

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

# MACHINE

## JURNAL TEKNIK MESIN

Vol. 10 No. 1 April 2024

Jurnal  
Teknik Mesin

Vol. 10

No. 1

Hal

April 2024

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

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



Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknik  
Universitas Bangka Belitung

#### SUSUNAN DEWAN REDAKSI

Redaktur:

Saparin, S.T., M.Si.

Editor:

Ir. Yudi Setiawan, S.T., M.Eng.

Suhdi, S.S.T., M.T., Ph.D.

Rodiawan, S.T., M.Eng. Prac.

Dr. Franto, S.T., M.Si.

Ir. Eka Sari Wijianti, S.Pd., M.T.

Jeri Arikxa, S.Pd., M.T.

Rudi Kurniawan Arief, S.T., M.T., Ph.D.

Abdul Gafur, S.Si., M.T.

Mitra Bestari:

Dr. Dani Harmanto (University of Derby),

Scopus ID: 55159740800

Ts. Dr. Nur Rashid bin Mat Nuri (UTeM)

Scopus ID: 55203041500

Dr. Ir. Ni Ketut Caturwati, M.T.(Untirta)

Scopus ID: 57193687510

Sinta ID: 260315

Dr. Ir. Erwin Siahaan, M.Si. (Untar)

Scopus ID: 57199235178

Sinta ID: 5990421

Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D. (Untirta)

Scopus ID: 55803690600

Sinta ID: 260203

Dr. Yanuar Burhanuddin, M.T. (Unila)

Scopus ID: 23391898600

Dr. Sukanto, S.ST., M.Eng.(Polman Babel)

Scopus ID: 57208470145

Dr. Ridho Irwansyah, S.T., M.T. (UI)

Scopus ID: 55006023800

Teguh Dwi Widodo, S.T., M.Eng., Ph.D. (UB)

Scopus ID: 56258446700

Dr. Jamiatul Akmal, S.T., M.T. (Unila)

Scopus ID: 57210989465

Firly Rosa, S.ST., M.T (UBB)

Scopus ID: 57212376084

Sekretariat:

Nia Erawati, S.I.Pust.

Laman Jurnal:

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

Alamat Redaksi:

Gedung Babel IV

Jurusan Teknik Mesin – Fakultas Teknik  
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung  
Balunijuk, Kabupaten Bangka Prov. Bangka

Belitung

Laman : [mesin.ubb.ac.id](http://mesin.ubb.ac.id)

Email : [teknikmesinunivbabel@gmail.com](mailto:teknikmesinunivbabel@gmail.com)

#### PENGANTAR EDITOR

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

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

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

Tim Redaksi

Machine; Jurnal Teknik Mesin

---

**DAFTAR ISI**

<b>RANCANG BANGUN MODUL MESIN KONVERSI ENERGI BERTINGKAT</b>	<b>1</b>
Lukman Nulhakim <sup>1</sup> , Syafrizal <sup>2</sup> , Mokhammad Is Subekti <sup>3</sup> , Ade Irvan Tauvana <sup>4</sup> , Widodo <sup>5</sup> , Mirza Yusuf <sup>6</sup>	1
<b>DESAIN DAN ANALISIS VELG MOBIL 15 INCH TIPE ALUMINIUM ALLOY 6061 MELALUI SIMULASI PENGUJIAN <i>DYNAMIC CORNERING FATIGUE</i> SESUAI STANDAR SAE J 328</b>	<b>6</b>
Moh. Nova Ikhsannudin <sup>1</sup> , Adhes Gamayel <sup>2</sup> , Mohamad Zaenudin <sup>3</sup>	6
<b>OPTIMASI KINCIR AIR TIPE UNDERSHOT: PENGARUH JUMLAH SUDU DAN KETINGGIAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN EKSPERIMENTAL</b>	<b>14</b>
Carolus Borromeus Krishna Sampurno <sup>1</sup> , Oktavianus Ardhian Nugroho <sup>2</sup> , Regina Chelinia Erianda Putri <sup>3</sup>	14
<b>SIMULASI NUMERIK PENGARUH DIAMETER DAN KECEPATAN ALIRAN TERHADAP PERFORMANSI SINGLE SERPENTINE CHANNEL PADA PV</b>	<b>21</b>
Anak Agung Adhi Suryawan <sup>1</sup> , I Gede Nengah Wika Gunawan <sup>1</sup> , Ketut Astawa <sup>1</sup> , Ni Wayan Rasmini <sup>2</sup>	21
<b>ANALISA BENDING STRESS PADA FILAMEN ABS TERHADAP ARAH CETAKAN 3D PRINTING TIPE FDM</b>	<b>29</b>
Wahyu Widiyanto <sup>1</sup>	29
<b>PENGARUH PENDINGINAN PANEL SURYA TERHADAP EFISIENSI DAYA KELUARAN</b>	<b>36</b>
Abraham Sahat Salano Forestico <sup>1</sup> , Yudi Setiawan <sup>2</sup> , Saparin <sup>3</sup> , Jeri Ariksha <sup>4</sup> , Eka Sari Wijianti <sup>5</sup>	36
<b>RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO SKALA KECIL MENGGUNAKAN PENYAMBUNGAN LANGSUNG (ON GRID) TERHADAP WAKTU UNTUK MERESPON PERUBAHAN DAYA</b>	<b>41</b>
Feliks Eldad Larobu <sup>1</sup> , Yuliadi Erdani <sup>2</sup> , Bahdin Ahad Badia <sup>3</sup> , La Ode Muhamad Fathur Rachim <sup>4</sup>	41

## RANCANG BANGUN MODUL MESIN KONVERSI ENERGI BERTINGKAT

Lukman Nulhakim<sup>1</sup>, Syafrizal<sup>2</sup>, Mokhammad Is Subekti<sup>3</sup>, Ade Irvan Tauvana<sup>4</sup>, Widodo<sup>5</sup>, Mirza Yusuf<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Teknologi Rekayasa Manufaktur, Politeknik Enjineri Indorama

Kembangkuning, Ubrug, Jatiluhur, Purwakarta, Jawa Barat, Indonesia - 41152

<sup>6</sup> Program Teknologi Rekayasa Otomotif, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

Gedung D Lantai Dasar Kampus Terpadu UMY JL. Brawijaya, Kasihan, Bantul, Yogyakarta 55183

lukman.nulhakim@pei.ac.id <sup>1</sup>

### Abstrak

Mesin konversi energi merupakan mesin yang merubah suatu energi menjadi energi yang lain. Pemanfaatan energi yang dihasilkan oleh mesin konversi energi dapat digunakan untuk menggerakkan mesin konversi energi yang lainnya. Penelitian ini membuat modul mesin konversi energi bertingkat dengan metode regeneratif energi, dimana energi listrik dari sel surya digunakan untuk menggerakkan pompa, debit air yang dihasilkan pompa digunakan untuk menggerakkan generator untuk menghasilkan energi listrik, dimana energi ini digunakan untuk menggerakkan motor listrik pada kipas angin. Pembuatan modul ini meliputi perancangan, pembuatan dan perkitan. Pengujian dilakukan 30 menit pada masing-masing mesin konversi energi, dimana sel surya menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 20,9 V, pompa menghasilkan debit air rata-rata 3,53 l/m, dan tegangan yang dihasilkan oleh generator sebesar 12 V, sedangkan kecepatan udara yang dihasilkan oleh kipas angin rata-rata sebesar 22,8 m/s..

**Kata kunci :** energi, sel surya, pompa, generator, kipas angin.

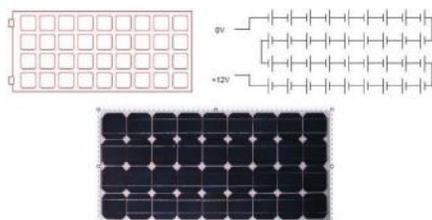
### Abstract

*An energy conversion machine is a machine that converts energy into other forms of energy. The utilization of energy produced by energy conversion machines can be used to drive other energy conversion machines. This study makes a multilevel energy conversion machine module with the energy regenerative method, where electrical energy from solar cells is used to drive a pump, the water discharge produced by the pump is used to drive a generator to produce electrical energy, and this energy is used to drive an electric motor on a fan. Making this module includes design, manufacture and assembly. Each energy conversion machine underwent a 30-minute test, during which the solar cells generated an average voltage of 20.9 V, the pump generated an average water flow of 3.53 l/m, the generator generated a voltage of 12 V, and the fan produced an average air speed of 22.8 m/s.*

**Key words :** energy, solar cells, pumps, generators, fans.

## PENDAHULUAN

Mesin konversi energi merupakan mesin yang digunakan untuk merubah suatu bentuk energi menjadi bentuk energi yang lain. Beberapa yang termasuk mesin konversi energi diantaranya turbin, pompa, sel surya, kompresor, motor bakar, generator, kompresor dan termoelektrik. Sel surya yang terlihat pada gambar 1 merupakan teknologi merubah cahaya dan panas matahari menjadi energi listrik arus searah yang memiliki tegangan dan arus berdasarkan material semikonduktor penyusun sel surya tersebut dalam mengkonversi energi matahari menjadi daya listrik [1]. Selain itu sel surya mempunyai kelebihan rendahnya biaya operasional umur dan pemanfaatannya yang rendah akan biaya operasional serta polusi [2]. Penggunaan sel surya menghasilkan energi listrik beberapa sudah dilakukan diantaranya dengan menggunakan kapasitas 50 WP menghasilkan energi listrik 125 s/d 130 Watt/jam, dimana energi yang dihasilkan digunakan untuk suplai energi listrik pada alat pengeang pupuk petani portabel [3].



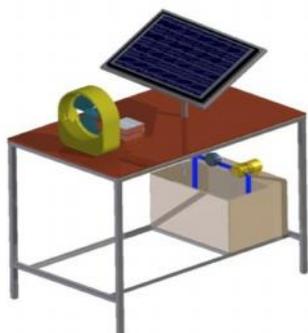
Gambar 1 Modul Sel Surya [3]

Pemanfaatan sinar matahari dengan menggunakan sel surya kapasitas 50 WP sebanyak 600 buah dapat memenuhi kebutuhan listrik hingga 120 kWh per hari [4]. Sel surya dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga surya dengan menggunakan 36 sel surya dengan jenis semitransparan dipasang pada gedung bertingkat sebagai dinding yang memungkinkan penghuni gedung dapat melihat pemandangan diluar kaca jendela selain sebagai penghasil energi listrik, 36 sel surya tersebut dihubungkan secara seri-paralel menghasilkan daya rata-rata sebesar 6,5 kWh [5]. Mesin konversi energi selain sel surya juga ada

pompa, dimana penggunaan pompa jenis sentrifugal untuk kebutuhan air di kawasan industri Kabupaten Karawang menghasilkan debit hingga 0,25 m<sup>3</sup>/s [6]. Pompa air jenis semijetpump digunakan sebagai kebutuhan rumah tangga dimana debit yang dihasilkan mencapai 41, 5 liter/menit dengan daya listrik yang dibutuhkan sebesar 0,464 kW [7]. Selain itu menggunakan pompa air tegangan DC menghasilkan debit hingga 4,2 m<sup>3</sup>/jam untuk dimanfaatkan kebutuhan suplai air masyarakat Banjar Bukit Lambuh [8]. Generator salah satu yang termasuk dalam mesin konversi energi, dimana penggunaan generator dengan memanfaatkan aliran air terjun di bendungan Batu Putu menghasilkan tegangan rata-rata 128, 92 V dengan kuat arus sebesar 1,69 A [9]. Selain itu Aris dkk dengan memanfaatkan kecepatan angin yang ada disekitar gedung Vocational Training Center dengan menggunakan turbin ventilator sehingga putaran yang dihasilkan diteruskan ke generator DC menghasilkan tegangan maksimal sebesar 9,7 V dengan arus 1,1 mA dengan kecepatan angin 5,4 m/s [10]. Sehingga menarik untuk dilakukan perancangan dan pembuatan modul mesin konversi energi bertingkat dimana alat ini menggunakan 4 buah mesin konversi energi yang berbeda dengan regeneratif energi, mulai dari sel surya diteruskan ke pompa lalu memanfaatkan aliran air yang dihasilkan pompa digunakan untuk menggerakkan generator, tegangan yang dihasilkan oleh generator digunakan untuk menggerakkan motor listrik pada kipas angin. Manfaat adanya modul ini sebagai penunjang media pada mata kuliah mesin konversi energi. seperti yang sudah dilakukan oleh beberapa penelitian sebelumnya [8], [11], [12]. Pemanfaatan debit aliran air yang dihasilkan pompa untuk menggerakkan generator sehingga menghasilkan energy listrik DC tersimpan dalam baterai dan digunakan untuk menggerakkan motor listrik pada kipas angin, modul ini dapat dijadikan sebagai media pembelajaran tentang pemanfaatan energi untuk menghasilkan energi yang lainnya.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dari perancangan, pembuatan dan pengujian. Proses perancangan beserta letak setiap mesin konversi energi sesuai yang telah ditampilkan pada gambar 2, dimana sel surya dengan model *monocrystalline* dengan maksimum *power* 50 W dan kipas angin DC dipasangkan bagian atas meja lalu untuk generator dan pompa dipasang diatas tutup *box* air dengan kapasitas daya tampung air 70 liter, dimana letak *box* air berada dibawah meja. Tegangan yang dihasilkan oleh sel surya disimpan dalam baterai dengan kapasitas tegangan dan kuat arus sebesar 12 V dan 6 A. Energi listrik yang disimpan pada baterai digunakan untuk menggerakkan pompa air DC dengan spesifikasi tegangan dan kuat arus yaitu 12 V dan 2,2 A, debit yang dihasilkan oleh pompa digunakan untuk menggerakkan generator DC dengan keluaran daya maksimal 10 W dan tegangan 12 V. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator DC disimpan pada baterai dengan spesifikasi tegangan *input* dan *output* sebesar 5 V dan kapasitasnya 6000 mAh untuk menggerakkan kipas angin dengan daya 1,2 W, tegangan 5 V dan mempunyai dimensi 149,8 x 96 x 146,5 mm.



Gambar 2 Desain Modul Mesin Konversi Energi Bertingkat

Proses pembuatan rangka meja dilakukan dengan proses pemesinan, diantaranya proses pemotongan dan proses pengelasan untuk menggabungkan potongan-potongan besi yang sudah terpotong. Proses penyambungan rangka besi menggunakan proses pengelasan merupakan proses pembentukan ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam paduan yang dilaksanakan dalam keadaan lumer atau cair dengan menggunakan energi [13], [14]. Rangka meja ini menggunakan material besi berlubang kotak ukuran 30 x 30 mm, seperti terlihat pada gambar 3. Sedangkan gambar 4 menunjukkan proses perakitan untuk semua komponen yang digunakan, dimana sel surya dan kipas angin terpasang diatas meja sedangkan pompa

dan generator dipasang pada bagian bawah meja dengan memanfaatkan tutup *box* tempat menampung air.



Gambar 3 Proses Pembuatan Modul Mesin Konversi Energi Bertingkat



Gambar 4 Proses Perakitan Modul Mesin Konversi Energi Bertingkat

Pengujian dilakukan selama 30 menit untuk masing-masing mesin konversi energi, dimana pengujian yang dilakukan pada sel surya dengan mengukur tegangan yang dihasilkan. Debit air yang dihasilkan oleh pompa, tegangan yang dihasilkan oleh generator dan kecepatan aliran udara yang dihasilkan oleh kipas angin. Gambar 5 menunjukkan pengujian sel surya dilakukan pada saat pagi hari dimana pada saat itu merupakan intensitas cahaya terbesar yang terjadi tepatnya pada pukul 09.00 wib [15]. Pengujian pompa dilakukan dengan menggunakan tegangan input sebesar 12 V, aliran air yang dihasilkan oleh pompa dimanfaatkan untuk menggerakkan generator, dimana tegangan yang dihasilkan oleh generator disimpan pada baterai lalu digunakan untuk menggerakkan kipas angin.



Gambar 5 Pengujian Sel Surya

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan meja dengan ukuran 110 x 60 x 90 m membutuhkan besi kotak ukuran 30 x 30 mm berlubang dengan tebal 3 mm sebanyak 12 m. Pengujian sel surya menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 20,9 V, sedangkan pengujian pompa terlihat menghasilkan debit rata-rata 3,53 l/m, pengujian generator menghasilkan tegangan rata-rata 11,1 V, dan kipas angin menghasilkan kecepatan rata-rata 22,8 m/s.

Sel surya dengan seri menghasilkan tegangan maksimal 22,4 V lalu mengalami penurunan hingga 21,2 V, sedangkan pompa, generator dan kipas angin mengalami naik turun tetapi tidak signifikan hampir dikatakan stabil. Generator antara *input* dan *output* mengalami penurunan tegangan sekitar 1 V.

Tabel 1 Hasil Pengujian Modul Mesin Konversi Energi Bertingkat

Waktu (menit)	Sel surya (Volt)	Pompa (l/m)	Generator (Volt)	Kipas angin (m/s)
0	0	0	0	0
1	22,4	3,4	11,1	22
2	22,4	3,4	11,1	23
3	22,2	3,4	11,1	23
4	22,2	3,4	11,3	22
5	22,2	3,4	11,2	22
6	22,1	3,4	11,1	23
7	22	3,4	11,1	23
8	22	3,5	11,1	23
9	22	3,5	11,2	22
10	21,8	3,5	11,1	22
11	21,8	3,6	11,1	23
12	21,6	3,6	11,1	23

13	21,6	3,6	11,1	23
14	21,6	3,5	11,2	24
15	21,6	3,6	11,1	23
16	21,6	3,6	11,1	23
17	21,6	3,6	11,1	23
18	21,5	3,6	11,1	24
19	21,5	3,6	11	23
20	21,5	3,6	11	23
21	21,5	3,6	11,1	23
22	21,5	3,5	11,1	22
23	21,5	3,6	11,1	23
24	21,4	3,6	11,1	23
25	21,3	3,6	11,1	23
26	21,3	3,6	11,2	22
27	21,3	3,6	11,1	22
28	21,3	3,6	11,1	23
29	21,3	3,6	11,1	23
30	21,2	3,6	11,1	23

Dari hasil tersebut dapat dimanfaatkan energi listrik dari sel surya untuk menggerakkan pompa karena tegangan input pompa sebesar 12 V dengan penambahan hambatan, tetapi aliran air yang dihasilkan pompa masih relatif kecil sehingga energi yang dihasilkan oleh generator masih relatif kecil juga yang mengakibatkan proses pengisian ke baterai sedikit lama untuk mencapai penuh.

## KESIMPULAN

Penelitian tentang rancang bangun modul mesin konversi energi bertingkat sudah dilakukan, dimana modul ini menghasilkan tegangan rata-rata sebesar 20,9 V pada sel surya, debit aliran air dari pompa sebesar 3,53 l/m, generator menghasilkan tegangan rata-rata 11,1 V dan kecepatan aliran udara yang dihasilkan oleh kipas angin rata-rata sebesar 22,8 m/s. Modul ini dapat digunakan sebagai penunjang pembelajaran tentang mesin konversi energi serta kedepan dapat dilakukan penelitian dengan menambahkan alat/mesin konversi energi yang lainnya, seperti termoelektrik generator, termoelektrik pendingin atau yang lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. I. Tauvana, W. Widodo, F. Rachmanu, and ..., "Pelatihan Pengelasan Smaw Ig Smk Se-Kabupaten Purwakarta, Karawang Dan Bogor," BERNAS J. ..., vol. 2, no. 2, pp. 546–551, 2021, doi: 10.31949/jb.v2i2.955.
- [2] A. Sakura, A. Supriyanto, and A. Surtono, "Rancang Bangun Generator Sebagai Sumber

- Energi Listrik Nanohidro,” Univ. Lampung, vol. 05, no. 02, pp. 129–134, 2017.
- [3] A. Senen, “Perancangan Pemanfaatan Tenaga Surya untuk Penyaluran Air Bersih Bagi Pesantren Attuma’ ninah Kab. Lebak, Banten,” Terang, vol. 3, no. 1, pp. 1–9, 2020, doi: 10.33322/terang.v3i1.1035.
- [4] A. Suryadi, P. T. Asmoro, and R. Raihan, “Pemanfaatan Turbin Ventilator sebagai Pembangkit Listrik Alternatif,” Pros. Semin. Nas. Teknoka, vol. 4, no. 2502, pp. 15–19, 2019, doi: 10.22236/teknoka.v4i0.4124.
- [5] C. Rizal, “Penggunaan Solar Sel Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya,” J. Tek. Elektro, vol. 7, no. 2, pp. 7–17, 2017, [Online]. Available: <https://jurnal.unpal.ac.id/index.php/jte/article/view/228>.
- [6] D. Dahliya, S. Samsurizal, and N. Pasra, “Efisiensi Panel Surya Kapasitas 100 Wp Akibat Pengaruh Suhu Dan Kecepatan Angin,” Sutet, vol. 11, no. 2, pp. 71–80, 2021, doi: 10.33322/sutet.v11i2.1551.
- [7] E. A. Nugroho, “IMPLEMENTASI PROPORSIONAL INTEGRAL (PI) PADA SISTEM MAXIMUM POWER POINT TRACKER (MPPT) UNTUK OPTIMALISASI ENERGI MATAHARI PADA SEL SURYA,” ELEKTRA, vol. 3, no. 1, pp. 55–64, 2018.
- [8] Eka Nurdiana; Sudirman; Zulramadhanie; Suhraeni Syafei; Louis; Heru Eka Prawoto, “ANALISIS EFISIENSI MESIN POMPA AIR UNTUK PEMANFAATAN RUMAH TANGGA,” SNTEM, vol. 1, pp. 819–827, 2021.
- [9] K. B. Kusuma, C. G. I. Partha, and I. W. Sukerayasa, “Perancangan Sistem Pompa Air Dc Dengan Plts 20 kWp Tianyar Tengah Sebagai Suplai Daya Untuk Memenuhi Kebutuhan Air,” J. SPEKTRUM, vol. 7, no. 2, pp. 46–56, 2020.
- [10] M. N. Qosim and R. Hariyati, “Kajian Kelayakan Finansial Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Kapasitas 20 kWp,” Kilat, vol. 10, no. 1, pp. 1–9, 2021, doi: 10.33322/kilat.v10i1.544.
- [11] S. Aryza, H. Hermansyah, A. P. U. Siahaan, S. Suherman, and Z. Lubis, “Implementasi Energi Surya Sebagai Sumber Suplai Alat Pengereng Pupuk Petani Portabel,” It J. Res. Dev., vol. 2, no. 1, pp. 12–18, 2017, doi: 10.25299/itjrd.2017.vol2(1).642.
- [12] S. Harahap and M. I. Fakhrudin, “Perancangan Pompa Sentrifugal Untuk Water Treatment Plant Kapasitas 0.25 M<sup>3</sup>/S Pada Kawasan Industri Karawang,” Semin. Nas. Sains dan Teknol. 2018, pp. 1–9, 2018.
- [13] S. Mikro, P. Baja, J. I. S. Ss, J. H. S. Ronggowaluyo, T. Timur, and K. Barat, “Program Studi Teknik Mesin , Fakultas Teknik , Universitas Singaperbangsa Karawang 24 Desmon , Semuel ; Analisa Pengaruh Variasi Arus Pengelasan Kombinasi Smaw Dan Gtaw Terhadap Pengujian Kekerasan , Kekuatan Impak Serta Pengamatan Struktur Mikro Pada Baj,” vol. 8, no. 1, pp. 24–33, 2022.
- [14] T. J. Pramono, E. Erlina, Z. Arifin, and J. Saragih, “Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Gedung Bertingkat,” Kilat, vol. 9, no. 1, pp. 115–124, 2020, doi: 10.33322/kilat.v9i1.888.
- [15] Z. Arifin, A. J. Tamamy, and N. Islahu, “Perancangan Mesin Pompa Air Tenaga Surya untuk Mengurangi Konsumsi Listrik Skala Rumah,” J. Nas. Tek. Elektro, vol. 9, no. 2, p. 79, 2020, doi: 10.25077/jnte.v9n2.758.2020.

