

## **Eksamen Kinerja Turbin Pelton Dengan 20 Sudu Dan 3 Nozzle Akibat Variasi Terhadap Tinggi Jatuh Air**

**Bimbi Fauzi Pangestu Sinaga**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara

*bimbifauzipangestu@gmail.com*

### **Abstrak**

*Turbin Pelton adalah turbin impuls yang mengubah semua energi air menjadi energi kecepatan sebelum memasuki runner turbin. Perubahan energi ini dilakukan di nosel di mana air yang semula memiliki energi potensial tinggi diubah menjadi energi kinetik. Pelton Turbin terdiri dari satu set sudu-sudu berjalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan oleh nozel. Turbin Pelton adalah salah satu jenis turbin yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin cocok untuk ketinggian jatuh air yang tinggi. Spesifikasi turbin pelton yang digunakan adalah : menggunakan turbin Pelton skala mikro dengan jumlah sudu 20, nozel 3, ketinggian tetesan air yang diatur menggunakan inverter dengan frekuensi 38 Hz, 42 Hz dan 46 Hz, menggunakan model pompa air Dabaqua. 410A. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif yaitu melakukan perhitungan untuk mengetahui bagaimana kinerja turbin Pelton. Dari hasil analisa bahwa ketinggian jatuh/head air yang digunakan adalah 12,46 m, 12,01 m dan 11,84 m. Efisiensi turbin terbesar terjadi pada 53 Lpm yaitu 33%, sedangkan pada 48 Lpm menghasilkan efisiensi turbin 23% dan efisiensi turbin terkecil adalah pada 43 Lpm, yaitu 13%.*

**Kata Kunci:** *Turbin Pelton, Tinggi jatuh air/head, efisiensi turbin.*

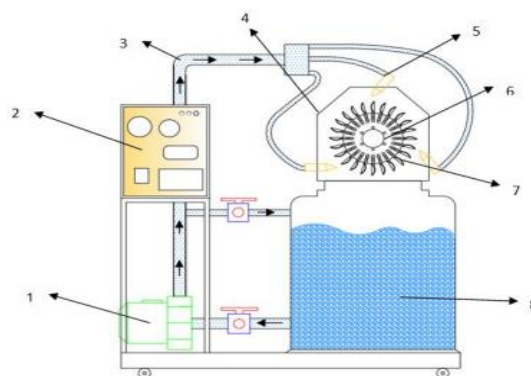
## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik semakin meningkat, berbagai upaya terus dilakukan baik dengan mencari potensi energi baru ataupun dengan mengembangkan teknologinya. Selain dari kebutuhan energi listrik meningkat, juga terdapat daerah yang kondisi geografisnya tidak memungkinkan jaringan listrik sampai kepada konsumen. Maka dari permasalahan tersebut dilakukan suatu upaya untuk menyuplai kebutuhan energi listrik dengan memanfaatkan kondisi dan potensi yang ada pada daerah tersebut. Misalkan ada suatu daerah yang memiliki potensial air yang headnya mencukupi untuk dibuat pembangkit listrik, maka di daerah tersebut dapat dipasang pembangkit tenaga listrik yang menyesuaikan dengan besar kecilnya head yang tersedia. Atau potensi-potensi alam yang lain yang memungkinkan untuk dibangunnya pembangkit tenaga listrik. Dengan keadaan geografis daerah-daerah di Indonesia yang memiliki potensi air dengan head yang memadai untuk sebuah pembangkit berskala kecil, maka dengan kondisi tersebut banyak dikembangkan teknologi pembangkit-pembangkit berskala kecil yang biasa dikenal sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro) merupakan salah satu dari berbagai jenis alat pengkonversian energi terbarukan yang menghasilkan energi bersih dan ramah lingkungan. Ada beberapa jenis turbin yang bisa di aplikasikan pada PLMTH, salah satunya adalah turbin pelton. Turbin pelton merupakan turbin impuls, yaitu turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air. Semprotan jet (nozzle) air berkecepatan tinggi mengenai bucket runner dan menggerakkan runner, air yang pada kecepatan rendah berarti sebagian energinya tidak diserap oleh runner. Tekanan air masuk dan keluar sudu adalah tekanan atmosfer. Turbin pelton adalah contoh terbaik dari turbin implus. Turbin tersebut dioperasikan oleh satu atau lebih jet (nozzle) air yang masuk ke center bucket pada sekeliling parameter dari runner. Tenaga berasal dari gaya air dari tekanan tinggi yang menumbuk buckets sehingga dinamai turbin implus. Beberapa faktor yang berpengaruh pada kinerja turbin pelton adalah ketinggian jatuh air, kecepatan aliran, jumlah nozzle, jarak semprot nozzle dan jumlah sudu.

