

Analisis Variasi Ukuran Lubang Nozzle Terhadap Kecepatan Putar Turbin Uap Penggerak Mesin Penyaring Sari Tahu

¹**Miftahul Huda, ²Mohammad Muslimin Ilham**

^{1,2}Teknik Mesin, Universitas Nusantara PGRI Kediri

E-Mail: ¹mifhuda269@gmail.com, ²im.muslimin@unpkediri.ac.id

Penulis Koresponden: Miftahul Huda

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi ukuran *nozzle* terhadap kecepatan putar turbin uap yang digunakan sebagai penggerak mesin penyaring sari tahu. Metode penelitian meliputi perancangan turbin uap sederhana dengan variasi diameter *nozzle* (13 mm, 16 mm, dan 19 mm), pengujian kinerja turbin pada tekanan 8 bar dan suhu 170°C, serta analisis data secara kuantitatif berdasarkan kecepatan putar (RPM). Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk tiap ukuran *nozzle* guna memperoleh data yang lebih akurat. Hasil menunjukkan bahwa *nozzle* berdiameter 13 mm menghasilkan kecepatan putar rata-rata tertinggi yaitu 5710 RPM, dibandingkan dengan 5192 RPM untuk *nozzle* 19 mm dan 5178 RPM untuk *nozzle* 16 mm. Selain itu, kecepatan uap dan daya turbin dihitung menggunakan pendekatan termodinamika untuk mendukung hasil eksperimen. Berdasarkan hasil tersebut, *nozzle* berdiameter 13 mm dinilai paling optimal dalam menghasilkan kecepatan putar tinggi dan efisiensi sistem. Temuan ini mendukung pengembangan mesin penyaring tahu yang lebih hemat energi dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumber uap yang telah tersedia.

Kata Kunci— *Nozzle*, turbin uap, kecepatan putar, efisiensi energi, mesin penyaring tahu.

Abstract— This study aims to analyze the effect of nozzle hole size variations on the rotational speed of a steam turbine used to power a tofu slurry filtering machine. The research involved designing a simple steam turbine with nozzle diameter variations (13 mm, 16 mm, and 19 mm), testing its performance at 8 bar steam pressure and 170°C temperature, and quantitatively analyzing the data based on rotational speed (RPM). Each nozzle size was tested ten times to obtain more accurate data. The results showed that the 13 mm nozzle produced the highest average rotational speed of 5710 RPM, compared to 5192 RPM for the 19 mm nozzle and 5178 RPM for the 16 mm nozzle. Additionally, steam velocity and turbine power were calculated using thermodynamic approaches to support the experimental findings. Based on the results, the 13 mm nozzle was considered the most optimal in delivering high rotational speed and overall system efficiency. These findings support the development of more energy-efficient and environmentally friendly tofu filtering machines by utilizing existing steam sources.

Keywords— *Nozzle*, steam turbine, rotational speed, energy efficiency, tofu filtering machine.

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan subur dan iklim yang mendukung pertumbuhan tanaman pangan, termasuk kedelai. Kedelai menjadi salah satu kebutuhan pokok karena tingginya konsumsi masyarakat yang terus meningkat akibat pertumbuhan penduduk, pendapatan, dan kesadaran gizi. Namun, produksi dalam negeri belum mampu memenuhi kebutuhan tersebut, sehingga Indonesia harus mengimpor kedelai, terutama dari Jepang dan China, karena kedelai putih bukan tanaman tropis dan hasilnya di Indonesia lebih rendah. Kedelai dimanfaatkan terutama untuk pembuatan tahu[1]. Pembuatan tahu tergolong mudah dan menguntungkan. Prosesnya meliputi perendaman, pemasakan, dan penggilingan kedelai hingga menjadi bubur (slurry), lalu pemisahan ampas untuk memperoleh sari kedelai. Sari ini ditambahkan koagulan seperti

cuka, asam sitrat, atau gypsum untuk mengendapkan protein menjadi gumpalan tahu. Terakhir, tahu dicetak dan ditiriskan, biasanya menggunakan cetakan berbentuk persegi[2].

Tahu mengandung protein lengkap dengan 9 asam amino esensial, sehingga cocok sebagai pengganti daging bagi vegetarian. Dalam 100 gram tahu terkandung sekitar 17 gram protein, cukup untuk membantu memenuhi kebutuhan harian pria (55 gram) dan wanita (45 gram)[3]. Proses produksi tahu memerlukan energi besar, baik dari tenaga manusia, motor listrik, maupun panas. Industri kelas menengah biasanya mengolah 20–30 kg kedelai per proses. Dahulu pemasakan menggunakan tungku kayu yang kurang efisien karena panas tidak merata, namun kini telah beralih ke penggunaan uap dari ketel, yang lebih efisien dan memberikan pemanasan merata dengan suhu konsisten[4]. [5]Mesin penyaring bubur tahu menggunakan motor listrik yang ditransmisikan melalui pulley dan vanbelt. Namun, motor ini membutuhkan daya awal besar dan sering menyala-mati, sehingga boros listrik dan meningkatkan biaya. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba pengembangan mesin yang lebih efisien dengan memanfaatkan uap dari ketel yang juga digunakan untuk memasak kedelai dan untuk menggerakkan turbin uap kecil sebagai sumber tenaga penyaring.