## DESAIN DAN ANALISIS VELG MOBIL 15 INCH TIPE ALUMINIUM ALLOY 6061 MELALUI SIMULASI PENGUJIAN *DYNAMIC CORNERING FATIGUE* SESUAI STANDAR SAE J 328

Moh. Nova Ikhsannudin<sup>1</sup>, Adhes Gamayel<sup>2</sup>, Mohamad Zaenudin<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Universitas Global Jakarta

Jl. Boulevard Raya No. 2, Tirtajaya, Sukmajaya, Depok 16412, Jawa Barat, Indonesia

[adhes@jgu.ac.id](mailto:adhes@jgu.ac.id)<sup>1</sup>

### Abstrak

Abstrak Velg adalah bagian roda yang mendapatkan gaya dan tegangan akibat dari menahan berat kendaraan pada posisi diam atau bergerak. Velg memiliki zona kritis terkait gaya dan tegangan pada daerah bernama *spoke*. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan beberapa model velg yang telah dimodifikasi guna mencari nilai kritis yang minimum. Velg yang dilakukan analisis terdiri dari model velg 1 dengan radius *spoke* 4 mm, velg model 2 radius *spoke* 8 mm serta velg model 3 radius *spoke* 12 mm. Metode penelitian dilakukan menggunakan metode *static structural analysis* dengan pendekatan *reverse engineering*. Penelitian dilakukan dalam beberapa tahapan terkait pengujian *dynamic cornering fatigue* dan pemberian beban. Hasil dari pengujian ini dibandingkan dengan standar *Society of Automotif Engineer* (SAE) J 328. Desain velg menggunakan *software Autodesk Inventor 2016* dan disimulasi memakai *software ANSYS Workbench R1 2022*. Hasil dari simulasi berupa nilai *equivalent elastic strain*, *equivalent von misses*, dan *fatigue life* dari ketiga model velg tersebut. Desain velg model 1 mempunyai nilai *equivalent von misses* 75,022 MPa, *equivalent elastic strain* 0,0016627 mm/mm dan nilai *fatigue life* 1.000.000 putaran. Desain velg model 2 mempunyai nilai *equivalent von misses* 119,53 MPa, *equivalent elastic strain* 0,001862 mm/mm serta nilai *fatigue life* 1.000.000 putaran. Desain velg model 3 didapatkan nilai *equivalent von misses* 136,96 MPa, *equivalent elastic strain* 0,0019852 mm/mm dan nilai *fatigue life* 841.040 putaran. Dari semua model velg dilihat dari hasil simulasi dinyatakan memenuhi standart SAE J 328.

**Kata kunci :** velg, *dynamic cornering fatigue*, *equivalent von misses*, *equivalent elastic strain*, *fatigue life*

### Abstract

*Abstrak The rim is the part of the wheel that gets the force and tension from holding the vehicle's weight in a stationary or moving position. Wheels have a critical zone related to force and stress in the area called the spoke. This study aims to compare several wheel models that have been modified to find the minimum critical value. The wheels that were analyzed consisted of model 1 wheels with a spoke radius of 4 mm, model 2 wheels with a spoke radius of 8 mm and model 3 wheels with a spoke radius of 12 mm. The research method was carried out using a static structural analysis method with a reverse engineering approach. The research was carried out in several stages related to dynamic cornering fatigue testing and loading. The results of this test are compared with the standard of the Society of Automotive Engineers (SAE) J 328. Wheel design using Autodesk Inventor 2016 software and simulated using ANSYS Workbench R1 2022 software. The results of the simulation are the equivalent elastic strain, equivalent von misses, and fatigue life values of the three-wheel models. Model 1 alloy wheel design has an equivalent von misses value of 75.022 MPa, an equivalent elastic strain of 0.0016627 mm/mm and a fatigue life value of 1,000,000 rounds. The model 2 alloy wheel design has an equivalent von Misses value of 119.53 MPa, an equivalent elastic strain of 0.001862 mm/mm and a fatigue life value of 1,000,000 rounds. The model 3 alloy wheel design obtained an equivalent von misses value of 136.96 MPa, an equivalent elastic strain of 0.0019852 mm/mm and a fatigue life value of 841,040 rounds. Of all the wheel models, seen from the simulation results, they meet the SAE J 328 standard. ditulis dalam Bahasa Inggris, satu paragraf, memuat tujuan, metode penelitian yang digunakan dan hasil.*

**Key words :** *wheels, dynamic cornering fatigue, equivalent von misses, equivalent elastic strain, fatigue.*

## PENDAHULUAN

Teknologi pada dunia industri otomotif berkembang begitu pesat. Desain pada satu komponen sering berganti dari segi bentuk dengan cara modifikasi desain atau desain baru. Sehingga perlu ada pertimbangan secara matang mengenai pemilihan material, perhitungan keamanan, dan desain yang baik [1]. Velg merupakan komponen pada kendaraan bermotor yang terus mengalami kemajuan desain dengan keunggulan estetika [2]. Jika velg mengalami kerusakan, akan terjadi potensi bahaya bagi yang mengendarai kendaraan. Hal ini menjadi penting agar desain velg memperhatikan faktor kegagalan ketika digunakan di jalan raya [3]. Velg terdapat 2 tipe yang diketahui di golongan publik adalah velg baja dan velg aluminium [4].

Velg paduan aluminium memiliki wilayah yang dinamakan dengan zona kritis dimana zona kritis itu merupakan wilayah terbentuknya konsentrasi tegangan. Daerah *spoke* merupakan daerah sering terjadinya kerusakan pada velg aluminium paduan akibat menahan gaya dan tegangan melebihi tegangan maksimum yang diijinkan [5]. Selain itu, bagian offset dengan nilai plus dan minus juga termasuk dalam hal yang mempengaruhi kekuatan velg [6]. Penumpukan beban yang berulang-ulang mengakibatkan kerusakan pada komponen sehingga tidak mampu meresap energi atau biasa disebut sebagai *fatigue failure* [7]. Perlu adanya pengujian pada velg terkait *fatigue failure*. Pengujian yang akan dibahas lebih lanjut adalah pengujian *dynamic cornering fatigue* [8].

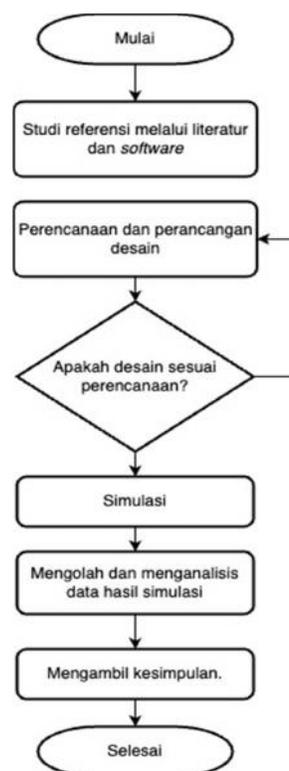
Pengujian *dynamic cornering fatigue* adalah pengujian kelelahan (*fatigue*) pada velg dengan kondisi kendaraan menikung atau berbelok. Standar pengujian ini memakai standar pengujian dan memverifikasi ketahanan *fatigue* dari velg terhadap beban-beban tertentu [8]. Proses pengujian pada velg mempunyai standar pengujian yaitu SAE J 328 [9].

Berdasarkan latar belakang diatas, maka penulis berupaya untuk menganalisa 3 buah velg yang masing-masing memiliki perbedaan radius *spoke*. Desain velg menggunakan *software Autodesk Inventor 2016* dengan material velg yang digunakan adalah tipe aluminium alloy 6061. Proses simulasi pengujian *dynamic cornering fatigue* dengan *software ANSYS Workbench R1 2022* dan menggunakan metode *static structural analysis*. Hasil dari simulasi kemudian dibandingkan dengan

standar pengujian SAE J 328 untuk mengetahui apakah nilai distribusi tegangan (*Equivalent Stress von-misses*), regangan (*Equivalent Elastic Strain*) serta umur *fatigue* berada pada nilai yang dianjurkan.

## METODE PENELITIAN

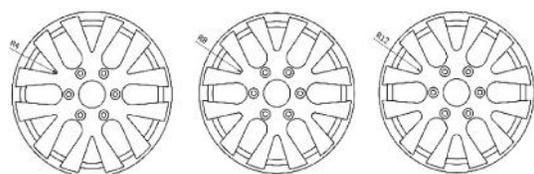
Diagram alir pada penelitian ini disampaikan pada Gambar 1. Diagram alir dibuat sesuai dengan langkah-langkah penelitian yang sudah dilakukan, yaitu agar mampu menggambarkan proses penelitian sedemikian rupa secara setahap demi setahap. Lebih lanjut lagi, aspek pengujian ulang dilakukan pada saat tahap desain, di mana jika desain belum sesuai, maka akan diulang proses desainnya. Lebih lanjut lagi, proses simulasi juga menentukan hasilnya, oleh sebab itu, proses simulasi yang dilakukan pada dasarnya memiliki kerumitannya sendiri, dengan berbagai percobaan *trial and error* sebelum akhirnya data sudah sesuai ketika dibandingkan dengan literatur yang tersedia dan ukuran standar pada SAE J 328.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

### 1. Pemodelan Variasi Velg Mobil 15 Inch

Pemodelan variasi velg mobil 15-inch dibuat menggunakan perangkat lunak berbasis *computer aided design* (CAD) yaitu *Autodesk Inventor professional 2016*. Software ini memiliki keunggulan seperti proses desain dan pengeditannya mudah, dapat dianimasikan, adaptif, fitur material yang update, dan memiliki kapasitas kecil [10]. Variasi model velg mobil 15-inch terdiri dari velg Model 1 dengan radius *spoke* 4 mm, Model 2 dengan radius *spoke* 8 mm serta Model 3 dengan radius *spoke* sebesar 12 mm seperti pada Gambar 2. Pada tahap ini, variasi ukuran *spoke* pada masing-masing model diduga akan memberikan pengaruh yang cukup signifikan pada dua variabel dependen, yaitu *equivalent stress* dan *elastic strain*.



Gambar 2 Desain Velg 1, Velg 2 dan Velg 3 dengan variasi berupa ukuran diameter pada *spoke*

### 2. Data Material

Material yang digunakan pada velg mobil 15-inch yaitu aluminium alloy 6061 dengan nilai *propertis* ditulis pada Tabel 1. Aluminium alloy tipe 6061 merupakan salah satu jenis material yang sudah sering digunakan untuk keperluan velg mobil. Material ini mengandung Al sebesar 96.85%, sementara kandungan elemen lainnya yaitu Mg 0.9%, Si 0.7%, Fe 0.6%, Cu 0.3%, Cr 0.25%, Zn 0.20%, Ti 0.10%, Mn 0.05%, dan 0.05% merupakan elemen-elemen lainnya. Kandungan utama sebesar lebih dari 96% aluminium dan juga dengan adanya tambahan kandungan Cr, maka sifat fisik utama dari logam ini adalah tidak mudah berkarat. Lebih lanjut lagi, kandungan seperti Fe dan Ti memberikan tambahan kekuatan. Dalam banyak kasus, kandungan C pada suatu material mampu memberikan kekuatan yang signifikan, terutama pada paduan-paduan baja yang berbasis Fe. Namun demikian, hal ini berbeda kasusnya pada material paduan berbasis aluminium.

Tabel 1 Data material aluminium alloy 6061

Jenis <i>Properties</i>	Nilai
Densitas	2700 Kg/m <sup>3</sup>

Ultimate Tensile Strength	310 MPa
Yield Strength	276 MPa
Modulus of Elasticity	68,9 GPa

### 3. Meshing

*Meshing* dilakukan pada desain velg yang telah dibuat. Hal ini bertujuan agar hasil yang didapat menjadi akurat ketika dilakukan perhitungan numerikal pada komputer. *Meshing* menghasilkan nilai elemen dan node yang berbeda disetiap desainnya. Semakin besar jumlah elemen dan node, maka semakin presisi nilai simulasi yang dihasilkan, namun juga berpengaruh pada proses simulasi yang lebih panjang, karena hal ini berarti komputer harus melakukan perhitungan matematis terhadap jumlah node dan elemen yang lebih banyak. Jumlah elemen/node pada desain velg sesuai pada Tabel 2. Jumlah ini dinilai sudah cukup. Pada perangkat lunak yang digunakan, dengan versi *student*, maka jumlah node dan elemen juga dibatasi, sehingga kerincian simulasi juga terbatas.

Tabel 2 Jumlah elemen dan node pada model masing-masing variasi velg.

Jumlah Mesh	Velg 1	Velg 2	Velg 3
Node	73270	60258	73804
Elemen	38890	31773	39206

### 4. Boundary Condition

Penentuan kondisi batas (*Boundary condition*) dilakukan untuk mempermudah proses *running* simulasi pada piranti lunak yang digunakan. Umumnya batasan yang diberikan mendekati dengan kondisi riil agar hasil yang ditampilkan baik dan mampu merepresentasikan keadaan sebenarnya sampai tingkat tertentu. Kondisi batas yang digunakan dalam simulasi pada studi ini yaitu antara lain:

1. *Fix support area flange* velg.
2. Beban akibat gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan sebesar 3087 N.
3. Beban akibat berat kendaraan sebesar 8820 N.
4. Pembebanan akibat kecepatan putar sebesar 31,4 rad/s.



Gambar 3 Area pembebanan pada pengujian *dynamic cornering fatigue*.

## 5. Solution

*Solution* merupakan tahap terakhir dari proses simulasi. Dalam penelitian ini yang ingin di dapatkan yakni nilai *equivalent stress von mises*, *equivalent elastic strain* serta *fatigue life* [11].

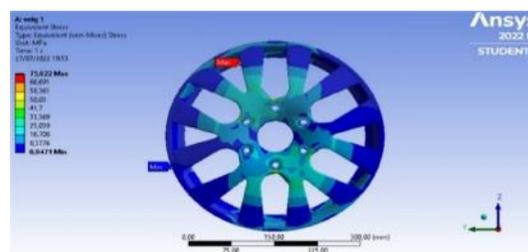
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Tiga macam beban diberikan pada simulasi *dynamic cornering fatigue* yaitu beban akibat gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan, beban akibat berat kendaraan, dan beban akibat kecepatan putar.

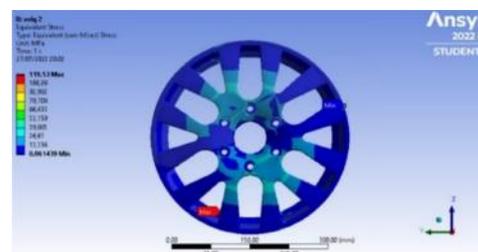
### 1. Hasil Simulasi *Equivalent Stress* Pada Velg Model 1, 2 dan 3

Berdasarkan simulasi *static structural* pada velg didapat nilai maksimum tegangan *equivalent von Mises* velg Model 1 sebesar 75,022 MPa, Model 2 119,53 MPa, dan Model 3 136,96 MPa. Dari data tersebut diketahui bahwa ketiga model velg mempunyai tegangan dengan nilai dibawah tegangan *yield strength* material. Nilai *yield strength* adalah 276 MPa. Hasil simulasi tegangan *Equivalent von mises* dapat dilihat pada Gambar 4. Perbedaan pada nilai stress hasil simulasi disebabkan oleh perbedaan diameter pada *spoke*. Semakin besar diameter *spoke* sebagaimana pada desain velg, maka akan mempengaruhi ketebalan batang yang menghubungkan antara *disc* dengan *rim*, dimana semakin besar variasi diameter pada *spoke*, maka semakin kecil ukuran batang velg. Hal ini secara sederhana menjelaskan mengapa nilai *equivalent von Mises* stress pada velg Model 1 memiliki nilai terendah (semakin rendah semakin baik) dan velg model ini menjadi model terbaik. Meskin demikian, dalam kaitannya dengan distribusi tegangan,

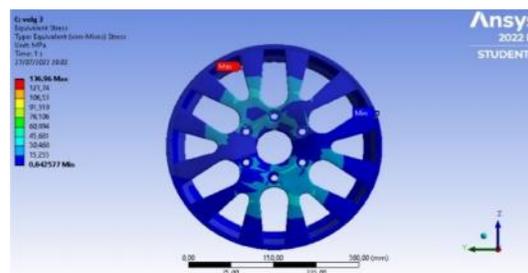
semakin besar diameter pada *spoke* model velg, maka distribusi tegangan cenderung lebih menyebar. Sedangkan, pada diameter *spoke* yang nilainya lebih kecil, distribusi tegangan cenderung terpusat pada bagian area *spoke*, yang membuat nilai tegangan maksimum pada area tertentu menjadi rendah dikarenakan dibagi secara merata. Namun demikian, ketebalan batang velg dalam hal ini ketebalan velg juga memainkan peranan penting, yang pada akhirnya memberikan nilai kekuatan yang lebih tinggi dibandingkan desain yang mengizinkan penyebaran tegangan lebih merata.



(a)



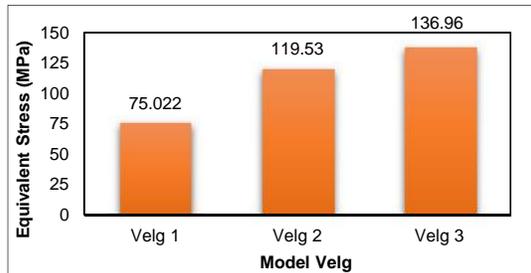
(b)



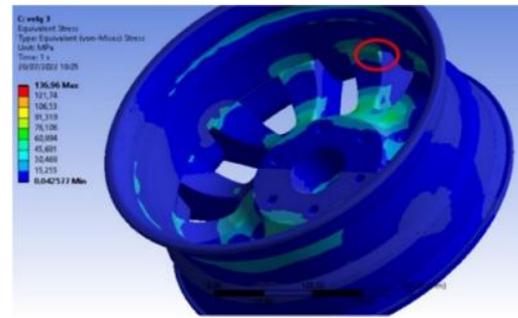
(c)

Gambar 4 Hasil Simulasi *equivalent stress* Velg Model 1, 2 dan 3

Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa area yang menuju warna merah memiliki nilai mendekati maksimal dari *equivalent stress*. Area ini berpotensi tinggi menjadi area terjadinya *crack*. Sebaliknya area yang menuju warna biru memiliki nilai mendekati nilai minimal dari *equivalent stress*.

Gambar 5 Hasil grafik simulasi *equivalent stress*.

Berdasarkan grafik gambar 5 diatas diketahui bahwa Velg model 3 memiliki nilai total *equivalent stress* paling tinggi yaitu sebesar 136,96 MPa. Sedangkan velg model 1 sebesar 75,022 MPa dan velg model 2 yaitu sebesar 119,53 MPa. Dapat disimpulkan juga bahwa perbedaan modifikasi radius *spoke* pada velg berbanding lurus dengan hasil pada nilai *equivalent stress*.



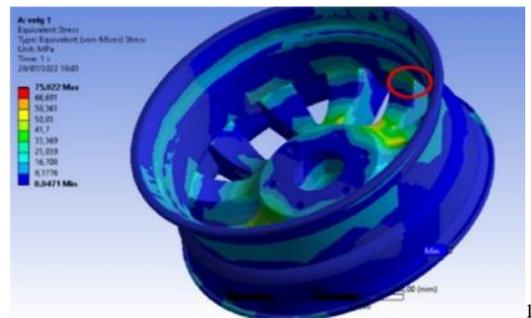
(c)

Gambar 6 Titik rawan pada Velg Model 1, 2 dan 3 (*equivalent stress*)

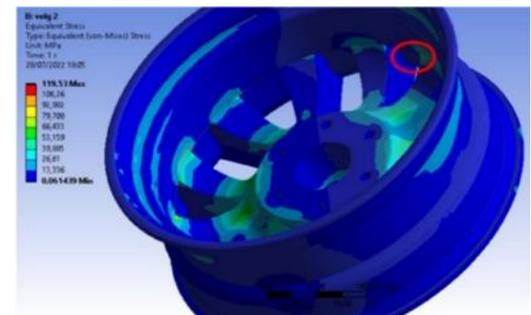
Berdasarkan hasil simulasi tegangan (*equivalent stress*) diketahui bahwa area yang rawan mengalami *crack* pada velg ditunjukkan oleh tanda yang berwarna merah yang terlihat pada Gambar 6.

## 2. Hasil Simulasi *Equivalent Elastic Strain* Pada Velg 1, 2 dan 3

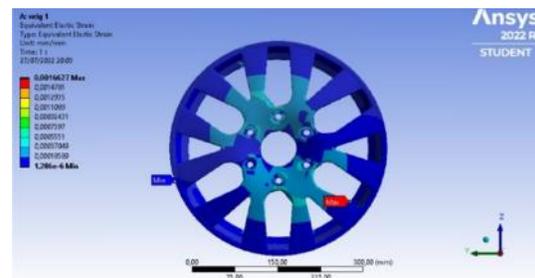
Berdasarkan simulasi *static structural* menggunakan *software ANSYS workbench* versi *student* pada ketiga model velg didapatkan hasil regangan maksimum masing-masing velg, yaitu velg Model 1 memiliki nilai regangan maksimum sebesar 0,0016627 mm/mm untuk Model 2 sebesar 0,001862 mm/mm dan Model 3 sebesar 0,0019852 mm/mm. Untuk data hasil *simulasi static structural* regangan *Equivalent Elastic Strain* dapat dilihat pada Gambar 7a, 7b, dan 7c.



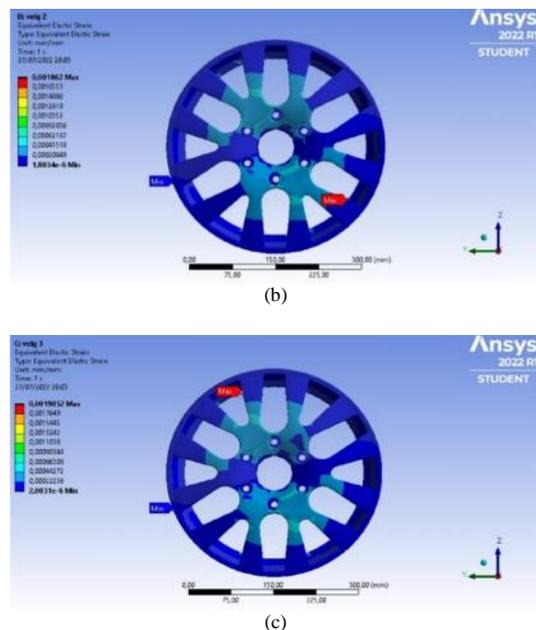
(a)



(b)



(a)

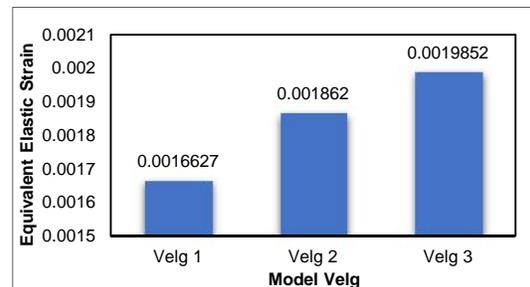


Gambar 7 Hasil simulasi *equivalent elastic strain* Velg Model 1, 2 dan 3

Dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa area velg yang warnanya mendekati warna merah memiliki nilai regangan tinggi. Sebaliknya pada area velg yang warnanya mendekati warna biru memiliki nilai regangan yang rendah. Semakin menyebar area regangan, maka semakin bagus desain yang dibuat, yang berarti tegangan yang diakibatkan dari pengujian dapat didistribusikan dengan baik, dan tentunya hal ini juga berpengaruh pada kemungkinan *crack* yang terjadi, terutama jika tegangan terkonsentrasi pada satu titik, yang mana juga akan menyebabkan nilai regangan elastis juga terkonsentrasi. Pada kasus desain velg, jika masih ada pada batas elastis, maka nilai regangan dinilai baik. Namun, jika sudah masuk pada area regangan plastis, maka hal ini dianggap berbahaya, dikarenakan besarnya kemungkinan terjadi *bending* atau *crack* pada model velg.

Berdasarkan grafik pada Gambar 8 diketahui bahwa dari ketiga model velg yang mengalami regangan maksimum paling tinggi nilainya yaitu velg Model 3 dengan nilai total *equivalent elastic strain* paling tinggi sebesar 0,0019852 mm/mm. Jika dibandingkan dengan velg Model 1 yang memiliki nilai regangan maksimum sebesar 0,0016627 mm/mm dan velg Model 2 yaitu sebesar 0,001862 mm/mm. Dapat disimpulkan juga bahwa perbedaan modifikasi area radius *spoke*

mempengaruhi nilai hasil dari simulasi *equivalent elastic strain* semakin lebar radius *spoke* semakin tinggi nilai regangan maksimumnya. Hal ini mengonfirmasi pembahasan yang ada pada pembahasan mengenai tegangan.



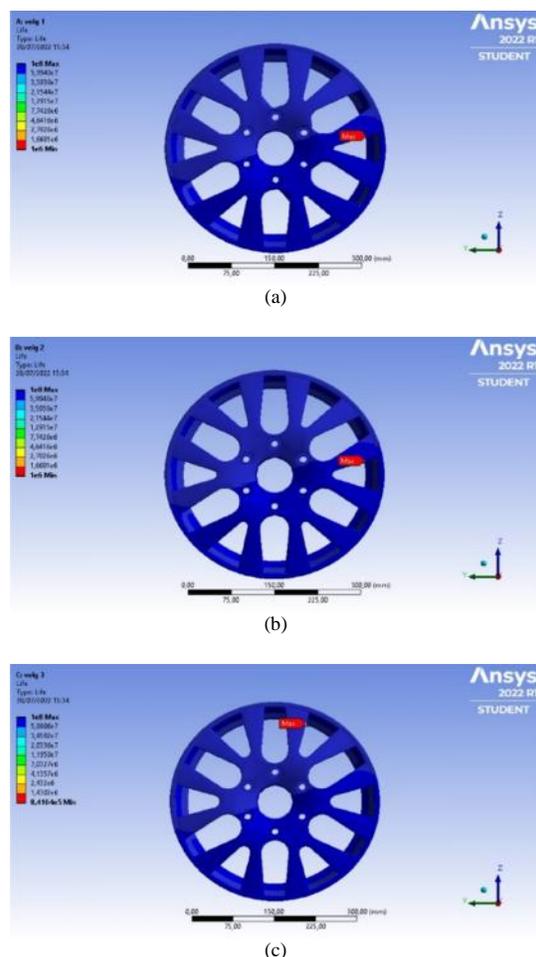
Gambar 8 Hasil Grafik Simulasi *equivalent elastic strain*

### 3. Hasil Simulasi *Fatigue Life* Pada Velg Model 1, 2 dan 3

Simulasi *fatigue life* pada desain velg Model 1, 2 dan 3 menggunakan standar SAE J 328 dilakukan dengan tujuan untuk menguji apakah model velg yang dihasilkan mampu bertahan selama 500.000 putaran pada pengujian. Pada pengujian ini, jumlah putaran maksimum yang dilakukan pada simulasi yaitu sebagai 1.000.000 kali. Nilai ini dianggap sudah cukup dari batas minimum standar yaitu 500.000. Lebih lanjut lagi, beberapa hal yang berkaitan dengan ketahanan velg juga sudah mampu diambil kesimpulan dengan jumlah maksimum pengujian tersebut. Simulasi akan dihentikan jika sebelum nilai maksimum pengujian didapati kegagalan (*failure*) pada material. Sebaliknya, simulasi akan terus dijalankan hingga mencapai maksimal 1.000.000 putaran, dan akan berhenti meskipun belum ditemukan kegagalan material. Hal ini bertujuan untuk membatasi lama waktu simulasi, yang mana hal ini juga merupakan batasan-batasan yang banyak terjadi pada riset menggunakan metode simulasi.

