Penggulung Otomatis

Variasi kecepatan	Processed amount (g)	Ideal cycle time (detik)
50 rpm	61	420
100 rpm	64	420
200 rpm	82	420

$$\text{Perf. rate} = \frac{\text{processed amount} \times \text{ideal cycle time} \times 100\%}{\text{operation time}}$$

$$\text{Pengujian 50 rpm} = \frac{61 \times 420 \times 100\%}{360} = 71\%$$

$$\text{Pengujian 100 rpm} = \frac{64 \times 420 \times 100\%}{360} = 74\%$$

$$\text{Pengujian 200 rpm} = \frac{82 \times 420 \times 100\%}{360} = 95\%$$

420 detik yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu gulungan dan pada

tabel 3, kecepatan 200 rpm yang memenuhi standar global sebesar 95%.

4.3. Data Perhitungan *Quality Rate* Penggulung Otomatis

Tabel 4. Data *Quality Rate* Penggulung Otomatis.

Variasi kecepatan	Processed amount (g)	Defect amount (g)
50 rpm	61	0
100 rpm	64	0
200 rpm	82	0

$$\text{Quality rate} = \frac{[(\text{processed amount} - \text{defect amount}) \times 100\%]}{\text{processed amount}}$$

$$\text{Pengujian 50 rpm} = \frac{(61-0) \times 100\%}{61} = 100\%$$

$$\text{Pengujian 100 rpm} = \frac{(64-0) \times 100\%}{64} = 100\%$$

$$\text{Pengujian 200 rpm} = \frac{(82-0) \times 100\%}{82} = 100\%$$

Pada tabel 4, dari ketiga pengujian di atas tidak mengalami *defect amount* dan memenuhi standar global OEE untuk *quality rate*.

4.4. Data Perhitungan OEE dan Hasil Penggulung Otomatis

$$\text{OEE} = \text{availability rate} \times \text{performance rate} \times \text{quality rate}$$

$$\text{Pengujian 50 rpm} = 100\% \times 71\% \times 100\%$$

$$= 71\%$$

$$\text{Pengujian 100 rpm} = 100\% \times 74\% \times 100\%$$

$$= 74\%$$

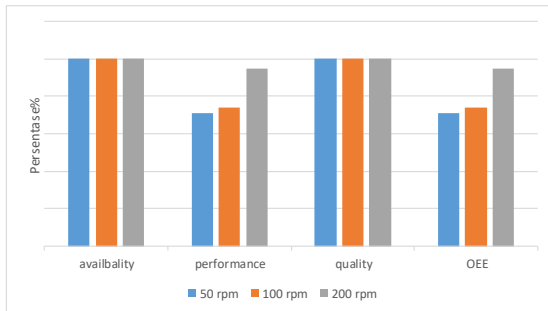
$$\text{Pengujian 200 rpm} = 100\% \times 95\% \times 100\%$$

$$= 95\%$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Penggulung Otomatis

Variasi Kecepatan	Availabity Rate	Performance Rate	Quality Rate	OEE
50 rpm	100%	71%	100%	71%
100 rpm	100%	74%	100%	74%
200 rpm	100%	95%	100%	95%

Gambar 5, hasil dari perhitungan tiga indikator produktifitas dan mendapatkan nilai OEE.



Gambar 6. Hubungan antara variasi kecepatan dengan indikator produktivitas

Pada gambar 6, bahwa semakin tinggi kecepatan yang di gunakan maka semakin optimal yang dihasilkan. Kecepatan yang lebih efektif yaitu 200 rpm memenuhi standar global dari nilai OEE yang dihasilkan.

4.5. Hasil Gulungan Benang



Gambar 7. Hasil Penggulungan 50 rpm



Gambar 8. Hasil Penggulungan 100 rpm



Gambar 9. Hasil Penggulungan 200 rpm

Pada gambar 7, gambar 8, dan gambar 9, karakteristik gulungan yang dihasilkan dari ketiga gulungan tersebut hampir sama memiliki gulungan yang merata tidak

terjadinya putus atau kusut pada gulungan dan ketebalan atau kepadatan gulungan yang baik.

5. Kesimpulan

Performa alat bantu penggulung otomatis lebih efektif digunakan dari pada alat bantu penggulung benang manual pada kecepatan 200 rpm yang sudah memenuhi standar global nilai OEE dengan nilai sebesar 95% dengan hasil gulungan yang memiliki kerataan dan tidak mengalami kusut pada gulungan.

Variasi kecepatan 50 rpm dan 100 masih belum memenuhi standar global OEE dengan memiliki masing-masing nilai sebesar 71% dan 74%.

Daftar Pustaka

- [1] F. Hastini, 2018, *Prospek Pengembangan Usaha Kerajinan Kain Tenun Gedogan di Kecamatan Pringgasela Kabupaten Lombok Timur*, Jurnal Online Mahasiswa Bidang Pertanian, Vol, 105.
- [2] Petrus Hendro Banjar Nahor, M. Saukat, M. Muhaemin, and D. Prijatna, 2021, *Modifikasi Mesin Penggulung Benang Gelasan Otomatis TEP-03*, Seminar Nas. Tek. Kimia Soebardjo Brotohardjo XVII, Hal.133–138.
- [3] D. Prijatna, M. Saukat, and A. Thoriq, 2017, *Rancang Bangun Mesin Penggulung Benang Gelasan Otomatis Di Desa Kutamandiri Kecamatan Tanjnung Kabupaten Sumedang*, Jurnal Apl. Ipteks untuk Masy., Vol. 6, No. 2, Hal. 120–124.
- [4] D. Sepriyanto, Iskandar, R. Wilza, N. Faradilla, R. Permana Putra, and Z. Zal Fauzan, 2017, *Alat Bantu Penggulung Benang Songket Palembang Pada Lungen Dengan Sistem Otomatis Transverse Roll*, Jurnal Austenit, Vol. 9, No. 1, Hal. 17–24.
- [5] D. Irfan, Junaidi, and A. Surtono, 2021, *Rancang Bangun Mesin Penggulung Lilitan Kawat Transformator Otomatis Berbasis Arduino Uno*, Jurnal Energy, Material Instrumentation and Technology, Vol. 2, No. 3, Hal. 51–5.
- [6] S. J. Sokop, D. J. Mamahit, and S. Sompie, 2016, *Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*, Jurnal Tek. Elektro dan Komputer, Vol. 5, No. 3, Hal. 13–23.
- [7] Bahrin, 2017, *Sistem Kontrol Penerangan Menggunakan Arduino Uno Pada Universitas Ichsan Gorontalo*, ILKOM Jurnal Ilmiah, Vol.

- 9, No. 3, Hal. 282–289.
- [8] D. Maulana, 2012, *Analisa Sistem Ward Leonard Pada Rangkaian Motor Dan Generator DC Dengan Kendali PID*, Jurnal Fak. Teknik Prog. Studi Tek. Elektro Univ. Indonesia, Hal. 4-5
- [9] V. Vernando and I. H. Mulyadi, 2020 *Sistem Penghitug Nilai Efektivitas Mesin Forming Menggunakan Metode Overall Equipment Effectiveness*, Jurnal Applied Electrical Eng., Vol. 4, No. 2, Hal. 34–39.
- [10] H. Sonawan, 2010, *Perancangan Elemen Mesin*, Bandung: CV. Alfabeta Bandung, Hal. 252.
- [11] UNEP, 2004, *Pedoman Efisiensi Energi Untuk Industri di Asia: Motor listrik 1*, Energy Efficiency Asia.Org ©UNEP, Vol. 1, Hal. 1–26.
- [12] Utomo, Budi, 2013, *Catatan Bebas Mesin AC*, Universitas Sebelas Maret, Surabaya, Hal. 12-16.
- [13] Zatmiko, Jeffry, 2012, *Rancang Bangun Mesin Pengepress Kaleng Aluminium 330 ml*, TA. Politeknik Negeri Sriwijaya.

	<p>M. Rizal Anas Lahir di Mamben lauk pada 14 November 1999. Menyelesaikan masa SMA di SMAN 1 Aikmel, Lombok Timur tahun 2018. Menyelesaikan studi S1 di Universitas Udayana, Program Studi Teknik Mesin tahun 2023.</p>
<p>Konsentrasi Penelitian Bidang Rekayasa Manufaktur</p>	

Simulasi Penggunaan *Rounding Front Hood* Kendaraan Terhadap Pola Aliran Dan Distribusi Koefisien Tekanan Pada *Upperside* Kendaraan Model

Pajar Doli Soripada Marbun, Anak Agung Adhi Suryawan, I Made Gatot Karohika

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Kendaraan telah menjadi kebutuhan sehari-hari, hal ini menyebabkan tingginya permintaan kendaraan, dengan demikian konsumsi bahan bakar mengalami peningkatan sedangkan, bahan bakar minyak merupakan sumber daya tak terbarukan. Pembaharuan pada kendaraan agar lebih hemat bahan bakar sangat diperlukan guna menghemat bahan bakar minyak. Salah satunya pada *rounding front hood* kendaraan yang ditujukan untuk mengurangi vortex pada aliran udara yang melewati mobil dan mendapatkan koefisien hambat, serta melihat distribusi tekanan pada *upperside* kendaraan yang banyak terkena tekanan oleh aliran udara. Gaya-gaya aerodinamis suatu kendaraan salah satunya ditimbulkan oleh adanya tekanan pada permukaan bodi. Penelitian ini menggunakan simulasi pada CFD dengan menggunakan model kendaraan sedan yang divariasikan pada *rounding front hood*, dengan variasi tanpa *rounding* dan 400 mm *rounding*, model kendaraan disimulasikan dengan kecepatan 80 km/h. Hasil menunjukkan pola aliran udara yang melewati kendaraan *rounding* masih terdapat besarnya *forward bound vortex* pada bagian depan kendaraan sedangkan pada kendaraan model dengan 400 mm *rounding* lebih sedikit sehingga koefisien hambat yang didapat lebih kecil dari pada kendaraan model tanpa *rounding* dengan selisih koefisien hambat sebesar 0,10232696. Terjadi titik stagnasi pada model kendaraan tanpa *rounding* dan kendaraan dengan 400 mm *rounding* pada $x=0$, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding*.

Kata kunci: Computational Fluid Dynamics, Koefisien hambat, Koefisien Tekanan, Pola Aliran Udara

Abstract

Vehicles have become a daily necessity, leading to a high demand for vehicles. Consequently, fuel consumption has increased, while oil fuel is a non-renewable resource. Therefore, innovations in vehicles to achieve fuel efficiency are highly needed in order to save oil fuel. One of these innovations is the rounding of the front hood of a vehicle, aimed at reducing vortexes in the airflow passing through the car and minimizing drag coefficients. It also involves examining the pressure distribution on the upper side of the vehicle, which experiences significant pressure from the airflow. The aerodynamic forces on a vehicle are partly caused by pressure on the body surface. This study utilizes Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations using a sedan vehicle model, with variations in the rounding of the front hood, including no rounding and a 400 mm rounding. The vehicle models are simulated at a speed of 80 km/h. The results indicate that the airflow pattern passing through the rounding vehicle still exhibits a significant forward bound vortex at the front, whereas the vehicle model with a 400 mm rounding has a reduced forward bound vortex. As a result, the drag coefficient obtained is smaller than that of the vehicle model without rounding, with a difference in drag coefficient of 0.10232696. Stagnation points occur in the vehicle model without rounding and the vehicle with a 400 mm rounding at $x=0$, while separation points occur at $x=0.1$ in the vehicle without rounding and at $x=1.825$ in the vehicle with a 400 mm rounding.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, Drag Coefficient, Pressure Coefficient, Airflow Patterns

1. Pendahuluan

Kendaraan telah menjadi kebutuhan sehari-hari, hal ini menyebabkan tingginya permintaan kendaraan di negara ini, oleh karena itu konsumsi bahan bakar minyak di Indonesia meningkat, mengingat bahan bakar minyak adalah sumber daya tak terbarukan maka ketersediaannya di Indonesia akan semakin berkurang setiap tahunnya. Sehingga untuk menghemat bahan bakar minyak perlu dilakukan pembaharuan pada kendaraan agar konsumsi bahan bakarnya lebih hemat. Beberapa metode dapat digunakan untuk pengujian, salah satunya pengujian eksperimental di dalam *wind tunnel*, namun metode ini membutuhkan waktu dan biaya yang cukup besar.

Sehingga muncul pertimbangan untuk memanfaatkan komputasi dan simulasi numerik sebagai solusi terhadap permasalahan ini dengan pertimbangan kecepatan dalam memperoleh data dan biaya yang lebih ringan.

Berbagai peningkatan telah dilakukan pada kendaraan bermotor, hal ini dilakukan akibat tuntutan efisiensi bahan sumber daya, optimasi pada bodi kendaraan menjadi salah satunya. Akan tetapi, hasil dari menggunakan metode simulasi tidak dapat menjadikan hasil yang didapatkan menjadi acuan dikarenakan diperlukan juga metode eksperimen yang lebih aktual untuk dijadikan pembandingan dari hasil analisa. Pada penelitian kali ini, dikarenakan

terbatasnya biaya dan waktu maka penelitian akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi dengan CFD. Berdasarkan hal di atas penulis ingin melakukan penelitian tentang pengaruh *rounding front hood* pada kendaraan model terhadap pola aliran, koefisien hambat dan distribusi koefisien tekanan, dengan variasi jari-jari *rounding* pada *front hood* kendaraan model menggunakan metode simulasi pada software Ansys workbench.

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

1. Bagaimana pola aliran udara yang melewati bodi dan koefisien *drag* pada kendaraan model, tanpa dan dengan 400 mm *rounding front hood*?
2. Bagaimana distribusi koefisien tekanan pada *upper side* bodi kendaraan model, tanpa dan dengan 400 mm *rounding front hood*?

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk Mengetahui pola aliran udara yang melintasi bodi dan mendapatkan nilai koefisien *drag* (cd) pada kendaraan model, tanpa dan dengan variasi *rounding front hood* dan mengetahui distribusi tekanan *upper side* pada bodi mobil, tanpa dan dengan variasi *rounding front hood*. Untuk membatasi masalah yang begitu luas maka dibuat batasan masalah.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Fluida yang mengalir adalah udara yang diasumsikan dalam keadaan steady.
2. Temperatur udara diasumsikan konstan.
3. Distribusi koefisien tekanan diambil pada *upper side* bodi kendaraan model.
4. Kecepatan udara yang digunakan yaitu 80 km/h.

2. Dasar Teori

Aerodinamika terjadi karena adanya aliran fluida pada suatu bodi. Akibat terdapatnya fluida yang mengalir maka suatu bodi akan mendapatkan gaya tekan dan geser. *Drag* pada sebuah benda dibagi menjadi dua macam, yaitu *drag* gesekan yang diakibatkan oleh gaya gesek dan *drag* tekan yang diakibatkan oleh tekanan. Koefisien *drag* (C_D) ialah koefisien hambatan aerodinamik yang dipengaruhi oleh faktor bentuk dan kehalusan permukaan kendaraan. *Coefficient of Drag*, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho v^2 A} \quad (1)$$

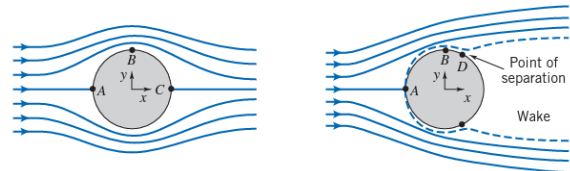
Maka benda yang berbentuk seperti mobil. Semakin besar nilai C_D maka semakin besar pula hambatan aerodinamiknya.

Koefisien tekanan (C_p) adalah selisih antara tekanan statis pada kontur lokal dengan tekanan statis *free stream* dibagi dengan tekanan dinamis pada *free-stream*. Secara umum persamaan koefisien tekanan adalah sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_c - P_\infty}{q} \quad (2)$$

Suatu Aliran yang melewati benda *streamline* akan mengalami penurunan tekanan (*pressure drop*) yang

sebagian besar disebabkan oleh hambatan gesekan permukaan (*friction drag*). Untuk aliran yang melintasi benda tumpul maka hambatan bentuk (*form drag*) akan berpengaruh besar terhadap penurunan tekanan dibandingkan hambatan gesekan permukaan. Berpisahannya aliran yang menghalangi menutupnya garis-garis aliran menyebabkan timbulnya hambatan bentuk atau hambatan tekanan (*pressure drag*), sehingga daerah tekanan rendah dibelakang benda terbentuk



Gambar 1 Separasi Aliran Melewati benda

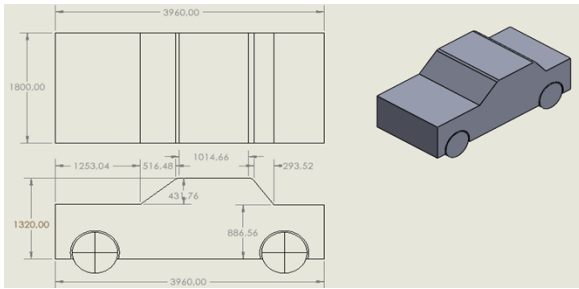
Lapisan batas timbul di permukaan benda dikarenakan sifat viskositas dari fluida yang cenderung menempel pada permukaan. Aliran pada bodi atau *streamline* adalah garis-garis yang dalam sebuah medan kecepatan yang berbentuk sedemikian rupa, sehingga mengikuti arah aliran di setiap titik di medan aliran tersebut. Maka pola aliran udara di sekitar kendaraan akan terbentuk.