## 2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini menggunakan skala laboratorium. Dalam hal ini perangkat penelitian dibuat sesuai dengan ukuran turbin yang akan diamati. Metode ini dilaksanakan dengan melakukan pengujian untuk mengetahui unjuk kerja turbin pelton akibat variasi tinggi jatuh air.



Gambar 2 skema turbin pelton

Prosedur Pengujian Prosedur pengujian yang dilakukan pada penelitian Turbin Pelton dengan variasi tinggi jatuh air.

1. Mengatur frekuensi menggunakan inverter frekuensi dengan frekuensi yang digunakan sebesar 38 Hz, dan pastikan inverter DC to AC pada keadaan hidup untuk data dengan beban.
2. Saat turbin sudah bekerja, lihat data beban, kecepatan alir, kuat arus, tegangan, tekanan suction, tekanan discharge yang tertera pada LCD kemudian dicatat data tersebut.
3. Melihat kecepatan putaran generator dengan menggunakan tachometer digital yang dihubungkan pada poros generator, sedangkan untuk melihat tegangan dengan menggunakan multimeter digital. Kemudian dicatat kecepatan putaran tersebut.

No	Frekuensi (Hz)	Putaran (Rpm)	Beban (Kg)	Debit (Lpm)	Kuat Arus (Ampere)	Tegangan (Volt)	Tekanan Suction (Psi)	Tekanan Discharge (Psi)	Output (Watt)
----	----------------	---------------	------------	-------------	--------------------	-----------------	-----------------------	-------------------------	---------------

4. Ulangi langkah 1-3 dengan menggunakan frekuensi 42 Hz dan 46 Hz untuk mendapatkan data selanjutnya.
5. Mengatur kembali frekuensi ke 0 Hz, kemudian matikan inverter DC to AC.
6. Mengolah data penelitian yang didapatkan.
7. Menganalisa data penelitian untuk mengetahui hubungan antara variabel yang telah ditentukan.
8. Menarik kesimpulan dari hasil penelitian yang dilakukan

### 3. HASIL

Setelah melakukan pengujian maka di dapatkan hasil, yang ada dalam tabel di bawah ini :