Berdasarkan simulasi *static structural analysis* menggunakan software ANSYS workbench yang terdapat pada Gambar 9 terhadap ketiga model velg didapatkan hasil nilai *fatigue life* minimum yaitu velg Model 1 memiliki hasil nilai *fatigue life* minimum sebesar 1.000.000 *cycle*, velg Model 2: 1.000.000 *cycle*, dan velg Model 3: 841.040 *cycle*. Untuk area yang mempunyai umur *fatigue* paling rendah terjadi pada daerah area dalam ujung *spoke* velg. Perihal tersebut menunjukkan kalau *spoke* bagian ujung dalam ialah daerah yang rawan terjalin

*crack* ataupun patah. Berdasarkan hasil simulasi diketahui bahwa dari ketiga model velg dinyatakan aman ataupun lolos uji *Dynamic Cornering Fatigue* karena hasil tersebut melebihi batas dari standar SAE J 328 yang ditetapkan yaitu sebesar 500.000 *cycle*.



Gambar 9 Hasil simulasi *fatigue life* Velg Model 1, 2 dan 3

#### 4. Analisa Perbandingan Ketiga Model Desain Velg 15 Inch

Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan nilai pada standar SAE J 328. Adapun perbandingan hasil ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut. Dapat disimpulkan bahwa hasil desain velg Model 1, 2, dan 3 pada dasarnya masih memenuhi standar SAE J 328. Meskipun modifikasi yang dilakukan pada model velg dinilai kecil, namun

terdapat perbedaan yang signifikan terhadap nilai tegangan maksimum dan *fatigue life* minimum pada tabel tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat ruang untuk optimalisasi terhadap model velg yang sudah ada di pasaran. Namun demikian, beberapa faktor, termasuk faktor kerumitan proses produksi dan *cost* masih menjadi salah satu faktor utama dalam penentuan model suatu velg, bukan hanya pada sisi model saja.

Tabel 3 Perbandingan tegangan maksimum dan *yield strenght* pada masing-masing model velg.

No.	Model velg	Tegangan Maksimum (MPa)	<i>Yield Strength</i> (276 MPa)
1	Radius Spoke Velg 4 mm	75,022	Memenuhi
2	Radius Spoke Velg 8 mm	119,53	Memenuhi
3	Radius Spoke Velg 12 mm	136,96	Memenuhi

Tabel 4 Perbandingan *fatigue life* dengan Standar SAE J-328 pada masing-masing model velg.

No.	Model velg	<i>Fatigue Life</i> Minimum (ribu kali)	Standar SAE J 328 (500.000 Cycle)
1	Radius Spoke Velg 4 mm	1.000	Memenuhi
2	Radius Spoke Velg 8 mm	1.000	Memenuhi
3	Radius Spoke Velg 12 mm	841.04	Memenuhi

#### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada velg 1, 2, dan 3 didapatkan kesimpulan bahwa nilai *Yield Strength* dan siklus minimum sudah memenuhi standar SAE J328, yaitu masing-masing 276 MPa dan  $5 \times 10^5$ . Hasil tegangan, regangan dan *fatigue life*, dapat diurutkan dari desain velg terbaik yaitu velg model 1 nilai tegangan maksimum 75,022 MPa, nilai regangan maksimum 0,0016627 mm/mm dan *fatigue life* minimum 1.000.000 *cycle*, kemudian velg model 2 nilai tegangan maksimum 119,53 MPa, nilai regangan maksimum 0,001862 mm/mm dan *fatigue life* minimum sebesar 1.000.000 *cycle* serta yang terakhir velg model 3 nilai tegangan maksimum 136,96 MPa, nilai regangan maksimum 0,0019852 mm/mm dan *fatigue life* minimum sebesar 841.040 *cycle*. Selain itu, visualisasi hasil simulasi pada ketiga model velg menunjukkan bahwa potensi resiko daerah yang rawan terjalin *crack* ataupun patah dikala akan dilakukan

pengujian *Dynamic Cornering Fatigue* ialah *spoke* bagian ujung dalam pada velg. Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu ditambahkan beban kekencangan baut pada velg saat proses simulasi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. H. Irawan, R. B. S. Majanasastra, and R. H. Rahmanto, "Analisa kekuatan velg cast wheel sepeda motor dengan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga," J. Ilm. Tek. Mesin, vol. 4, no. 2, 2016.
- [2] A. Indrawan, "Simulasi Desain Velg pada Pengujian Dynamic Cornering Fatigue Berdasarkan SAE J 328 dengan Metode Static Structural Analysis," p. 95, 2017.
- [3] A. S. . Chairat and V. Antono, "Rancang bangun metode pembelajaran praktikum cad/cam dengan menggunakan perangkat lunak gratis," J. Power Plant, vol. 4, no. 4, pp. 211–217, 2017.
- [4] A. S. Wijianto, M. Mulyadi, and I. Iswanto, "Simulasi Numerik Velg After Market Untuk Mendapatkan Nilai Tegangan dan Deformasi Maksimum," R.E.M. (Rekayasa Energi Manufaktur, vol. 7, no. 2, pp. 63–68, 2022.
- [5] B. G. Tentua, "ANALISA KELELAHAN VELG RACING TOYOTA AVANSA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA," ARIKA, vol. 09, no. 1, pp. 63–69, 2015.
- [6] F. R. Pris, B. M. Suyitno, and A. Suhadi, "Analisis kekuatan velg aluminium alloy 17 inc dari berbagai desain menggunakan metode finite element analysis (FEA)," TEKNOBIZ, vol. 9, no. 2, pp. 33–39, 2017.
- [7] H. R. Dalimunthe et al., "Analisa Pengaruh Jumlah Spoke Dan Ketebalan Flange Terhadap Kekuatan Velg Mobil Berbasis Aluminium," no. 1, pp. 1–9, 2016.
- [8] K. Simbolon, "Analisa Kampas Rem Dengan Pemodelan Metode Elemen Hingga," vol. 28284, no. 113, p. 28284, 2019.
- [9] M. Bahri and A. S. Pramono, "Analisa Kekuatan Velg Mobil Penumpang pada Simulasi Pengujian Dynamic Radial Fatigue dengan Metode Elemen Hingga," J. Tek. Its, vol. 4, no. 1, pp. 1–5, 2015.
- [10] SAE, "Wheels - Passenger Car and Light Truck Performance Requirements and Test Procedures J328 \_ 202107," 2021.
- [11] W. Anggono, B. F. Pisa, S. H. Susilo, and M. Engineering, "SUSTAINABLE PRODUCT DESIGN FOR MOTOR CYCLE CAST WHEEL USING FINITE ELEMENT APPLICATION AND PUGH ' S CONCEPT SELECTION METHOD Case Study : Deciding the Optimum Spoke Number of Motor Cycle Cast Wheel," pp. 2–6, 2013.

## OPTIMASI KINCIR AIR TIPE UNDERSHOT: PENGARUH JUMLAH SUDU DAN KETINGGIAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN EKSPERIMENTAL

Carolus Borromeus Krishna Sampurno<sup>1</sup>, Oktavianus Ardhian Nugroho<sup>2</sup>, Regina Chelinia Erianda Putri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Perwira Purbalingga  
Jl. Letjen S Parman No.53, Kedung Menjangan, Kec. Purbalingga, Kab. Purbalingga, Jawa Tengah  
53316

<sup>2</sup> Program Studi Mesin Industri, Politeknik Industri ATMI  
Jl. Kampus Hijau No. 3 Kawasan Jababeka Education Park, Jl. Raya Lemahabang, Simpangan, Kec.  
Cikarang Utara, Kab. Bekasi, Jawa Barat 17520

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Sanata Dharma  
Yogyakarta  
Jl. Paingan, Krodan, Maguwoharjo, Kec. Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta  
[ardhianatmi@gmail.com](mailto:ardhianatmi@gmail.com)<sup>1</sup>

### Abstrak

Energi listrik merupakan energi yang paling dibutuhkan saat ini. Energi listrik sudah menjadi hal utama dalam seluruh segi kehidupan manusia karena itulah pemenuhan kebutuhan energi listrik menjadi sangat penting. Bentuk pembangkit energi yang menggunakan sumber terbarukan menjadi hal utama yang dicari saat ini. Ada beberapa jenis energi terbarukan yang dapat dijadikan sebagai sumber energi terbarukan misalnya seperti energi surya, angin, dan air. Energi air merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan pada daerah terpencil yang belum terdapat listrik dengan menggunakan teknologi kincir air. Pemanfaatan teknologi kincir air undershot merupakan teknologi yang tidak menimbulkan dampak pada lingkungan sekitar. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui daya output terbaik dari kincir air undershot. Metode yang digunakan yaitu dengan mengukur torsi dan daya yang dihasilkan dengan melakukan variasi pada debit air dan penggunaan variasi bentuk serta jumlah sudu dari kincir air undershot. Hasil yang didapat dari penelitian, diketahui bahwa penggunaan bentuk sudu setengah silinder menghasilkan daya dan torsi yang tertinggi sebesar 31,05 watt dan 4,01 kg.m masing – masing pada ketinggian jatuh air 4 meter.

**Kata kunci :** air, ketinggian, kincir, sudu, undershot, unjuk kerja.

### Abstract

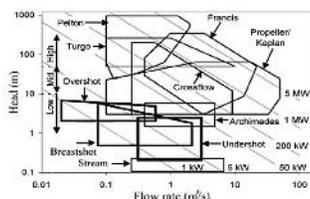
*Electrical energy is the most needed energy today. Electrical energy has become the main thing in all aspects of human life, that's why meeting the needs of electrical energy is very important. The form of energy generation that uses renewable sources is the main thing to look for today. There are several types of renewable energy that can be used as renewable energy sources such as solar, wind, and water energy. Water energy is one of the renewable energy sources that can be utilized in remote areas where there is no electricity using waterwheel technology. The use of undershot waterwheel technology is a technology that does not have an impact on the surrounding environment. This study was conducted to determine the best output power of the undershot waterwheel. The method used is to measure the torque and power produced by varying the water discharge and using variations in the shape and number of blades of the undershot waterwheel. The results obtained from the study, it is known that the use of a half-cylinder blade shape produces the highest power and torque of 31.05 watts and 4.01 kg.m respectively at a water fall height of 4 meters.*

**Key words :** water, height, waterwheel, blade, undershoot, efficiency.

## PENDAHULUAN

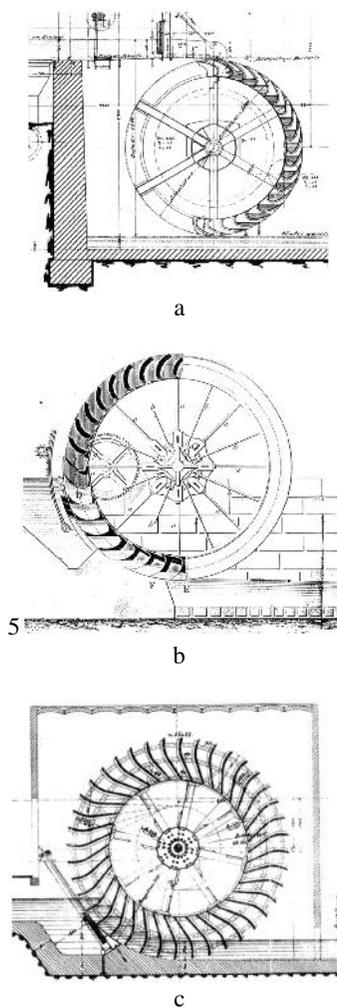
Energi listrik merupakan salah satu energi yang semakin dibutuhkan pada zaman modern baik untuk kebutuhan rumah tangga maupun kebutuhan industry [1]. Pemenuhan akan kebutuhan energi listrik menjadi salah satu sumber masalah pada lingkungan karena penggunaan energi fosil yang menjadi sumber bahan bakar [2]. Selain itu, ketersediaan sumber bahan bakar fosil yang semakin hari makin berkurang dan tidak dapat diperbarui lagi. Oleh karena itu, saat ini penggunaan energi terbarukan semakin banyak digunakan untuk menggantikan sumber bahan bakar energi fosil. Salah satu energi yang terbaharukan yang paling sering dipakai di dunia adalah energi air [3]. Di Indonesia sendiri air keberadaannya sangat melimpah, apalagi ketika memasuki musim pengujan. Menurut Boli [4] Di Indonesia sendiri ketersediaan air mencapai 694 milyar/m<sup>3</sup> per tahun, jumlah yang besar ini membuat energi air berpotensi besar untuk dapat dimanfaatkan. Namun hanya sebesar 23% saja yang telah dimanfaatkan dan dari jumlah tersebut hanya sekitar 80% yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) merupakan salah satu pemanfaatan sumber energi alternative baru dan terbarukan. salah satu tujuannya adalah untuk mencapai pembangunan PLTMH 0,1% dari Bauran Energi Nasional pada tahun 2025 [5], jenis pembangkit PLTMH digunakan pada sungai-sungai dengan aliran rendah yang sangat banyak ditemu di indonesia [3].

Bentuk pemanfaatan energi air PLTMH ini berbagai macam, yaitu dengan menggunakan teknologi turbin, kincir, maupun hidrokinetik ketika aliran air mencukupi [6] [7]. Pada umumnya, teknologi pemanfaatan energi air hanya memanfaatkan aliran air dengan debit besar saja yang sering dimanfaatkan, sedangkan aliran dengan debit yang kecil sering terlupakan. Pada Gambar 1 menunjukkan bentuk grafik pemilihan jenis turbin pembangkit listrik yang ada di bumi menurut Adipradana [8].



Gambar 1. Grafik pemilihan jenis turbin [8]

Penggunaan energi kinetik dari aliran air dapat dimanfaatkan melalui penggunaan kincir air, yang mengubahnya menjadi energi gerak atau mekanik tanpa mengonsumsi air [9] [10]. Jenis kincir air, seperti kincir air Overshot, Undershot, dan breastshot, dapat dibedakan berdasarkan tipenya [11]. Ilustrasi dalam gambar 2 menunjukkan berbagai bentuk kincir air yang biasanya digunakan dalam pembangkit listrik tenaga air [12].



Gambar 2. a) Kincir air overshot, b) Kincir air breastshot, c) Kincir air undershot [11]

Setiap desain memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Dari ketiga desain yang ada, kincir air undershot memiliki konstruksi yang lebih sederhana karena sumber penggerakannya terletak di bagian bawah kincir. Oleh karena itu, kincir air undershot dapat dipasang di mana pun ada aliran air yang cukup, membuatnya cocok untuk daerah terpencil yang belum memiliki pasokan listrik [13]. Kincir air ini efektif digunakan di

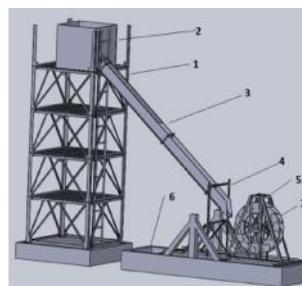
wilayah-wilayah dengan air dangkal dan ketinggian air yang rendah [14]. Prinsip kerja kincir air undershot adalah saat air mengalir dan menabrak sudu yang terletak di bagian bawah kincir, sudu tersebut memutar poros kincir air. Gerakan putar ini, yang berupa energi mekanik, kemudian disalurkan melalui transmisi ke generator dan diubah menjadi energi listrik. Perkembangan penelitian tentang teknologi PLTMH ini sudah banyak dilakukan seperti, penelitian sebelumnya tentang Pembangkit listrik tenaga mikro hidro pernah dilakukan oleh Lena tria melati [15] dalam penelitiannya dengan metode studi literatur dan analisis SWOT menunjukkan teknologi PLTMH di Indonesia mengalami perkembangan yang signifikan sehingga meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia. Penelitian lain dalam pengembangan teknologi PLTMH dilakukan oleh Mafruddin Mafruddin [16] dalam penelitian dia membuat sebuah turbin air cross-flow dengan metode studi pustaka, observasi, perencanaan, pembuatan dan pengujian didapatkan turbin cross-flow didapatkan daya turbin yaitu 236,82 Watt, dengan efisiensi mekanik turbin yaitu 30 % dan daya listrik yang dihasilkan 162 Watt. Penelitian oleh [3] eka sari misalnya dalam penelitiannya dilakukan variasi sudut kemiringan turbin untuk mendapatkan daya listrik pada heat yang berbeda. Dari Penelitian penelitian PLTMH yang dilakukan belum ada yang mencari pengaruh bentuk sudu, jumlah sudu, dan ketinggian air secara bersamaan terhadap nilai efisiensi kincir ketika bekerja.

Penelitian yang dibuat ini bertujuan untuk mengetahui daya output terbaik dan efisiensi dari kincir air undershot, nantinya sebuah kincir air tipe undershot akan diteliti akan memiliki bentuk sudu berupa sudu miring dan setengah silinder. Selain bentuk sudu nantinya juga akan divariasikan jumlah sudunya. Besarnya variasi yang digunakan sebanyak 8 dan 16 buah sudu.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan melakukan pengujian langsung pada objek yang akan diteliti. Setelah proses pembuatan kincir air beserta komponen pendukung, dilakukan perakitan seluruh peralatan baik kincir airnya sendiri maupun komponen pendukung yang akan dibutuhkan dalam pengambilan data. Gambar 3 menunjukkan bagian bagian dari alat uji untuk metode experiment yang akan dilakukan. Bentuk kincir air yang dibuat memiliki dua sistem yang pertama adalah sistem kincir itu sendiri, yang kedua adalah sistem aliran air untuk menggerakkan kincir. Pada susunan alat

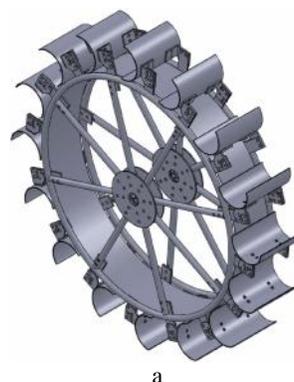
percobaan aliran air menggunakan saluran air yang dibuat menggunakan plat besi seperti pada gambar 3. sedangkan rangka besi siku di buat sedemikian rupa membentuk sebuah tower air. Bentuk susunan kincir air dan saluran airnya berbentuk seperti di gambar 3. Keterangan pada gambar alat pengujian 1. Rangka tower Air, 2. Bak tampung, 3. Saluran air, 4. Penyangga dan dudukan saluran air; 5. Penyangga dan dudukan kincir air, 6. Kolam penampung, dan 7. Kincir air.



Gambar 3. Susunan Skema Alat Untuk pengujian

Proses pengumpulan data melibatkan beberapa langkah, antara lain mengatur jumlah air yang mengalir (debit air), mengukur kecepatan rotasi poros pada kincir air dan generator dengan memberikan beban lampu secara bertahap, dan terakhir, menghitung efisiensi dari setiap jenis kincir air berdasarkan variasi bentuk sudu dan ketinggian aliran air.

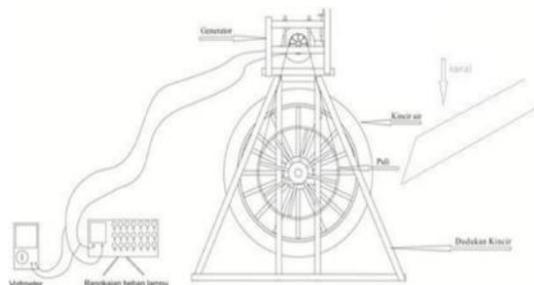
Selain itu bentuk kincir air yang akan diujikan juga ada 2 jenis yaitu kincir air model sudu miring dan kincir air sudu setengah lingkaran. Gambar 4 menunjukkan bentuk 2 model sudu yang akan diuji nilai efisiensinya.





Gambar 4. a) kincir air undershot sudu setengah silinder, b) kincir air undershot sudu miring.

Gambar 4 menunjukkan skema alat pendukung dalam langkah-langkah pengujian sistem kincir air ini, skema pada gambar 4 menggunakan generator sebagai perubah energi putaran pada poros menjadi energi listrik. Kemudian dari generator dihubungkan dengan beban yang dibuat berupa lampu sebagai variasi beban ketika proses pengujian. Putaran dari kincir juga diukur menggunakan takometer untuk melihat perubahan kecepatan putar ketika beban lampu ditambahkan.



Gambar 5. Skema Alat Pendukung

Seperti yang kita tahu, kincir air tipe undershot memiliki prinsip kerja yang serupa dengan kincir air tipe overshoot dan breastshot [1] [17]. Perbedaannya terletak pada posisi sudu pada kincir air overshoot yang terendam dalam air di bagian atas, menyebabkan seluruh sudu terkena air, sementara pada tipe undershoot, hanya setengah bagian sudu yang bersentuhan dengan aliran air. Kincir air berputar karena aliran air dari wadah penampungan mengalir melalui kanal yang mengalami penurunan karena gravitasi, kemudian mengenai sudut-sudu pada kincir air. Kontak air dengan sudut-sudu ini menyebabkan kincir berputar. Gerakan putaran ini kemudian dialirkan melalui poros utama untuk menggerakkan generator, menghasilkan daya, torsi, dan energi listrik.

Beberapa variasi dalam pengujian alat ini yaitu yang pertama memvariasikan ukuran ketinggian bak penampung yaitu di 3 dan 4 meter ketinggian ini dipilih sebagai variasi untuk mendapatkan kecepatan air yang mencukupi [18], kemudian memvariasikan jumlah sudu dari 16 ke 8 buah sudu, dan terakhir variasi beban lampu dari 2 lampu ke 21 lampu. Lampu yang dipakai memiliki hambatan rata-rata 1,6 ohm. Variable yang diukur antara lain besarnya tegangan, nilai rpm (rotasi per menit) generator, nilai rpm poros kincir, gaya pengimbang torsi, dan arus yang dihasilkan.



Gambar 6. Alat Pendukung Neraca Pegas

Langkah dalam pengambilan data yaitu menyiapkan pompa air, memasang neraca pegas seperti pada gambar 5, memasangudukan motor listrik, memposisikan alat pengukur, merangkaikan beban lampu ke generator dan voltmeter, beban lampu yang dipasang harus dikondisikan oof dahulu untuk melihat perbedaan dengan beban dan tanpa beban.

Selanjutnya ketika percobaan posisi bak penampung divariasikan menjadi ketinggian 3 meter dan 4 meter air yang mengalir dari 2 ketinggian tersebut selanjutnya akan jatuh dan memutar kincir. Bentuk alat uji yang telah dibuat tercantum seperti pada Gambar 7. Dari percobaan yang dilakukan besarnya rpm poros diukur dengan menggunakan tachometer dengan posisi tachometer harus tegak lurus dengan sumbu poros untuk mendapatkan data yang benar pada waktu pengukuran. Untuk proses pengukuran daya yang muncul di generator, pada poros kincir terdapat puley yang sudah dihubungkan dengan puli yang ada di poros generator menggunakan belt dan puley. Dengan rasio puley 5:1 yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan torsi dan rpm pada sistem kincir. Dalam eksperimen ini, gerakan rotasi dan torsi yang terjadi pada poros generator menghasilkan energi listrik yang kemudian dipelajari dengan mengubah beban lampu. Proses percobaan dimulai dari kondisi tanpa beban hingga saat di mana seluruh lampu tidak dinyalakan secara bersamaan. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengukur tegangan dan kuat arus

yang dihasilkan oleh kincir air melalui perantara generator. Dengan memvariasikan beban lampu, peneliti dapat mengamati bagaimana respons kincir air terhadap perubahan beban tersebut, serta menganalisis tegangan dan kuat arus yang dihasilkan pada berbagai tingkat beban.