Computational Fluid Dynamics atau CFD adalah salah satu metode untuk menganalisa sistem yang melibatkan aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena fisik lainnya berdasarkan simulasi di komputer. Pada saat ini, CFD banyak digunakan dalam mencari solusi, terutama pada bidang mekanika fluida. Teknologi CFD sering digunakan untuk menjelaskan hasil yang didapatkan dari pendekatan analitis dan eksperimen. Simulasi pada CFD terdiri dari tiga tahapan proses pengerjaan, yaitu *preprocessing* (geometri dan *meshing*) kemudian Tahap CFD *solver* (parameter pemodelan) dan *postprocessing*.

3. Metode Penelitian

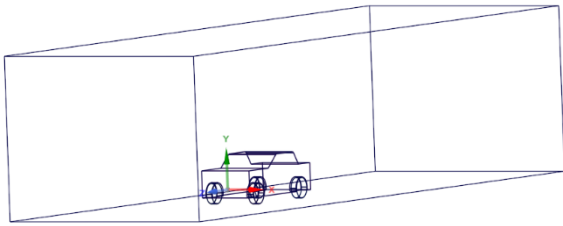
Penelitian ini sepenuhnya dilakukan di Lab Komputer PSTM-FT-Universitas Udayana, Bali

Penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan simulasi pada software CFD (*Computational Fluid Dynamic*) Pada penelitian ini penulis melakukan penelitian tentang simulasi penggunaan *rounding front hood* terhadap pola aliran dan distribusi koefisien tekanan pada *upper side* kendaraan model, dengan menggunakan variasi jari-jari pada bagian *rounding front hood* kendaraan model. Geometri yang digunakan dalam penelitian ini adalah model 3D kendaraan tipe sedan dengan menggunakan ANSYS *Fluent 21.2*. Adapun geometri dan dimensi dari model kendaraan yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2 Ukuran Kendaraan model

Setelah menentukan geometri selanjutnya adalah membuat *computational domain* untuk kendaraan model pada ANSYS.



Gambar 3 Domain Pemodelan Mobil

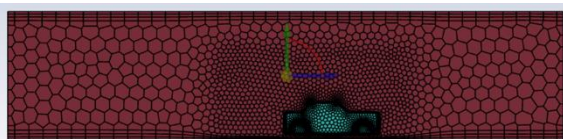
3.1. Parameter Pemodelan

Dalam penelitian ini digunakan model k-omega SST untuk memprediksi laju penyebaran fluida dengan harapan mendapatkan hasil yang akurat. Material yang digunakan pada penelitian ini adalah udara dengan densitas 1,225 kg/m³ dan viskositas 1,7894x10⁻⁵ kg/m.s. Kondisi batas digunakan pada *inlet*, *outlet*, *symmetry* dan *wall*. Pada *inlet* ditetapkan sebagai *velocity inlet* dan diberikan kecepatan sebesar 22,22 m/s. Sedangkan pada outlet adalah *pressure-outlet*. Kondisi pada batas dinding atas, samping kanan, bawah dan bodi kendaraan adalah *wall*. Solusi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan *coupled*. Konvergensi dalam penelitian ini ditentukan hingga iterasi mencapai nilai residual yang diinginkan yaitu iterasi dinyatakan telah konvergen setelah residualnya mencapai harga 10⁻⁶ atau konstan.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Meshing

Pada bagian domain, kendaraan model di mesh dengan metode *poly-hexcore*, setelah konsep mesh telah ditentukan akan dilakukan tahapan meshing pada model mobil dan *body of influence*. Setelah melakukan meshing dilakukan pengecekan terhadap kualitas mesh.



Gambar 4. Mesh pada mobil model dan domain pemodelan

Didapatkan rata-rata kualitas mesh sebesar 0,8942123 dengan metode orthogonal, yang menandakan *mesh* sudah bagus.

4.2. Hasil Simulasi

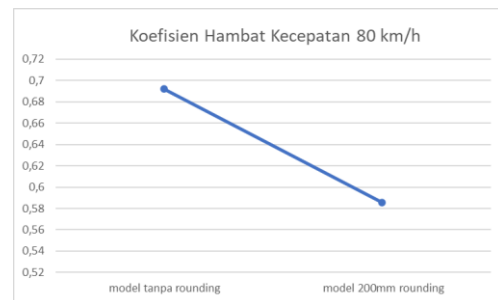
Setelah dilakukan meshing, memasukan parameter dan melakukan simulasi maka didapatkan hasil. Berikut merupakan hasil dari simulasi. Nilai koefisien hambatan mobil model tanpa dan dengan variasi *rounding* dengan kecepatan 80km/h .

Tabel 1. Koefisien Hambat Kendaraan Model tanpa *Rounding*

Kecepatan	Koefisien Hambat
80km/h	0,68619

Tabel 2. Koefisien Hambat Kendraaan Model 400 mm *Rounding*

Kecepatan	Koefisien Hambat
80km/h	0,58386



Gambar 5. Grafik Koefisien Hambat

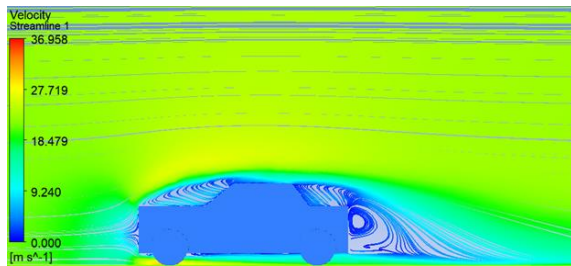
Koefisien drag dapat dihitung dengan persamaan 2.1

$$CD = \frac{FD}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} = \frac{256,40018}{\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 22,22^2 \cdot 1,2356} = 0,68619$$

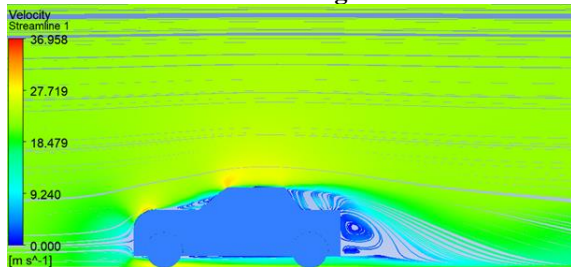
$$CD = \frac{FD}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} = \frac{218,16508}{\frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot 22,22^2 \cdot 1,2356} = 0,58386$$

Terjadi penurunan koefisien hambatan pada kendaraan model yang menggunakan *rounding* 400 mm pada bagian *upperside* sebesar 0,10232696 pada kecepatan aliran udara 80 km/h yang menandakan kendaraan model dengan *rounding* 400 mm lebih aerodinamis daripada kendaraan tanpa *rounding front hood*.

4.2. Pola Aliran Udara Kendaraan Model



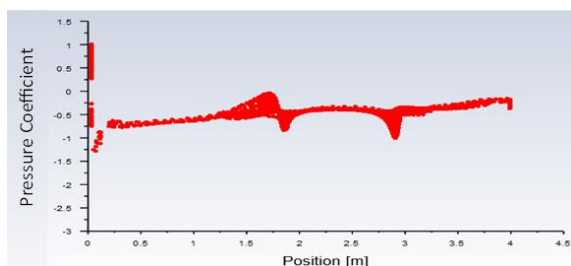
Gambar 6. Pola Aliran Udara Kendaraan Tanpa Rounding



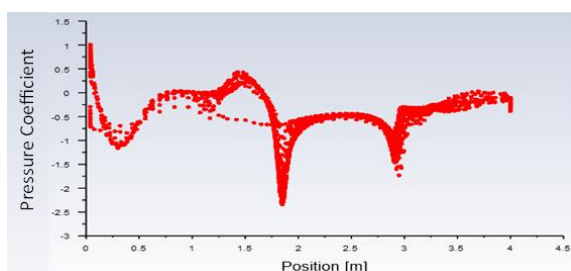
Gambar 7. Pola Aliran Udara Kendaraan 400 mm Rounding

Pada gambar 6 dan 7 adalah visualisasi pola aliran udara yang melewati kendaraan model, model kendaraan tanpa *rounding* memiliki kecepatan aliran tertinggi sebesar 31,593 m/s, sedangkan kendaraan dengan *rounding* 400 mm memiliki kecepatan aliran tertinggi sebesar 36,561. Model kendaraan tanpa *rounding* terlihat terdapat *forward bound vortex* yang cenderung lebih banyak dari pada kendaraan model dengan *rounding* 400 mm.

4.3 Distribusi Koefisien Tekanan pada Kendaraan Model



Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan pada Upperside Kendaraan Model Tanpa Rounding



Gambar 8. Distribusi Koefisien Tekanan pada Upperside Kendaraan Model 400 mm Rounding

Pada $x=0$ terjadinya *stagnation point* yang menyebabkan nilai pada kendaraan tanpa *rounding* dan 400 mm *rounding*, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* yang menyebabkan c_p turun sampai nilai $c_p -1,4$ dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding* yang menyebabkan c_p turun sampai nilai $c_p -2,4$.

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi *Computational Fluid Dynamic* yang dilakukan pada aplikasi ANSYS. Penelitian Simulasi ini untuk mendapatkan nilai koefisien hambat, distribusi koefisien tekan pada *upperside* dan menggambarkan pola aliran udara pada mobil tanpa *rounding* dan dengan *rounding* yang bervariasi dan variasi kecepatan, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Pola aliran udara pada kendaraan *rounding* terdapat besarnya *forward bound vortex* pada bagian depan kendaraan sedangkan pada kendaraan model dengan 400 mm *rounding* *forward bound vortex* semakin berkurang, yang menyebabkan nilai koefisien hambat kendaraan model tanpa *rounding* lebih besar daripada model kendaraan dengan *rounding* 400 mm dengan selisih koefisien hambat sebesar 0,10232696.
2. Terjadi titik stagnasi pada model kendaraan tanpa *rounding* dan kendaraan dengan 400 mm *rounding* pada $x=0$, terjadi *separation point* pada $x=0,1$ pada kendaraan tanpa *rounding* dan pada $x=1,825$ pada kendaraan 400 mm *rounding*. Nilai c_p terendah pada kendaraan model tanpa *rounding* didapatkan c_p sebesar $-1,4$ dan pada kendaraan model dengan *rounding* 400 mm didapatkan nilai c_p terendah sebesar $-2,4$.

Daftar Pustaka

- [1] Anderson John D. JR. (2017). Fundamentals of aerodynamics .New York: McGraw-Hill Education.
- [2] Kusaeri, Didi.(2020). Karakteristik Aerodinamika Terhadap Desain Mobil Hemat Energi Pada Kecepatan 15 km/jam Menggunakan Computational Fluid Dynamics Jurnal Eengineering Vol.11 No.1.
- [3] Sutantra, I Nyoman. 2001. Teknologi Otomotif: Teori dan Aplikasinya. Surabaya: Guna Widya.
- [4] Nashruddin, A. H., & Mirmanto, H. (2012). Studi Numerik Karakteristik Aliran 3 Dimensi di Sekitar Bodi Modifikasi SapuanganUrban Concept dengan Rasio Ground Clearance terhadap Panjang Model (C/L) 0,048. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [5] Pritchard, Philip J., Fox & McDonald's. (2011). Introduction of fluid mechanics: Eight edition. USA: John Wiley & Sons, Inc
- [6] Jhon S, Joshua Sam., & Utomo, M.S.K. Tony Suryo. (2017). Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Teknik Mesin S-1 Universitas Diponegoro*, Vol. 5, No. 1.
- [7] Fakhrudin, Muhammad & Wicaksono, Hangga & Baananto, Fauzan & Firmansyah, Hilmi & Sari, Nurlia & Muzaki, Mochamad & D, Khelvindra & Hardyanto, Noveri. (2021). Optimasi Aerodinamika Bodi Mobil Hemat Energi Ken Dedes Electric Evo 3 Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD) *Jurnal Teknik Energi* Vol.17 No.1 Hal 36-45.
- [8] E. Oran, O Utcu. (2017). Aerodynamics Assessment Using CFD For A Low Drag Shell Eco-Marathon Car E. Abo-Serie *Journal of Thermal Engineering*, Vol. 3, No. 6, Special Issue 6, ber, Yildiz Technical University Press, Istanbul, Turkey.
- [9] Putro, S.H.S. (2017). Studi Numerik Karakteristik Separasi dan Reattachment Aliran Di Belakang Gundukan (BUMP) Setengah Lingkaran. *Jurnal Penelitian* vol 2 hal 100-109.
- [10] Putra, A.A Adi. 2021. "Penggunaan Rounding pada Front Hood Kendaraan Terhadap Pola Aliran dan Distribusi Tekanan Stasis Pada Upper Side Kendaraan Model". Skripsi. Jember: Universitas Udayana.
- [11] Terial, P.H Yudho. (2017). "Analisa Aerodinamika Bodi Mobil Tipe Prototype Battery Electric "Barqun Speed" Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics" TUGAS AKHIR, Universitas Muhammadiyah Malang.
- [12] Cahyaningsih, W. (2016). "Studi Eksperimen Karakteristik Aliran Melintasi Silinder Sirkular Berpengganggu Prisma Segitiga Samasisi, Prisma Segi Empat, dan Silinder Sirkular", Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Insitut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- [13] Marga, Yogatama., & Trisno, R. (2018). Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik *Jurnal Teknik Mesin (JTM)*: Vol. 07, No. 1.
- [14] Rahman, Ardiansyah., Farid, A., & Suriansyah (2014). Pengaruh Penggunaan Spoiler Pada Model Kendaraan Sedan Terhadap Tekanan Hisap Dalam Terowongan Angin. *Proton: Jurnal Ilmu Teknik Mesin*, vol. 6, no. 1, hal 1-7.
- [15] Mulyana, D.I., & Rofik, M. (2022). Implementasi Deteksi Real Time Klasifikasi Jenis Kendaraan Di Indonesia Menggunakan Metode YOLOV5, Halaman 13971-13982 *Jurnal Pendidikan Tambusa Volume 6 Nomor 3 Hal. 13971-13982*.
- [16] Hanif, Abdul H., M. S. K., & Tony Suryo Utomo. (2015). Simulasi Aerodinamika Desain Mobil Hemat Bahan Bakar 'ANTAWIRYA' Dengan Metode Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, Vol. 3, No. 2., Hal 188-197.
- [17] Rusyana, I.G.N.B Jaya. (2021). Visualisasi Pola Aliran Fluida Kerja dan Koefisien Tekanan Suatu Mobil yang Ber-Under Rear End Bervariasi. Skripsi: Universitas Udayana
- [18] Ferdiansyah, Pangki. 2015. Studi Numerik : Analisa Medan Aliran 2D Bodi Pada Mobil Basudewo. Tugas Akhir : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [19] Szudarek, M.; Piechna, J. 2021. CFD Analysis of the Influence of the Front Wing Setup on a Time Attack Sports Car's Aerodynamics. *Energies* 2021, 14, 7907. <https://doi.org/10.3390/en14237907>
- [20] Utomo, R. Ardiansyah (2017) Pemodelan Numerik Aliran 3 Dimensi Pada Bodi Modifikasi Mobil Listrik Nogogeni 6. Tugas akhir : Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [21] Singh, Anugya Aravind S, Srinadhi K and Kannan B T (2020) Assessment of Turbulence Models on a Backward Facing Step Flow Using OpenFOAM IOP Conf. Ser: Mater. Sci. Eng. 912 042060



Pajar Doli Soripada Marbun merupakan mahasiswa Teknik Mesin Universitas Udayana Angkatan 2019, dan saat ini sedang menempuh tugas akhir dengan topik konversi energi.

Judul Tugas Akhir Simulasi Penggunaan Rounding Front Hood Kendaraan Terhadap Pola Aliran dan Distribusi Koefisien Tekanan Pada Upperside Kendaraan Model.

Analisis *Streamlines* Udara Di Sepanjang Permukaan Bodi Kendaraan Menggunakan Simulasi ANSYS Fluent

Rivaldo Anderson Robert, Made Sucipta, I Made Widiyarta
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Bodi kendaraan merupakan salah satu bagian penting dari kendaraan yang perlu pengembangan, dengan tujuan membuat bodi kendaraan yang semakin aerodinamis. Banyak penelitian simulasi kendaraan yang telah dilakukan untuk menganalisa faktor aerodinamika kendaraan seperti gaya drag, gaya lift, gradien tekanan, maupun aliran udara namun untuk pembahasan mengenai fenomena *streamlines* yang terjadi masih kurang. Maka dari itu pada penelitian ini, melakukan simulasi pada suatu desain bodi kendaraan menggunakan Ansys Fluent yang selanjutnya akan dianalisa *streamlines* yang terjadi pada beberapa titik di sepanjang bodi kendaraan. Penelitian ini juga menggunakan variasi kecepatan kendaraan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam untuk melihat pengaruh kecepatan kendaraan terhadap *streamlines* udara yang terjadi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aliran udara yang melewati permukaan bodi kendaraan akan mengikuti bentuk dari permukaan bodi kendaraan tersebut. Namun pada beberapa titik yang memiliki kelengkungan perubahan sudut yang besar, aliran udara sulit untuk mengikutinya. Hal yang didapatkan juga yaitu, terjadinya *wake* atau pusaran udara pada bagian belakang kendaraan akibat adanya separasi aliran pada *trailing edge* kendaraan. Dan kenaikan kecepatan kendaraan akan memperbesar juga gradien kecepatan udara yang melewati kontur permukaan bodi kendaraan.