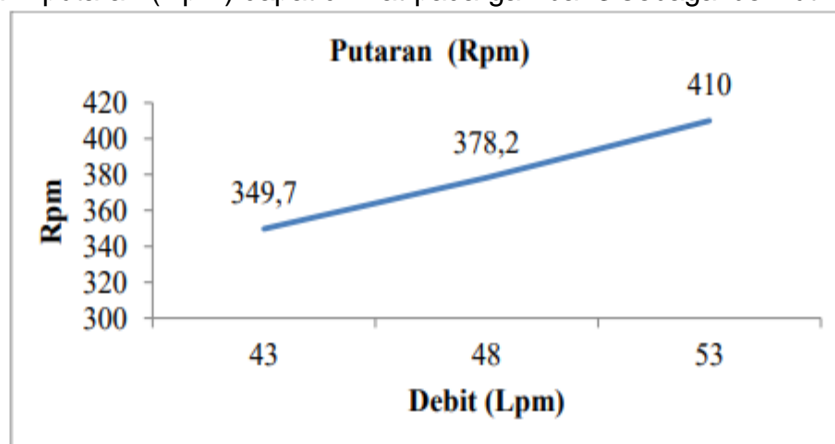
**Tabel 1 Hasil Data Pengujian**

1.	38	349,7	0,46	43	1,276	18,3	1,70	14,16	11,11
2.	42	378,2	0,64	48	0,826	19,3	2,07	14,08	21,80
3.	46	410	0,81	53	2,164	20,3	2,42	14,26	33,54

Grafik setelah melakukan pengujian :

- a. Putaran (Rpm)

Grafik putaran (Rpm) dapat di lihat pada gambar 3 sebagai berikut :



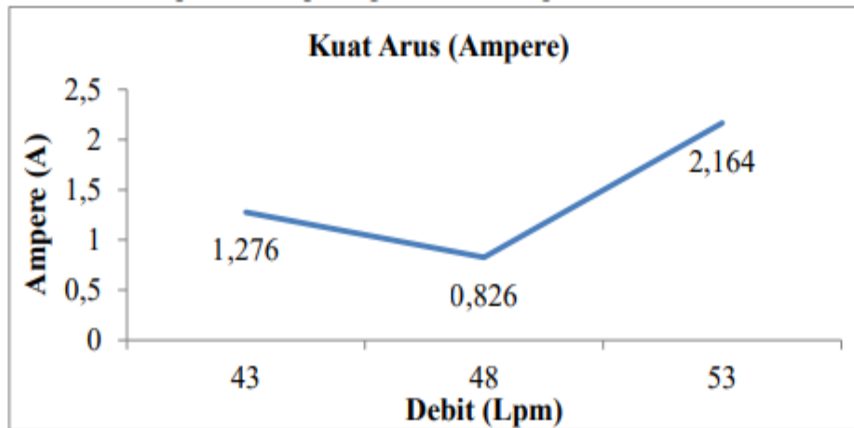
**Gambar 3 Grafik Putaran**

Berdasarkan grafik hubungan antara putaran dan Debit di atas dapat di lihat bahwa peningkatan debit air akan menyebabkan putaran semakin besar. Putaran

terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 410 Rpm, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan putaran sebesar 378,2 Rpm dan untuk putaran terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 349,7 Rpm.

b. Kuat Arus (Ampere)

Grafik kuat arus dapat dilihat pada gambar 4 sebagai berikut :

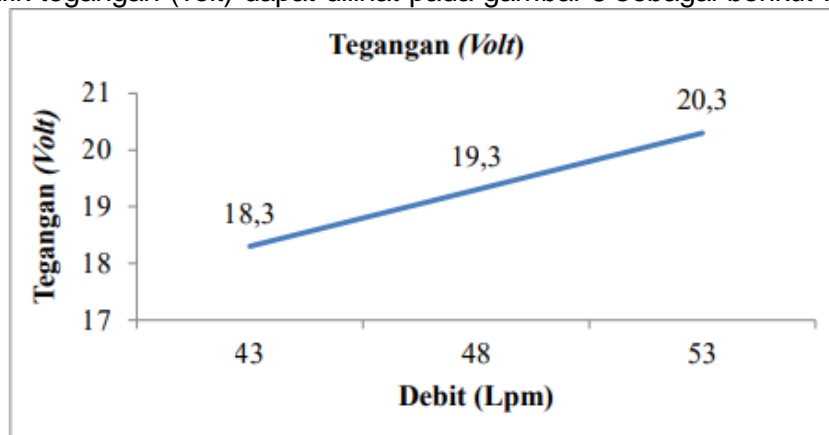


Gambar 4 Grafik Kuat Arus

Berdasarkan grafik hubungan antara Kuat Arus dan Debit di atas dapat di lihat. Kuat arus terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 2,164 A, sedangkan untuk kuat arus yang terkecil pada debit 48 Lpm yaitu sebesar 0,826 A dan pada kuat arus dengan debit 43 Lpm menghasilkan 1,276 A.