Pada proses pengujian kincir air untuk mendapatkan data yang relevan dibuatlah sebuah tabel matrix pengujian [19], tabel 1 dibawah ini berfungsi untuk merangkum parameter parameter yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 1. Tabel matrix pengujian

No	Parameter Pengujian	Parameter	Pengujian
1	Tegangan		
2	Arus Listrik		
3	Load Cell (Gaya)	Beban lampu 0 – 14 lampu	Ketinggian air 3 dan 6 meter
4	Putaran		

Data hasil percobaan ini memberikan informasi yang penting dalam memahami efisiensi dan kinerja kincir air sebagai sumber energi listrik, serta memberikan dasar untuk peningkatan desain dan pengoptimalan penggunaan energi dari kincir air dalam berbagai konteks aplikasi.



Gambar 7. Bentuk Alat Uji Coba Kincir Air

Kesalahan dalam pengukuran [20] juga dapat terjadi seperti untuk alat ukur tegangan dan arus Listrik kesalahan seperti membaca skala dan pemakaian alat ukur bisa diatasi dengan mengukur tegangan pada kondisi yang sama secara berkali-kali untuk memastikan kondisi lingkungan di sekitar alat juga dipastikan kering sehingga meminimalisir kesalahan dan kerusakan alat sebelum percobaan data yang didapat ketika menggunakan alat ukur tegangan dengan kondisi tanpa beban lampu dari generator muncul nilai 29,1 Volt, selanjutnya dari alat ukur voltmeter pada beban lampu dengan

kondisi tanpa lampu 29,5 Volt maka nilai eror  $(29,5 - 29,1) / 29,1$  dikalikan 100% maka nilai erornya sebesar 1,37 %. Untuk pengecekan load cell (gaya) proses kalibrasi sebelum pengujian pengecekan kerusakan pada load cell dan pengecekan fisik juga dilakukan sebelum proses pengujian sehingga mengurangi kesalahan pengukuran beban ketika kincir bekerja berat air pada ketinggian 3 meter sebesar 40 kg dengan luas pipa air 600 mm<sup>2</sup> maka didapatkan debit air yang mengenai sudu sebesar 1,17 kg per detik maka nilai eror yang muncul dengan menggunakan alat ukur neraca pegas adalah  $(1,17 - 1,16) / 0,5$  dikalikan 100% didapat hasil sebesar 8,6 %.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Beberapa uji coba telah dilakukan, salah satunya fokus pada desain sudu berbentuk setengah lingkaran. Dari hasil uji coba ini, data mengenai torsi generator, rpm generator, dan kincir telah diperoleh. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan debit air yang konstan, namun variasi beban diterapkan pada generator, mulai dari tanpa beban hingga mencapai beban maksimal ketika semua lampu indikator mati. Perlu dicatat bahwa tiap lampu memiliki hambatan rata-rata 1,6  $\Omega$  dan daya 25 watt. Selain itu, uji coba juga melibatkan perubahan jumlah sudu dari 16 buah menjadi 8 buah. Untuk meningkatkan debit air, tinggi bak penampung divariasikan dari 3 hingga 4 meter.

Dari bentuk variasi beban lampu, perubahan jumlah sudu, dan perubahan ketinggian menyebabkan munculnya beban torsi pada generator tabel 2 menunjukkan data hasil pengujian ketika kincir air di ujicoba dengan panjang lengan torsi 0,25 m, tinggi bak penampung 3 meter, dengan jumlah sudu 16 buah.

Tabel 2 Nilai hasil rata rata pengujian pada tinggi 3 meter dan jumlah sudu 16 buah

Jumlah Lampu	Tegangan (Volt)	Kuat arus (Ampere)	Beban (kg)	Putaran pada Generator
0	29.50	0.00	0.60	267.10
2	24.60	2.40	1.17	244.63
4	18.07	4.00	2.25	227.43
6	14.87	5.57	3.00	217.20
8	12.40	6.73	3.75	209.03
10	10.43	7.77	4.00	202.90
12	8.97	8.30	4.50	198.23
14	7.80	8.87	4.75	194.27
16	6.80	9.40	4.92	190.90

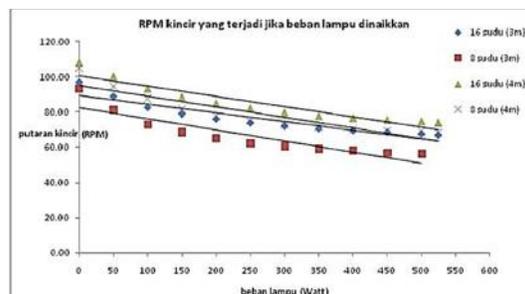
18	5.83	9.93	5.17	188.40
20	5.13	10.13	5.25	185.70
21	4.77	10.20	5.25	183.90

Berikutnya adalah data data dari hasil pengujian kemudian dibuat data penghitungan torsi, kecepatan sudut generator, daya mekanik generator, kecepatan sudut kincir air, dan torsi. Nilai efisiensi juga didapatkan dengan membandingkan besar daya air dengan ketinggian 3 dan 4 meter dibandingkan dengan daya mekanik kincir. Sehingga didapatkan tabel hasil penghitungan seperti yang tertera pada tabel 3. Pada tabel tersebut menunjukkan perhitungan data percobaan pada ketinggian 3 meter dengan sudu 16 buah. pada contoh di tabel 2 dengan daya air ketinggian 3 m diketahui sebesar 1165,3 W.

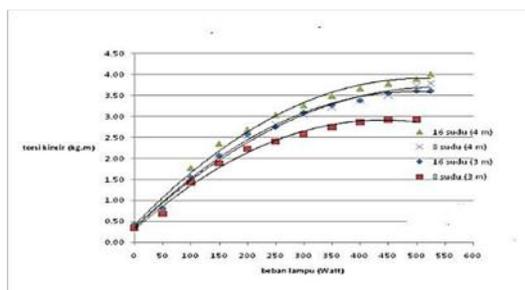
Tabel 3 Hasil perhitungan dari data tinggi 3 meter sudu 16 buah daya air 1165.3 W

Torsi Generator (kg m)	Kecepatan Sudut Generator (rad/sec)	Daya mekanik generator = Daya mekanik kincir (Watt)	Kecepatan Sudut Kincir (rad/sec)	Torsi kincir (N.m)	Efisiensi (%)
0,15	27.96	4.22	10.17	4.07	0.36
0,29	25.60	7.47	9.31	7.87	0.64
0,56	23.80	13.39	8.66	15.17	1.15
0,75	22.73	17.05	8.27	20.23	1.46
0,94	21.88	20.51	7.96	25.29	1.76
1	21.24	21.24	7.72	26.98	1.82
1,13	20.75	23.34	7.54	30.35	2.00
1,19	20.33	24.15	7.39	32.04	2.07
1,23	19.98	24.56	7.27	33.16	2.11
1,29	19.72	25.47	7.17	34.84	2.19
1,31	19.44	25.51	7.07	35.41	2.19
1,31	19.25	25.26	7.00	35.41	2.17

Pada pengujian ini terdapat pengaruh penambahan beban ketika lampu satu persatu dinyalakan. Perubahannya terlihat dari nilai rpm dan torsi yang muncul. Gambar 8 dan gambar 9, grafik yang menerangkan karakteristik kincir yang terjadi ketika penambahan beban lampu. Pada gambar 8 memperlihatkan putaran semakin berkurang jika beban lampu ditambah, selain itu juga terlihat besarnya penurunan kecepatan putar pada kincir sebesar 3%. Gambar 9 memperlihatkan efek penambahan beban terhadap torsi kincir yang terjadi. Jika beban bertambah maka torsi akan semakin besar dengan presentasi kenaikan torsi sebesar 15 %.



Gambar 8 Hubungan RPM dengan penambahan beban



Gambar 9 Hubungan torsi pada kincir dengan penambahan beban

Gambar 8 dan 9 menunjukkan bahwa saat diberi beban daya sekitar 25 Watt dan hambatan sekitar 1,6 ohm per lampu, terjadi peningkatan resistansi yang besar. Hal ini menyebabkan arus listrik menjadi tinggi, tetapi seiringnya tegangan mengalami penurunan. Fenomena ini digunakan sebagai metode pengereman pada kincir, di mana peningkatan torsi pada generator mengakibatkan penurunan rpm pada generator secara otomatis. Misalnya, pada saat kincir berputar tanpa beban dengan tinggi air jatuh 4 meter dan 16 sudu, rpm yang dihasilkan adalah 108,16 rpm dengan torsi 0,45 kg.m. Namun, ketika kincir diberi beban lampu dengan jumlah sudu yang sama, rpm kincir turun sebesar 73,98 rpm, tetapi torsi meningkat hingga 4,01 kg.m. Hal ini terjadi karena untuk mencapai putaran yang dibutuhkan oleh generator untuk menghasilkan daya, kincir perlu berputar dengan kecepatan tinggi [21].

## KESIMPULAN

Dari eksperimen yang dilakukan pada penelitian kincir air ini, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, penelitian ini berhasil menciptakan sistem kincir air undershoot dan overshoot yang dapat diaplikasikan dan berfungsi dengan baik. Selama proses percobaan dengan kincir undershoot berjumlah 16 sudu dan ketinggian 4

meter, torsi tertinggi yang berhasil dihasilkan pada generator mencapai 4,01 kg.m. Namun, saat dilakukan variasi jumlah sudu menjadi 8 dengan ketinggian yang sama, torsi yang dihasilkan adalah 3,78 kg.m. Pada kondisi yang sama dengan tinggi dan jumlah sudu, daya kincir mencapai puncaknya pada 31,05 watt, sedangkan dengan jumlah sudu 8, daya tersebut turun menjadi 27,18 watt. Semakin banyak lampu yang menyala, torsi akan meningkat dan putaran per menit (rpm) kincir akan semakin rendah. Sebagai contoh, pada kondisi 16 sudu dan ketinggian 4 meter tanpa beban, putaran kincir mencapai 108,16 rpm dengan torsi 0,45 kg.m. Selama uji coba dengan kincir air undershoot, daya maksimal yang berhasil dicapai adalah 525 watt dengan 21 lampu menyala, dengan rpm maksimal 73,98 dan torsi 4,01 kg.m. Dari sini, dihitung efisiensi kincir air undershoot yang mencapai nilai tertinggi sebesar 2,19%. Walaupun demikian, penelitian ini masih memerlukan penghitungan dengan persamaan-persamaan untuk mendapatkan analisis eror dengan metode propagasi error. Dalam penelitian ini analisis tersebut belum dilakukan analisis ini nantinya akan dilakukan di penelitian selanjutnya

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Buku, B. Tangaran, H. C. P. Tiyouw, and N. Tolan, "Unjuk Kerja Kincir Air Undershot Sebagai Pembangkit Listrik Minihidro Di Lembang Patongloan," in *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, 2021, vol. 6, no. 1, pp. 179-184.
- [2] A. Rahman and K. J. D. Kimin, "Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Kincir Air," vol. 2, no. 12 Des, pp. 76-79, 2018.
- [3] A. Rohermanto, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)," 2013.
- [4] A. Y. Adipradana, H. T. Setyawan, and A. J. J. T. Mustakhim, "ANALISIS POTENSI LISTRIK PADA TEKNOLOGI TEPAT GUNA KINCIR AIR," vol. 14, no. 1, pp. 91-100, 2022.
- [5] C. B. K. Sampurno, D. D. P. Tjahjana, and S. Hadi, "The use of phase shift angle (PSA) on double stage savonius wind rotor with three points configuration semi-elliptical blade shape," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 345, no. 1, p. 012004: IOP Publishing.
- [6] D. Adanta, S. A. Arifianto, and S. B. Nasution, "Effect of blades number on undershot waterwheel performance with variable inlet velocity," in *2018 4th international conference on science and technology (ICST)*, 2018, pp. 1-6: IEEE.
- [7] D. P. Sari, H. Helmizar, I. Syofii, D. Darlius, D. J. J. o. A. R. i. F. M. Adanta, and T. Sciences, "The effect of the ratio of wheel tangential velocity and upstream water velocity on the performance of undershot waterwheels," vol. 65, no. 2, pp. 170-177, 2020.
- [8] E. Hau and W. J. E. Turbines, Springer-Verlag, Berlin, "Fundamentals, Technologies, Application," 2006.
- [9] E. S. J. M. J. T. M. Wijianti, "KINERJA PUTARAN ROTOR TURBIN AIR SCREW ARCHIMEDES DENGAN VARIASI KEMIRINGAN SUDUT TURBIN," vol. 7, no. 2, pp. 42-46, 2021.
- [10] F. Fachruddin, A. Syuriadi, A. Nidhar, F. Ramdhan, and R. A. J. J. P.-T. Candra, "Pengujian Variasi Jumlah Dan Sudut Bilah Kincir Air Tipe Breastshot," vol. 14, no. 3, 2015.
- [11] G. Müller and K. J. J. o. H. R. Kauppert, "Performance characteristics of water wheels," vol. 42, no. 5, pp. 451-460, 2004.
- [12] J. Razak, Y. Ali, M. Alghoul, M. S. Zainol, A. Zaharim, and K. J. R. A. i. A. M. Sopian, "Application of crossflow turbine in off-grid pico hydro renewable energy system," pp. 519-526, 2010.
- [13] L. T. Melati, I. Supriyadi, and Y. J. G.-T. J. T. T. Ali, "Strategi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Air Mini/Mikro Hidro di Indonesia," vol. 6, no. 2, pp. 91-99, 2022.
- [14] M. J. R. Sabdullah, "Optimalisasi Pengoperasian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (Pltmh) Berbasis Masyarakat Di Bangka Belitung (Pilot Project Kemenesdm 2014)," vol. 12, no. 2, 2017.
- [15] M. Mafruddin and D. J. T. J. P. S. T. M. Irawan, "Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur," vol. 3, no. 2, 2014.
- [16] R. Boli, A. Makhsud, M. J. G. J. o. I. Tahir, and S. Engineering, "Analisis Daya Output dan Efisiensi Kincir Air Sudu Miring yang Bekerja pada Saluran Horizontal," vol. 1, no. 2, pp. 1-7, 2018.
- [17] S. Paudel, N. Linton, U. C. Zanke, and N. J. R. e. Saenger, "Experimental investigation on the effect of channel width on flexible rubber blade water wheel performance," vol. 52, pp. 1-7, 2013.

## SIMULASI NUMERIK PENGARUH DIAMETER DAN KECEPATAN ALIRAN TERHADAP PERFORMANSI SINGLE SERPENTINE CHANNEL PADA PV

Anak Agung Adhi Suryawan<sup>1</sup>, I Gede Nengah Wika Gunawan<sup>1</sup>, Ketut Astawa<sup>1</sup>, Ni Wayan Rasmini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Kampus Bukit Jimbaran, 80361, Indonesia

<sup>2</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

Jalan Raya Kampus Unud, 80361, Indonesia

Nengahwika20@gmail.com<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Penerapan energi fotovoltaik (PV) saat ini sangat masif dikarenakan hemat dan pengimplementasian energi baru terbarukan. Dalam penggunaan PV peningkatan suhu berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan secara optimal. Salah satu cara untuk menurunkan suhu PV yaitu dengan optimasi desain pada saluran pendingin. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *three-factor factorial design* dimana variabel yang diatur adalah diameter sebesar 1,5 inci; 2 inci; dan 2,5 inci dan kecepatan aliran inlet sebesar 0,5 m/s; 0,6 m/s; dan 0,7 m/s, menggunakan CFD beserta perhitungan analitik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada pengaturan konfigurasi diameter 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s menghasilkan suhu rata-rata sebesar 30,188 °C sedangkan pada konfigurasi 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s dengan menghasilkan suhu rata-rata sebesar 36,664 °C. Suhu menjadi lebih rendah dengan konfigurasi diameter pipa yang semakin besar serta penggunaan kecepatan fluida semakin tinggi.

**Kata kunci :** photovoltaic, pendinginan PV, diameter, kecepatan.

### Abstract

*The application of photovoltaic energy (PV) is currently very massive due to the savings and implementation of new and renewable energy. In the use of PV, an increase in temperature affects the optically generated electrical power. One way to reduce the PV temperature is by optimizing the design of the cooling channel. The method used in this research is a three-factor factorial design where the variable that is set is a diameter of 1.5 inches; 2 inches; and 2.5 inches and an inlet flow rate of 0.5 m/s; 0.6 m/s; and 0.7 m/s, using CFD along with analytical calculations. The results showed that the 2.5 inch diameter configuration with a speed of 0.7 m/s produced an average temperature of 30.188 °C while the 1.5 inch configuration with a speed of 0.5 m/s produced an average temperature of 36.664 °C. The temperature becomes lower with the larger pipe diameter configuration and the use of higher fluid velocity.*

**Keywords :** photovoltaic, PV cooling, diameter, flow.

### PENDAHULUAN

Proses implementasi PV dijumpai beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja PV yaitu *Key Performance Index* (KPI) ini menentukan kinerja dari modul PV. Beberapa faktor KPI tersebut dikarenakan cuaca, bayangan, debu, dan gas pada atmosfer [1]. Diantara efek tersebut, suhu permukaan modul PV merupakan parameter yang paling penting dimana peningkatan suhu setiap 1°C menyebabkan penurunan efisiensi sebesar 0,40%-

0,60% [2][3]. Peningkatan yang berlebihan merusak struktur material pada modul PV sehingga mengurangi umur penggunaan modul PV [4]. Peningkatan suhu juga berpengaruh pada performa dalam menghasilkan daya listrik yang optimal. Suhu PV polikristalin pada nilai 37°C menghasilkan efisiensi 13,94% sedangkan peningkatan suhu sebesar 23,4°C menurunkan efisiensi menjadi 12,9% [5]. Sehingga dapat diketahui bahwa efisiensi tertinggi pada PV dapat dicapai ketika temperatur maksimal PV adalah 37 °C. Oleh karena itu, menjadi penting untuk mengontrol agar tetap disuhu kerja

optimal. Banyak cara digunakan untuk menurunkan suhu sebuah modul PV yaitu dengan cara penambahan partikel nano pada cairan pendingin [6]; penambahan konsentrator berupa cermin untuk peningkatan pemusatan energi [7]; dan optimasi desain pada saluran pendingin [8].

Optimasi desain merupakan pilihan yang paling efisien karena variabel dan kondisi target yang ingin dicapai dapat diatur [9]. Salah satu variabel yang berperan aktif dalam menurunkan suhu adalah pengaturan besar diameter pipa untuk laju fluida, hal ini karena besar dan kecilnya diameter berpengaruh pada jumlah volume fluida serta penurunan tekanan [10]. Penggunaan optimasi desain dapat menurunkan suhu dari 39,14°C menjadi 30,67°C dengan efisiensi keseluruhan dari 66,7% menjadi 75,8% [8]. Desain bentuk pola jalur pipa juga dapat mempengaruhi terhadap proses transfer panas, salah satu inovasi yang akan digunakan adalah model *single serpentine channel*, hal ini dikarenakan model ini memungkinkan untuk mengalirkan air secara merata dan efektif. *Single serpentine channel* dapat bekerja secara efektif untuk proses transfer energi panas sehingga temperatur dapat menurun [11]. Pengaturan yang lain secara aktif berpengaruh terhadap kinerja proses pendinginan adalah pengaturan kecepatan aliran fluida, hal ini karena peningkatan kecepatan fluida menyebabkan peningkatan efisiensi panas [12]. Penerapan *single serpentine channel* dengan fluida air pada pengaturan laju aliran massa dengan penambahan nilai dari 0,04 kg/s menjadi 0,18 kg/s dapat menurunkan suhu konsentrator PV dari 70°C menjadi 35°C [11]. Penelitian lain dengan menggunakan bentuk *serpentine* menunjukkan pengaturan laju aliran fluida inlet sebesar 60 kg/s mampu menurunkan suhu sebesar 6,054°C dengan diameter 2 inci [13].

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = h \cdot A \cdot (T_{out} - T_{in}) \dots \dots \dots (2)$$

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R} \dots \dots \dots (3)$$

$$R = \frac{L}{kA} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

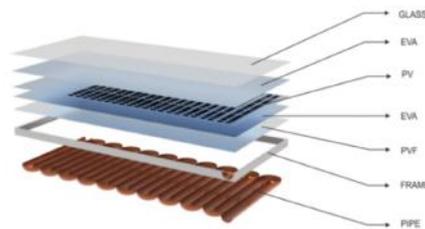
- Q : Kalor (Joule)
- q : Suhu setiap lapisan (W)
- k : Konduktivitas termal ( $\frac{W}{m} \cdot K$ )
- R : Resistensi termal (K/W)
- T : Suhu (K)

Proses pertukaran panas pada *single serpentine channel* ditujukan pada persamaan 2 secara konveksi untuk pemulihan energi termal dari

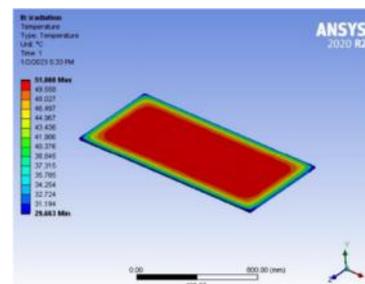
sumbarnya yaitu PV dan dilepaskan ke udara. Penukar panas tersebut terbuat dari material yaitu tembaga. Dalam perpindahan ke setiap lapisannya pada PV dengan cara konduksi pada persamaan 1 pembentukan *single serpentine channel* memiliki jarak yang bertujuan untuk koefisien perpindahan panas konvektif tinggi. Koefisien perpindahan panas konvektif yang tinggi dapat menyebabkan perpindahan panas yang efektif dan juga dapat menghemat material. Seiring terjadinya pertukaran panas yang baik juga dipengaruhi oleh jarak antara bagian *single serpentine channel* serta luasan dari *single serpentine channel* tersebut.

**METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan *software* ANSYS 2020 R2. Pada iradiasi yang digunakan sebesar 865 W/m<sup>2</sup>. Dengan variasi kecepatan aliran sebesar 0,5 m/s ; 0,6 m/s ; dan 0,7 m/s dan diameter pipa yang digunakan sebesar 1,5 inci, 2 inci, dan 2,5 inci. Gambar 1. Merupakan adalah PV yang digunakan dengan tipe polikristalin. Pemilihan jenis PV ini dikarenakan PV ini mudah ditemukan dipasaran, harganya murah, dan ramah lingkungan dikarenakan sedikitnya penggunaan silikon pada proses produksinya. Dimensi PV ini adalah (1480 mm x 670 mm x 35 mm).



Gambar 1. Pemodelan PV dengan tipe Polikristalin



Gambar 2. Pemodelan simulasi PV terkena radiasi 865 W/m<sup>2</sup>

Adapun sifat fisik yang digunakan dalam PV ini antara lain pada tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisik lapisan PV

Material	Ketebalan (mm)	Konduktivitas termal (W/m.K)	Massa Jenis ( $\frac{Kg}{m^3}$ )
Kaca	3	1,8	3000
EVA	0,5	0,35	960
PV Cells	0,225	148	2330
EVA	0,5	0,35	960
PVF	0,01	0,2	1200

Panas yang dihasilkan didinginkan oleh air yang memiliki suhu sebesar  $20^{\circ}\text{C}$ . Adapun sifat fisik air yang digunakan dalam penelitian ini antara lain pada tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik pada air

Sifat fisik	Nilai	Satuan
Densitas	999,8	$\frac{Kg}{m^3}$
Viskositas	0,0017888	$\frac{Kg}{ms}$
Konduktivitas termal	0,566	$\frac{mK}{W}$
Panas spesifik	4212	$\frac{J}{KgK}$
Percepatan gravitasi	9,81	$\frac{m}{s^2}$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

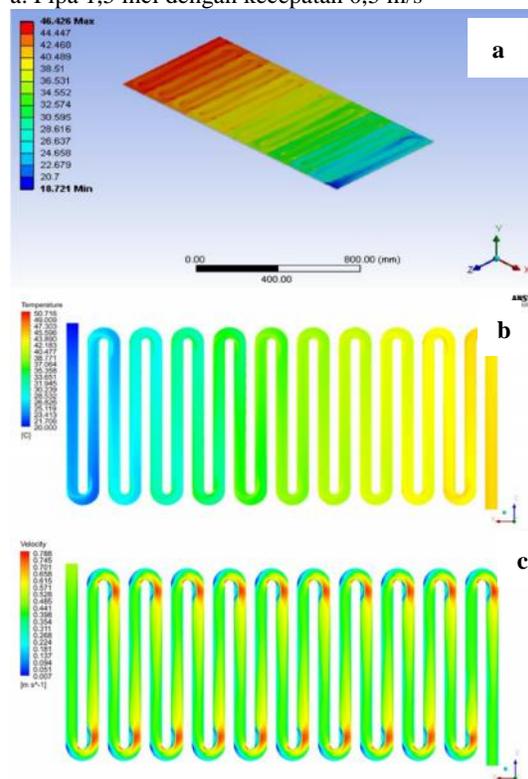
Pengaruh konfigurasi diameter pipa yang bernilai 1,5 inci, 2 inci, dan 2,5 inci berbeda dikarenakan besarnya volume air yang digunakan. Dengan pengaturan kecepatan maksimum sebesar  $0,7\text{ m/s}$  mampu mencapai suhu maksimum sebesar  $35,893^{\circ}\text{C}$ . Dengan pengaturan kecepatan inlet sebesar  $0,5\text{ m/s}$  mampu mencapai nilai tertinggi sebesar  $36,664^{\circ}\text{C}$ .