Kata kunci: Streamlines, Bodi Kendaraan, Kecepatan Kendaraan, Aerodinamika

Abstract

The vehicle body is one of the important parts of the vehicle that needs development, with the aim of making the vehicle body more aerodynamic. Many vehicle simulation studies have been conducted to analyze vehicle aerodynamic factors such as drag force, lift force, pressure gradient, and airflow, but the discussion of the streamlines phenomenon that occurs is still lacking. Therefore, in this study, simulating a vehicle body design using Ansys Fluent which will then analyze the streamlines that occur at several points along the vehicle body. This research also uses vehicle speed variations of 30 km/h, 40 km/h and 50 km/h to see the effect of vehicle speed on air streamlines that occur. The results showed that the airflow passing through the surface of the vehicle body will follow the shape of the vehicle body surface. However, at some points that have large angular curvature changes, the air flow is difficult to follow. What is also obtained is the occurrence of a wake or air vortex at the rear of the vehicle due to the separation of the flow at the trailing edge of the vehicle. And the increase in vehicle speed will also increase the air velocity gradient passing through the contour of the vehicle body surface.

Keywords: Streamlines, Vehicle Body, Vehicle Speed, Aerodynamics

1. Pendahuluan

Body kendaraan adalah salah satu bagian penting pada kendaraan selain dari mesin atau penggerak kendaraan dan juga *frame* atau rangka kendaraan [1], karena *body* akan mempengaruhi laju kendaraan dan secara tidak langsung *body* akan berpengaruh pada pemakaian bahan bakar [2]. *Body* merupakan bagian dari kendaraan yang dapat dilihat langsung yang berupa pelat atau komponen yang menutupi *frame* atau rangka kendaraan dan melindungi penumpang dan barang di dalamnya [1]. *Body* yang baik sebaiknya memiliki bentuk yang aerodinamis sehingga faktor gesekan yang menghambat kendaraan akan semakin kecil [3].

Untuk melihat fenomena aerodinamis aliran udara yang terjadi pada permukaan bodi kendaraan diperlukan suatu perangkat lunak yang dapat melihat fenomena ini. Ansys Fluent merupakan salah satu program dari CFD yang dapat membantu dalam melihat bagaimana pengaruh aliran fluida,

perpindahan panas serta fenomena lainnya pada suatu sistem [4].

Beberapa penelitian yang dilakukan berhubungan dengan simulasi aliran yang melewati suatu kontur permukaan seperti pengembangan perancangan *body* mobil Antawirya Residual SAT yang lebih aerodinamis, dengan melakukan analisis nilai koefisien drag pada dua desain yang telah dibuat, serta melihat bagaimana aliran udara di sekitar *body* kendaraan. Pada penelitian ini dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan 40 km/jam, 50 km/jam, 60 km/jam dan 70 Km/jam. Hasil yang didapat menunjukkan nilai koefisien *drag* mobil Antawirya Turangga Veda 2 lebih kecil daripada mobil Antawirya terdahulu, dengan penurunan terbesar terjadi pada kecepatan kendaraan 70 km/jam, yaitu sebesar 19,56 % [5].

Selanjutnya ada pula penelitian yang dilakukan untuk meneliti serta melakukan modifikasi pada desain kendaraan yang telah ada dengan tujuan untuk membuat desain bodi baru yang lebih aerodinamis dengan target nilai koefisien *drag*-nya lebih rendah

dari 0,35. Modifikasi yang dilakukan berupa penambahan spoiler, membuat coakan pada bagian bawah di sisi belakang kendaraan dan memperhalus sudut tajam pada desain bodi [6].

Lalu ada penelitian yang meneliti mengenai faktor aerodinamika pada *ahmed body car* yang sebelumnya dilakukan modifikasi pada bagian belakang model dengan sudut kemiringan 0° . Penelitian juga dilakukan dengan variasi kecepatan kendaraan 80 km/jam, 100 km/jam, dan 120 km/jam. Hasil yang diperoleh adalah nilai koefisien drag terkecil adalah 0.54 pada variasi kecepatan kendaraan 80 km/jam dan yang tertinggi adalah 0.59 pada variasi kecepatan kendaraan 120 km/jam [7].

Dengan demikian tujuan dari penelitian ini yaitu untuk melihat bagaimana aliran *streamlines* udara saat melewati permukaan bodi kendaraan pada suatu desain kendaraan yang telah dibuat. Simulasi dilakukan pada variasi kecepatan kendaraan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam. Dan batasan dalam penelitian ini yaitu, simulasi dan analisis dilakukan pada bodi kendaraan dan simulasi dilakukan tanpa adanya aksesoris tambahan lainnya seperti kaca spion dan lain-lain.

2. Dasar Teori

2.1 Eksternal Flow

Aliran eksternal adalah aliran yang berkembang secara bebas pada lapisan batas, tanpa hambatan yang disebabkan oleh permukaan yang berdekatan. Aliran ini dapat didefinisikan sebagai aliran fluida di sekitar benda yang tercelup seluruhnya ke dalam fluida tersebut. Contoh aliran eksternal adalah aliran fluida diatas permukaan pelat, kawat atau pipa [8].

2.2 Aliran Udara pada Kendaraan

Secara umum semua fenomena aerodinamis yang terjadi pada kendaraan diakibatkan oleh gerakan relatif partikel udara yang mengalir di sepanjang bodi kendaraan. Pada saat kendaraan melaju, maka partikel-partikel udara akan melewati bodi kendaraan pada suatu lintasan yang dinamakan *streamlines*. *Streamlines* adalah garis-garis lintasan partikel udara yang memiliki arah yang sejajar dan tidak berpotongan satu sama lain dan memiliki nilai gradien kecepatan yang berbeda-beda sesuai dengan medan kecepatan yang dilalui. Lintasan aliran udara pada posisi yang jauh dari kendaraan akan saling sejajar dan memiliki harga kecepatan mendekati nilai kecepatan *freestream*. Sedangkan lintasan aliran udara yang dekat dengan permukaan kendaraan akan memiliki pola aliran yang sangat kompleks dikarenakan adanya bentuk bodi kendaraan yang kompleks sehingga di sekitar kendaraan akan terjadi fenomena-fenomena gangguan aliran udara [9].

2.3 Boundary Layer

Boundary layer (lapisan batas) adalah lapisan tipis yang terbentuk dekat dengan kontur permukaan akibat kecepatan aliran fluida yang tidak seragam karena terpengaruh oleh tegangan geser yang muncul

akibat viskositas. Daerah *boundary layer* dimulai saat aliran yang menempel pada permukaan sampai pada suatu titik dimana aliran memiliki kecepatan mendekati kecepatan aliran bebas [10]. Pada *boundary layer* ada juga suatu fenomena yang disebut dengan separasi aliran. Separasi aliran ini menyebabkan adanya aliran balik yang arahnya berlawanan dengan arah aliran utama.

2.4 Gaya Drag dan Lift

Gaya *drag* adalah gaya hambat yang arah kerjanya berlawanan arah dengan arah gerakan relatif benda [11]. Besarnya gaya hambat akan bernilai berbeda-beda pada setiap kendaraan. Karena tiap kendaraan memiliki bentuk bodi yang berbeda-beda yang mengakibatkan faktor koefisien *drag* juga akan berbeda.

Gaya lift adalah komponen gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran yang datang dan ditandai sebagai arah positif jika mengarah ke atas dan jika mengarah ke bawah bernilai negatif.

2.5 Ansys Fluent

Fluent adalah satu jenis program CFD yang menggunakan metode volume hingga (*finite volume*). Untuk metode volume hingga, medan aliran dipecah menjadi elemen volume yang kecil (*cell*) dan setiap elemen tersebut akan ditinjau dengan persamaan yang sesuai pada elemen dan diselesaikan secara numerik. Persamaan yang berlaku adalah *Navier-Stokes* yang merupakan formulasi dari persamaan kekekalan massa, momentum dan energi [12] dan [13].

3. Metode Penelitian

3.1 Variabel Penelitian

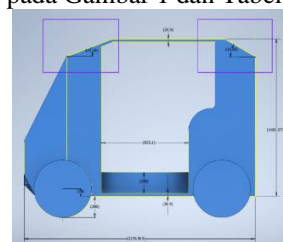
Variabel bebas pada penelitian ini berupa kecepatan kendaraan yaitu, 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam. Dan untuk variabel terikat penelitian ini berupa gambar *velocity streamlines* pada permukaan bodi kendaraan.

3.2 Tahapan Penelitian

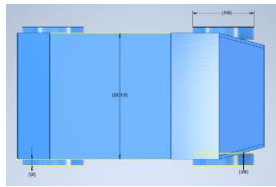
Ada tiga tahapan yang harus dilakukan, yaitu; *pre-processing*, *solving* dan *post-processing*.

1) Pre-processing

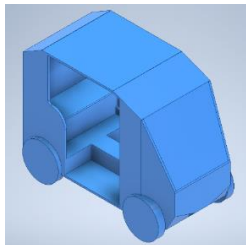
Pre-processing adalah langkah awal dalam membangun dan mempersiapkan analisa komputasi. Pada tahapan ini yaitu pembuatan geometri, membangun domain simulasi, pembuatan meshing, menentukan *boundary condition* dan penentuan parameter-parameter lainnya. Adapun dimensi dari desain kendaraan yang digunakan dalam simulasi dapat dilihat pada Gambar 1 dan Tabel 1.



(a) Tampak samping



(b) Tampak atas



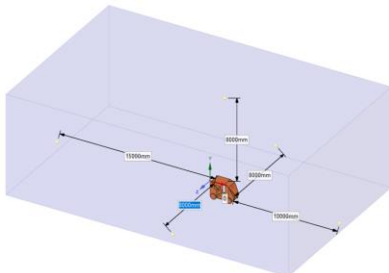
(c) Tampak 3D

Gambar 1. Desain bodi kendaraan

Tabel 1. Dimensi kendaraan

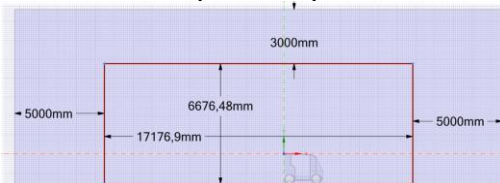
Panjang	2176,9 mm
Lebar	1029,9 mm
Tinggi	1480,5 mm
Besar sudut leading edge	21,18°
Besar sudut trailing edge	30°

Setelah memiliki desain simulasi, kemudian dilanjutkan pembuatan domain simulasi pada menu geometri Ansys Fluent. Domain simulasi adalah suatu ruang yang ditentukan untuk membatasi tempat simulasi yang dilakukan. Ukuran domain simulasi yang dipakai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Domain Simulasi

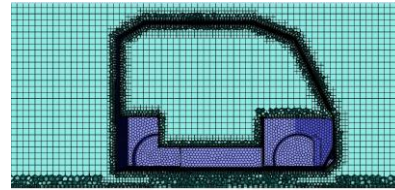
Pada pembuatan domain simulasi, juga dibuat *Body of Influence* (BOI) yang merupakan ruang didalam domain simulasi yang bentuk agar meshing pada daerah ini dibuat lebih kecil daripada lingkungan sekitarnya dan proses *solving* akan menjadi lebih valid. Ukuran BOI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Ukuran BOI

Langkah selanjutnya adalah proses *meshing* pada domain simulasi. Tujuan proses *meshing* adalah membentuk *cell-cell* kecil yang meliputi setiap titik pada daerah domain simulasi, dan pada *cell* inilah terjadi proses penyelesaian masalah secara numerik oleh *solver* yang dipilih. *Meshing* yang dipakai dalam

penelitian ini adalah *poly-hexcore* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Meshing pada bodi kendaraan

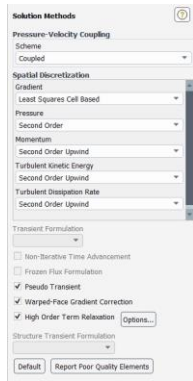
Untuk pengecekan *mesh* untuk melihat apakah *mesh* yang digunakan telah dikatakan baik, dapat menggunakan metode *skewness quality*, *orthogonal quality* atau yang lainnya. Pada penelitian ini melakukan pengecekan menggunakan *skewness quality* dan *inverse orthogonal quality* untuk volume *mesh*. Dan didapatkan nilai *skewness quality* sebesar 0,852, dan nilai *inverse orthogonal quality* sebesar 0,91.

Selanjutnya masuk pada menu *setup* dan mengatur parameter-parameter simulasinya seperti mengatur model permasalahan yang mau diselesaikan dipilih model *viscous k-epsilon realizable*, lalu mengatur *boundary condition* yaitu kecepatan aliran saat masuk domain simulasi pada sisi *inlet*, kondisi tekanan aliran pada sisi *outlet* domain simulasi dan kondisi dinding domain simulasi saat dilewati aliran pada *setting wall*. Dan yang terakhir menentukan nilai referensi yang dipakai dalam simulasi ini seperti area frontal kendaraan, kecepatan aliran, densitas dan viskositas fluida. Untuk nilai referensi yang dipakai pada penelitian bisa dilihat pada Gambar 5.

Reference Values	
Area (m ²)	1.598494
Density (kg/m ³)	1.225
Enthalpy (J/kg)	0
Length (m)	1
Pressure (pascal)	0
Temperature (K)	288.16
Velocity (m/s)	8.33
Viscosity (kg/m-s)	1.7894e-05
Ratio of Specific Heats	1.4
Yplus for Heat Tran. Coef.	300

Gambar 5. Nilai referensi

Kemudian masuk pada menu *solution* lalu mengatur *solution methods*, bisa dilihat pada Gambar 6. Selanjutnya masuk pada *residual monitor* dan mengatur nilai konvergensi yang akan menentukan bahwa hasil telah sesuai dan iterasi dihentikan. Pada penelitian ini konvergensi ditentukan sebesar 10^{-5} . Setelah itu melakukan *initialization* dan dipilih *standard initialization*, dan selanjutnya dapat melakukan *running* simulasi dengan iterasi 500.



Gambar 6. Solution methods

2) Solving

Pada tahapan ini *solver* akan menyelesaikan permasalahan sesuai dengan setting dan parameter-parameter yang telah ditentukan pada tahap *pre-processing*. Model permasalahan yang digunakan yaitu model *viscous k-epsilon realizable*, dan menggunakan *solver pressure-based* dan aliran *steady flow*.

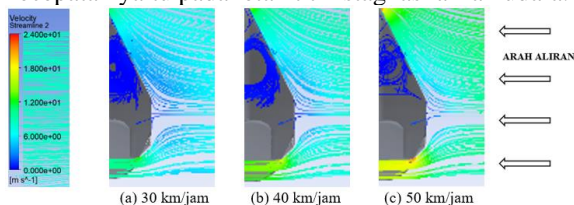
3) Post-processing

Pada tahap ini hasil dari simulasi yang dilakukan akan ditampilkan berupa data kualitatif dan data kuantitatif. Dalam penelitian ini data yang dicari adalah data kualitatif berupa visualisasi aliran dengan menampilkan gambar *velocity streamlines*.

4. Hasil dan Pembahasan

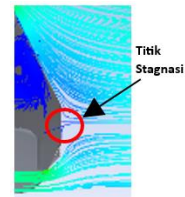
4.1. Streamlines pada Bagian Depan Kendaraan

Pada bagian depan bodi kendaraan ini, dapat dilihat pada Gambar 7, kesamaan dari tiga variasi kecepatan yaitu pada letak titik stagnasi aliran udara.



Gambar 7. Streamlines pada bagian depan bodi kendaraan

Dapat dilihat pada Gambar 8, pada titik ini kecepatan partikel aliran udara semakin mendekati kontur permukaan kendaraan menjadi semakin kecil, karena lintasan aliran udara terhalangi oleh bodi kendaraan dan aliran membentuk suatu lintasan aliran yang melengkung dekat dengan permukaan kendaraan. Garis lintasan aliran yang mengalami titik stagnasi tersebut memiliki kecepatan aliran paling rendah dibandingkan kecepatan aliran partikel udara disekitarnya. Dari lintasan aliran yang mengalami stagnasi ini, aliran disampingnya akan memiliki lintasan aliran yang menyesuaikan mengikuti lengkungan dari lintasan alir dibawahnya dan mengalir menuju kelengkungan permukaan kendaraan yang terdekat yaitu ke bagian atas, ke bagian bawah dan ke samping kendaraan.

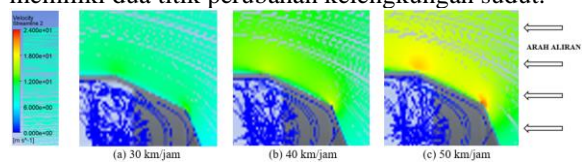


Gambar 8. Titik stagnasi

Dengan menaikkan kecepatan kendaraan yang dilakukan, mengakibatkan kecepatan aliran udara yang mengalir mulai dari lintasan disamping titik stagnasi sampai lintasan terluar memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi.

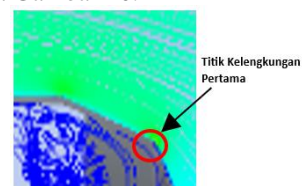
4.2. Streamlines pada Bagian Leading Edge Kendaraan

Dapat dilihat pada Gambar 9 merupakan kondisi aliran saat melewati daerah *leading edge* yang memiliki dua titik perubahan kelengkungan sudut.