c. Tegangan (Volt)

Grafik tegangan (volt) dapat dilihat pada gambar 5 sebagai berikut :

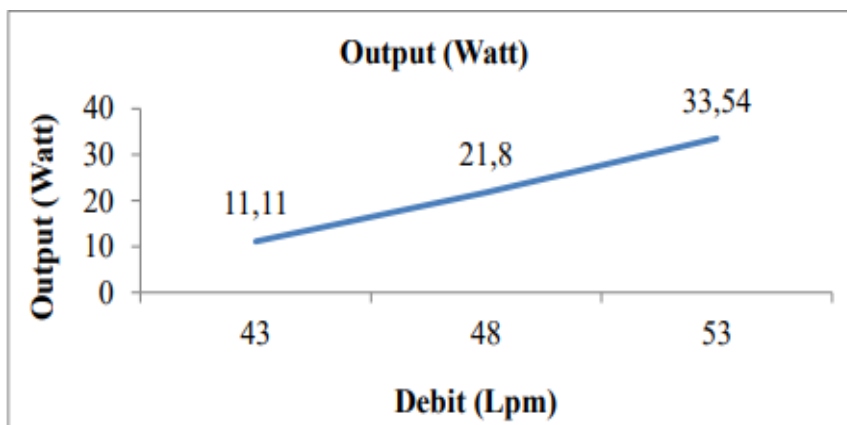


Gambar 5 Grafik Tegangan (Volt)

Berdasarkan grafik hubungan antara Tegangan dan Debit di atas dapat di lihat bahwa peningkatan debit air akan menyebabkan tegangan semakin besar. Tegangan terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 20,3 Volt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan tegangan sebesar 19,3 Volt dan untuk tegangan terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 18,3 Volt.

d. Daya Output (Watt)

Grafik daya output (Watt) dapat dilihat pada gambar 6 sebagai berikut :



**Gambar 6** Daya Output (Watt)

Berdasarkan grafik hubungan antara Daya Output dan debit di atas dapat dilihat bahwa peningkatan debit air akan menyebabkan Daya Output semakin besar. Daya Output terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 33,54 Watt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan Daya Output sebesar 21,8 Watt dan untuk Daya Output terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 11,11 Watt

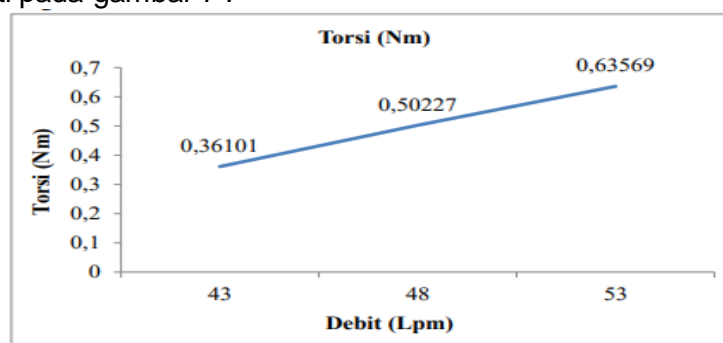
**Tabel 2** hasil perhitungan dan analisa data

No	Frekuensi (H)	Torsi (Nm)	Kecepatan keliling (rad/s)	Daya Turbin ( $P_t$ )	Head (m)	Daya Hidrolis (Watt)	Efisiensi Turbin (%)
1	38	0,36101	36,602	13,213	12,46	87,6	13
2	42	0,50227	39,585	19,882	12,01	94,254	23
3	48	0,63569	42,913	27,28	11,84	102,6	33