Dengan penggunaan diameter minimum dapat mencapai suhu dibawah  $37^{\circ}\text{C}$ . Pengaturan ini diameter 1,5 inci dengan kecepatan  $0,5\text{ m/s}$  mampu menurunkan suhu capaian  $36,664^{\circ}\text{C}$  sedangkan untuk penambahan diameter sebesar  $0,5\text{ inci}$  mampu menurunkan suhu sebesar  $3,667^{\circ}\text{C}$  dan penambahan diameter sebesar 1 inci dapat menurunkan suhu sebesar  $5,99^{\circ}\text{C}$ . Pengaruh pengaturan kecepatan juga tidak kalah penting dalam penelitian ini, karena besar kecilnya kecepatan akan mempengaruhi berapa banyak volume air yang tertukar, hal ini secara tidak langsung akan mempengaruhi kinerja perpindahan panas antara panas dari PV dan fluida. Ketiga konfigurasi ini telah memenuhi target minimum capaian pada penelitian ini, dimana menurunkan suhu PV agar mampu mencapai nilai  $37^{\circ}\text{C}$ .

Pengaturan diameter 1,5 inci dengan kecepatan aliran sebesar  $0,7\text{ m/s}$  menghasilkan suhu rata-rata sebesar  $35,893^{\circ}\text{C}$  akan tetapi terjadi suhu puncak sebesar  $45,651^{\circ}\text{C}$  terletak pada bagian akhir PV outlet *single serpentine channel*. Ketercapaian ketercapaian suhu optimum PV sangat dipengaruhi oleh kecepatan serta konfigurasi yang digunakan.

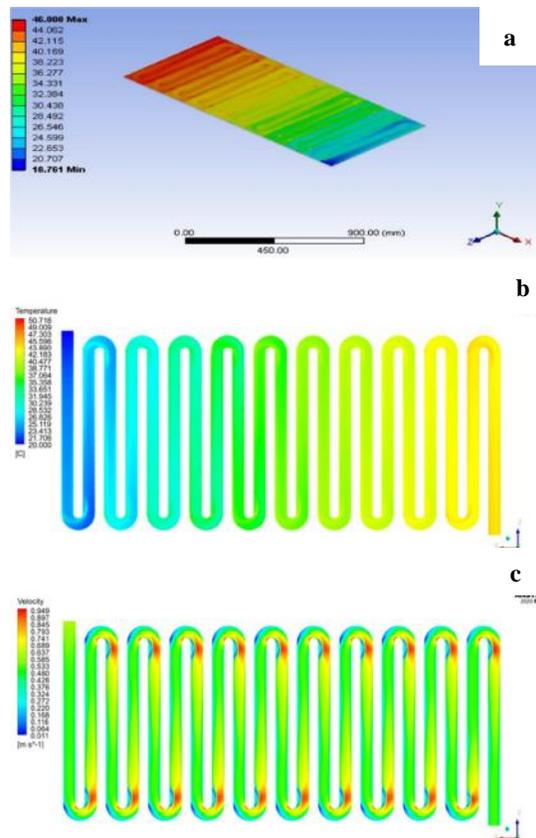
Pengaruh konfigurasi kecepatan inlet yang bernilai  $0,5\text{ m/s}$ ,  $0,6\text{ m/s}$ , dan  $0,7\text{ m/s}$  berbeda dikarenakan besarnya kecepatan air yang digunakan. Dengan pengaturan kecepatan maksimum sebesar  $0,7\text{ m/s}$  mampu mencapai suhu maksimum sebesar  $35,893^{\circ}\text{C}$ . Dengan pengaturan kecepatan inlet sebesar  $0,5\text{ m/s}$  mampu mencapai nilai tertinggi sebesar  $36,664^{\circ}\text{C}$ .

a. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



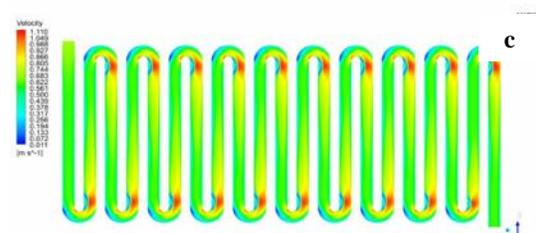
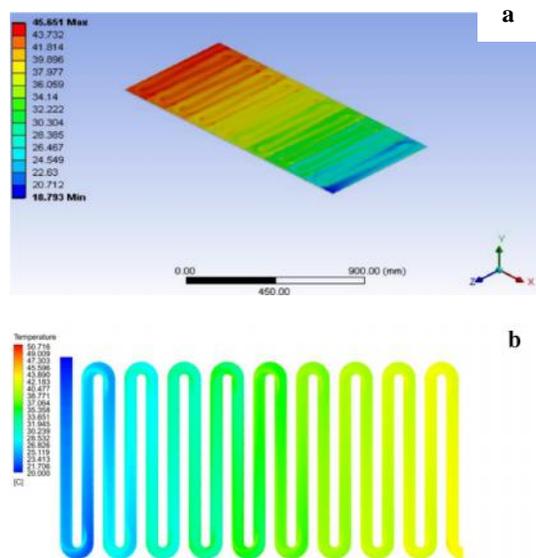
Gambar 3. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

b. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s



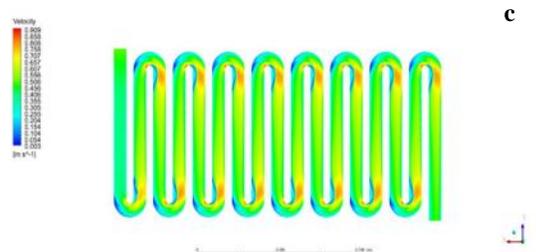
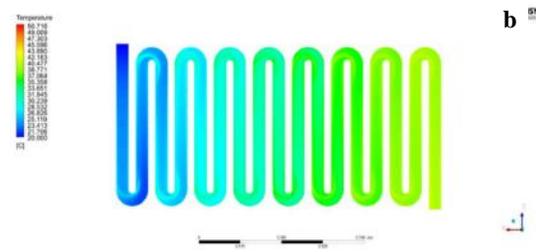
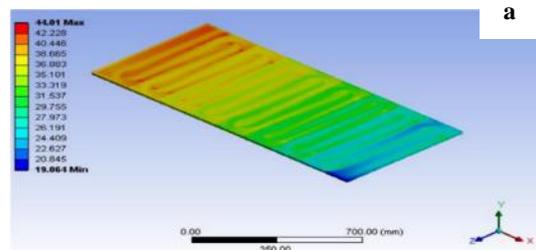
Gambar 4. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

c. Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



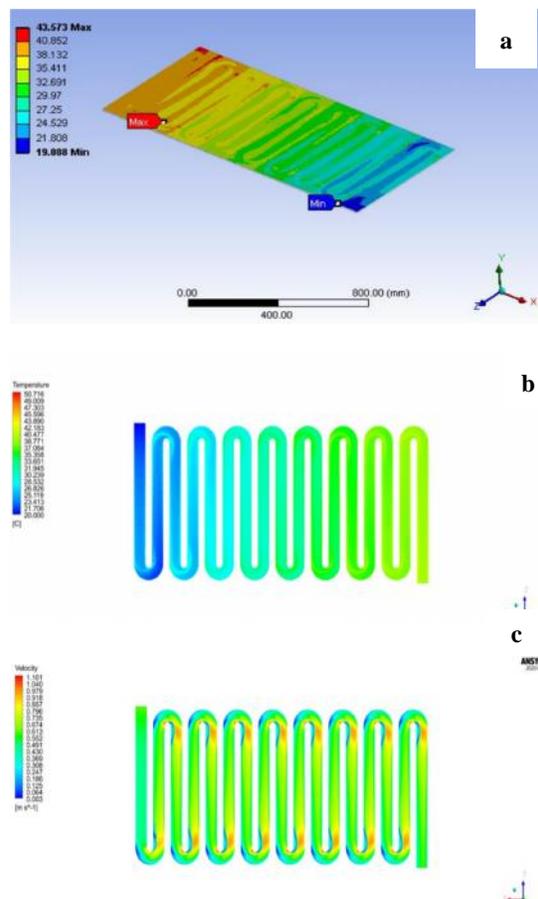
Gambar 5. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi Pipa 1,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s

d. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



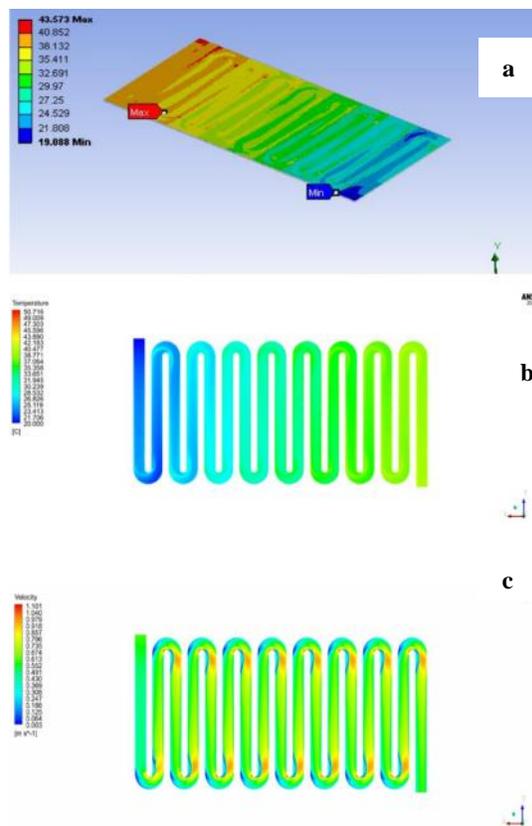
Gambar 6. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada single serpentine channel, c. kecepatan pada single serpentine channel pada konfigurasi Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

e. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

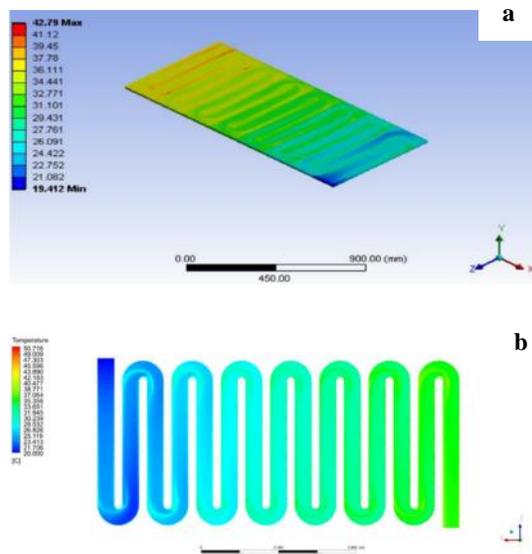


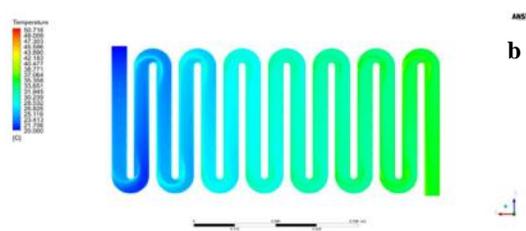
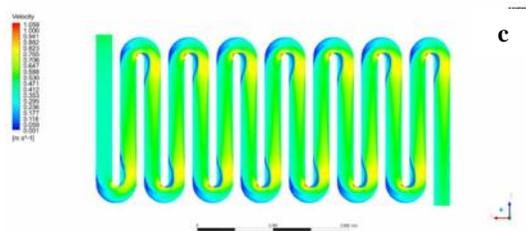
Gambar 7. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

f. Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,7 m/s

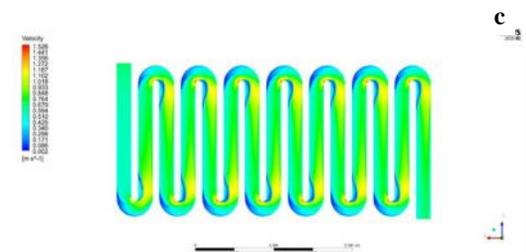


Gambar 8. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2 inci dengan kecepatan 0,6 m/s  
g. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,5 m/s

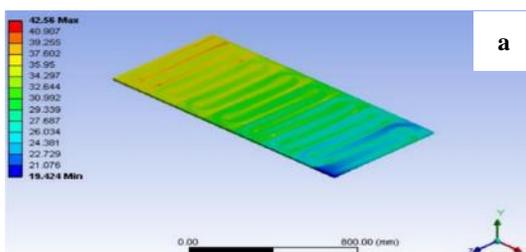




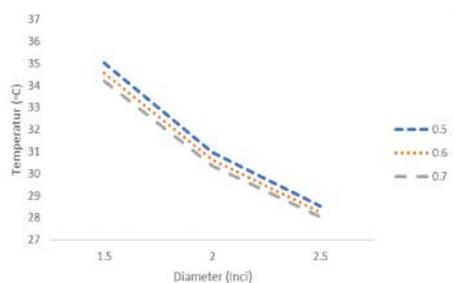
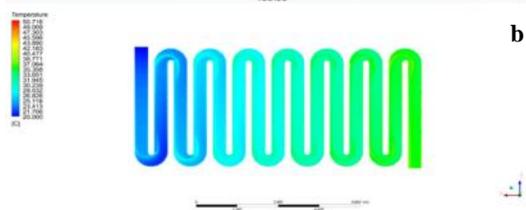
Gambar 9. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi Pipa 2 inci dengan kecepatan 0,5 m/s



h. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s



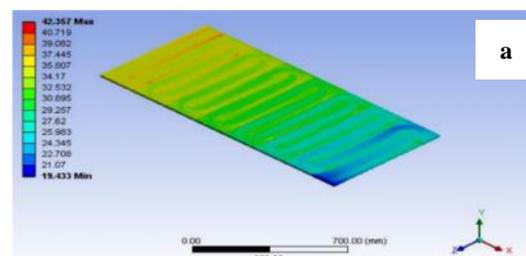
Gambar 11. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



Gambar 10. Hasil simulasi a. suhu pada PV, b. temperatur pada *single serpentine channel*, c. kecepatan pada *single serpentine channel* pada konfigurasi pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,6 m/s

Gambar 12. Pengaruh diameter dan kecepatan inlet pada lapisan sel PV

i. Pipa 2,5 inci dengan kecepatan 0,7 m/s



Dapat diamati bahwa variasi dengan performa terbaik dapat dilihat pada pengaturan konfigurasi diameter 2,5 inci kecepatan 0,7 m/s. Pengaturan ini menghasilkan suhu rata rata 30,188 °C pada lapisan PV dengan sebaran suhu minimum sebesar 19,433 °C yang terletak pada bagian dekat inlet fluida, sedangkan suhu maksimum dijumpai pada outlet fluida sebesar 42,367 °C.

Sedangkan jika diamati pada faktor ekonomis yang ditinjau pada penggunaan material yang lebih sedikit dan kebutuhan daya pompa pendorong yang minimal, akan tetapi variasi masih memenuhi standar kriteria kinerja, dengan konfigurasi diameter 1,5 inci kecepatan 0,5 m/s menjadi pilihan yang paling tepat. Pengaturan ini menghasilkan suhu rata-rata 36,664 °C pada lapisan PV dengan sebaran suhu minimum sebesar 18,721 °C yang terletak pada bagian dekat inlet fluida, sedangkan suhu maksimum dijumpai pada bagian dekat outlet sebesar 46,426 °C.

Selain itu masih cukup banyak faktor yang tidak dilibatkan secara aktif pada penelitian ini seperti faktor KPI yang terdiri dari cuaca, bayangan, debu dan gas pada atmosfer. Hal ini secara tidak langsung akan mempengaruhi hasil penurunan suhu yang dicapai. Sehingga adanya kombinasi antara hasil simulasi dengan validasi langsung melalui pembuatan model dan pengamatan pada kondisi nyata akan lebih baik ini memuat data (dalam bentuk ringkas), analisis data dan interpretasi terhadap hasil. Pembahasan dilakukan dengan mengkaitkan studi empiris atau teori untuk interpretasi. Jika dilihat dari proporsi tulisan, bagian ini harusnya mengambil proporsi terbanyak, bisa mencapai 50% atau lebih. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, tetapi tidak perlu mencantumkan penomorannya.

## KESIMPULAN

Pengaruh variasi diameter pipa dan kecepatan aliran terhadap penurunan temperatur menggunakan performansi *single serpentine channel heat sink* dimana suhu menjadi terendah pada diameter paling tinggi yaitu 2,5 inci pada kecepatan fluida sebesar 0,5 m/s; 0,6 m/s; dan 0,7 m/s. Sedangkan penggunaan kecepatan fluida semakin tinggi memberikan nilai suhu yang terendah. Konfigurasi dengan penggunaan nilai diameter pipa dan kecepatan fluida yang besar memberikan nilai *single serpentine channel* lebih baik dengan hasil penurunan suhu yang besar namun dengan batasan suhu optimum kinerja PV sebesar 37°C.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. W. Kandeal et al., "Photovoltaics performance improvement using different cooling methodologies: A state-of-art review," *Journal of Cleaner Production*, vol. 273, p. 122772, Nov. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122772>.
- [1] A. Zarei, M. Liravi, M. Babaie Rabiee, and M. Ghodrat, "A Novel, eco-friendly combined solar cooling and heating system, powered by hybrid Photovoltaic thermal (PVT) collector for domestic application," *Energy Conversion and Management*, vol. 222, p. 113198, Oct. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113198>.
- [2] B. Tashtoush and A. Al-Oqool, "Factorial analysis and experimental study of water-based cooling system effect on the performance of photovoltaic module," *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 16, no. 7, pp. 3645–3656, Oct. 2018, doi: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-2044-9>.
- [3] D. Su, Y. Jia, G. Alva, L. Liu, and G. Fang, "Comparative analyses on dynamic performances of photovoltaic–thermal solar collectors integrated with phase change materials," *Energy Conversion and Management*, vol. 131, pp. 79–89, Jan. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.00>.
- [4] F. Seifikar and S. Azizian, "Super-stable carbon quantum dots nanofluid for efficient solar-thermal conversion," *Energy Conversion and Management*, vol. 228, p. 113675, Jan. 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113675>.
- [5] H. Chen, Y. Wang, Y. Ding, B. Cai, and J. Yang, "Numerical Analysis on the Performance of High Concentration Photovoltaic Systems Under the Nonuniform Energy Flow Density," *Frontiers in Energy Research*, vol. 9, Jul. 2021, doi: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.705801>.
- [6] J. Kurnik, M. Jankovec, K. Brecl, and M. Topic, "Outdoor testing of PV module temperature and performance under different mounting and operational conditions," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol. 95, no. 1, pp. 373–376, Jan. 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.04.022>.
- [7] L. Huaxu et al., "Experimental investigation of cost-effective ZnO nanofluid based spectral splitting CPV/T system," *Energy*, vol. 194, p. 116913, Mar. 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.116913>.
- [8] M. M. Rahman, M. Hasanuzzaman, and N. A. Rahim, "Effects of various parameters on PV-module power and efficiency," *Energy Conversion and Management*, vol. 103, pp. 348–358, Oct. 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.06.06>.
- [9] M. Rahou, M. Y. Othman, S. Mat, and A. Ibrahim, "Performance Study of a Photovoltaic Thermal System with an Oscillatory Flow Design," *Journal of Solar Energy Engineering*, vol. 136, no. 1, Jul. 2013, doi: <https://doi.org/10.1115/1.4024743>.

- [10] M. S. B. Ehtesham, S. Ahmad, and Y. Sui, "Water cooling system of PV panel," Proceedings of the 13th International Conference on Mechanical Engineering (ICME2019), 2021, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0037593>.
- [11] S. E. Ghasemi, A. A. Ranjbar, and M. J. Hosseini, "Experimental and numerical investigation of circular minichannel heat sinks with various hydraulic diameter for electronic cooling application," *Microelectronics Reliability*, vol. 73, pp. 97–105, Jun. 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2017.04.028>.
- [12] Y. Zhang, C. Shen, C. Zhang, J. Pu, Q. Yang, and C. Sun, "A novel porous channel to optimize the cooling performance of PV modules," *Energy and Built Environment*, vol. 3, no. 2, pp. 210–225, Apr. 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbenv.2021.01.003>.

## ANALISA BENDING STRESS PADA FILAMEN ABS TERHADAP ARAH CETAKAN 3D PRINTING TIPE FDM

Wahyu Widiyanto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Teknik Produksi Furnitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu

Jl. Wanamarta No. 20 KIK Kendal, 51371

wahyu.widiyanto@poltek-furnitur.ac.id<sup>1</sup>

### ABSTRAK

Pengukuran *Teknologi Rapid Prototyping* (RP) terus berkembang pesat dan memiliki peran penting di berbagai sektor. Salah satu metode yang digunakan dalam teknologi ini adalah *Fused Deposition Modelling* (FDM), yang melibatkan proses melelehkan bahan termoplastik dengan menggunakan mekanisme ekstruder. Mesin pencetak 3D tipe FDM mengendalikan pergerakan *nozzle* secara komputerisasi, yang menghasilkan berbagai arah gerakan, termasuk sejajar dengan sumbu x (0°), y (90°), dan juga diagonal (45°). Perbedaan dalam arah ini memiliki dampak pada karakteristik mekanis dari kekuatan lentur pada cetakan yang dihasilkan. Penelitian ini melibatkan pengujian tekan (*Bending test*) sesuai dengan standar ASTM D790 dengan menggunakan mesin pengujian Beste KJ-1065. Spesimen pengujian dibuat dalam tiga jenis yang berbeda, dengan pengaturan arah *nozzle* yang memiliki perbedaan sudut *external infill angle offset* dan *internal infill angle offset*, yaitu pada sudut 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Hasil penelitian menunjukkan bahwa arah *nozzle* pada mesin pencetak 3D tipe FDM juga mempengaruhi kekuatan tekan/lentur produk yang dihasilkan. Kekuatan tekan/lentur maksimum terbesar ditemukan pada produk dengan arah *nozzle* 0°, mencapai 65.21 MPa, sementara yang terendah terjadi pada produk dengan arah *nozzle* 90° dalam kondisi horizontal, mencapai 45.18 MPa.

**Kata kunci :** *rapid prototyping, 3D printing, fused deposition modeling*

### Abstract

*Rapid Prototyping (RP) technology is rapidly advancing and plays a crucial role in various sectors. One of the methods used in this technology is Fused Deposition Modelling (FDM), which involves the process of melting thermoplastic material using an extrusion mechanism. FDM-type 3D printers control nozzle movements through computerization, resulting in various directions of movement, including parallel to the x-axis (0°), y-axis (90°), and diagonal (45°). Differences in these directions impact the mechanical characteristics of flexural strength in the produced prints. This research involves a bending test according to ASTM D790 standards, using the Beste KJ-1065 testing machine. Test specimens were created in three different types, with nozzle direction settings that differ in external infill angle offset and internal infill angle offset, specifically at 0° (parallel to the X-axis), 45° (parallel to the diagonal), and 90° (parallel to the Y-axis). The research results show that the nozzle direction in FDM-type 3D printers also influences the flexural strength of the produced products. The highest flexural strength was found in products with a 0° nozzle direction, reaching 65.21 MPa, while the lowest occurred in products with a 90° nozzle direction in the horizontal condition, reaching 45.18 MPa.*

**Keywords :** *rapid prototyping, 3D printing, fused deposition modeling.*

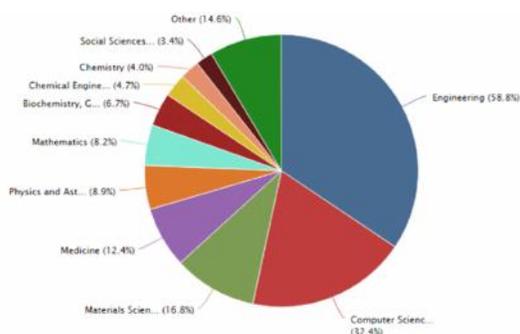
### PENDAHULUAN

Pada saat ini pencetakan tiga dimensi (3D Printing) yang termasuk dalam teknologi *rapid prototyping* (RP) telah diterapkan dibanyak aspek.

Proses pembangunan *rapid prototyping* menggunakan teknologi 3D Printing mempunyai peranan yang penting (berdampak cukup signifikan) contohnya pada aspek *manufacturing industry, medical applications, art, and aerospace* [1]. Terus berkembangnya teknologi *Rapid prototyping* ini

yang mana merupakan teknologi support bagi beberapa bidang lain pendukung manusia masih terus berkembang. Persyaratan industrialisasi, diversifikasi dan informatisasi guna rekayasa konstruksi telah terpenuhi oleh teknik pencetakan tiga dimensi / *3D Printing*, jadi dapat diterapkan dalam membangun konstruksi dengan mencetak.

Pada pembangunan *Rapid prototyping (RP)* diawali dengan membuat gambar kerja menggunakan *software computer aided design (CAD)* untuk menghasilkan objek benda kerja. *Rapid prototyping* dapat memvisualisasikan gambar kerja tiga dimensi dijadikan benda tiga dimensi secara fisik dengan material tertentu. Tebal layer mesin *rapid prototyping* dapat mempengaruhi kualitas dari benda/objek yang dihasilkan. Jadi, lebih tipis ketebalan layer penyusunnya maka kualitas yang dihasilkan akan lebih baik [2].