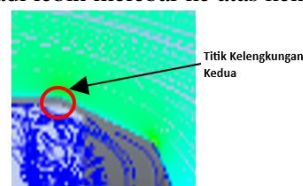
Gambar 9. Streamlines pada bagian leading edge kendaraan

Aliran udara yang mengalir dari bagian depan kendaraan pertama-tama akan melewati perubahan kelengkungan atau besar sudut dari titik ini yang terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Titik kelengkungan pertama leading edge

Pada titik ini aliran udara dengan kecepatan yang tinggi, tidak dapat mengikuti perubahan sudut dari permukaan bodi kendaraan. Mengakibatkan lintasan aliran yang dekat dengan permukaan seolah-olah akan tetap bergerak lurus sejajar dengan lintasan sebelum titik ini dan menyinggung lintasan aliran diatasnya. Sedangkan untuk lintasan aliran yang berada diatas, akan mengikuti dan membuat kelengkungan lintasan aliran menjadi lebih melebar ke atas kendaraan.



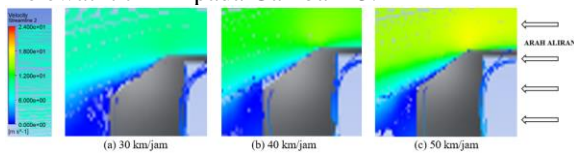
Gambar 11. Titik kelengkungan kedua leading edge

Lalu pada titik kedua kelengkungan *leading edge* seperti yang terlihat pada Gambar 11, aliran yang sudah mulai menyesuaikan perubahan dari besar sudut kelengkungan permukaan bodi kendaraan akan lebih mudah dalam menyesuaikan perubahan besar kelengkungan permukaan yang kedua ini, karena perubahan yang terjadi tidak terlalu besar. Lintasan aliran setelah titik ini kembali sejajar mengikuti

kontur permukaan bagian atas kendaraan dengan gradien kecepatan aliran yang semakin tinggi mendekati kecepatan *freestream* dengan meningkatnya ketinggian titik lintasan alirannya dari permukaan. Dan dengan semakin meningkatnya kecepatan kendaraan, maka kecepatan aliran *freestream* juga semakin meningkat.

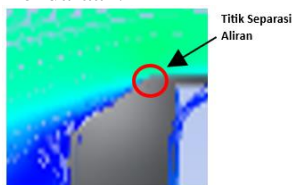
4.3. Streamlines pada Bagian Trailing Edge Kendaraan

Aliran udara yang mengalir melewati kelengkungan sudut *trailing edge* ini akan mengikuti kontur dari permukaan ini seperti yang terlihat pada Gambar 12. Namun dapat dilihat terjadi gradien kecepatan dengan perbedaan nilai yang cukup besar pada bagian ini, khususnya setelah aliran udara melewati titik ini pada Gambar 13.



Gambar 12. Streamlines pada bagian trailing edge kendaraan

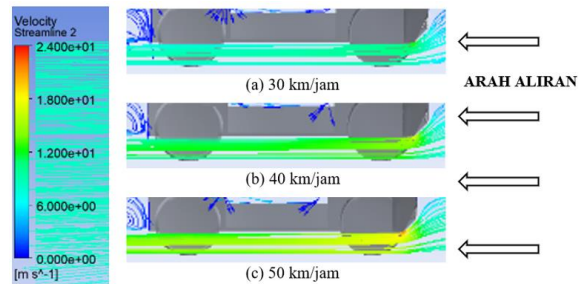
Pada bagian ini terjadi fenomena separasi aliran, dimana aliran pada sisi *upstream* memiliki kecepatan tinggi dan terpengaruh dengan aliran *freestream* sedangkan pada sisi *downstream* aliran masih terpengaruhi oleh dampak gesekan dengan permukaan bodi kendaraan sehingga membuat kecepatan aliran lebih kecil akibat tegangan geser yang terjadi. Hal ini membuat terjadinya perbedaan tekanan yang terjadi, dan berdampak terjadinya aliran balik (*wake*) atau pusaran udara pada bagian belakang kendaraan yang besarnya bergantung pada cepat atau lambatnya separasinya aliran terjadi pada bagian *trailing edge* kendaraan.



Gambar 13. Titik separasi aliran pada trailing edge kendaraan

4.4. Streamlines pada Bagian Bawah Kendaraan

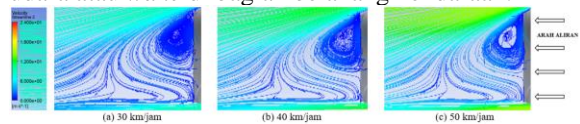
Pada bagian bawah kendaraan dari ketiga variasi kecepatan kendaraan memiliki pola aliran yang sama dapat dilihat pada Gambar 14, namun dengan gradien kecepatan yang berbeda. Aliran udara sejajar mengikuti kontur permukaan bagian bawah kendaraan dan juga permukaan jalan. Semakin ke belakang gradien kecepatan semakin berkembang hingga pada suatu titik di bagian belakang kendaraan aliran akan bersatu kembali atau menjadi lintasan yang sejajar dengan aliran yang melewati bagian atas kendaraan.



Gambar 14. Streamlines pada bagian bawah kendaraan

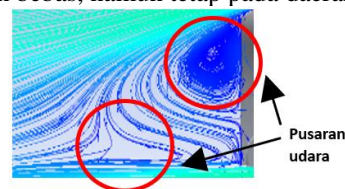
4.5. Streamlines pada Bagian Belakang Kendaraan

Dilihat pada Gambar 15, bahwa terjadi pusaran udara atau *wake* di bagian belakang kendaraan.



Gambar 15. Streamlines pada bagian belakang kendaraan

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16, terdapat dua pusaran udara yang terjadi pada bagian belakang kendaraan. Ini terjadi akibat udara dengan kecepatan yang rendah pada sisi *downstream* tetap mengikuti permukaan kontur bagian belakang kendaraan, sedangkan pada sisi *upstream* mengikuti kontur kelengkungan lintasan aliran dibawahnya dan bersatu kembali dengan aliran yang melewati bawah kendaraan. Hal ini mengakibatkan aliran dengan kecepatan rendah tersebut terjebak pada daerah dibelakang kendaraan, karena tidak ada ruang untuk alirannya mengalir diantara lintasan aliran udara dengan kecepatan yang lebih tinggi sehingga aliran udara tersebut berputar-putar membentuk pusaran udara yang alirannya tidak mengalir lagi mengikuti arah aliran bebas, namun tetap pada daerah tersebut.



Gambar 16. Letak pusaran udara pada bagian belakang kendaraan

Dengan meningkatnya kecepatan kendaraan, maka akan memperbesar dari *wake* yang terbentuk. Semakin besar *wake* yang terbentuk maka akan memperbesar gaya hambat yang dialami oleh kendaraan. Karena, *wake* yang terbentuk memberikan dampak seolah-olah laju kendaraan ditahan. Sehingga dalam pemanfaatan kendaraan jika digunakan, penggunaan bahan bakar menjadi kurang efisien.

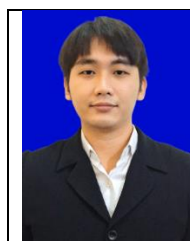
5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis penelitian mengenai simulasi *streamlines* udara di sepanjang permukaan bodi kendaraan dengan variasi kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam dan 50 km/jam dapat disimpulkan kenaikan kecepatan kendaraan berdampak pada kenaikan kecepatan aliran udara yang melewati kontur permukaan bodi kendaraan. Lalu aliran udara

mengalir mengikuti bentuk kontur permukaan yang dilaluinya, dengan aliran yang paling dekat dengan permukaan memiliki nilai kecepatan yang mendekati nol, namun semakin tinggi letak suatu aliran dari permukaan, maka kecepatannya semakin besar dan mendekati kecepatan aliran bebas. Selanjutnya separasi aliran terjadi akibat perbedaan tekanan pada sisi *upstream* dan sisi *downstream* yang besar. Aliran pada sisi *downstream* masih terpengaruh dengan efek tegangan geser permukaan. Dan yang terakhir besar atau kecilnya *wake* atau pusaran udara yang terjadi pada daerah belakang kendaraan bergantung pada separasi aliran udara yang terjadi pada bagian *trailing edge* kendaraan.

Daftar Pustaka

- [1] Prihadnyana, Y., Widayana, G., Dantes, K. R. (2017). *Analisis Aerodinamika pada Permukaan Bodi Kendaraan Mobil Listrik GASKI (Ganesha Sakti) dengan Perangkat Lunak ANSYS 14.5*. Jurnal Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, Vol. 8, No. 2.
- [2] Badrawada, IG. G., Purwanto, A., Edo, F. (2019). *Analisa Aerodinamika Bodi Kendaraan Mataram Proto Diesel dengan ANSYS 15.0*. Jurnal ENGINE, Vol. 3, No.1, Hal. 8-14.
- [3] Saputra, Y., Nazaruddin., Syafri. (2019). *Perancangan Bodi Mobil Hemat Energi Tipe Urban Bono Kampar*. Jurnal Online Mahasiswa Bidang Teknik dan Sains, Vol. 6.
- [4] Yogatama, M., Trisno, R. (2018). *Studi Koefisien Drag Aerodinamika pada Model Ahmed Body Terbalik Berbasis Metode Numerik*. Jurnal Teknik Mesin, Vol. 7, No. 1, Hal. 10-14.
- [5] Jhon, J. S., Utomo, M.S.K. T. S. (2017). *Analisis Aerodinamika Body Mobil Hemat Energi Antawirya Residual-Sat dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics*. Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol. 5, No. 1, Hal. 50-59.
- [6] Vajra, G. A., Tobing, S., Iskandar, I. (2021). *Analisis Aerodinamika Bodi Mobil Hemat Energi Kelas Urban Menggunakan Computational Fluid Dynamics*. Jurnal Rekayasa Mesin, Vol. 16, No. 2, Hal. 210-217.
- [7] Ariyanto., Noviati, T. (2022). *Karakteristik Aerodinamika Pada Analisa Ahmed Body Car Menggunakan Software Ansys Workbench 18*. Jurnal Teknik dan Science, Vol. 1, No. 2, Hal. 19-31.
- [8] Cengel, Y. A., Cimbala, J. M. (2006). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*. New York, McGraw-Hill.
- [9] Atmika, I K. A, Lokantara, I P. (2010). *Tinjauan Beban Aerodinamis terhadap Kinerja Stabilitas Arah Kendaraan*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cakra.M, Vol. 4, No. 2, Hal. 173-179.
- [10] Whindrachaya, A. A. M., Sutardi. (2016). *Studi Numerik Karakteristik Boundary Layer Turbulen pada Pelat Datar dengan Alur Melintang Tipe-D*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 5, No. 2, Hal. 668-672.
- [11] Edfi, R. D., Utama, I. K. A. P. (2018). *Analisa Perubahan Gaya Angkat dan Hambatan Total terhadap Variasi Aspect Ratio dan Winglet pada Sayap Kapal Wing in Surface Effect Menggunakan Aplikasi CFD*. Jurnal Teknik ITS, Vol. 7, No. 2, Hal. 204-209.
- [12] Bruce, R. M., Donald, F. Y., Theodore, H. O., Wade, W. H. (2009). *Fundamental of Fluid Mechanics Sixth Edition*. John Wiley & Sons Inc.
- [13] Winata, I M. P. A., Dewi, P. E., Sudarsana, P. B., Sucipta, M. (2022). *Air-Flow Simulation in Child Respirator for Covid-19 Personal Protection Equipment Using Bamboo Activated Carbon Filter*. Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences, Vol. 91, No. 1, Hal. 83-91.



Rivaldo Anderson Robert
Menyelesaikan studi SMA di SMAN 1 Malinau pada tahun 2018, kemudian melanjutkan pendidikan tinggi di jurusan teknik mesin Universitas Udayana pada tahun 2018, dan menyelesaikannya pada tahun 2023.

Bidang penelitian yang dilakukan adalah pada bidang konversi energi.

Pengaruh Variasi Massa Serat Pada Biokomposit Bioplastik Sari Pati Kentang Dan Serat Jerami Terhadap Kekuatan Bending Dan Water Absorption

Roccy Yusup Aswardi, Cok Istri Putri Kusuma Kencanawati, I Ketut Adi
Atmika

Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Penelitian ini menggunakan matrik bioplastik kentang yang terkomposisi dari campuran pati kentang, aquades, hardener, gliserol, dan asam asetat yang kemudian dikombinasikan dengan serat jerami padi dengan variasi massa serat 5%, 10%, 15%. Kemudian dicetak dengan cetakan akrilik menggunakan metode hand lay-up. Dengan ukuran spesimen sesuai berdasarkan ASTM D790-03 untuk Uji Bending dan ASTM D570-98 untuk Uji Daya Serap Air. Hasil pengujian bending di dapatkan bahwa tegangan bending dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi massa 15% serat, nilai tegangan bending sebesar 27,321 MPa, modulus elastisitas 2,031 GPa, dan nilai regangan yang terendah yaitu 0,784%. Regangan bending tertinggi terdapat pada variasi massa 10% serat sebesar 1,428%, dengan tegangan bending 12,081 MPa. Tegangan bending dan modulus elastisitas terkecil terdapat pada variasi massa 5% serat, dengan nilai tegangan sebesar 6,731 MPa, dan modulus elastisitas 0,977 GPa. Daya serap air di dapatkan pada variasi massa 15% serat memiliki data serap air dengan rata-rata tertinggi yaitu 84,44%, dibanding dengan spesimen variasi massa 5% dengan rata-rata daya serap air terkecil yaitu 51%, sedangkan untuk variasi massa 10% didapat rata-rata serap air sebesar 64,03%.

Kata kunci : Bioplastik, Biokomposit, Serat Jerami, Sari Pati Kentang, Daya Serap Air, Uji Bending

Abstract

This research used potato bioplastic matrix which composed of a mixture of potato starch, aquades, hardener, glycerol, and acetic acid which was then combined with rice straw fiber with fiber mass variations of 5%, 10%, 15%. Then printed with acrylic molding using the hand lay-up method. With suitable specimen sizes based on ASTM D790-03 for Bending Tests and ASTM D570-98 for Water Absorption Tests. The results of the bending test found that the highest bending stress and modulus of elasticity were found in a mass variation of 15% of the fiber, a bending stress value of 27.321 MPa, a modulus of elasticity of 2.031 GPa, and the lowest strain value of 0.784%. The highest bending strain is found in a 10% fiber mass variation of 1.428%, with a bending stress of 12.081 MPa. The smallest bending stress and modulus of elasticity are found in a mass variation of 5% of the fiber, with a stress value of 6.731 MPa, and a modulus of elasticity of 0.977 GPa. Water absorption obtained at a mass variation of 15% fiber has water absorption data with the highest average of 84.44%, compared to specimens of mass variation of 5% with the smallest average water absorption of 51%, while for mass variations of 10% an average water absorption of 64.03% is obtained.

Keywords : Bioplastics, Biocomposites, Straw Fiber, Potato Starch, Water Absorption Test, Bending Test

1. Pendahuluan

Penggunaan plastik berperan penting dalam kehidupan manusia dikarenakan harganya yang terjangkau dan sifatnya yang ringan dan mudah diproduksi. Menggunakan terlalu banyak plastik dapat menyebabkan timbulnya sampah plastik yang berdampak buruk pada lingkungan. Masalah utama dari plastik adalah ketahanannya terhadap degradasi sehingga sulit untuk menghilangkan sampah plastik dari lingkungan dan berpotensi menyebabkan pencemaran.

Bioplastik menjadi salah satu upaya untuk mengurangi pencemaran lingkungan karena sifat bioplastik yang dapat terdegradasi (bio-degradable) dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Bioplastik terbentuk dari monomer organik yang berasal dari protein, selulosa, pati dan mikroorganisme yang contohnya terdapat pada kentang (*Solanum tuberosum*). Penggunaan matrik bioplastik yang

ditambahkan serat alami dalam pembuatan biokomposit merupakan salah satu alternatif material baru untuk mendapatkan nilai karakteristik material yang lebih baik dari pada bioplastik.

Plastik yang berasal dari pati umumnya dikenal sebagai BPS (*Bio-Plastic Starch*). *Bio-plastic starch* didefinisikan sebagai polimer amorf atau semi-kristal yang terbentuk dari monomer-monomer pati yang telah mengalami gelatinisasi atau destrukursasi, dan telah ditambahkan satu atau berbagai jenis plasticizer (bahan tambahan untuk meningkatkan sifat plastis plastik) [1]. Ada variasi bahan *plasticizer* yang digunakan dalam BPS, termasuk air, gliserol, gula, dan sorbitol [2].

Jerami merupakan serat alami yang efektif dalam memperkuat polimer karena memiliki kekuatan yang relatif tinggi dengan desitas yang rendah. Serat jerami padi memiliki nilai Modulus elastisitas sebesar 3.7 Gpa dan kekuatan tarik sebesar 25.431 Mpa [3].

Rata-rata komposisi jerami padi didalamnya mengandung 26,1% *hemiselulosa*, 34,2 % *selulosa*, 11,71% *lignin*, 17,11% *abu*, 3,0% *protein* dan 2,8% *pektin*. Kandungan selulosa yang cukup tinggi ini dapat dimanfaatkan dalam berbagai hal antara lainnya sebagai penguat biokomposit. Sehingga bisa dikatakan serat jerami cukup baik untuk menguatkan komposit [3].

2. Landasan Teori

2.1 Bioplastik

Bioplastik adalah plastik ramah lingkungan yang dapat terurai oleh mikroorganismenya, berasal dari bahan baku yang dapat diperbaharui, dan memiliki komponen yang terdegradasi, seperti pati, minyak nabati, dan microbiota.