#### 4. PEMBAHASAN

##### a. Grafik Torsi

Setelah melakukan analisa data dan mendapatkan hasil torsi dibuat dalam grafik seperti pada gambar 7 :

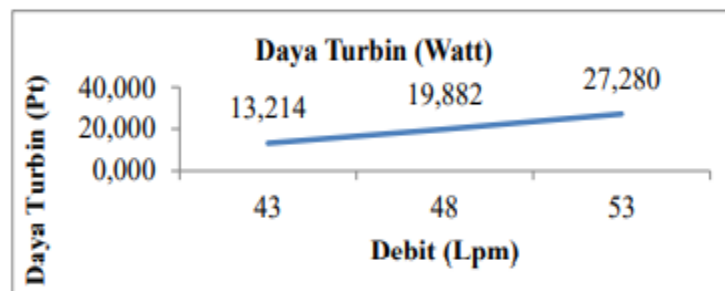


**Gambar 7** Grafik Torsi

Berdasarkan grafik hubungan antara Torsi dan debit di atas dapat dilihat bahwa. Torsi terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 0,63569 Nm, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan Torsi sebesar 0,50227 Nm dan untuk torsi terkecil pada debit 43 Lpm sebesar 0,36101 Nm.

##### b. Grafik Daya Turbin

Setelah melakukan analisa data dan mendapat hasil daya turbin dibuat dalam grafik seperti pada gambar 8 di bawah ini :

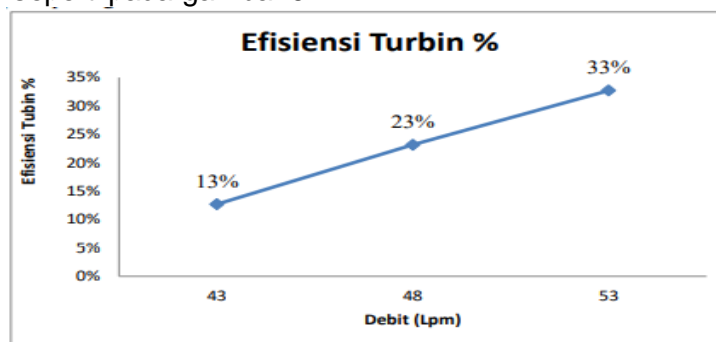


**Gambar 8 Grafik Daya Turbin**

Berdasarkan grafik hubungan antara daya turbin dan debit di atas dapat dilihat bahwa. Daya turbin terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 27,280 Watt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan daya turbin sebesar 19,882 Watt dan untuk daya turbin terkecil pada debit 43 Lpm sebesar 13,214 Watt.

c. Grafik Efisiensi Turbin

Setelah melakukan analisa data dan mendapat hasil efisiensi turbin dibuat dalam grafik seperti pada gambar 9



**Gambar 9 Grafik Efisiensi Turbin**

Berdasarkan grafik hubungan antara Efisiensi Turbin dan Debit di atas dapat dilihat bahwa peningkatan debit air akan menyebabkan efisiensi turbin semakin besar. Efisiensi turbin terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 33 %, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan efisiensi turbin sebesar 23 % dan untuk efisiensi turbin terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 13 %.

## 5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan analisa data. Maka, diperoleh kesimpulan:

1. Putaran terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 410 Rpm, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan putaran sebesar 378,2 Rpm dan untuk putaran terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 349,7 Rpm.
2. Kuat arus terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 2,164 A, sedangkan untuk kuat arus yang terkecil pada debit 48 Lpm yaitu sebesar 0,826 A dan pada kuat arus dengan debit 43 Lpm menghasilkan 1,276 A.
3. Tegangan terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 20,3 Volt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan tegangan sebesar 19,3 Volt dan untuk tegangan terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 1,7 Volt.
4. Daya Ouput terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 33,54 Watt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan Daya Ouput sebesar 21,8 Watt dan untuk Daya Ouput terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 11,11 Watt.