Gambar 1. *Research Rapid Prototyping* pada scopus [3]

Pada gambar 1 menunjukkan data dari Scopus terdapat 3 area *research rapid prototyping* yang paling besar diteliti, yaitu bidang *material science* 16,8%, , *computer science* 32,4%, dan *engineering* 58,8% [3].

*Fused Deposition Modeling (FDM)* dan *Selective Laser Sintering (SLS)* merupakan teknologi pemrosesan pencetakan tiga dimensi (*3D Printing*) yang umum digunakan [4]. Metode FDM dapat membangun objek tiga dimensi dengan cara melelehkan material termoplastik menggunakan ekstruder sebagai mekanismenya. Material termoplastik yang meleleh akan membentuk layer dari bawah ke atas sehingga membentuk objek tiga dimensi. Teknologi FDM merupakan proses pencetakan 3 dimensi yang beroperasi dengan membangun komponen *layer by layer* dari dasar ke atas menggunakan filamen termoplastik yang dipanaskan kemudian diekstrusi [5].

Pembuatan produk *3D printing* menggunakan teknologi FDM maka diawali dengan membuat desain benda kerja. Beberapa *software* desain seperti CATIA, Inventor, Solidwork dan lain – lain dapat digunakan dalam membuat desain

produk *3D printing*. Apabila desain telah jadi maka dapat di *convert* keformat stl (*Stereo Lithography*). Format STL (*Stereo Lithography*) biasa digunakan oleh *software 3D Printing* dimana file STL diiris/dicacah menghasilkan layer digital yang banyak dan tipis. Pada masing – masing layer berisikan informasi geometri dari produk yang akan dicetak. File tersebut secara berurutan dikirim ke printer 3D. Data yang diterima akan memberikan perintah membangun objek 3D setiap layer ke Printer FDM [6].

Sebelumnya, penelitian dilakukan oleh Wahyu dan Tutut (2020) mengenai dampak kekuatan tarik pada produk yang dihasilkan melalui pencetakan 3D tipe FDM terhadap arah aliran bahan cetakan dari nozzle (ekstruder). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa arah aliran cetakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kekuatan tarik dari produk cetakan 3D jenis FDM. Sampel yang digunakan dalam penelitian ini mencakup tiga sudut aliran nozzle ekstruder yang berbeda, yaitu 0 derajat, 45 derajat, dan 90 derajat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kekuatan tarik terendah tercatat pada sampel dengan aliran nozzle sudut 90 derajat, sekitar 33.169 MPa, sementara yang tertinggi terdapat pada aliran nozzle sudut 0 derajat, yaitu sekitar 38.505 MPa. Selain itu, ditemukan bahwa persentase perpanjangan (*elongation percentage*) pada ketiga sampel pada titik kekuatan maksimal (peak) memiliki nilai yang sama, sekitar +27%. Dari hasil penelitian ini, disimpulkan bahwa mengatur arah nozzle/ekstruder dengan menggunakan *External infill angle offset* dan *internal infill angle offset* pada sudut 0 derajat akan menghasilkan produk *3D Printing* tipe FDM dengan kekuatan tarik (*tensile strength*) yang paling tinggi. [7].

Posisi benda kerja pada penyusunan *rapid prototyping* menggunakan mesin *3D printing* tipe FDM dengan bahan polymer ABS dan PLA akan mempengaruhi kekuatan tarik produk yang dihasilkan. Pada penelitian Lubis (2016) terdapat spesimen dengan 2 variasi orientasi posisi objek yaitu horizontal dan vertikal. Spesimen tersebut diukur dimensinya dan dilaksanakan uji tarik. Hasil penelitian didapatkan bahwa tebal *layer* dan orientasi posisi akan memberikan hasil terhadap efisiensi waktu, kualitas permukaan, dan kekuatan tarik [8].

Penelitian sebelumnya juga dilakukan oleh Sulayman (2015) memakai material ABS (*Acrylonitrile Butadiene Styrene*). Pada penelitiannya mencari tahu hasil cetakan *3D Printing* dengan variasi suhu pemanas nozzle/ekstruder. Adapun beberapa suhu yang digunakan adalah sebesar 260°C, 245°C dan 230°C pada pemanas nozzle/ekstruder. Pada penelitian ini didapatkan suhu yang menghasilkan volume yang mendekati ukuran sebenarnya adalah suhu 230°C.

[9]. Penelitian tersebut juga sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Laily dan Zainuddin (2020). Hasil penelitiannya menunjukkan semakin besar suhu *nozzle/ekstruder* akan berpengaruh pada beban yang dapat ditahan oleh hasil *3D printing* akan lebih besar. Begitu juga sebaliknya, apabila suhu *nozzle/ekstruder* semakin kecil, maka beban yang dapat ditahan oleh hasil *3D printing* akan semakin kecil. Pada penelitian ini juga menghasilkan apabila filamen PLA tidak dapat menahan beban sebesar filamen jenis ABS, dan Filamen ABS lebih kaku dibandingkan dengan Filamen jenis PLA [10].

Sistem kendali pergerakan *nozzle* pada mesin pencetak 3D diatur secara komputerisasi. Pergerakan *nozzle* dalam pencetakan 3D dapat menghasilkan arah pergerakan yang beragam, seperti sepanjang sumbu x (0 derajat), y (90 derajat), atau diagonal (45 derajat). Hingga saat ini, dampak perbedaan arah pergerakan ini terhadap sifat mekanis dari kekuatan lentur produk cetakan belum sepenuhnya dipahami. Untuk mendapatkan kekuatan lentur dapat menggunakan standar ASTM D790. Prabhu dkk 2022 dalam penelitiannya analisis mekanik hibrid bambu dan serat kaca yang diperkuat resin nanokomposit, untuk mendapatkan flexural strength / kekuatan lentur menggunakan Uji standar ASTM D790. Dimensi sampel yang diuji adalah panjang 125 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3,2 mm [11].

Variasi mekanis ini nantinya dapat memberikan wawasan yang berharga bagi pengusaha atau penelitian berikutnya untuk meningkatkan kekuatan produk cetakan *3D Printing*. Penelitian ini berfokus pada analisis sifat mekanis bending stress dari struktur hasil cetakan *3D Printing* yang menggunakan bahan ABS.

## METODE PENELITIAN

### 1. Material Filamen ABS

Gambar 2 adalah Filamen *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang digunakan dalam penelitian ini, untuk *feeding material* *3D printing* tipe FDM.



Gambar 2. Filamen Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)

### 2. Alat (software dan hardware)

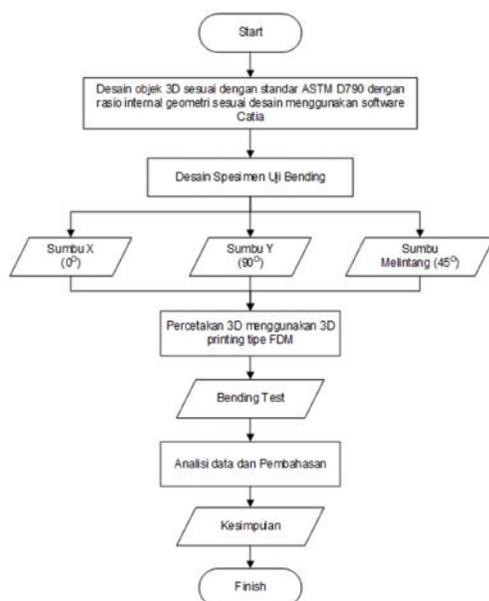
Penelitian ini menggunakan alat sebagai berikut :

1. Pembuatan desain specimen 3D menggunakan *Software* CATIA.
2. Pengaturan struktur objek *3D printing* menggunakan *software* Simplify3D.
3. Pencetakan specimen *3D printing* dengan material ABS menggunakan mesin 3D printer Prusa i3. Mesin 3D printer Prusa i3 memiliki tingkat akurasi 3-4,8%, hal tersebut dipengaruhi oleh suhu fusi [12].
4. Adapun standar yang digunakan pada pengujian spesimen adalah ASTM D790.
5. Mesin Beste KJ-1065 digunakan untuk menguji kekuatan tekan lentur 3 titik yang diperlihatkan pada gambar 3. Mesin Beste KJ-1065 memiliki spesifikasi sebagai berikut :
  - Capacity : 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500kg
  - Stroke : 650 mm (excluding clamp)
  - Range of speed : A : 0.5 ~ 500 mm/min , B : 50 ~ 500 mm/min
  - Effective testing space : 120mm
  - Accuracy:  $\pm 0.5\%$
  - Resolution : A : 1 / 250,000 B : 1 / 150,000



Gambar 3. Mesin pengujian lentur (bending testing machine) Beste KJ-1065

### 3. Flow Chart



Gambar 4. Flow Chart Penelitian

Tahapan prosedur penelitian bedasar flow chart di atas (gambar 4) adalah sebagai berikut :

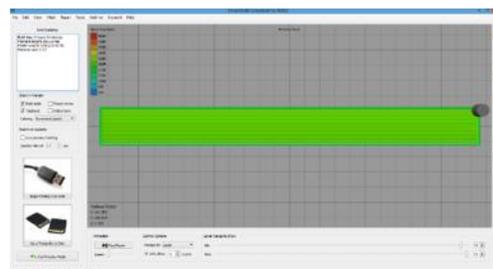
1. Pembuatan desain specimen 3D disesuaikan dengan standar ASTM D790 yaitu standar pengujian tekan lentur 3 titik menggunakan software Catia V5. Adapun ukuran dimensi spesimen sesuai dengan ASTM D790 adalah panjang 125 mm, lebar 12,7 mm, dan tebal 3,2 mm.
2. Pada tahap *Printing preparation* dan *Slicing layers* ini, objek tiga dimensi dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya dalam proses sebelumnya akan dibuka menggunakan perangkat lunak Simplify3D. Dengan menggunakan perangkat lunak ini, jumlah lapisan objek tiga dimensi yang akan dicetak dapat diidentifikasi secara otomatis, dan Anda memiliki kemampuan untuk menentukan jumlah lapisan ini dengan mengatur ketebalan setiap lapisannya.
3. Tahap berikutnya adalah pencetakan objek 3D. Objek yang telah divalidasi melalui perangkat lunak Simplify3D akan dicetak menggunakan 3D Printer. Panjang, massa filament, dan durasi pencetakan sudah diatur sebelumnya menggunakan perangkat lunak Simplify3D. Pada tahap ini, pengaturan arah nozzle mencakup pengaturan internal infill angle offset dan external infill angle offset yang dapat diatur pada tiga sudut berbeda, yaitu 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Dengan pengaturan ini, pencetakan objek dapat dilakukan sesuai dengan sudut yang

diinginkan untuk mempengaruhi hasil akhir produk.

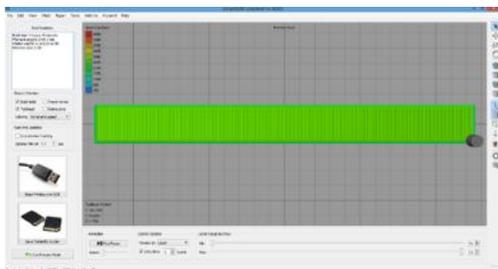
4. Langkah berikutnya adalah pengujian mekanik dari objek tiga dimensi yang telah berubah menjadi spesimen uji tekan. Pengujian mekanik ini dilakukan sesuai dengan standar ASTM D790. Ini adalah tahap penting untuk menilai sifat-sifat mekanik dari objek cetakan, khususnya dalam hal ketahanan tekanannya. Standardisasi melalui ASTM D790 membantu memastikan bahwa pengujian tersebut dilakukan dengan cara yang konsisten dan dapat diandalkan, sehingga hasilnya dapat digunakan untuk evaluasi lebih lanjut terhadap objek yang dicetak.
5. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian kekuatan tekan menggunakan alat yang disebut Tensile Testing Machine, dengan model tertentu yaitu Beste KJ-1065. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi sejauh mana objek tiga dimensi yang telah dicetak dapat menahan tekanan dan tegangan. Alat tersebut memungkinkan pengukuran ketahanan tekanan benda uji dan memberikan data yang diperlukan untuk menilai sifat mekanik dan kekuatan material dari objek cetakan tersebut.

### 4. Rancangan Penelitian

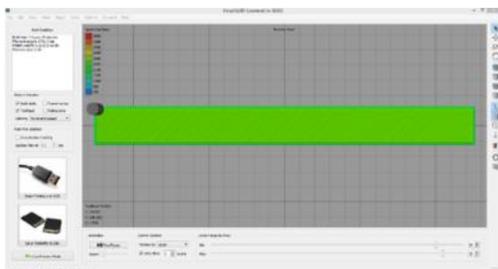
Seperti yang terlihat dalam gambar 5, 6, dan 7, rancangan penelitian ini mengacu pada pengujian tekan (bending test) yang mengikuti standar ASTM D790. Setiap variabel yang digunakan dalam pengujian memiliki tiga sampel yang berbeda. Ketiga variabel tersebut mencakup pengaturan arah *nozzle* dengan *external infill angle offset* dan *internal infill angle offset* yang diatur pada tiga sudut berbeda, yaitu 0° (sejajar sumbu X), 45° (sejajar diagonal), dan 90° (sejajar sumbu Y). Dengan menggunakan metode ini, penelitian dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dampak perbedaan sudut dalam pencetakan 3D terhadap sifat mekanik objek cetakan.



Gambar 5. Internal Giometri sumbu X (0°) cetak 3D Printing



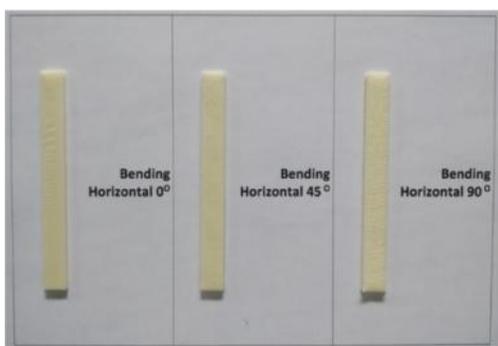
Gambar 6. Internal Giometri sumbu Y ( $90^{\circ}$ ) cetak 3D Printing



Gambar 7. Internal Giometri sumbu melintang ( $45^{\circ}$ ) cetak 3D Printing

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 8 menunjukkan hasil cetakan spesimen yang akan digunakan untuk pengujian tekan (bending test) sesuai dengan standar ASTM D790. Ini adalah langkah penting dalam penelitian yang memungkinkan evaluasi sifat mekanik dan kekuatan dari objek cetakan yang telah diproduksi, serta penilaian lebih lanjut terhadap dampak variasi dalam sudut pencetakan terhadap karakteristik mekanik spesimen ini.



Gambar 8. Hasil spesimen uji tekan

Gambar 9 memperlihatkan proses pengujian spesimen uji tekan dengan menggunakan mesin pengujian lentur (bending testing machine) Beste KJ-1065. Langkah ini adalah tahap kunci dalam penelitian yang dilakukan, di mana spesimen yang telah dicetak akan dikenakan tekanan untuk

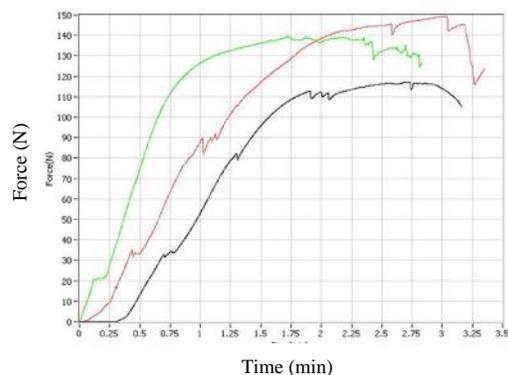
mengukur ketahanan lenturnya. Hasil pengujian ini akan memberikan data yang penting untuk menilai kualitas dan karakteristik mekanik dari objek cetakan yang telah diproduksi.



Gambar 9. Proses bending test

### 1. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal $0^{\circ}$

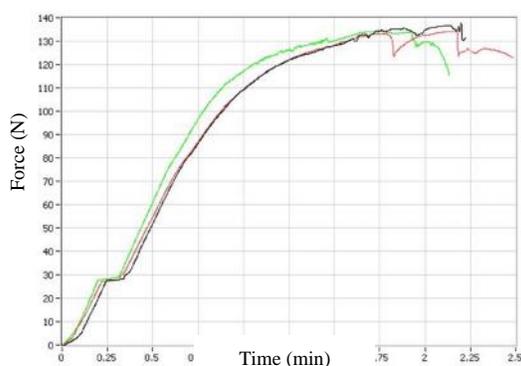
Hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut  $0^{\circ}$  (sejajar sumbu X) ditunjukkan gambar 10. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan orientasi  $0^{\circ}$  mampu menahan gaya maksimum sebesar 149.350 N, dengan nilai rata-rata gaya tekan sebesar 144.5 N. Kekuatan tekan/lentur maksimal (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen ini adalah sebesar 67.272 MPa, dengan nilai rata-rata sebesar 65.21 MPa. Hasil ini mencerminkan karakteristik mekanik dari spesimen dengan orientasi tertentu dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.



Gambar 10. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal  $0^{\circ}$

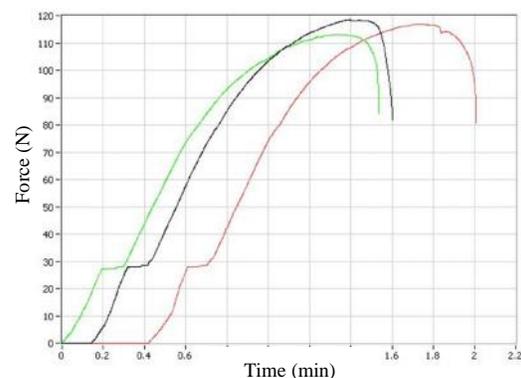
## 2. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal 45°

Gambar 11 menggambarkan hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 45° (sejajar diagonal). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan orientasi 45° memiliki rata-rata gaya tekan maksimum sebesar 135.504 N. Kekuatan tekan/lentur rata-rata (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen dengan orientasi ini adalah sebesar 53.325 MPa. Hasil ini mencerminkan sifat mekanik dari spesimen dengan orientasi sudut 45° dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.



Gambar 11. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal 45°

## 3. Hasil kekuatan tekan/lentur Spesimen horizontal 90°



Gambar 12. Grafik kekuatan tekan / lentur spesimen horizontal 90°

Gambar 12 menggambarkan hasil pengujian spesimen uji tekan horizontal di mana internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 90° (sejajar sumbu Y). Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa spesimen dengan

orientasi 90° memiliki rata-rata gaya tekan maksimum sebesar 116.186 N. Kekuatan tekan/lentur rata-rata (Maximum flexural strength) yang dicapai oleh spesimen dengan orientasi ini adalah sebesar 45.18 MPa. Hasil ini mencerminkan karakteristik mekanik dari spesimen dengan orientasi sudut 90° dalam hal ketahanan tekanan dan kekuatan lentur.

Tabel 1. Sifat mekanis spesimen uji tekan (*bending test*)

Material	Force @ Peak (N)	Maximum flexural strength (MPa)	Flexural modulus of elasticity (MPa)
Spesimen 0°	144.5	65.2095	1213.19
Spesimen 45°	135.504	53.325	886.996
Spesimen 90°	116.186	45.180	849.905

Dari tabel 1, dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan arah nozzle sudut 0° (sejajar sumbu X) menghasilkan gaya tekan terbesar dan kekuatan tekan (flexural strength) tertinggi, sementara spesimen dengan arah nozzle sudut 90° (sejajar sumbu Y) menghasilkan gaya tekan terkecil dan kekuatan tekan terendah. Hal ini menunjukkan bahwa orientasi cetakan 3D memiliki dampak signifikan terhadap karakteristik mekanik dari spesimen, dan orientasi dengan sudut tertentu dapat menghasilkan ketahanan tekanan yang lebih baik dibandingkan dengan orientasi lainnya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan bahwa arah cetakan nozzle pada mesin 3D printing jenis Fused Deposition Modelling (FDM) memengaruhi kekuatan tekan/lentur dari produk yang dihasilkan. Kekuatan tekan/lentur maksimal tertinggi dicapai pada produk dengan arah nozzle 0° (sejajar sumbu X) sebesar 65.21 MPa, sementara kekuatan tekan/lentur terendah terjadi pada produk dengan arah nozzle 90° (sejajar sumbu Y) dalam kondisi horizontal, mencapai 45.18 MPa. Oleh karena itu, produk 3D printing jenis FDM dengan arah cetakan nozzle yang memiliki pengaturan internal infill angle offset dan external infill angle offset diatur pada sudut 0° mampu menghasilkan kekuatan tekan/lentur yang paling tinggi..

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] A. Rinanto and W. Sutopo, "Perkembangan Teknologi Rapid Prototyping: Study Literatur," *Jurnal Metris*, pp. 105-112, 2017.
- [1] D. Sulayman, B. Waluyo and B. Sugito, "PENGARUH SUHU DARI HEATER NOZZLE TERHADAP PRODUK," Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta, 2015.
- [2] J. Q. Al-Maliki, "The Processes and Technologies of 3D Printing," *International Journal of Advances in Computer Science and Technology*, pp. 161-165, 2015.
- [3] L. N. Ikhsanto and Zainuddin, "Analisa Kekuatan Bending Filamen Abs Dan Pla Pada Hasil 3d Printer Dengan Variasi Suhu Nozzle," *Jurnal Media Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 9-17, 2020.
- [4] M. P. More, "3D Printing Making the Digital Real," *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCES & RESEARCH (IJESRT)*, pp. 1822-1825, 2013.
- [5] O. Carneiro, "Fused Deposition Modeling with Polypropylene," *Materials and Design Journal*, pp. 768-776, 2015.
- [6] P. Demircioglu, I. Bogrekci and H. S. Sucuoglu, "THE RELATIONSHIP BETWEEN THE FUSION TEMPERATURE AND DIMENSIONAL ACCURACY OF 3D PRINTED PARTS," *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, vol. 38, no. 1, pp. 21-28, 2020.
- [7] P. Feng, X. Meng, J. F. Chen and L. Ye, "Mechanical properties of structures 3D printed with cementitious powders," *Elsevier Construction and Building Materials*, pp. 486-297, 2015.
- [8] P. Prabhu, K. Balakrishnan, R. R. M. Vannan and B. Alagappan, "Mechanical, thermal and morphological analysis of hybrid natural and glass fiber-reinforced hybrid resin nanocomposites," *Biomass Conversion and Biorefinery*, vol. 14, no. 1, 2022.
- [9] S. Lubis, S. Djamil and Yolanda, "Pengaruh Orientasi Objek Pada Proses 3D Printing Bahan Polymer PLA Dan ABS Terhadap Kekuatan Tarik Dan Ketelitian Dimensi Produk," *SINERGI*, vol. 20, pp. 27-35, 2016.
- [10] V. G. Surange and P. V. Gharat, "Using Fused Deposition Modelling (FDM)," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, pp. 1403-1406, 2016.
- [11] W. Widiyanto and T. I. Setyani, "Pengaruh Arah Cetakan 3d Printing Tipe Fdm Bahan Polymer Abs Terhadap Tensile Strength Produk Yang Dihasilkan," *Jurnal Media Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 25-34, 2020.

**PENGARUH PENDINGINAN PANEL SURYA TERHADAP EFISIENSI DAYA KELUARAN**Abraham Sahat Salano Forestico<sup>1</sup>, Yudi Setiawan<sup>2</sup>, Saparin<sup>3</sup>, Jeri Arikxa<sup>4</sup>, Eka Sari Wijianti<sup>5</sup><sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Bangka Belitung

Kampus Terpadu UBB, Gedung Babel IV, Balunijuk, Merawang, Bangka, Bangka Belitung

[jeriariksa@ubb.ac.id](mailto:jeriariksa@ubb.ac.id)<sup>1</sup>**Abstrak**

Solusi pemenuhan energi listrik di daerah pedalaman dapat terselesaikan dengan menggunakan sumber energi terbarukan seperti panel surya yang dapat dibangun pada daerah terpencil dan minim infrastruktur. Penggunaan panel surya sendiri membutuhkan suhu optimal pada 25°C, sementara itu pada saat siang hari suhu pada panel surya bisa mencapai 45°C suhu optimal tersebut, dengan itu perlu adanya pengoptimalan suhu kerja pada panel surya dengan diberikan pendinginan untuk meningkatkan daya keluaran pada panel surya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pendinginan pada panel surya yang menggunakan variasi pendinginan air pada suhu 25-70°C. Hasil dari penelitian didapatkan rerata efisiensi pada panel surya yang bersuhu air 60-70°C 11,42% dengan rerata daya keluaran 19,58W, rerata efisiensi panel surya dengan air bersuhu 25-28°C adalah 12,40% rerata daya keluaran 21,26W dan rerata efisiensi panel surya tanpa air adalah 11,86% dengan rerata daya keluaran 20,34W. Dan untuk pengujian panel surya dengan penambahan pendinginan memberikan pengaruh terhadap daya keluaran dan efisiensi yang dihasilkan oleh panel surya.