2.2 Biocomposit

Biokomposit merupakan bahan yang terdiri dari dua kata, yaitu *Bio* dan *Composite*. Bio merujuk pada bahan yang berasal dari makhluk hidup, seperti tumbuhan, hutan, dan pertanian. Biokomposit terbentuk dari bahan-bahan yang dapat diperbaharui, sehingga proses pembuatannya mampu mengurangi konsumsi energi dan biaya produksi. Selain itu, biokomposit juga memperlihatkan kemampuan degradasi yang baik, menjadikannya sebagai material yang ramah lingkungan.

2.3 Serat (Penguat)

Serat merupakan material yang dipergunakan untuk memperbaiki sifat dan struktur matriks melalui proses pengisian matriks. Selain itu, serat diharapkan dapat berperan sebagai penguat matriks dalam komposit untuk menanggulangi gaya yang timbul. Peran utama serat dalam menyusun bahan komposit sangat menentukan kekuatan komposit tersebut, di mana kekuatan semakin tinggi ketika diameter serat semakin kecil karena minimnya cacat.

2.4 Uji Bending

Uji bending merupakan suatu prosedur pengujian yang melibatkan penerapan gaya tekan pada material guna memperoleh informasi terkait kekuatan lentur atau kemampuan material tersebut dalam menahan beban lentur saat diuji. Pengujian ini didasarkan pada “*Standard Methods of Tension testing of Metallic Materials*” dari ASTM D790-03.



Gambar 1. Spesimen Uji Bending

Rumus untuk menemukan nilai kekuatan, regangan dan modulus elastisitas bending sebagai berikut :

$$\text{Tegangan Bending} : \sigma_L = \frac{3 P \cdot L}{2 b d^2} \quad (1)$$

$$\text{Regangan Bending} : \epsilon_L = \frac{6 \delta \cdot d}{L^2} \quad (2)$$

$$\text{Modulus Elastisitas} : E_L = \frac{L^3 \cdot m}{4 b d^3} \quad (3)$$

Keterangan : σ_L = Tegangan bending (N/mm²)

ϵ = Regangan (mm)

m = Load-Deflection Curve

δ = Defleksi (mm)

L = Panjang Span (mm)

P = Beban (N)

E = Modulus Elastisitas (Gpa)

d = Tebal Benda Uji (mm)

b = Lebar Benda Uji (mm)

2.5 Water Absorption Test

Pengujian *water absorption* dalam komposit ialah kapasitas yang dimiliki oleh komposit saat menyerap air didalam kurun waktu tertentu. Daya serap air (*water absorption*) pada biokomposit serat jerami merupakan uji fisik untuk mengetahui kemampuan biokomposit batang padi menyerap air. Pengujian dilakukan dengan cara menimbang selisih massa sebelum dan massa sesudah di rendam didalam air selama 24 jam. Sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan ASTM D570-98 dengan panjang 76,2 mm, lebar 24,5 mm, dan tebal 3,2 mm.



Gambar 2. Spesimen Uji Daya Serap Air

Pengujian daya serap air (*water absorption*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$W_{abs} = \frac{W_a - W_o}{W_o} \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan : W_{abs} = Daya Serap Air (%)

W_o = Massa Kering Spesimen (gram)

W_a = Massa Basah Spesimen (gram)

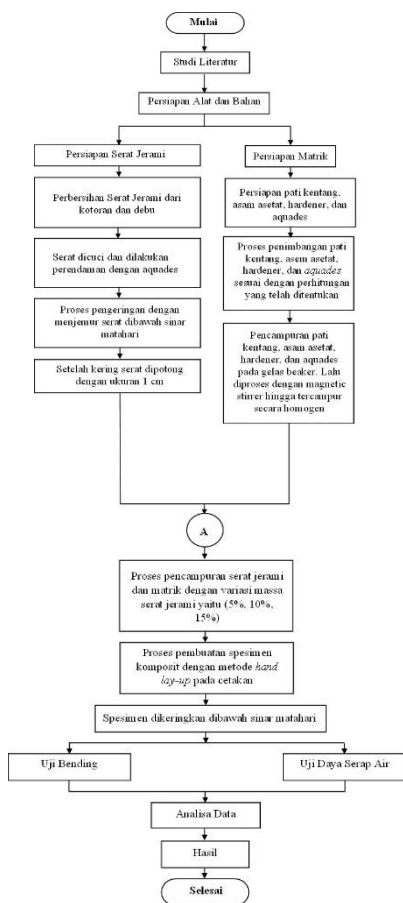
3. Metode Penelitian

Berikut merupakan langkah dan ukuran dari specimen yang akan diuji.

3.1 Alat dan Bahan

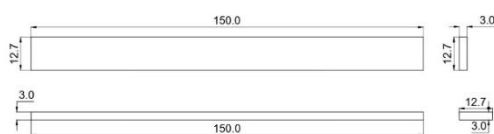
1. Alat uji : Alat uji Bending Tensilon RTG-1250 dengan ASTM D790-03, Uji daya serap air dengan ASTM D570-98
2. Alat cetak : cetakan yang terbuat dari bahan akrilik berbentuk persegi
3. Alat ukur : pengaris, Timbangan Digital, gelas beaker 50 mL dan 500 mL
4. Alat bantu : batang pengaduk, blender, Nesco Lab MS-H280-Pro Magnetic Stirrer, pengupas kulit kentang, pisau, Aluminium Foil, Saringan, Sendok, Wadah, minyak atau wax

3.2 Langkah Penelitian



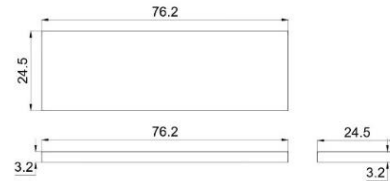
3.3 Proses Pengujian

Pada pengujian bending spesimen akan dikenakan beban hingga mencapai lengkungan atau mengalami deformasi setelah itu permukaannya diamati. Pengujian bending menggunakan dengan ASTM D790-03.



Gambar 3. Ukuran Spesimen Uji Bending

Pada pengujian daya serap air dilakukan dengan cara mengukur selisih berat sebelum dan sesudah perendaman di dalam air selama 24 jam. Ukuran spesimen yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan ASTM D570-98



Gambar 4. Ukuran Spesimen Uji Daya Serap Air

4. Hasil Dan Pembahasan

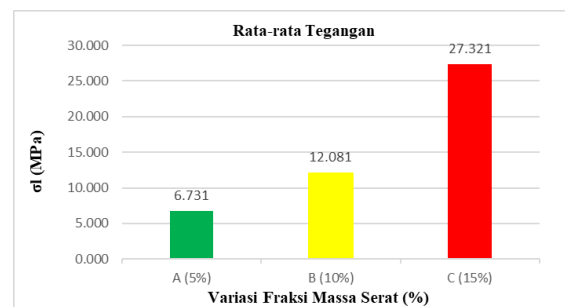
4.1 Data Hasil Penelitian Uji Bending

Berikut adalah hasil dari pengujian bending dari biokomposit matriks pati kentang dan serat jerami, dalam bentuk tabel yang dapat terlihat pada tabel 1.

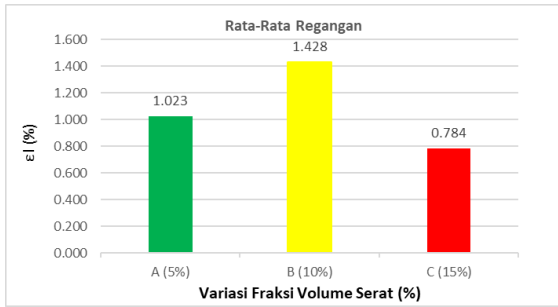
Tabel 1. Data Uji Bending

Perbandingan Variasi Massa Jerami (%)	Data Hasil Perhitungan			
	NO	σ_l (MPa)	ϵl (%)	E (GPa)
95% : 5%	A1	6.313	0.654	0.591
	A2	5.373	1.511	1.184
	A3	8.508	0.904	1.155
	Rata - rata	6.731	1.023	0.977
Perbandingan Variasi Massa Jerami (%)	Data Hasil Perhitungan			
	NO	σ_l (MPa)	ϵl (%)	E (GPa)
90% : 10%	B1	11.703	1.745	2.377
	B2	11.647	1.184	2.377
	B3	12.893	1.355	1.094
	Rata - rata	12.081	1.428	1.949
Perbandingan Variasi Massa Jerami (%)	Data Hasil Perhitungan			
	NO	σ_l (MPa)	ϵl (%)	E (GPa)
85% : 15%	C1	30.726	0.748	2.510
	C2	27.526	0.561	1.956
	C3	23.711	1.044	1.627
	Rata - rata	27.321	0.784	2.031

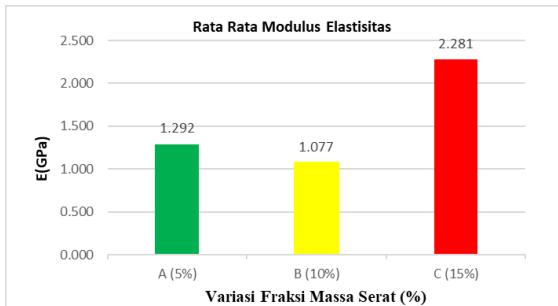
Berikut data uji bending benda uji biokomposit matrik pati kentang dengan serat jerami dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 5,6 dan 7:



Gambar 5. Grafik Diagram Tegangan Bending



Gambar 6. Grafik Diagram Regangan Bending



Gambar 7. Grafik Diagram Modulus Elastisitas

Berdasarkan gambar 5 tersebut menjelaskan semakin tinggi variasi massa serat maka tegangan akan semakin tinggi, hal ini ditunjukkan pada variasi massa serat 15% besarnya rata-rata tegangan bending yaitu 27,321 MPa, lebih besar dibanding variasi massa serat 5% yang sebesar 6,731%. Sedangkan untuk variasi massa 10% memiliki nilai rata-rata tegangan sebesar 12,081 Mpa. Hal ini dipengaruhi adanya penambahan jumlah serat didalam biokomposit, sehingga pembebanan yang terjadi tidak hanya diberikan kepada matriks namun juga diberikan kepada serat secara baik. Serupa seperti yang diungkapkan pada penelitian [4] dimana bila semakin banyak serat maka tegangan bendingnya semakin naik.

Berdasarkan gambar 6 bahwa biokomposit dengan variasi fraksi 10% serat memiliki nilai regangan bending tertinggi dengan nilai rata-rata regangan 1,428%. Untuk variasi fraksi 15% memiliki regangan terendah dengan nilai rata-rata 0,784%. Pada variasi fraksi 1% serat memiliki nilai rata-rata yaitu 1,023%. Berdasarkan data yang diambil, nilai regangan tertinggi dari seluruh variasi massa berada pada 10% serat. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan banyaknya jumlah serat nilai regangan semakin menurun. Serupa seperti pada penelitian [4] semakin banyak jumlah serat regangan bending semakin melemah dikarenakan komposit hanya bertumpu pada serat saja.

Pada grafik modulus elastisitas bending yang ditunjukkan pada gambar 7. Nilai modulus elastisitas biokomposit serat jerami dengan matrix bioplastik, menyatakan bahwa pada biokomposit variasi massa 5% serat memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 0,977 GPa. Sedangkan variasi variasi massa

10% serat memiliki nilai modulus elastisitas rata-rata sebesar 1,949 GPa, dan variasi massa 15% serat mempunyai modulus elastisitas rata-rata sebesar 2,031 GPa Ini disebabkan oleh hubungan positif antara nilai modulus elastisitas dan kekuatan material, di mana semakin besar nilai modulus elastisitas, kekuatan material akan meningkat, tetapi kemampuan peregangan atau regangan akan berkurang. Dengan kata lain, semakin tinggi modulus elastisitas, semakin kecil perubahan bentuk atau penurunan nilai regangan yang terjadi. [5].

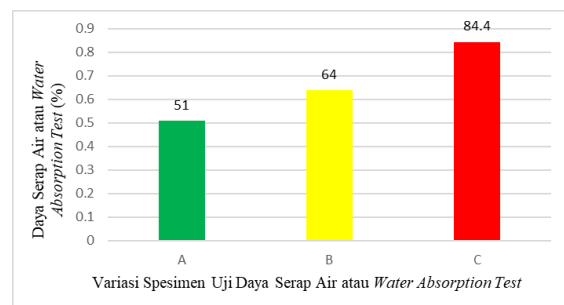
4.2 Data Hasil Water Absorption Test

Berikut nilai uji Water Absorption material biokomposit matrik pati kentang dengan serat jerami dalam bentuk tabel seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Tabel Data Penelitian Uji Daya Serap Air

Perbandingan Variasi Massa (%)	Data Hasil Perhitungan			
	NO	Wo (gr)	Wa (gr)	Wabs (%)
95% : 5%	A1	9.15	13.56	48
	A2	8.6	13.33	55
	A3	8.69	13.02	49
	Rata – Rata Water Absorption (%)			51
	Data Hasil Perhitungan			
90% : 10%	B1	10.6	17.69	66
	B2	11.15	18.46	65
	B3	10.86	17.34	59
	Rata – Rata Water Absorption (%)			64
	Data Hasil Perhitungan			
85% : 15%	C1	11.58	21.44	85
	C2	11.3	20.45	80
	C3	11.04	20.67	87
	Rata – Rata Water Absorption (%)			84.4
	Data Hasil Perhitungan			

Berikut data uji daya serap air benda uji biokomposit serat jerami dalam bentuk grafik seperti yang terlihat gambar 8. :



Gambar 8. Grafik Data Daya Serap Air

Berdasarkan dari data grafik pada gambar 8. Dapat dilihat bahwa karakteristik material biokomposit serat jerami dengan variasi massa serat 5% memiliki rata-rata serap air 51%. Sedangkan untuk variasi massa

serat 10% memiliki rata-rata serap air 64,03%. Dan variasi massa serat 15% memiliki rata-rata sebesar 84,44%. Dilihat dari data diatas menunjukkan bahwa pada spesimen C (15%) memiliki nilai rata-rata serap air tertinggi yaitu 84,44% dibanding spesimen (5%) memiliki nilai rata-rata terendah yaitu 51%. Hal tersebut membuktikan bahwa banyaknya serat dan matrix mempengaruhi banyak air yang dapat diserap oleh spesimen.

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah penulis lakukan mengenai biokomposit, dengan menggunakan matrik bioplastik sari pati kentang dan perbandingan variasi massa serat jerami pada tegangan bending, regangan bending, modulus elastisitas dan daya serap air dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Pada pengujian bending di dapatkan bahwa tegangan bending dan modulus elastisitas tertinggi terdapat pada variasi massa 85% : 15%, yaitu nilai tegangan bending sebesar 27,321 MPa, dan modulus elastisitas 2,031 GPa, namun memiliki nilai regangan yang terendah yaitu 0,784%. Regangan bending tertinggi terdapat pada variasi massa 90% : 10% sebesar 1,428%, dengan tegangan bending 12,081 MPa. Tegangan bending dan modulus elastisitas terkecil terdapat pada variasi massa 95% : 5%, dengan nilai tegangan sebesar 6,731 MPa, dan modulus elastisitas 0,977 GPa. Maka semakin besar variasi massa serat yang digunakan akan menghasilkan tegangan bending dan modulus elastisitas yang tinggi namun regangan bending akan menurun. Dengan demikian dapat disimpulkan biokomposit dengan variasi massa 85% : 15% memiliki nilai tegangan dan modulus elastisitas tertinggi, sedangkan untuk nilai regangan tertinggi terjadi pada variasi massa 90% : 10%.
2. Pada pengujian daya serap air di dapatkan pada variasi massa 15% serat memiliki data serap air dengan rata-rata tertinggi yaitu 84,44%, dibanding dengan spesimen variasi massa 5% dengan rata-rata daya serap air terkecil yaitu 51%, sedangkan untuk variasi massa 10% didapat rata-rata serap air sebesar 64,03%. Dan dapat disimpulkan semakin banyak serat akan berpengaruh dengan banyaknya air yang diserap, karena dari matrix itu sendiri tidak dapat menahan air untuk masuk pada spesimen.

5.2 Saran

Berikut adalah rekomendasi yang dapat disampaikan oleh penulis, dengan harapan dapat berkontribusi pada pengembangan dan menjadi pertimbangan bagi penelitian selanjutnya.

1. Penelitian lebih lanjut dengan variasi massa lebih banyak dan penggunaan bahan lainnya agar mendapatkan variable yang baru yang mungkin lebih baik dan optimal
2. Penggunaan masker dan jas lab dikarenakan dengan adanya bahan hardener, gliserol dan asam asetat yang memiliki bau tidak sedap
3. Uji *photo-micro* untuk melihat void dan porositas yang terdapat pada spesimen uji.

Daftar Pustaka

- [1] V. Mehta, M. Darshan, and D. Nishith, "CAN A STARCH BASED PLASTIC BE AN OPTION OF ENVIRONMENTAL FRIENDLY PLASTIC?," 2014. [Online]. Available: <http://mutagens.co.in>
- [2] Z. Ahmad et al., "The effect of water and citric acid on sago starch bio-plastics," 2012. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/281333700>
- [3] H. Suryanto, S. Solichin, and U. Yanuhar, "Natural Cellulose Fiber from Mendong Grass (*Fimbristylis globulosa*)," 2016, pp. 35–52. doi: 10.1007/978-3-319-44570-0_3.
- [4] N. Herlina Sari, "ANALISA KEKUATAN BENDING KOMPOSIT EPOXY DENGAN PENGUATAN SERAT NILON," 2011.
- [5] E. Budi, A. S. Budi, U. R. Fitri, R. Aprilia, and D. Andriyani, "KAJIAN SIFAT TETAPAN PEGAS DAN MODULUS ELASTISITAS," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sains dan Aplikasinya (JPMSA)*, vol. 1, 2021, doi: 10.21009/jpm-sains.v1i1.18248.