5. Torsi terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 0,63569 Nm, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan Torsi sebesar 0,50227 Nm dan untuk torsi terkecil pada debit 43 Lpm sebesar 0,36101 Nm.
6. Daya turbin terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 27,280 Watt, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan daya turbin sebesar 19,882 Watt dan untuk daya turbin terkecil pada debit 43 Lpm sebesar 13,214 Watt.
7. Efisiensi turbin terbesar terjadi pada debit 53 Lpm yaitu sebesar 33%, sedangkan pada debit 48 Lpm menghasilkan efisiensi turbin sebesar 23% dan untuk efisiensi turbin terkecil pada debit 43 Lpm yaitu sebesar 13%.

## REFERENSI

- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah Tangga Di Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 123-128.
- Damanik, W. S., Alfansury, M. S., & Umurani, K. (2015). Pengaruh Jarak Katoda dan Anoda Terhadap Tekanan Gas Hidrogen Dan Klorin Yang Dihasilkan Dalam Proses Elektrolisis Air Garam. *Universitas Muhammadiyah, Sumatera Utara*.
- Damanik, W. S., Napitupulu, F. H., Nasution, A. H., & Ambarita, H. (2020). Energy analysis of double slope aktive solar still. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 725, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
- Hadi, H. S., Abdurrahman, A., & Sampurno, B. (2019). Rancang Bangun Sistem Monitoring Cairan Pembersih Pada Robot Pembersih Kaca Berbasis Mikrokontroler ATmega 8535. *J-Eltrik*, 1(1), 7-14.
- Harahap, P., Adam, M., & Balisranislam, B. (2021). Implementasi Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Pengembangan Media Pembelajaran Instalasi Listrik. *ABDI SABHA (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 2(2), 198-205.
- Harahap, P., Adam, M., & Balisranislam, B. (2021). Implementasi Trainer Kit Pembangkit Listrik Tenaga Surya sebagai Pengembangan Media Pembelajaran Instalasi Listrik. *ABDI SABHA (Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat)*, 2(2), 198-205.
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. *RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 44-53.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 29-37.
- Lubis, F. (2015). Pengaruh Baffle Cut terhadap unjuk Kerja Termal dan Penurunan Tekanan pada Alat Penukar Kalor Shell and Tube Susunan Tabung Segiempat.
- Nasution, A. R., Rahmatullah, R., & Harahap, J. (2021). Pengaruh Variasi Putaran Spindel Terhadap Gaya Potong pada Proses Pemesinan. *VOCATECH: Vocational Education and Technology Journal*, 3(1), 95-103.
- Nasution, A. R., Fuadi, Z., Hasanuddin, I., & Kurniawan, R. (2020, March). Effect of vegetable oils as cutting fluid on wear of carbide cutting tool insert in a milling process. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 796, No. 1, p. 012001). IOP Publishing.