**Kata kunci :** maksimum panel surya; daya keluaran; suhu; efisiensi.**Abstract**

*The solution to the fulfillment of electrical energy in rural areas can be resolved by using renewable energy sources such as solar panels that can be built in remote areas and lack of infrastructure. The use of solar panels itself requires an optimal temperature at 25°C, while during the day the temperature on solar panels can reach 45°C the optimal temperature, therefore it is necessary to optimize the working temperature on solar panels by providing cooling to increase the output power on solar panels. This study aims to determine the effect of cooling on solar with water variation at 25-70°C. This test focuses on the effect of using data when and the output power value is at the highest point of the solar panel output power. The results of the study showed that the average efficiency of solar panels with water temperature 60-70 ° C was 11.42% with an average output power of 19.58W, the average efficiency of solar panels with water temperature 25-28 ° C was 12.40% with an average output power of 21.26W and the average efficiency of solar panels without water was 11.86% with an average output power of 20.34W. And for testing solar panels with the addition of cooling, it has an effect on the output power and efficiency produced by solar panels.*

**Key words :** solar panel; output power; temperature; efficiency.**PENDAHULUAN**

Ketergantungan manusia terhadap penggunaan energi dalam beraktivitas saat ini semakin meningkat dikarenakan meningkatnya populasi manusia dan semakin banyak industri yang memerlukan energi. Sementara itu sumber energi utama yang digunakan adalah energi fosil berupa minyak bumi, gas bumi, dan batu bara yang terbatas juga merupakan energi tidak ramah lingkungan, jika terus digunakan maka akan merusak lingkungan dan

jumlahnya semakin terbatas. Oleh karena itu dibutuhkan sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi terbatas. Salah satu sumber energi yang memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi sumber energi terbarukan yang menggantikan energi terbatas adalah energi matahari (Abdussamad dkk., 2014) [1].

Pemanfaatan energi matahari dalam berbagai aspek kehidupan manusia menjadi fokus perhatian dalam era penelitian energi terbarukan. Salah satu teknologi yang terus dikembangkan adalah penggunaan sel surya untuk menghasilkan

listrik. Namun, efisiensi konversi energi dalam sel surya masih menjadi tantangan, terutama terkait perubahan kalor yang mempengaruhi kinerja sel. Laju perubahan kalor menjadi salah satu aspek kritis yang perlu dianalisis dalam pengembangan sel surya. Pendinginan yang optimal pada sel surya diharapkan dapat meminimalkan kerugian akibat panas serta mempertahankan efisiensi konversi energi yang maksimal (Putra, 2017) [2].

Pada Warsito dkk., 2013 [3] telah melakukan penelitian dengan membandingkan sel surya dengan kipas (*heatsink fan*) sebagai pendingin, dan sel surya tanpa pendinginan. Efisiensi sel surya meningkat dari 12,1 % menjadi 13,74 % setelah diberikan pendinginan. Berdasarkan penelitian tersebut dijelaskan bahwa sel surya berpendingin menghasilkan efisiensi lebih baik, namun pada penelitian tersebut tidak menganalisis penyerapan kalor yang terjadi pada sel surya berpendingin.

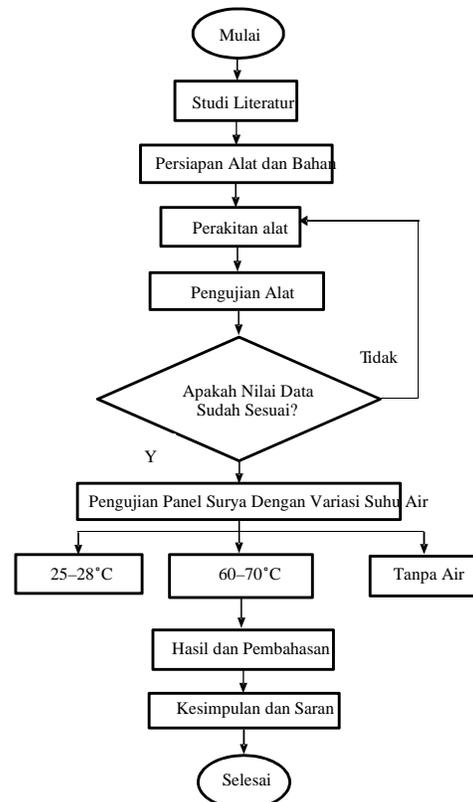
Penelitian yang dilakukan Bahari dkk, (2017) [4], bahwa performa panel sel surya sangat dipengaruhi oleh intensitas matahari pada suatu lokasi juga dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu cuaca, sudut datang sinar matahari di lokasi tersebut. Sudut datang sinar matahari di sebuah lokasi berbeda-beda tergantung dari garis lintangnya. Hubungan antara energi oleh suatu permukaan dengan sudut datang sinar matahari, dimana pada saat panel surya efek perubahan temperatur pada panel surya akan beroperasi secara optimal jika temperatur panel tetap pada 25°C, kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel surya akan melemahkan tegangan. Pada temperatur lebih dari 45°C akan membuat panel surya mengalami penurunan paling signifikan, pemilihan variasi suhu panel surya memiliki dampak pada output dan efisiensi panel. Pada suhu 60°C, suhu ini dapat mempengaruhi efisiensi panel surya. Panel surya memiliki efisiensi yang lebih tinggi pada suhu yang lebih rendah. Namun, suhu yang terlalu rendah juga dapat mengurangi efisiensi dan mempercepat degradasi panel surya. Pada suhu 25°C, Suhu ini juga memengaruhi efisiensi panel surya. Efisiensi modul surya berubah tergantung pada suhu kerjanya, suhu 25°C umumnya digunakan sebagai referensi dalam mengukur efisiensi panel surya. Panel surya tanpa pendinginan suhu panel surya cenderung naik, yang dapat mengurangi efisiensi panel. Oleh karena itu, pendinginan diperlukan untuk mempertahankan suhu panel surya pada tingkat yang optimal.

Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan air bersuhu lebih dari 60°C untuk membuat suhu kerja panel surya lebih dari 45°C. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis “pengaruh pendinginan panel surya terhadap

efisiensi daya keluaran” yang diberikan suhu perlakuan yang bervariasi. Sehingga panel surya tersebut yang diberikan suhu perlakuan yaitu pendingin air bersuhu 25-28°C dan pemanasan air bersuhu 60-70°C mengalir pada sisi bagian atas sel surya dan panel surya biasa tanpa perlakuan diuji untuk mengetahui laju sifat-sifat yang terjadi pada panel surya berpendingin, panel surya dengan air panas dan panel surya biasa.

## METODE PENELITIAN

Penelitian pengaruh pendinginan pada panel surya terhadap daya keluaran dilakukan identifikasi variable dengan menggunakan variabel bebas pada suhu air 25-28°C, 60-70°C, dan tanpa air. Variabel terikat pada penelitian ini adalah daya keluaran dan temperatur panel surya. Jenis penelitian yang dilakukan adalah eksperimental dengan mengukur efek langsung dari pendinginan terhadap efisiensi panel surya.

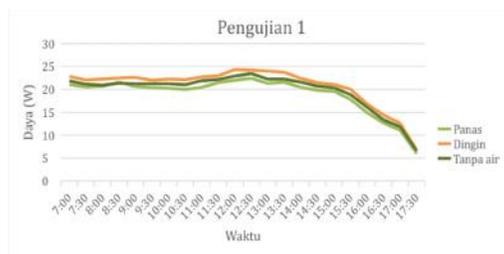


Gambar 1 Diagram penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

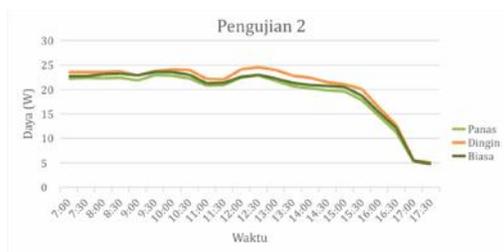
Dalam pengujian eksperimental, dilakukan pengukuran suhu pada sel surya dilakukan secara serentak dalam tiga kondisi yaitu panel surya tanpa air, panel yang diberikan air panas bersuhu 60-70°C dan panel surya dengan menggunakan pendingin 25-28°C.



Gambar 2 Grafik pengujian 1

Pada data penelitian pengujian 1 merupakan data hasil pengukuran 3 (tiga) buah panel surya yang masing-masing panel memiliki kapasitas 20 Wp dengan jenis yang sama yaitu monocrystalline. Adapun pengukuran dilakukan secara serentak dalam tiga kondisi yaitu satu panel surya tanpa menggunakan pendingin, panel yang diberikan air panas bersuhu 60-70° dan panel surya dengan menggunakan air bersuhu 25-28°C. Daya keluaran tertinggi terjadi pada panel surya penambahan air 25-28°C yaitu 20,8V dan 1,1A, sedangkan terendah terjadi pada panel surya penambahan air 60-70°C yaitu 9,9V dan 1,12A.

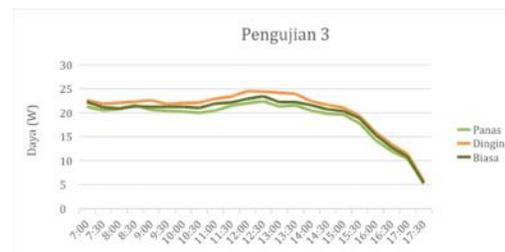
Grafik diatas yang menunjukkan bahwa penambahan air 25-28°C terhadap panel surya menunjukkan daya keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa air dan lebih besar dibandingkan dengan panel surya yang telah menerima air 60-70°C. Keluaran maksimum pada saat menggunakan air pendingin. Dapat dilihat bahwa daya keluaran perlahan mengalami kenaikan hingga mencapai titik tertinggi pada pukul 12.00 dan mengalami penurunan hingga pukul 15.00 mengalami penurunan drastis hingga pukul 17.00.



Gambar 3 Grafik pengujian 2

Pada data penelitian pengujian 2 merupakan data hasil pengukuran 3 (tiga) buah panel surya yang masing-masing panel memiliki kapasitas 20 Wp dengan jenis yang sama yaitu monocrystalline. Adapun pengukuran dilakukan secara serentak dalam tiga kondisi yaitu panel surya tanpa menggunakan pendingin air, panel yang diberikan air panas bersuhu 60-70°C dan panel surya dengan menggunakan air bersuhu 25-28°C. panel surya dengan menggunakan pendingin. Daya keluaran tertinggi terjadi pada panel surya penambahan air 25-28°C yaitu 20,8V dan 1,18A, sedangkan terendah terjadi pada panel surya penambahan air 60-70°C yaitu 5,2V dan 1,02A.

Penambahan air 25-28°C terhadap panel surya menunjukkan daya keluaran yang lebih besar dibandingkan dengan panel surya tanpa air dan lebih besar dibandingkan dengan panel surya yang telah menerima air 60-70°C. Keluaran maksimum pada saat menggunakan air pendingin. Dapat dilihat bahwa daya keluaran perlahan mengalami kenaikan sampai terdapat fenomena mendung yang membuat penurunan daya keluaran pada pukul 10.00 hingga pukul 12.00. Daya keluaran mencapai titik tertinggi pada pukul 12.30 dan mengalami penurunan hingga pukul 15.00 mengalami penurunan drastis hingga pukul 17.00, hal ini dapat dilihat dari daya keluaran minimum yang terjadi pada pukul 17.00 jika dibandingkan dengan pengujian dihari yang lainnya.



Gambar 3 Grafik pengujian 3

### PEMBAHASAN

Analisa daya terhadap panel surya tersebut dimaksudkan untuk mengetahui nilai efisiensi panel surya terhadap intensitas cahaya matahari yang diterima dan *losses* daya akibat temperatur permukaan panel surya yang panas, dimana dua hal tersebut sangat mempengaruhi ketercapaian panel surya dalam menghasilkan energi listrik [5].[6] Panel surya akan beroperasi dengan baik apabila bekerja pada suhu operasinya yaitu sebesar 25°C dari kebanyakan kasus efisiensi panel surya menurun diakibatkan peningkatan suhu pada panel surya.[7]

Kenaikan temperatur pada permukaan sel surya, yang dapat menyebabkan penurunan efisiensi, dimana akan menghasilkan efisiensi dengan menggunakan rerata dari intensitas cahaya dan nilai daya keluaran.[8] Parameter perhitungan pada cahaya matahari yang dapat diukur hanya pada intensitas penerangan matahari dan suhu yang diukur adalah suhu pada permukaan modul panel surya. Hasil dari penelitian didapatkan efisiensi pada panel surya yang bersuhu air 60-70°C adalah 11,42% dengan rerata daya keluaran 19,58W, rerata efisiensi panel surya dengan air bersuhu 25-28°C adalah 12,40% rerata daya keluaran 21,26W dan rerata efisiensi panel surya tanpa air adalah 11,86% dengan rerata daya keluaran 20,34W.

Berdasarkan hasil eksperimen dan pembahasan data, teknik pendinginan air menjadi pilihan yang paling efektif dalam mengurangi penurunan efisiensi daya keluaran pada panel surya. Penggunaan teknik ini mampu menjaga suhu pada tingkat yang mendukung efisiensi konversi energi yang lebih tinggi pada sel surya. Menurut Green, (2018) [9] pada panel surya tanpa perlakuan hasil dari efisiensi dan keluaran ketika suhu panel melebihi 25°C lebih baik dibanding panel bersuhu air 60-70°C karena celah pita (band gap) pada semikonduktor panel surya yang merupakan rentang energi diantara pita konduksi dan pita valensi yang lebih kecil dari air bersuhu 60-70°C, untuk efisiensi dan keluaran pada panel surya yang bersuhu air 25-28°C dipengaruhi oleh temperatur kerja, bahwa semakin rendah suhu kerja panel surya, semakin tinggi juga konduktivitas listrik pada panel surya.. Hal ini terjadi karena celah pita (band gap) pada semikonduktor panel surya yang merupakan rentang energi diantara pita konduksi dan pita valensi yang mempengaruhi sifat optik pada panel surya. Pada panel surya yang bersuhu air 60-70°C celah pita (band gap) pada semikonduktor panel surya akan melebar akibat pertambahan suhu pada panel surya, semikonduktor dengan celah pita yang lebar mempengaruhi konduktivitas listrik panel surya. Band gap dalam panel surya juga dapat berpengaruh pada efisiensi panel surya. Panel surya dengan band gap yang lebih kecil akan lebih efisien dalam mengubah cahaya menjadi listrik. Namun, kita harus mengingat bahwa band gap dalam panel surya tidak langsung terkait dengan band gap dalam fisika, karena band gap dalam fisika hanya berlaku pada suatu material tertentu, sedangkan band gap dalam panel surya adalah suatu konsep yang dibuat untuk mengubah cahaya menjadi listrik.[10] Salah satu faktor yang dapat mempengaruhi efisiensi panel surya adalah suhu pada modul panel surya. Efisiensi panel surya akan menurun seiring dengan terjadinya kenaikan suhu pada modul panel surya.

## KESIMPULAN

Penelitian ini telah mengkaji pengaruh berbagai teknik pendinginan terhadap laju perubahan kalor dalam sel surya. Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis data, diperoleh beberapa kesimpulan penting sebagai berikut:

1. Hasil dari penelitian didapatkan rerata efisiensi pada panel surya yang bersuhu air 60-70°C adalah 11,42,% dengan rerata daya keluaran 19,58W, rerata efisiensi panel surya dengan air bersuhu 25-28°C adalah 12,40% rerata daya keluaran 21,26W dan rerata efisiensi panel surya tanpa air adalah 11,86% dengan rerata daya keluaran 20,34W.
2. Penambahan pendinginan pada panel surya memberikan pengaruh terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh panel surya. Saat panel surya beroperasi pada suhu optimal (mendekati suhu 25°C) maka panel surya dapat merubah cahaya matahari yang masuk menjadi energi listrik dengan baik.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih banyak kepada pihak-pihak yang sudah terlibat pada penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdussamad, S., Dako, A. Y., Harun, E. H., Dan Amali, L. M. K. "Sistem Informasi Geografis Potensi Dan Pemanfaatan Energi Di Propinsi Gorontalo" Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo, 6. 2014.
- [2] Afif, M., dan Alwani, H. Pengaruh Parameter Cahaya Matahari Dan Suhu Terhadap Daya Keluaran Panel Surya Thin Film Jenis Amorphous.
- [3] Bahari, S., Laka, A., dan Rosmiati "Pengaruh Perubahan Arah Sudut Sel Surya Menggunakan Energi Matahari Intensitas Cahaya Terhadap Tegangan" Semnastek, November, 1-8. 2017.
- [4] Endriatno, N., Sudarsono, S., Sudia, B., Imran, A. I., Aminur, A., Dan Aksar, P. Analisis Potensi Energi Matahari Dikota Kendari. 2019.
- [5] Green, M. A. "Solar Cells: Operating Principles, Technology, And System Applications" 2018.
- [6] Gunoto, P., dan Hutapea, H. D. Analisa Daya Pada Panel Surya Di Pembangkit Listrik Tenaga Surya Rooftop On Grid Kapasitas 30 Kva Gedung Kantor. 2022.

- [7] Laksana, E. P., Sanjaya, O., Sujono, S., Broto, S., Dan Fath, N. Sistem Pendinginan Panel Surya Dengan Metode Penyemprotan Air Dan Pengontrolan Suhu Air Menggunakan Peltier. 2022.
- [8] Putra, E. J. E. “Analisa Sistem Penambahan Kolektor Surya Sebagai Penyuplai Panas Pada Sistem Pengereng Ikan“ 2017.
- [9] Shanea Harafany, D., Prasetya, S., & Sukandi, A. Perbandingan Efisiensi Panel Surya Dengan Pemanfaatan Heatsink Dan Pengaruh Instalasi Sensor Pada Panel Surya. 2021.
- [10] Warsito, A., Adriono, E., Nugroho, M. Y., & Winardi, B “Dipo Pv Cooler, Penggunaan Sistem Pendingin Temperatur Heatsink Fan Pada Panel Sel Surya (Photovoltaic) Sebagai Peningkat Kerja Eergi Listrik Baru Terbarukan Metode “. Teknik Elektro. 2013.

## RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO SKALA KECIL MENGGUNAKAN PENYAMBUNGAN LANGSUNG (ON GRID) TERHADAP WAKTU UNTUK MERESPON PERUBAHAN DAYA

Feliks Eldad Larobu<sup>1</sup>, Yuliadi Erdani<sup>2</sup>, Bahdin Ahad Badia<sup>3</sup>, La Ode Muhamad Fathur Rachim<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Program Studi Teknologi Listrik Industri Logam, Politeknik Tridaya Virtu Morosi  
Desa Morosi, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara

<sup>2</sup> Politeknik Manufaktur Bandung

Jalan Kanayakan No. 21 Dago, Bandung, Jawa Barat

<sup>3</sup> Program Studi Teknologi Metalurgi Industri Logam, Politeknik Tridaya Virtu Morosi  
Desa Morosi, Kabupaten Konawe, Provinsi Sulawesi Tenggara

kendari.robotik@gmail.com<sup>1</sup>

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro skala kecil yang terhubung langsung (on grid). Metode penelitian yang digunakan pada sistem ini yaitu dirancang untuk merespon perubahan daya secara cepat, sehingga dapat menjaga stabilitas jaringan listrik. Pembangkit listrik mikro hidro ini menggunakan sumber daya air dengan memanfaatkan aliran sungai, untuk menghasilkan energi listrik yang bersih dan terbarukan. Penelitian ini mengeksplorasi desain dan kinerja sistem, serta waktu respons terhadap perubahan daya, dengan tujuan untuk menyediakan solusi yang efisien dan berkelanjutan untuk penyediaan energi listrik skala kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran poros maka daya listriknya pun semakin tinggi. Lokasi pertama memberikan kinerja turbin yang lebih baik dibandingkan lokasi kedua, daya yang dihasilkan sebesar 27,52 Watt (lokasi pertama) dan 5,68 Watt (lokasi kedua).

**Kata kunci :** rancang bangun, PLTMH, penyambungan langsung, daya listrik.

### Abstract

*This research aims to design and build a small-scale on-grid micro-hydro power plant. The research method used for this system is designed to respond quickly to power changes, so as to maintain the stability of the electricity grid. This micro-hydro power plant utilizes water resources by taking advantage of river flow to generate clean and renewable electrical energy. This research explores the design and performance of the system, as well as the response time to power changes, with the aim of providing an efficient and sustainable solution for small-scale electricity supply. The results show that the higher the shaft rotation, the higher the electrical power. The first location provides better turbine performance compared to the second location, with the power generated being 27.52 Watts (first location) and 5.68 Watts (second location).*

**Key words :** design, micro hydro power plant, direct connection (on grid), electric power.

## PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai potensi besar untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga air sebagai sumber energi listrik. Salah satu parameter yang menjadi acuan untuk menentukan efisiensi turbin adalah daya aliran air. Sebagai sumber energi potensial untuk pembangkit listrik tenaga air atau PLTA, aliran air memang menjadi pilihan [11]. Salah satu sumber energi terbarukan yang potensial adalah tenaga air atau hidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) memanfaatkan energi kinetik dan potensial dari aliran air sungai atau saluran irigasi untuk menghasilkan listrik [3]. Potensi PLTMH cukup besar untuk pembangunan dengan banyaknya sungai dan aliran air yang tersebar di seluruh wilayah. Namun, hingga saat ini pemanfaatan PLTMH masih sangat terbatas dan belum optimal [6]. Namun, saat ini Indonesia masih sangat bergantung pada sumber daya minyak bumi sebagai sumber energi utama [12].

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) memanfaatkan energi kinetik dan potensial dari aliran air sungai atau saluran irigasi untuk menghasilkan listrik [3]. Memanfaatkan energi potensial aliran air pada jarak tertentu dari lokasi pembangkit listrik adalah dasar dari skema mikrohidro. Skema ini menghasilkan tenaga melalui dua faktor: debit air dan ketinggian jatuh.

PLTMH memiliki kapasitas yang relatif kecil, umumnya kurang dari 100 kW, sehingga cocok untuk diimplementasikan di daerah pedesaan atau terpencil yang memiliki akses terbatas ke jaringan listrik utama [4]. Teknologi PLTMH telah banyak dikembangkan dan dimanfaatkan di berbagai negara, baik negara maju maupun negara berkembang, sebagai sumber energi terbarukan yang efisien, murah, dan ramah lingkungan [5].

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro skala kecil menjadi salah satu alternatif sumber energi terbarukan yang semakin banyak dieksplorasi dan dikembangkan. Teknologi ini memanfaatkan aliran air sungai atau saluran irigasi dengan ketinggian jatuh (head) dan debit yang relatif kecil untuk menghasilkan energi listrik. Pembangkit listrik mikro hidro skala kecil memiliki potensi yang besar, terutama di daerah terpencil atau pedesaan yang sulit terjangkau oleh jaringan listrik utama [14].

Pembangkit listrik tenaga mikro hidro skala kecil (micro-hydro power plant) telah muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk penyediaan energi listrik di daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik utama. Teknologi ini memanfaatkan potensi aliran air sungai atau saluran irigasi dengan ketinggian jatuh (head) dan debit yang relatif kecil untuk

menghasilkan energi listrik yang bersih dan terbarukan [15]. Dengan memanfaatkan sumber daya air yang tersedia secara lokal, pembangkit listrik mikro hidro skala kecil dapat memberikan akses energi yang terjangkau dan berkelanjutan bagi masyarakat di daerah terpencil.

Salah satu tantangan utama dalam pengembangan PLTMH adalah masalah integrasi dengan jaringan listrik utama. Sebagian besar PLTMH yang ada saat ini beroperasi secara terpisah (*off-grid*) untuk memasok listrik ke rumah tangga atau fasilitas lokal di daerah terpencil [7]. Sistem *off-grid* ini memiliki keterbatasan dalam skala produksi dan distribusi energi listrik.

Komponen utama dari pembangkit mikro hidro ini meliputi turbin air, generator, sistem kontrol, dan peralatan penyambungan ke jaringan listrik. Pemilihan jenis turbin, generator, dan komponen lainnya disesuaikan dengan karakteristik sumber air yang tersedia, seperti ketinggian jatuh air, debit aliran, dan kondisi lingkungan sekitar [9]. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler digunakan untuk mengatur kecepatan turbin dan sinkronisasi dengan jaringan listrik agar dapat beroperasi dengan stabil dan efisien.

Penelitian tentang PLTMH skala kecil dengan penyambungan langsung ke jaringan listrik utama masih terbatas, terutama di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro skala kecil dengan penyambungan langsung ke jaringan listrik utama, serta mengevaluasi kinerja dan efisiensi pembangkit tersebut.

Dengan memanfaatkan sumber daya air yang tersedia di daerah pedesaan atau terpencil, pembangkit mikro hidro ini dapat menjadi solusi energi terbarukan yang berkelanjutan dan berkontribusi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik di masa depan. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan mendorong pemanfaatan PLTMH on grid di Indonesia secara lebih luas. Berdasarkan lokasi dan Sumber Air Penelitian ini yang dilakukan di sebuah daerah pedesaan di Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Sumber air yang dimanfaatkan adalah Air Jatuh Sungai Nanga-nanga yang memiliki debit rata-rata sekitar  $2 \text{ m}^3/\text{s}$  dan tinggi jatuh air sekitar 10 meter. Lokasi ini dipilih berdasarkan potensi sumber daya air yang cukup besar dan belum dimanfaatkan secara optimal.