Roccy Yusup Aswardi menyelesaikan studi S1 di Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana pada tahun 2023. Ia menyelesaikan studi program sarjana dengan topik Pengaruh Variasi Massa Serat Pada Biokomposit Bioplastik Sari Pati Kentang Dan Serat Jerami Terhadap Kekuatan Bending Dan Water Absorption.

Bidang penelitian yang diminati adalah topik-topik yang berkaitan dengan rekayasa manufaktur khususnya *Biokomposit*.

Analisis Pengaruh Bahan Terhadap Faktor Keamanan *Footstep* Sepeda Motor Menggunakan Metode Elemen Hingga

Januar Teguh Prasetyo, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata
Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Produksi sepeda motor di Indonesia pada tahun 2021 adalah sebesar 5.057.516 unit dan terjadi peningkatan menjadi 5.221.470 unit pada tahun 2022 berdasarkan data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia. Salah satu komponen sepeda motor yang berperan untuk menjadi pijakan bagi pengendara maupun penumpang sepeda motor adalah *footstep*, selain itu *footstep* juga berperan untuk menjaga kestabilan dalam berkendara. Secara umum bahan dasar untuk pembuat *footstep* dapat bervariasi mulai dari besi tuang, aluminium, hingga titanium. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penyusun *footstep* terhadap nilai faktor keamanannya dengan simulasi menggunakan aplikasi *engineering*. Penelitian ini menggunakan simulasi *static structural* dengan pembebanan sebesar 800N yang diambil dari berat pengendara motor. Serta bahan yang digunakan adalah carbon steel 1020, aluminium alloy 6061, dan titanium alloy yang terdapat pada aplikasi *ansys*. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui total deformasi, *equivalent stress*, dan faktor keamanan. Berdasarkan hasil simulasi, nilai faktor keamanan tertinggi ada pada *footstep* berbahan aluminium alloy 6061, yaitu sebesar 12,749. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan luluh yang dimiliki oleh setiap bahan dan dapat diambil kesimpulan bahwa *footstep* berbahan dasar titanium alloy memiliki faktor keamanan yang paling tinggi dibandingkan bahan lainnya.

Kata kunci: Von mises, metode elemen hingga, *footstep*

Abstract

Motorcycle production in Indonesia in 2021 is 5,057,516 units and there will be an increase to 5,221,470 units in 2022 based on data from the Indonesian Motorcycle Industry Association. One component of a motorcycle that acts as a foothold for the rider and passenger of a motorcycle is the *footstep*, besides that the *footstep* also plays a role in maintaining stability when driving. In general, the basic materials for making *footstep* can vary from cast iron, aluminum to titanium. Therefore, this study aims to determine the effect of the *footstep* constituent materials on the value of the safety factor by simulating using *engineering* applications. This study uses a *static structural* simulation with a loading of 800N which is taken from the weight of the motorbike rider. As well as the materials used are 1020 carbon steel, 6061 aluminum alloy, and titanium alloy found in the *ansys* application. This simulation aims to determine the total deformation, *equivalent stress*, and safety factor. Based on the simulation results, the highest safety factor value is in the *footstep* made of aluminum alloy 6061, which is 12.749. This is influenced by the differences in the yield stress of each material and it can be concluded that the *footstep* made from titanium alloy has the highest safety factor compared to other materials.

Keywords: Von mises, finite element method, *footstep*

1. Pendahuluan

Berdasarkan data Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia produksi sepeda motor di Indonesia pada tahun 2021 adalah sebesar 5.057.516 unit dan terjadi peningkatan menjadi 5.221.470 unit pada tahun 2022 [1]. Terdapat kenaikan sebesar 163.954 unit dari tahun sebelumnya. *Footstep* merupakan salah satu komponen sepeda motor yang berperan untuk menjadi pijakan bagi pengendara maupun penumpang sepeda motor, selain itu *foot step* juga berperan untuk menjaga kestabilan dalam berkendara. Karena alasan tersebut komponen ini menjadi salah satu komponen yang selalu ada pada sepeda motor. *Footstep* diharuskan memiliki bahan yang kuat dan ringan, sehingga dapat menopang beban kaki dan tubuh pengendaranya.

Secara umum bahan dasar untuk pembuat *footstep* dapat bervariasi mulai dari besi tuang, aluminium, hingga titanium[2]. *Footstep* yang memiliki desain sama tetapi menggunakan bahan

dasar yang berbeda akan memiliki nilai factor keamanan yang berbeda pula. Maka dari itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan penyusun *footstep* terhadap nilai faktor keamanannya.

Seiring dengan perkembangan teknologi komputer maka proses untuk mengetahui perilaku suatu produk dapat dilakukan menggunakan aplikasi *engineering* berbasis metode elemen hingga. Metode elemen hingga merupakan metode *numerical* yang digunakan untuk menyelesaikan perhitungan matematika dan *engineering* dengan membagi struktur kedalam bagian yang lebih kecil[3]. Proses simulasi menggunakan aplikasi *engineering* sudah banyak dilakukan. Analisis menggunakan aplikasi *engineering* dapat meminimalkan penggunaan biaya, waktu, dan sumber daya karena tidak perlu membuat produk untuk melakukan analisa yang diperlukan.

Dalam hal ini permasalahan yang akan dikaji oleh penulis adalah bagaimana pengaruh bahan

terhadap nilai faktor keamanan *footstep* sepeda motor dengan desain yang sama.

Beberapa batasan ditetapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Jenis bahan dasar yang digunakan adalah besi tuang, aluminium, dan titanium.
2. Pengujian dilakukan menggunakan fitur *static structural*.
3. Beban yang dikenakan diasumsikan sebesar 800N berdasarkan massa maksimum pengendara sepeda motor.

2. Dasar Teori

2.1. Besi tuang.

Menurut A. Noor Setyo HD besi tuang adalah jenis besi yang memiliki kemampuan cor yang baik[4]. Dalam keadaan stabil Fe3C, struktur ferit murni hanya ditemukan grafit berlapis, granular dan nodular, dan struktur utama terdiri dari filamen ferit, perlit dan semen stabil, sehingga selama perlakuan panas, sebagian besar unsur karbon semen (Fe3C) adalah grafit, mutiara atau ferit[5].

Besi tuang memiliki sifat mekanis sebagai berikut [6].

Tabel 1. Sifat mekanis besi tuang

Mechanical Properties	Metric	English
Hardness, Brinell	121	121
Hardness, Knoop	140	140
Hardness, Vickers	126	126
Tensile Strength, Ultimate	420 MPa	60900 psi
Tensile Strength, Yield	350 MPa	50800 psi
Elongation at Break	15 %	15 %
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi
Poissons Ratio	0.25	0.25
Machinability	65 %	65 %
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi

2.2. Aluminium

Aluminium merupakan logam yang lebih ringan dari pada tembaga, baja, dan kuningan. Aluminium memiliki karakteristik kekuatan tarik yang rendah dan cukup lunak serta ketahanan karat yang tinggi dengan air, udara, oli, dan merupakan konduktor yang baik[7]. Aluminium memiliki sifat sebagai berikut[8]

Tabel 2. Sifat mekanis aluminium

Sifat-Sifat	Aluminium Murni Tinggi
Struktur Kristal	FCC
Densitas pada 20°C (sat. 103kg/m ³)	2,698
Titik Cair °C	660,1
Koefisien mulur panas kawat 20° - 100°C (10 ⁻⁶ /K)	23,9
Konduktifitas panas 20° - 400°C (W/m K)	238
Tahanan listrik 20°C (10 ⁻⁸ KΩ m)	2,69
Modulus elastisitas (GPa)	70,5
Modulus kekakuan (GPa)	26,0

2.3. Titanium

Titanium memiliki sifat yang kuat, ringan, dan tahan terhadap korosi akibat air laut. Titanium di alam ditemukan tidak dalam bentuk utuh, melainkan dalam bentuk mineral seperti Rutile (TiO₂) dan Ilmenite (FeTiO₃) dalam bentuk titanium dioksida[9]. Sifat unsur titanium ditunjukkan oleh tabel dibawah ini.

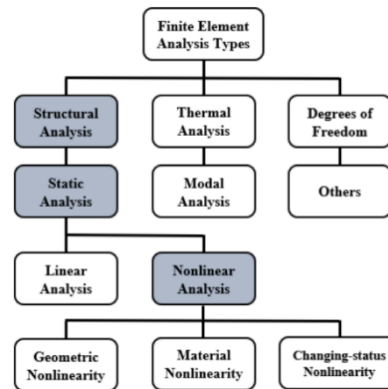
Tabel 3. Sifat unsur titanium

Karakteristik	²² Ti
Kelimpahan / ppm (dalam kerak bumi)	4400
Densitas / g cm ⁻³	4,49
Titik leleh / °C	1167
Titik didih / °C	3285
Jari-jari atomik / pm	147
Jari-jari ionik / pm	60,5 ; 67 ; 86
Potensial reduksi : E ⁰ / V	-0,86
Konfigurasi elektronik	[¹⁸ Ar] 3d ² 4s ²
Elektronegativitas	1,5

2.4. Metode elemen hingga

Metode elemen hingga adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik yang kompleks dengan mensimulasikan solusi yang lebih sederhana. Metode elemen hingga sering digunakan untuk memecahkan masalah yang sangat kompleks[3].

Dalam kasus umum, beberapa masalah ini tidak dapat diselesaikan dengan metode analisis matematis[10]. Ini karena kalkulus membutuhkan besaran dan nilai untuk diketahui pada setiap titik secara diskrit. Berikut ini adalah diagram metode elemen hingga dalam rekayasa[11].



Gambar 1. Skema metode elemen hingga di bidang teknik

2.5. Tegangan Von Mises

Von Mises menyatakan bahwa akan terjadi luluh bilamana invarian kedua deviator tegangan melampaui harga kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk. Dalam ilmu material kriteria luluh von Mises dapat diformulasikan dalam von Mises stress. Persamaan ini menyatakan bahwa material mulai luluh ketika tegangan von Mises mencapai yield strength. Tegangan von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial[12]. Tegangan Von mises dapat dirumuskan dengan.

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}}$$

2.6. Faktor keamanan

Faktor keamanan merupakan suatu variabel yang menunjukkan rasio antara tegangan yang bekerja pada suatu material atau produk dengan tegangan tegangan luluh yang dimiliki oleh material tersebut. Faktor keamanan berguna untuk memprediksi dan mengurangi kerusakan suatu produk pada saat penggunaan. Faktor keamanan dapat dirumuskan dengan[12].

$$N' = \frac{\sigma_y}{\sigma_w}$$

N' = Faktor keamanan

σ_y = Tegangan yield (N/m²)

σ_w = Tegangan kerja (N/m²)

3. Metode Penelitian

3.1. Alat

Pengujian ini menggunakan aplikasi *engineering* Ansys workbench 2021 R2 berbasis metode elemen hingga yang dilakukan di lab komputer Program Studi Teknik Mesin Universitas Udayana.

3.2. Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian kali ini menggunakan list bahan yang terdapat pada ansys workbench 2021 R2. List bahan dan sifat mekanis dari bahan dapat dilihat dibawah ini.

1. Carbon Steel, 1020, annealed

Tabel 4. Sifat mekanis *carbon steel, 1020, annealed*

Density	7,85e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2,124e+05 MPa
Poisson's Ratio	0,29000
Bulk Modulus	1,6857e+05 MPa
Shear Modulus	82326 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1,143e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	393,00 MPa
Tensile Yield Strength	293,50 MPa

2. Aluminium Alloy, wrought, 6061, T6

Tabel 5. Sifat mekanis *aluminium alloy, wrought, 6061, T6*

Density	2,713e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	69040 MPa
Poisson's Ratio	0,33000
Bulk Modulus	67686 MPa
Shear Modulus	25955 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	2,278e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	313,10 MPa
Tensile Yield Strength	259,20 MPa

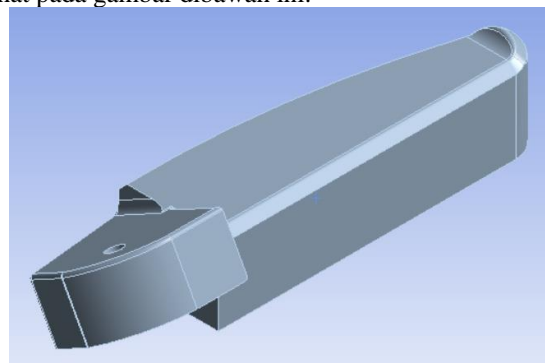
3. Titanium Alloy

Tabel 6. Sifat mekanis *titanium alloy*

Density	4,62e-06 kg/mm ³
Structural	
▼ Isotropic Elasticity	
Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	96000 MPa
Poisson's Ratio	0,36000
Bulk Modulus	1,1429e+05 MPa
Shear Modulus	35294 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	9,4e-06 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 MPa
Compressive Yield Strength	930,00 MPa
Tensile Ultimate Strength	1070,0 MPa
Tensile Yield Strength	930,00 MPa

3.3. Prosedur Simulasi

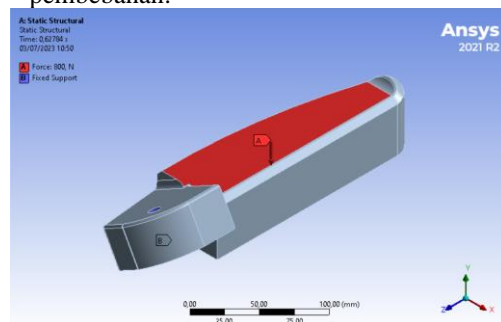
Model produk *footstep* dibuat menggunakan aplikasi Autodesk Inventor 2019. Model dari produk *footstep* yang akan digunakan dalam pengujian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. Model produk *footstep*

Model produk *footstep* kemudian akan diuji dengan beban yang telah ditentukan pada batasan penelitian menggunakan analisa *static structural*. Simulasi menggunakan aplikasi ansys workbench R2 2021 dilakukan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

1. Model yang telah dibuat kemudian di export ke aplikasi ansys workbench R2 2021 dengan format “.step”.
2. Buka aplikasi ansys workbench R2 2021.
3. Masuk ke pilihan simulasi *static structural*.
4. Masukkan sifat mekanik material yang telah didapatkan pada pengujian sebelumnya.
5. Selanjutnya masukkan geometri model yang telah di desain sebelumnya.
6. Kemudian masukkan *boundary condition* seperti titik tumpu, pembebanan, serta arah pembebanan.

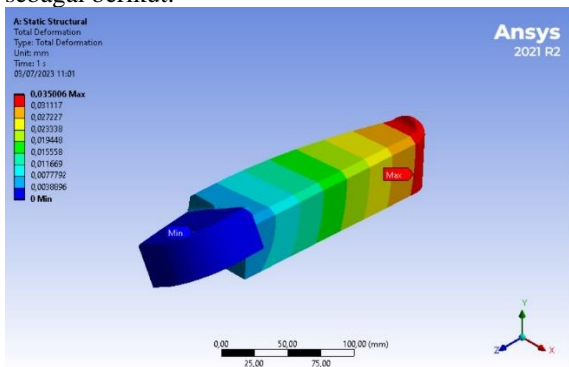


Gambar 3. *Boundary condition* model pada simulasi

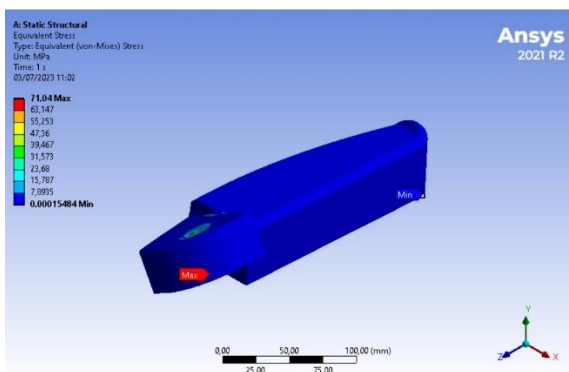
7. Kemudian lakukan meshing dengan metode tetrahedron dengan ukuran elemen menyesuaikan kondisi pada saat pengujian serta behavior elemen di atur ke pilihan hard. Pemilihan mesh ini dilakukan berdasarkan geometri yang kompleks serta memiliki banyak lekukan.
8. Kemudian generate mesh dan cek kualitas meshing dengan menggunakan grafik skewness kualitas meshing. Meshing yang ditargetkan berada diangka 0,8 atau kurang.
9. Jika kualitas meshing telah memenuhi kualitas yang diinginkan atau mendekati konvergen, maka bisa dilakukan proses selanjutnya, jika belum memenuhi kualitas yang diinginkan ulangi proses meshing.
10. Lalu pilih solusi yang ingin diketahui dari proses simulasi.
11. Kemudian klik fitur solve pada aplikasi ansys. Dan biarkan aplikasi running sampai hasil simulasi keluar.
12. Kemudian cek hasil simulasi.
13. Ulangi dengan variasi bahan yang telah ditentukan pada Batasan masalah.
14. Selesai.