- Nasution, A. R., Affandi, A., & Fuadi, Z. (2020). Pengaruh Cairan Pendingin Terhadap Kekasaran Permukaan Benda Kerja Pada Proses Face Milling. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 16-22.
- Umurani, K., Nasution, A. R., & Irwansyah, D. (2021). Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Pada Saluran Segiempat Dengan Rusuk V 90 Derajat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 37-46.
- Umurani, K., Nasution, A. R., & Irwansyah, D. (2021). Perpindahan Panas Dan Penurunan Tekanan Pada Saluran Segiempat Dengan Rusuk V 90 Derajat. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 37-46.
- Rahmatullah, R., Umurani, K., & Siregar, M. A. (2021). Pengembangan Lintasan Pahat Pada Pengefraisan "Umsu" Menggunakan Cnc Tu-3a. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 8-15.
- Rahmatullah, R., & Ahmad, R. (2018). Analisa Pengujian Lelah Material Bronze Dengan Menggunakan Rotary Bending Fatigue Machine. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), 1-11.
- Rahmatullah, R., Umurani, K., & Siregar, M. A. (2021). Pengembangan Lintasan Pahat Pada Pengefraisan "Umsu" Menggunakan Cnc Tu-3a. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 8-15.
- Siregar, M. A. (2020). Pengaruh Variasi Sudut Keluar Impeler Terhadap Performance Pompa Sentrifugal. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(2), 166-174.
- Siregar, M. A., & Riawansyah, R. (2018). Simulasi Perpindahan Panas Pada Heater Injection Molding Menggunakan Software Solidworks. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 1(1), 39-46.
- Siregar, C. A., & Siregar, A. M. (2019). Studi Eksperimental Pengaruh Kemiringan Sudut Terhadap Alat Destilasi Air Laut Memanfaatkan Energi Matahari. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 165-170.
- Siregar, A. M., & Siregar, C. A. (2019). Rekayasa Saluran Gas Buang Sepeda Motor Guna Mengurangi Pencemaran Udara. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 171-179.
- Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Affandi, A. (2021). Pengenalan Sistem Kerja Dan Pemberian Mesin Pencacah Botol Plastik Untuk Menambah Penghasilan Panti Asuhan. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(2), 13-18.
- Suherman, S., Syakura, A., Nasution, A., Mizhar, S., Hermawan, O., & Handoko, A. (2018). Influence of Additional Sr and TiB on Aluminium Al-Si-Cu-Mg Alloys for Produced Prototype Cylinder Head Motorcycle. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering-*, 5(1), 79-83.
- Suherman, S., & Fahrizal, F. (2017). Pengaruh Penambahan Mn Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Paduan Al-10si Dengan Metode Lost Foam Casting. *Jurnal Ilmiah MOMENTUM*, 13(1).
- Suherman, S., & Syahputra, S. (2014). Pengaruh Penambahan Cu Dan Solution Treatment Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro Pada Aluminium Paduan A356. *Jurnal Dinamis*, 2(14).
- Suroso, B., & Prayogi, D. (2019). Pengaruh Kecepatan Putaran Spindle Dan Kedalaman Penggerindaan Terhadap Kekasaran Permukaan Material Baja St 37 Menggunakan Mesin Bubut Bergerinda. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 24-33.
- Suroso, B., & Rajali, R. (2019). Mechanical Properties Komposit Limbah Plastik. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 74-83.
- Tanjung, I., Affandi, A., Huzni, S., & Fonna, S. (2020). Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 57-64.
- Tanjung, I., Nasution, A. R., Fonna, S., & Huzni, S. (2020). INVESTIGASI LAJU KOROSI ATMOSFERIK BAJA KARBON RENDAH PROFIL SEGIEMPAT DI KAWASAN INDUSTRI MEDAN. *Jurnal Teknologika*, 10(1).

- Tanjung, I., Fonna, S., & Huzni, S. (2019, November). Study on the effect of mesh ratio to the potential distribution of RC cathodic protection using BEM. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 364, No. 1, p. 012022). IOP Publishing.
- Tanjung, I., Affandi, A., Huzni, S., & Fonna, S. (2020). Investigasi pengaruh jumlah elemen anoda terhadap distribusi potensial korosi pada beton bertulang menggunakan BEM 3D. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 57-64.
- Yani, M., & Suroso, B. (2019). Membandingkan Cetakan Terbuka Dengan Tertutup Pada Pembuatan Papan Skate Board Dari Limbah Sawit. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 150-157.
- Yani, M. Y. M., Suroso, B., & Muharnif, M. (2021). Pendampingan Pembuatan Papan Skate Board Dari Komposit Pada Panti Asuhan Muhammadiyah Cabang Medan Kota. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 31-39.
- Yani, M., & Lubis, F. (2018). Pembuatan Dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Komposit Diperkuat agregat Limbah Plastik Akibat Beban Lentutan. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).