Keunggulan utama pembangkit listrik mikro hidro skala kecil adalah ramah lingkungan, murah, dan dapat dibangun secara mandiri oleh masyarakat setempat. Selain itu, pembangkit ini juga dapat diintegrasikan dengan sumber energi terbarukan lainnya, seperti panel surya atau turbin angin, untuk meningkatkan keandalan pasokan

listrik [13]. Namun, tantangan utama dalam pengembangan pembangkit listrik mikro hidro skala kecil adalah memastikan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem.

Salah satu keunggulan utama pembangkit listrik mikro hidro skala kecil adalah dampak lingkungan yang minimal dibandingkan dengan pembangkit listrik konvensional berbahan bakar fosil. Selain itu, biaya investasi dan operasional yang relatif rendah, serta kemudahan dalam pembangunan dan pemeliharaan, menjadikan teknologi ini sangat cocok untuk diterapkan di daerah pedesaan [16]. Namun, tantangan utama dalam pengembangan pembangkit listrik mikro hidro skala kecil adalah memastikan efisiensi, keandalan, dan keberlanjutan sistem, serta meminimalkan dampak lingkungan yang mungkin timbul.

Pembahasan dalam penelitian ini meliputi perancangan dan pemilihan komponen utama pembangkit mikro hidro, seperti turbin, generator, sistem kontrol, dan peralatan penyambungan ke jaringan listrik. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap kinerja dan efisiensi pembangkit melalui pengujian dan simulasi. Aspek teknis dan ekonomis dari implementasi sistem PLTMH on grid juga akan dibahas secara mendalam. Akhirnya, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan sumber energi terbarukan berbasis tenaga air di Indonesia dan mendukung tercapainya target bauran energi nasional yang lebih berkelanjutan.

Perancangan PLTMH dibuat dan diuji pada lokasi yang berbeda dengan memanfaatkan energi potensial air di lokasi penelitian sehingga dapat diketahui kinerja turbin. Penelitian ini diharapkan siswa mampu memahami bagaimana prinsip kerja PLTMH dan mengembangkan konsep tersebut kedalam kondisi sebenarnya yang dituangkan dalam bentuk penelitian.

## METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian dengan menggunakan metode eksperimental. Implementasi rancang bangun PLTMH dilakukan pengambilan data pada 2 lokasi yang berbeda.

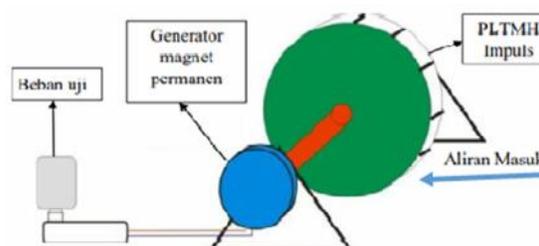
### 1. Perancangan Sistem Pembangkit

Perancangan Sistem Pembangkit adalah sebagai berikut:

- Pemilihan Turbin Air Jenis turbin air yang dipilih adalah turbin pelton. Turbin ini cocok untuk digunakan pada sungai dengan tinggi jatuh air rendah dan debit air yang cukup besar [1]. Dimensi turbin dirancang sesuai dengan

karakteristik aliran sungai untuk mengoptimalkan efisiensi konversi energi.

- Pemilihan Generator Generator yang digunakan adalah generator induksi tiga fasa dengan daya output sekitar 50 W. Generator ini dipilih karena memiliki efisiensi tinggi, biaya perawatan yang rendah, dan kemampuan untuk beroperasi secara paralel dengan jaringan listrik utama [2].



Gambar 1. Skematik Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Skala Kecil

Pada gambar 1. diatas dapat dilihat sebuah desain pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan model kincir air impuls. Berikut K dari PLTMH ini adalah sebagai berikut:

- Kincir air impuls, bekerja untuk konversi aliran air menjadi energi mekanik melalui putaran yang saling terintegrasi satu sama lain.
- Sumbu pejal akan mentransmisikan putaran mekanik dari kincir hingga ke generator magnet permanen.
- Generator magnet permanen akan merubah energi kinetik dari kincir menjadi energi listrik.
- Listrik yang dihasilkan akan langsung dihubungkan ke kabel distribusi hingga ke terminal listrik.
- Beban uji yang terhubung ke fitting lampu akan disambungkan ke terminal listrik untuk menyalakan lampu.

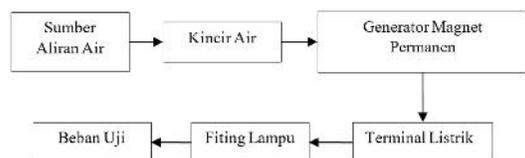
### 2. Pengolahan Data dan Analisis

Pengolahan data dan Analisis dimulai dengan mengkaji konsep kerja alat dan menguji kualitas kinerja alat kemudian menghitung nilai ideal menggunakan rumus matematik.

### 3. Blok Diagram Perancangan Alat

Blok diagram adalah sebuah metode yang dapat digunakan untuk menjabarkan sebuah sistem yang rumit. Dengan menggunakan blok diagram maka suatu sistem dapat dipartisi / dipecah berdasarkan fungsi dan kegunaannya. Tujuannya adalah agar lebih mudah untuk dipahami. Berikut ini

adalah blok diagram alat yang menampilkan alur dari proses kerja alat .



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Perancangan Alat

Blok diagram perancangan alat antara lain :

- Sumber aliran air** . Adalah salah satu material cair yang dapat dimanfaatkan untuk memutar sudu kincir. Dalam penelitian ini aliran air yang akan dijadikan objek adalah sungai nanga-nanga dan sungai sumber sari moramo.
- Kincir air**. Adalah sebuah perangkat yang akan merubah aliran air menjadi energi mekanik. Dimana aliran air akan membentur sudu kincir sehingga terjadi gaya dorong (*in line*) yang mengakibatkan kincir berputar pada porosnya dan air bergerak kearah luar (*outline*).
- Generator magnet permanen**. Adalah sebuah pembangkit listrik yang dapat merubah putaran (daya mekanik) menjadi listrik. Dalam penelitian ini besar daya listrik dari generator magnet permanen yang digunakan adalah 30 watt.
- Terminal listrik**. Adalah alat penghubung (interfacing) yang akan mentransmisikan listrik dari generator melalui media kabel penghubung.
- Fiting lampu**. Adalah sebuah alat berbentuk lingkaran digunakan sebagai tempat dudukan lampu.
- Beban uji**. Merupakan bohlam LED yang digunakan untuk mengetahui seberapa besar listrik yang dapat diproduksi dari generator magnet permanen.

#### 4. Metode Pengujian Alat

Pengujian alat dan pengambilan data, metode yang digunakan adalah *main power generator*. Dimana generatoar magnet permanen berperan sebagai pembangkit utama dan listrik yang dihasilkan akan langsung dihubungkan ke terminal listrik (*on grid*) selanjutnya beban akan terhubung ke terminal listrik.

Analisis Efisiensi dan Produktivitas Data yang diperoleh dari pengujian dianalisis untuk menghitung efisiensi keseluruhan sistem pembangkit mikro hidro, serta mengestimasi produktivitas energi listrik yang dapat dihasilkan dalam jangka waktu tertentu [8].



Gambar 3. Hasil Rancang Bangun PLTMH *on grid*

Rumus yang digunakan

Untuk menentukan daya listrik digunakan persamaan :

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

Dimana P adalah daya listrik (Watt), V adalah tegangan (Volt) dan I adalah amper (Ampere).

#### HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi dan Sumber Air Penelitian ini dilakukan pada 2 lokasi berbeda di Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Lokasi pertama adalah Air Jatuh Sungai Nanga-nanga Kota kendari, yang memiliki kecepatan aliran rata-rata sekitar 0,36 m/s. Lokasi kedua di Sungai di Desa Wisata Sumber Sari Kabupaten Konawe Selatan Nanga-Nanga, yang memiliki kecepatan aliran rata-rata sekitar 0,93 m/s.

Berdasarkan primer pemanfaat sungai, kedua lokasi penelitian dimanfaatkan oleh masyarakat di sepanjang Daerah Aliran Sungai (DAS) untuk kebutuhan sehari-hari dalam berbagai peruntukan, diantaranya adalah untuk kegiatan pertanian, perkebunan, dan peternakan.

Lokasi dan Sumber Air Penelitian ini dilakukan di sebuah daerah pedesaan di Kota Kendari, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Sumber air yang dimanfaatkan adalah Air Jatuh Sungai Nanga-nanga yang memiliki kecepatan aliran rata-rata sekitar 0,36 m/s.

Berdasarkan model rancang bangun PLTMH maka diperoleh hasil percobaan dan perhitungan di 2 lokasi yang berbeda. Pengambilan data dilakukan setiap selisih 1 jam, dimulai pada pukul 10:00-16:00 WITA sehingga diperoleh 8 jumlah percobaan. Spesifikasi PLTMH dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi rancang bangun PLTMH

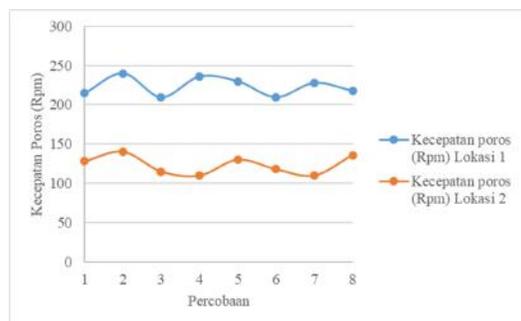
Spesifikasi Alat	Ukuran
<b>Panjang rangka</b>	<b>0,4 m</b>
<b>Lebar rangka</b>	<b>0,4 m</b>
<b>Tinggi rangka</b>	<b>1,5 m</b>
<b>Diameter kincir</b>	<b>0,2 m</b>
<b>Panjang sudu kincir</b>	<b>0,8 m</b>
<b>Lebar sudu kincir</b>	<b>0,27 m</b>
<b>Diameter generator</b>	<b>0,4 m</b>
<b>Beban uji</b>	<b>3 watt</b>

Berdasarkan spesifikasi rancang bangun PLTMH yang telah diuji pada 2 lokasi, maka diperoleh distribusi hasil data berupa tegangan, arus, kecepatan poros (lihat tabel 2).

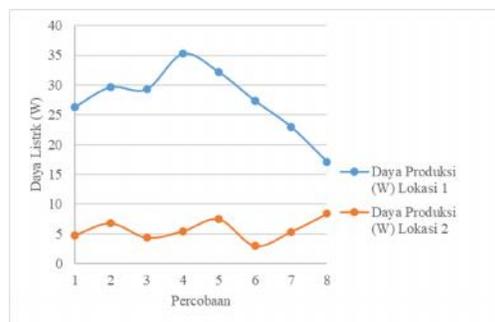
Tabel 2 Distribusi hasil data pada tiap lokasi

Pengu- jian ke	Tegangan (V)		Arus (A)		Kecepatan poros (Rpm)		Beban uji
	Lokasi		Lokasi		Lokasi		
	1	2	1	2	1	2	
1	67,40	19,68	0,39	0,24	215	128	On
2	70,60	20,57	0,42	0,33	240	140	On
3	65,10	17,39	0,45	0,25	210	115	On
4	70,50	15,12	0,50	0,36	236	110	On
5	70,00	20,14	0,46	0,37	230	130	On
6	66,80	18,44	0,41	0,16	210	118	On
7	69,70	16,64	0,33	0,32	228	110	On
8	68,50	20,46	0,25	0,41	218	136	On

Berdasarkan tabel 2, hasil data yang diperoleh di lokasi berbeda bertujuan untuk melihat perubahan kinerja PLTMH terhadap respon waktu pengambilan data. Hal ini disebabkan kecepatan aliran tidak konstan sehingga mengakibatkan ragam data. Dalam kecepatan aliran tidak konstan, proses pengukuran putaran poros (Rpm) dari waktu ke waktu mengalami perubahan besar sehingga mempengaruhi nilai pengukuran tegangan (V) dan arus (A) (lihat gambar 4 dan 5).

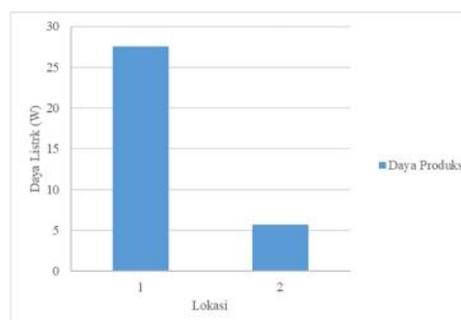


Gambar 4. Perubahan Rpm Turbin pada tiap lokasi terhadap waktu percobaan



Gambar 5. Grafik Perubahan daya listrik pada tiap lokasi terhadap waktu percobaan

Mengacu pada gambar 4 dan 5 dapat diketahui bahwa pada kondisi dalam waktu yang berbeda di 2 lokasi menunjukkan bahwa putaran poros yang dihasilkan sangat mempengaruhi nilai daya optimal yang diperoleh nilai tertinggi pada masing-masing percobaan terjadi di lokasi pertama dengan perolehan putaran poros (Rpm) tertinggi 240 Rpm dan daya tertinggi 35,25 Watt. Sedangkan di lokasi kedua memperoleh putaran poros (Rpm) tertinggi sebesar 140 Rpm dan daya tertinggi sebesar 8,39 Watt. Perolehan nilai ini menjelaskan bahwa, jika kecepatan aliran air besar maka akan menyebabkan putaran poros besar dimana akan menyebabkan putaran poros besar dimana akan semakin besar pula momen yang diterima. Hal ini juga akan berpengaruh daya optimal yang dihasilkan PLTMH. Berikut daya listrik rata-rata yang diperoleh dari 2 lokasi pengujian dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Perubahan daya listrik pada tiap lokasi

Gambar 6 merupakan perbandingan hasil nilai rata-rata daya listrik antara lokasi 1 dan 2 penelitian, diperoleh bahwa nilai lokasi pertama daya listrik sebesar 27,52 Watt dan lokasi kedua sebesar 5,68 Watt. Berdasarkan daya optimal PLTMH maka lokasi pertama memberikan kinerja lebih baik dengan potensi daya yang mampu dibangkitkan lebih besar dibandingkan lokasi kedua.

Dalam penelitian Setiawan et al. [11], mengemukakan bahwa putaran rotor turbin

dipengaruhi oleh besarnya debit alir. Hal inilah yang mendasari kinerja PLTMH pada lokasi pertama disebabkan debit air yang mampu mereduksi kecepatan aliran air lebih besar sehingga besar pula momen yang diterima oleh sudut turbin, ini menyebabkan putaran turbin lebih ringan dan turbin akan berputar lebih cepat. Hal ini memungkinkan daya yang dihasilkan pada lokasi pertama lebih besar dibandingkan lokasi kedua. Yang menunjukkan bahwa potensi listrik PLTMH merupakan fungsi dari putaran jika putaran kincir cepat maka daya yang dihasilkan juga semakin besar.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diperoleh kesimpulan dari pengujian PLTMH *on Grid* yang menunjukkan bahwa rancang bangun PLTMH bekerja dengan baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi putaran poros dan semakin tinggi pula daya listrik. Lokasi pertama memberikan kinerja turbin lebih baik dibandingkan di lokasi kedua, daya yang dibangkitkan sebesar 27,52 Watt (lokasi pertama) dan 5,68 Watt (lokasi kedua).

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada bapak Dr. Ing. Yuliadi Erdani, M.Sc., IPU selaku Direktur Politeknik Tridaya Virtu Morosi dan Manajer Operasional Politeknik Tridaya Virtu Morosi (Bapak Cecep Ruddi Kusnadia, S.T) yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada Lembaga Penelitian Pengabdian dan Kemitraan yang telah membiayai penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Arianto, S. Mustak, and A. Bah, "Design and development of a micro-hydro power plant for rural electrification in Indonesia," *Renew. Energy*, vol. 174, pp. 1035–1045, 2021, doi: 10.1016/j.renene.2021.04.119.
- [2] A. Jain, A. Khare, and R. P. Saini, "Design and development of a micro hydro plant using impulse turbine for power generation," *Int. J. Ambient Energy*, vol. 41, no. 10, pp. 1168–1175, Oct. 2020, doi: 10.1080/01430750.2018.1551237.
- [3] A. M. Ansari, N. H. Malik, A. Khokhar, and M. H. Yaseen, "Design of a Micro Hydro-Electric Power Plant: A Prospective Study for Gilgit, Pakistan," *Int. J. Altern. Propuls.*, vol. 10, no. 1, pp. 18–25, Mar. 2016, doi: 10.1615/IntJAlterPropulsi.v10.i1.30.
- [4] A. Nasir, "Design considerations of micro-hydro-electric power plant," *Energy Procedia*, vol. 50, pp. 19–29, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.06.003.
- [5] A. Nugroho and A. A. B. Nasution, "Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Turbin Aliran Silang Pada Sungai Di Desa Pagar Agung, Lampung Utara," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 13, no. 1, pp. 73–84, Mar. 2020, doi: 10.29122/jrl.v13i1.3906.
- [6] D. A. Prasanti and N. Kusumastuti, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kali Boyong, Kabupaten Kendal," *J. Presipitasi*, vol. 15, no. 2, pp. 59–68, Dec. 2018, doi: 10.14710/presipitasi.v15i2.59-68.
- [7] J. E. Moosavian, N. C. Pereira, and M. A. S. Machado, "Optimization of a micro hydro power plant using an evolutionary algorithm," *Energy*, vol. 249, p. 124659, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.energy.2022.124659.
- [8] M. Hussain, S. A. Chowdhury, and M. A. H. Mallick, "Design and Performance Analysis of Micro Hydro Power Plant for Rural Electrification," in *2022 International Conference on Electrical, Communication, and Computer Engineering (ICECCE)*, 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICECCE54776.2022.9745857.
- [9] S. O. Anaza, "Micro-Hydropower: An Alternative Energy Source for Power Generation in Rural Communities," *SSRN Electron. J.*, 2020, doi: 10.2139/ssrn.3530946.
- [10] S. I. Tjahjono, V. M. Nurhalim, and T. N. Adji, "Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Sungai Boksri Menggunakan Turbin Air Kinetik," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 2, pp. B509–B513, Oct. 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i2.25244.
- [11] S. Williamson, B. Stark, and J. Booker, "Low Head Pico Hydro Turbine Selection using a Multi-Criteria Analysis," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 06, pp. 360–365, Apr. 2008, doi: 10.24084/repqj06.313.
- [12] S. Williamson, B. Stark, and J. Booker, "Low head pico hydro turbine selection using a multi-criteria analysis," *Renew. Energy*, vol. 61, pp. 43–50, 2014, doi: 10.1016/j.renene.2012.06.020.
- [13] Setiawan, Y., Wijianti, E.S., Saparin, Wibowo, B.S., & Prayitnadi, P. (2021). Kinerja Putaran Rotor Turbin Air Screw Archimedes Dengan Variasi Kemiringan Sudut Turbin. *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, 7(2). <https://doi.org/10.33019/jm.v7i2.2780>.

- [14] Wijianti, E.S., Saparin, & Setiawan, Y. (2019). Turbin Angin Savonius Empat Sudu Dengan Variasi Model Profil Sebagai Media Belajar Mahasiswa. *Machine; Jurnal Teknik Mesin*, Volume 5 No. 2, Oktober 2019.
- [15] Y. A. Saleh and S. R. Buchanan, "Gaya Pembangkit Listrik Pikohidro dengan Menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH)," *J. Borneo Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 29–34, Apr. 2017.

## Petunjuk Umum

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

## Petunjuk Penulisan

Petunjuk penulisan antara lain sebagai berikut:

### 1. Judul Jurnal Ilmiah

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

### 2. Nama penulis

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

### 3. Abstrak

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

### 4. Pendahuluan

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

### 5. Metode penelitian

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

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

### 6. Hasil dan Pembahasan

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

### 7. Penutup

Bagian ini memuat kesimpulan dan saran. Kesimpulan dan saran dapat dibuat dalam sub bagian terpisah. Kesimpulan menjawab tujuan, bukan mengulang teori, berarti menyatakan hasil penelitian secara ringkas. Saran merupakan penelitian lanjutan yang dirasa masih diperlukan untuk penyempurnaan hasil penelitian supaya berdaya guna. Penelitian tentunya tidak selalu berdaya guna bagi masyarakat dalam satu kali penelitian, tapi merupakan rangkaian penelitian yang berkelanjutan.

**8. Daftar Pustaka**

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

**9. Penulisan persamaan**

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

**10. Penyajian Gambar dan Tabel**

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

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

Template Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Universitas Bangka Belitung

## JUDUL (Style Judul)

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

Nama penulis<sup>1</sup>, nama penulis<sup>2</sup> (Style Penulis)

<sup>1</sup> Program Studi, Fakultas, Universitas (Style Keterangan )

Alamat Universitas

<sup>2</sup> Program Studi, Fakultas, Universitas

Alamat Universitas

Email penulis<sup>1</sup>

<Style normal>

## Abstrak (Style Abstrak: 10 pt, Bold)

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

## Abstract (10 pt, Bold) (Style Abstrak: 10 pt, Bold, Italic)

<Style normal>

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

<Style normal>

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

<Style normal>

## PENDAHULUAN (Semua judul bab menggunakan (Style Judul Bab))

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

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian merupakan prosedur dan teknik penelitian. Antara satu penelitian dengan penelitian yang lain, prosedur dan tekniknya akan berbeda. Kalau tidak berbeda, berarti penelitian itu hanya mengulang penelitian yang sudah ada sebelumnya. Tapi bukan berarti harus berbeda semuanya. Untuk penelitian sosial misalnya, populasi penelitian mungkin saja sama, tapi teknik samplingnya berbeda, teknik pengumpulan datanya berbeda, analisis datanya berbeda, dan lain-lain. Mohon diuraikan dengan jelas, bukan hanya mengopi dari penelitian lain. Kalau mau disertakan penelitian yang dilakukan termasuk ke dalam

kategori penelitian yang mana, mohon diperhatikan dengan baik, jangan asal mengopi. Bagian ini bisa dibagi menjadi beberapa sub bab, dengan mencantumkan penomorannya menggunakan style sub bab.

1. Perumusan masalah (Style Sub Bab)  
(Style isi jurnal) Penjelasan menggunakan style isi jurnal.
2. Metode penelitian (Style Sub Bab)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Jika menggunakan tabel, maka penulisannya seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Nama Tabel (Style Captiom)

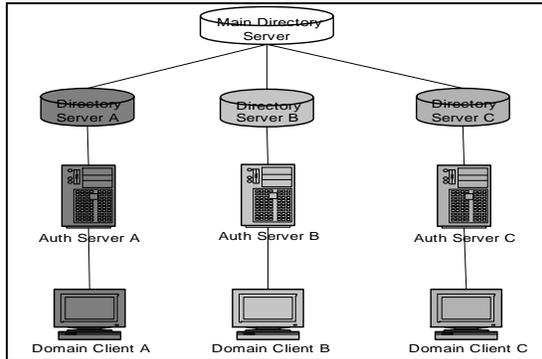
| Kolom 1 | Kolom 2 | Kolom 3 | Kolom 4 |
|---------|---------|---------|---------|
|         |         |         |         |
|         |         |         |         |

Sumber : xxxxxxxx

<Style normal>

Jika menggunakan gambar, maka penggambarannya dibuat sebagai berikut:

<Style normal>



(Style Posisi Gambar)

Gambar 1 Nama Gambar (Style Caption)

Rumus menggunakan (style Rumus) dengan bentuk sebagai berikut:

$Y=ax+bx$  ..... (1)

1. Sitasi dan Daftar Referensi (style sub bab)

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

2. Catatan Kaki (style sub bab)

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

KESIMPULAN

Berisikan kesimpulan hasil dari pembahasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

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

DAFTAR PUSTAKA

[1] Moghal A. A. B., Dafalla M. A., Elkady T. Y., and Al-Shamrani M.A., Lime Leachability Studies on Stabilized Expansive Semi-Arid Soil. International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 18, 2015, pp.1467-1471.

[2] Awal A.S.M.A, Hosseini H. and Hossain M.Z., Strength, Modulus of Elasticity and Shrinkage Behaviour of Concrete Containing Waste Carpet Fiber, International Journal of GEOMATE, Vol. 9, Issue 17, 2015, pp. 1441-1446.

[3] Hossain M.Z., For Chapter in a Book, Soil Mechics, 4th ed. Vol. 2, Sakai, Ed. Sankeisha Publisher's Name, Year, pp. 11-60.

[4] Author H., A Book New York Publisher, Year, pp.1-200.

[5] Annnn B., Unpublished Work but Accepted, Vol., Issue, Year.

[6] Kimura S., Journal Paper Title, J. of Computer Science, Vol. 1, Issue 2, 1987, pp. 23-49.

[7] Islam M.R., Conference proceedings, in Proc. 2nd Int. Conf. on GEOMATE, 2011, pp. 8-13.

[8] Hossain M.Z. and Awal A.S.M.A., Experimental Validation of a Theoretical Model for Flexural Modulus of Elasticity of Thin Cement Composite, Const. Build. Mat., Vol.25, No.3, 2011, pp.1460-1465.



**MACHINE** Jurnal Teknik Mesin

**Alamat Redaksi :**

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