4. Hasil dan Pembahasan

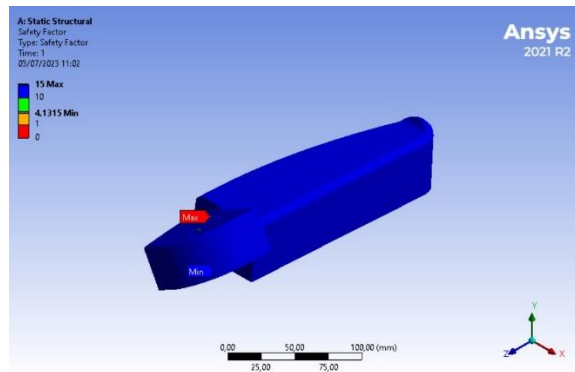
Dari hasil simulasi static structural pada aplikasi ansys *workbench* 2021 R2, didapatkan *total deformation*, *equivalent stress*, dan faktor keamanan sebagai berikut.



Gambar 4. Kontur *displacement* pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

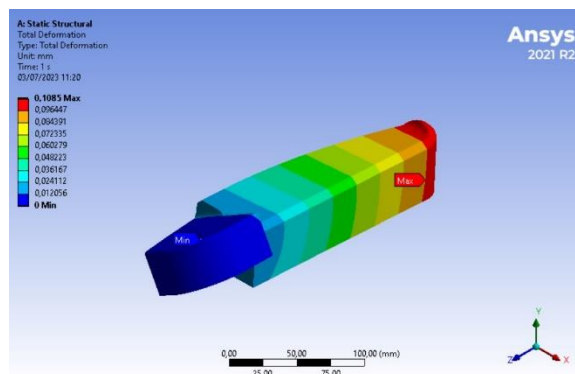


Gambar 5. Kontur *equivalent stress* pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

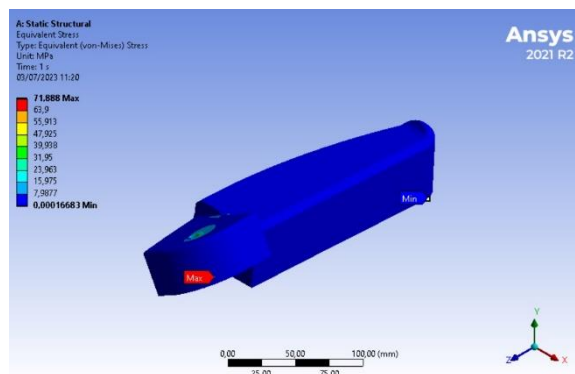


Gambar 6. Faktor keamanan pada *footstep carbon steel. 1020, annealed*.

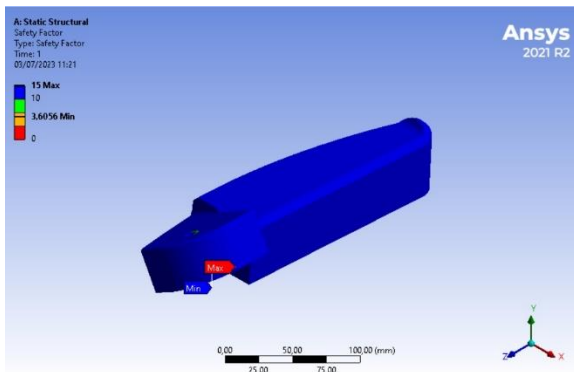
Pada hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *carbon steel, 1020, annealed* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,035006 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 71,04 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 4,1315.



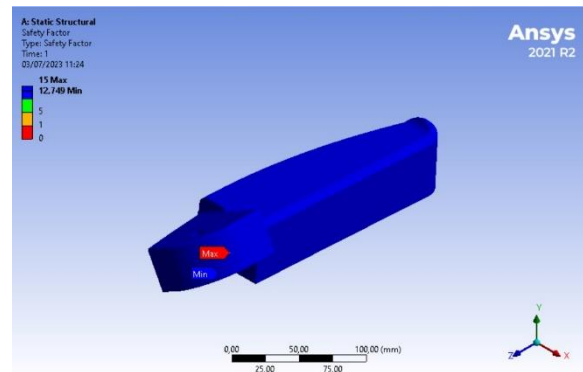
Gambar 7. Kontur *displacement* pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



Gambar 8. Kontur *equivalent stress* pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



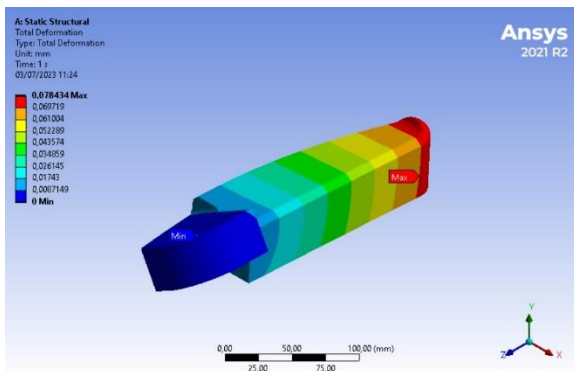
Gambar 9. Faktor keamanan pada *footstep aluminium alloy, wrought, 6061, T6*.



Gambar 12. Faktor keamanan pada *footstep titanium alloy*.

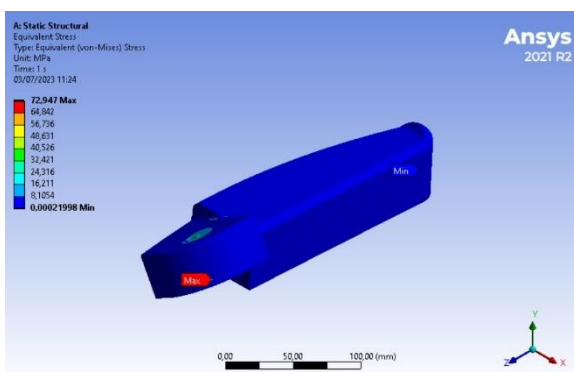
Sedangkan hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *aluminium alloy, wrought, 6061, T6* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,1085 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 71,888 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 3,6056.

Pada hasil simulasi *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki nilai *displacement* maksimum 0,078434 mm, nilai *equivalent stress* maksimum berada diangka 72,947 MPa, dan nilai faktor keamanan minimum diangka 12,749.



Gambar 10. Kontur *displacement* pada *footstep titanium alloy*.

Pada simulasi ini, meskipun model produk memiliki dimensi dan *boundary condition* yang sama, perbedaan nilai dapat terjadi. Dimana perbedaan tersebut disebabkan karena setiap bahan memiliki tegangan luluh yang berbeda. Dapat dilihat *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki faktor keamanan paling tinggi, diikuti dengan *carbon steel, 1020, annealed*, lalu yang terakhir *aluminium alloy, wrought, 6061, T6*. Semakin tinggi nilai faktor keamanan, maka semakin andal pula produk yang dihasilkan, serta dapat menerima beban atau gaya yang lebih besar sebelum terjadi kegagalan.



Gambar 11. Kontur *equivalent stress* pada *footstep titanium alloy*.

5. Kesimpulan

Berdasarkan data yang didapat, perbedaan bahan dasar *footstep* dapat menyebabkan perbedaan pada nilai *displacement*, *equivalent stress*, dan faktor keamanan. Hal ini dipengaruhi oleh perbedaan tegangan luluh yang dimiliki oleh setiap bahan dan dapat diambil kesimpulan bahwa *footstep* berbahan dasar *titanium alloy* memiliki faktor keamanan yang paling tinggi dibandingkan bahan lainnya dengan dimensi *footstep* yang sama.

Daftar Pustaka

- [1] A. I. S. M. INDONESIA, *Statistic Distribution*, 2023.
<https://www.aisi.or.id/statistic/> (accessed Jul. 01, 2023).
- [2] T. Game, *PERAN VITAL FOOTSTEP PADA MOTOR TRAIL*, 2022.
<https://www.trialgame.id/news/dirt/detail/per-an-vital-footstep-pada-motor-trail>
- [3] A. Wikarta, , 2018, *Optimasi Topologi Pada Overhead Crane Box Girder Kapasitas 5Tx23M Dengan*, D. T. Mesin, and F. T. Industri.

- [4] A. N. S. HD and S. Widodo, 2018, ***Peningkatan Sifat Mekanis Besi Cor Kelabu Melalui Proses Tempering***, J. Mech. Eng., vol. 2, no. 2, pp. 8–17, doi: 10.31002/jom.v2i2.1365.
- [5] S. Djaprie, 1986, ***Ilmu dan Teknologi Bahan (Ilmu Logam dan Bukan Logam, 5th ed.*** Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [6] MatWeb, ***Baja, Properti Umum***, <https://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?bassnum=MS0001> (accessed Jul. 01, 2023).
- [7] M. Susri, Suherman, and F. Rahmad, 2016, ***Pengaruh Penambahan Magnesium Terhadap Kekerasan, Kekuatan Impak Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan (Al-Si) Dengan Metode Lost Foam Casting***, J. Ilm. “MEKANIK” Tek. Mesin ITM, vol. 2, no. 2, pp. 77–84.
- [8] H. Bashori, 2020, ***UJI MATERIAL ALUMINIUM PADUAN DENGAN METODE KEKERASAN ROCKWELL***, Angew. Chemie Int. Ed., vol. 6, no. 11, pp. 951–952.
- [9] A. Mathematics, ~~済無~~ ***No Title No Title No Title***, no. Iv, pp. 1–23, 2016.
- [10] I. N. Budiarsa, I. D. G. A. Subagia, I. W. Widhiada, and N. P. G. Suardana, 2015, ***Characterization of Material Parameters by Reverse Finite Element Modelling Based on Dual Indenters Vickers and Spherical Indentation***, Procedia Manuf., vol. 2, no. February, pp. 124–129, doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.022.
- [11] Erdogan Madenci, 2006, ***The Finite Element Methode And Applications In Engineering Using Ansys***. USA: Springer International Publishing.
- [12] R. C. HIBBELER, ***Mechanics of Materials, 8th ed.*** USA: Pearson Prentice Hall, 1991.



Analisis Distribusi Beban Velg Sepeda Motor Listrik Dengan Variasi Motif Spoke Menggunakan Metode Elemen Hingga

Putra Kurnia Illahi, I Made Gatot Karohika, I Made Parwata
Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran Bali

Abstrak

Sepeda motor merupakan salah satu benda yang sudah menjadi kebutuhan dari setiap orang. Jenis dari sepeda motor juga semakin bervariasi yang salah satunya adalah sepeda motor listrik. Komponen yang penting dari sepeda motor listrik adalah velg. Velg memiliki peranan yang cukup penting sebagai melekatnya ban dan juga menyalurkan daya yang dihasilkan oleh mesin. Velg didesain memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan beban yang diberikan. Dengan semakin berkembangnya teknologi komputer, memungkinkan kita melakukan simulasi atau pengujian terhadap kekuatan dan nilai keamanan dari velg untuk menghindari kegagalan dari velg. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan nilai keamanan velg dengan variasi model spoke melalui simulasi yang dilakukan. Simulasi yang dilakukan menggunakan software Autodesk Inventor 2021. Pembebanan yang diberikan berupa tekanan sebesar 0,05 MPa dan momen sebesar 4000 N.mm. Dari simulasi yang dilakukan didapatkan hasil velg dengan type A memiliki tegangan von mises sebesar 3,034 MPa, displacement sebesar 0,002255 mm, dan safety factor sebesar 15. Velg dengan type B memiliki tegangan von mises sebesar 2,613 MPa, displacement sebesar 0,002229 mm, dan safety factor sebesar 15. Sedangkan velg dengan type C memiliki tegangan von mises sebesar 1,807 MPa, displacement sebesar 0,002099 mm, dan safety factor sebesar 15.

Kata kunci: Velg, Simulasi, Faktor keamanan

Abstract

Motorcycles are something that everyone needs. The types of motorbikes are also increasingly varied, one of which is an electric motorbike. An important component of an electric motorcycle is the wheels. Wheels have an important role as attachment to the tire and also distribute the power generated by the engine. Wheels are designed to have high strength to withstand a given load. With the development of computer technology, it allows us to do simulations or tests of the strength and safety values of wheels to avoid wheel failure. This study aims to determine the strength and safety value of the wheels with variations in the spoke model through the simulations carried out. The simulation was carried out using the Autodesk Inventor 2021 software. The load given was in the form of a pressure of 0.05 MPa and a moment of 4000 N.mm. From the simulations carried out, it was found that type A wheels have a von mises stress of 3.034 MPa, a displacement of 0.002255 mm, and a safety factor of 15. Wheels with type B have a von mises stress of 2.613 MPa, a displacement of 0.002229 mm, and a safety factor of 15. While velg with type C has a von mises stress of 1.807 MPa, a displacement of 0.002099 mm, and a safety factor of 15.

Keywords: Wheels, Simulation, Safety factor

1. Pendahuluan

Sepeda motor merupakan salah satu benda yang sudah menjadi kebutuhan dari setiap orang. Jenis dari sepeda motor juga semakin bervariasi yang salah satunya adalah sepeda motor listrik. Sepeda listrik bergerak akibat putaran dari motor listrik yang kemudian disalurkan melalui belt ke roda belakang. Sepeda motor listrik tidak memerlukan akselerasi dan kecepatan yang tinggi seperti sepeda motor konvensional.

Komponen yang penting dari sepeda motor listrik adalah velg. Velg memiliki peranan yang cukup penting sebagai melekatnya ban dan juga menyalurkan daya yang dihasilkan oleh mesin [1]. Velg yang terdapat di pasaran terbuat dari material

campuran aluminium dengan magnesium. Saat beroperasi, velg menerima beban statis dan dinamis yang disebabkan oleh berat dari kendaraan dan juga momen yang diakibatkan oleh motor listrik.

Velg didesain untuk memiliki kekuatan yang tinggi untuk menahan beban yang diberikan. Kegagalan yang terjadi pada velg adalah pecahnya spoke akibat gaya dan tegangan yang melebihi tegangan maksimum yang diizinkan[2]. Dengan semakin berkembangnya teknologi komputer, memungkinkan kita melakukan simulasi atau pengujian terhadap kekuatan dan nilai keamanan dari velg untuk menghindari kegagalan dari velg.

Simulasi yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan membagi menjadi bagian –

bagian kecil dengan bantuan komputer. Simulasi ini memiliki banyak keuntungan dari segi waktu, tenaga, maupun biaya. Maka dari itu, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan nilai keamanan velg dengan variasi model spoke melalui simulasi yang dilakukan.

2. Dasar Teori

1. Tegangan *Von Misses*

Teori kegagalan ini memprediksi bahwa keadaan tegangan multiaksial terjadi ketika energi deformasi per-satuan volume sama dengan atau lebih besar daripada uji tegangan uniaksial sederhana pada benda uji dari bahan yang sama. Tegangan *von misses* juga digunakan untuk memprediksi kekuatan dan daya tahan suatu material. Apabila tegangan *von misses* melebihi kekuatan material, maka material tersebut akan mengalami kegagalan.

2. Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga adalah rekayasa komputasi yang digunakan untuk memprediksi dan mensimulasikan perilaku dari suatu sistem rekayasa yang kompleks. Pada dasarnya metode elemen hingga membagi bagian kompleks menjadi bagian atau unit yang lebih kecil dan dapat dengan mudah menghasilkan solusi yang sederhana. Elemen – elemen tersebut saling berhubungan melalui node yang terletak di sepanjang batas elemen. Setiap node menentukan koordinat lokasi dimana gaya berada.

3. Faktor Keamanan

Faktor keamanan merupakan salah satu faktor yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keamanan dari suatu material saat menerima gaya dari luar. Faktor keamanan didefinisikan sebagai suatu nilai dari perhitungan tetangan sebenarnya terhadap tegangan yang diijinkan.

Untuk menghindari suatu kegagalan struktur terjadi besar nilai dari faktor keamanan harus lebih dari 1,0. Oleh karena itu nilai dari tegangan sebenarnya harus lebih besar dari tegangan yang diijinkan agar material tersebut bisa disebut aman.

Faktor keamanan dari suatu struktur dapat dinilai dengan menggunakan aturan sebagai berikut :

a. Bahan – bahan ulet

1. $(n) = 1,25 - 2,00$ untuk perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan kepercayaan yang tinggi untuk data perancangan.
2. $(n) = 2,00 - 2,5$ untuk perancangan elemen suatu mesin yang menerima beban dinamis dengan tingkat kepercayaan rata – rata untuk data perancangan.
3. $(n) = 2,5 - 4,00$ untuk perancangan struktur statis ataupun elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidak pastian beban, sifat bahan, analisis tegangan, dan juga lingkungan.

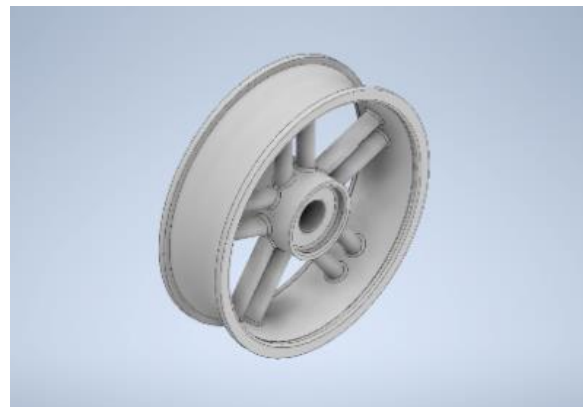
4. $(n) = 4,00$ atau lebih untuk perancangan struktur statis atau elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidak pastian campuran bahan, sifat bahan, analisa tegangan, dan juga lingkungan.
- b. Bahan – bahan getas
 1. $(n) = 3,00 - 4,00$ untuk perancangan struktur yang menerima beban secara statis dengan kepercayaan yang tinggi untuk data perancangan.
 2. $(n) = 4,00 - 8,00$ untuk perancangan struktur statis ataupun elemen mesin yang menerima beban dinamis dengan ketidak pastian beban, sifat bahan, analisis tegangan, dan juga lingkungan.

3. Metode Penelitian

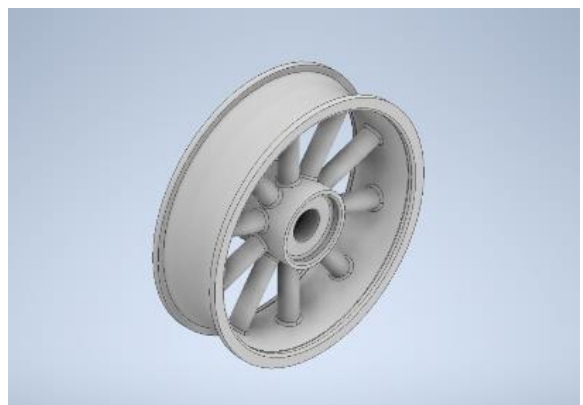
Alat dan bahan yang digunakan pada pengujian ini adalah :

- 1) *Autodesk Inventor Professional 2021 Student Version.*
- 2) Material Aluminium 6061 yang ada pada *library Autodesk Inventor Professional 2021 Student Version.*

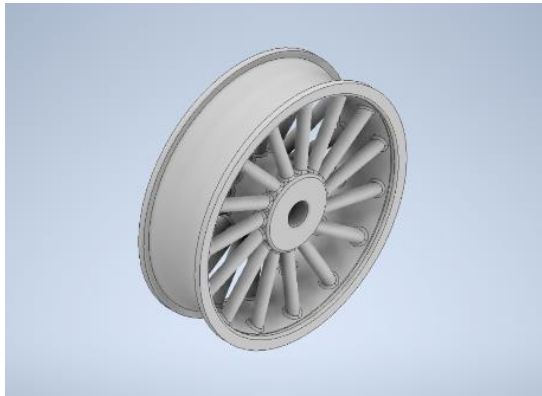
Adapun desain velg yang digunakan untuk simulasi memiliki diameter sebesar 202,12 mm yang dapat dilihat pada gambar dibawah berikut.



Gambar 1. Desain velg type A



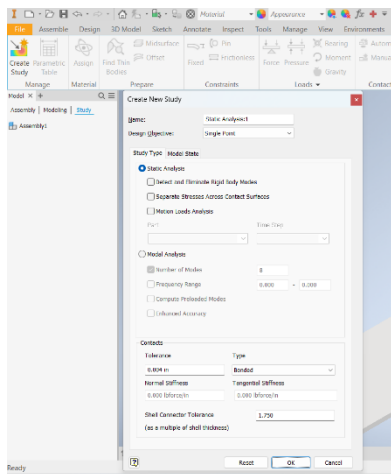
Gambar 2. Desain velg type B



Gambar 3. Desain velg type C

1. Tahapan Simulasi

Simulasi dilakukan pada menu *static analysis* kemudian klik *create study* dan klik “Ok” seperti gambar dibawah ini.



Gambar 4. Menu *static analysis*

Kemudian mengatur material yang digunakan untuk simulasi yaitu aluminium 6061. Simulasi dilakukan dengan memberikan beban dengan jenis *pressure* dan *momen load*.

Pressure yang bekerja diasumsikan berdasarkan berat dari sepeda motor listrik dan pengendara melalui perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 M &= 50 \text{ kg (berat sepeda motor listrik) + 110 kg (berat maksimal pengendara) = 160 kg} \\
 F &= m \times g \text{ (9,81 m/s}^2\text{)} \\
 &= 160 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\
 &= 1569,6 \text{ N} \\
 &= \text{dibulatkan menjadi 1600 N}
 \end{aligned}$$

Luas penampang yang terkena gaya yaitu sebesar 31.732,81 mm². Maka besar *pressure* yang diterima adalah sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Pressure} &= \frac{F}{A} = \frac{m \times g}{A} \\
 &= \frac{160 \text{ Kg} \times 10 \text{ m/s}^2}{31.732,84 \text{ mm}^2} = 0,05 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

Momen load didapatkan dari kecepatan maksimum dari sepeda motor listrik. Kecepatan

maksimum yang dapat dilakukan mulai dari 50 km/jam dengan daya motor 500 watt [3].

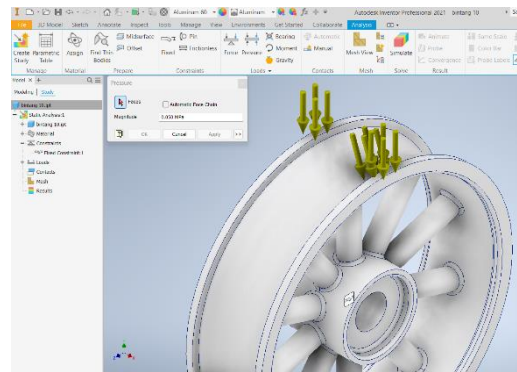
$$V = 50 \text{ km/jam} = 13,8 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{13,8}{0,10106} = 136,55 \pi \text{ rad/s}$$

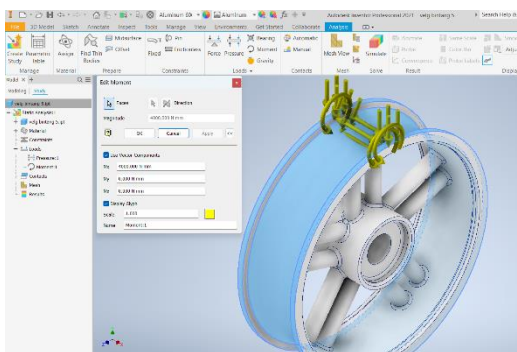
$$\text{Momen } T = \frac{P}{\omega} = \frac{500}{136,55} = 3,66 \text{ N.m}$$

Dibulatkan menjadi 4 N.m = 4000 N.mm.

Kemudian untuk letak dari *pressure* dan *momen load* dapat dilihat seperti gambar dibawah ini.

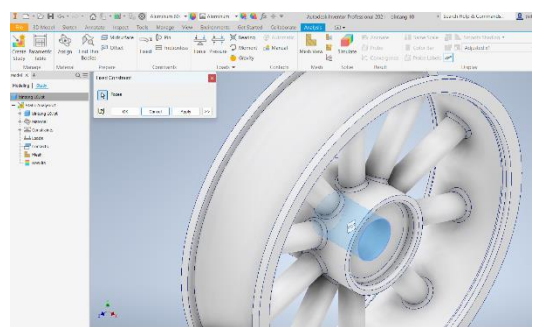


Gambar 5. *Pressure*



Gambar 6. *Momen load*

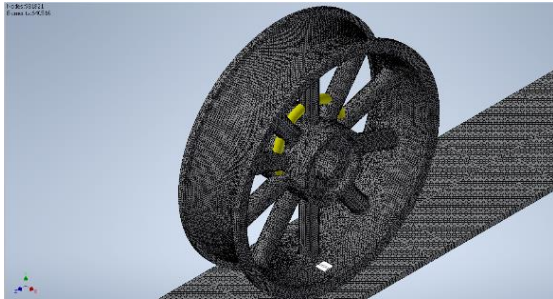
Kemudian diberikan *constraints* dengan jenis *fixed support* yang diletakkan pada plat untuk jalur dari velg yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



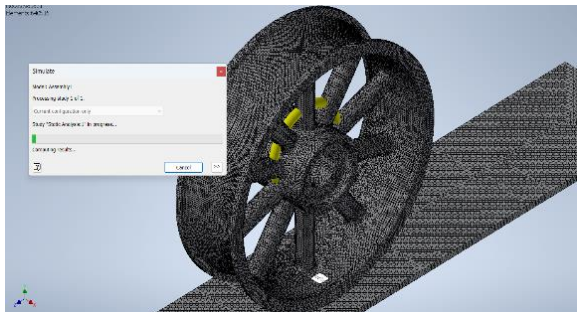
Gambar 7. *Fixed support*

Kemudian melakukan meshing dengan ukuran average element size 0,01 dan minimum

element size 0,02. Meshing digunakan untuk mendapatkan hasil perhitungan yang akurat. Selanjutnya dilakukan simulasi. Klik menu *simulate* kemudian *run* untuk mendapatkan hasil dari simulasi yang dilakukan.



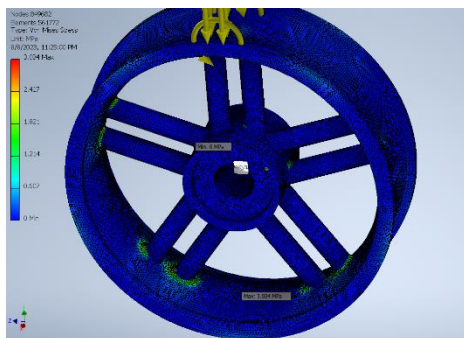
Gambar 8. Mesh view



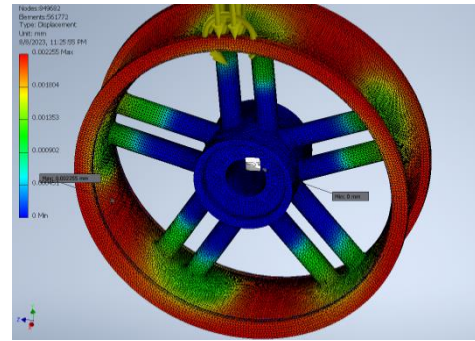
Gambar 9. Simulasi pengujian

4. Hasil dan Pembahasan

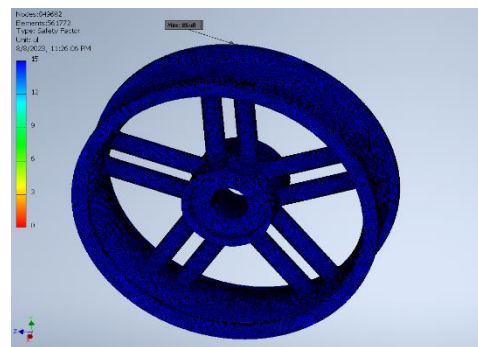
Berdasarkan dengan tahapan simulasi yang dilakukan seperti pada bab 3, maka akan didapatkan hasil dari simulasi. Hasil yang didapatkan dari simulasi yaitu tegangan *von misses*, *displacement*, dan *safety factor* dari setiap variasi model spoke yang ditunjukkan seperti gambar berikut.



(a)

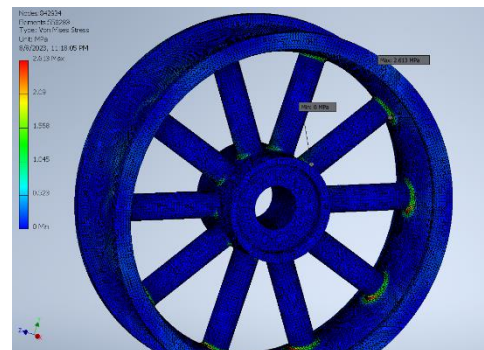


(b)

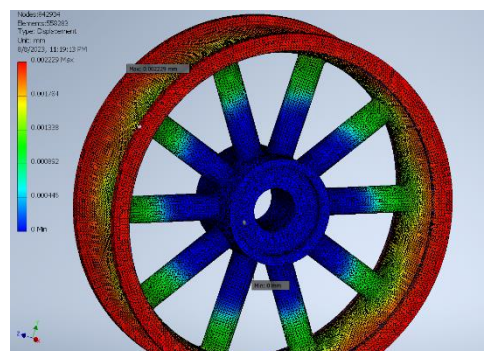


(c)

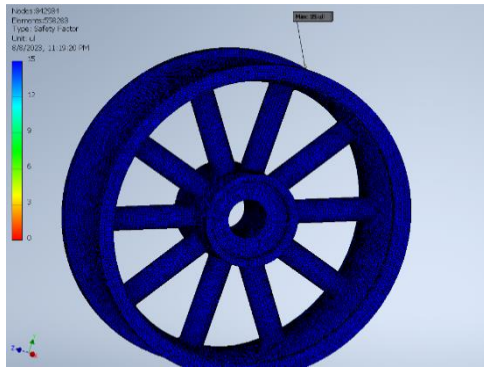
Gambar 10. (a) Tegangan *von misses* type A, (b) *Displacement* type A, (c) *Safety factor* type A



(a)

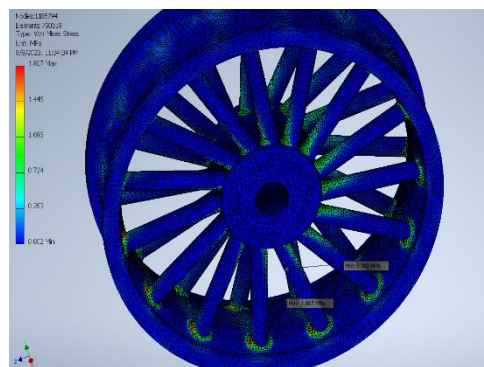


(b)

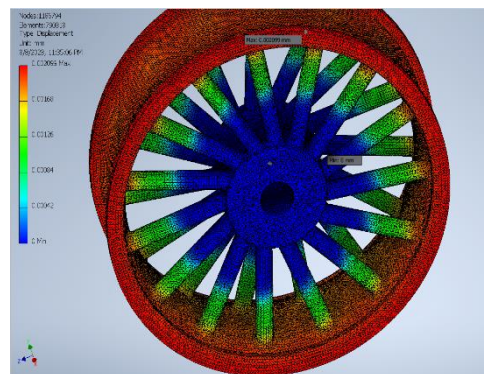


(c)

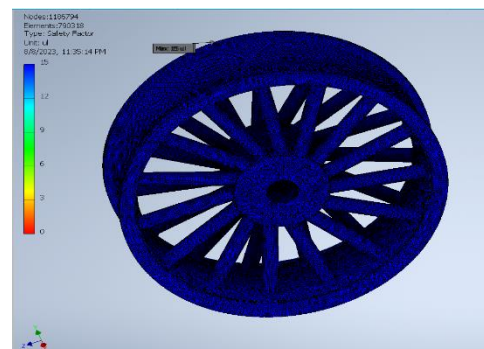
Gambar 11. (a) Tegangan von mises type B, (b) Displacement type B, (c) Safety factor type B



(a)



(b)



(c)

Gambar 12. (a) Tegangan von mises type C, (b) Displacement type C, (c) Safety factor type C

Tabel 1. Hasil Simulasi

Berdasarkan tabel diatas velg dengan *type A* memiliki tegangan *von mises* sebesar 3,034 MPa, *displacement* sebesar 0,002255 mm, dan *safety factor* sebesar 15. Velg dengan *type B* memiliki tegangan *von mises* sebesar 2,613 MPa, *displacement* sebesar 0,002229 mm, dan *safety factor* sebesar 15. Sedangkan velg dengan *type C* memiliki tegangan *von mises* sebesar 1,807 MPa, *displacement* sebesar 0,002099 mm, dan *safety factor* sebesar 15.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan velg


Jenis Velg	Tegangan Von Mises (MPa)	Displacement Max. (mm)	Safety Factor
Type A	3,034	0,002255	15
Type B	2,613	0,002229	15
Type C	1,807	0,002099	15

dengan *type C* memiliki kekuatan yang terbaik dilihat dari nilai tegangan *von mises* dan *safety factor* yang di dapatkan. Tegangan *von mises* dari velg *type C* sebesar 1,807 MPa yang nilainya paling kecil diantara variasi *type spoke* dan *safety factor* sebesar 15.

Daftar Pustaka

- [1] Bahri, Moch., 2015, **Analisa Kekuatan Velg Mobil Penumpang pada Simulasi Pengujian Dynamic Radial Fatigue dengan Metode Elemen Hingga**, JURNAL TEKNIK ITS Vol. 4, No. 1, pp. 1-5.
- [2] Irawan, A. H., 2016, **Analisis Kekuatan Velg Cast Wheel Sepeda Motor dengan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga**, Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, vol. 4, no. 2, pp. 57-66.
- [3] Syaefudin, E.A., 2013, **Perancangan Desain Velg Sepeda Motor Hybrid dan Pengujian Distribusi Beban dengan Software Autodesk Inventor**, Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ, Edisi terbit I, pp. 22-31.
- [4] Wijianto, A.S., 2022, **Simulasi Numerik Velg After Market Untuk Mendapatkan Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum**, R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur) Jurnal, vol. 07, no. 2, pp. 63-68.
- [5] Pris, F. R., **Analisis Kekuatan Velg Aluminium Alloy 17 Inc Dari Berbagai Desain Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA)**, Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ, vol. 09, no. 2, pp. 33-39.

- [6] Budiarsa I.N., 2015, *Characterization of Material Parameters by Reverse Finite Element Modelling Based on Dual Indenters Vickers and Spherical Indentation*, *Procedia Manufacturing*, vol. 2, pp. 12-129.
- [7] Budiarsa I.N., 2019, *Indentation Size Effect of the Vickers Indentation to Improve the Accuracy of Inverse Materials Properties Modelling Based on Hardness Value*, *IOP Conference Series : Earth and Environmental Science*, vol. 248, no. 1, p. 012009, 2019.
- [8] Widhiada, W., 2019, *Temperature Stability and Humidity on Infant Incubator Based on Fuzzy Logic Control*, *Proceedings of the 2019 5th International Conference on Computing and Artificial Intelligence*, pp. 155-159.

	<p>Putra Kurnia Illahi menyelesaikan program studi teknik mesin pada tahun 2023.</p>
<p>Foto close-up Judul Tugas akhir : Analisis Distribusi Beban <i>Velg</i> Sepeda Motor Listrik dengan Varriasi Motif <i>Spoke</i> Menggunakan Metode Elemen Hingga</p>	