Turbin adalah mesin yang mengubah energi panas dari uap menjadi energi mekanik, biasanya digunakan untuk menggerakkan generator. Turbin uap bekerja berdasarkan siklus Rankine, di mana uap bertekanan tinggi dari boiler diarahkan ke bilah turbin untuk menggerakkan poros. Komponen utama sistem ini meliputi boiler, pompa air, kondensor, rotor, casing, dan nozzle, yang semuanya berperan dalam mengoptimalkan kinerja turbin. Dibandingkan penggerak lain, turbin uap lebih efisien, fleksibel dalam skala penggunaan, memanfaatkan panas dengan baik, bebas loncatan bunga api, dan memungkinkan pemanfaatan ulang uap bekas. Salah satu jenis turbin uap bekerja dengan dorongan langsung dari nozzle[6]. Nozzle merupakan bagian dari komponen prorotype yang nantinya sebagai alat pemancar air berkecepatan tinggi yang diarahkan tepat pada sudu turbin untuk memutar poros turbin[7]

Turbin uap tekanan rendah dirancang dengan mempertimbangkan posisi, diameter, dan ukuran nozzle agar efisien dan mampu menghasilkan putaran serta torsi yang cukup untuk menggerakkan mesin penyaring bubur kedelai. Ukuran nozzle sangat memengaruhi kinerja turbin, karena berfungsi mengubah tekanan uap menjadi energi kinetik[8] Desain nozzle harus disesuaikan dengan tekanan, suhu, debit uap, dan kecepatan yang diinginkan. Nozzle terlalu kecil atau besar dapat menurunkan efisiensi, sehingga diperlukan perhitungan termodinamika dan mekanika fluida untuk mencapai aliran dan efisiensi optimal[9]. Dari hasil penelitian yang dilakukan menganalisis pengaruh variasi diameter nozzle (3 mm, 6 mm, dan 9 mm) terhadap kinerja turbin implus pada sistem PLTSa dengan tekanan uap 3 bar. Nozzle 3 mm menghasilkan putaran rata-rata 647 rpm (sebelum dikopel) dan 483 rpm (setelah dikopel). Nozzle 6 mm menghasilkan putaran tertinggi, yakni 1470 rpm sebelum dan 1241 rpm setelah dikopel, menunjukkan keseimbangan optimal antara tekanan dan volume uap. Nozzle 9 mm menghasilkan putaran lebih rendah karena tekanan uap yang mengenai sudu berkurang[10].

Penelitian lain juga menunjukkan bahwa semakin kecil diameter nozzle (1,5 mm, 2 mm, 2,5 mm), semakin tinggi jangkauan dan kecepatan aliran udara. Nozzle 1,5 mm menghasilkan jangkauan 4,8 m dan kecepatan 9,505 m/s, sedangkan nozzle 2,5 mm hanya 2,2 m dan 6,4 m/s. Diameter kecil meningkatkan tekanan dan kecepatan, namun terlalu kecil dapat menurunkan efisiensi daya tekan. Variasi diameter nozzle berpengaruh signifikan terhadap efisiensi turbin. Penelitian tersebut dilakukan[11] di PLTU Labuhan Angin

menunjukkan bahwa rata-rata turbine heat rate (THR) adalah 2,83 kJ/kWh, artinya turbin memerlukan 2,83 kJ energi panas untuk menghasilkan 1 kWh listrik. Efisiensi turbin rata-rata mencapai 35,3%, menunjukkan konversi energi panas ke energi listrik sebesar 35,3%. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa pada pabrik kelapa sawit kapasitas 50 ton/jam, rata-rata laju massa uap adalah 6,70 kg/s dengan efisiensi kerja turbin uap sebesar 32,69%. Efisiensi tertinggi tercapai 37,37% saat laju massa uap 6,38 kg/s, namun efisiensi menurun seiring meningkatnya laju massa uap, ditunjukkan oleh koefisien regresi negatif. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh variasi ukuran lubang nozzle (2 mm, 2,5 mm, dan 3 mm) terhadap kecepatan putar dan efisiensi turbin uap pada mesin penyaring sari tahu. Fokusnya adalah menentukan ukuran nozzle paling optimal serta mengkaji hubungan antara tekanan uap dan ukuran nozzle dalam meningkatkan kinerja sistem turbin[12].

Produksi tahu di Indonesia memerlukan energi besar, terutama untuk proses penyaringan bubur kedelai yang umumnya menggunakan motor listrik. Motor listrik ini memerlukan daya awal besar dan sering mengalami nyala-mati, yang menyebabkan pemborosan energi. Untuk mengatasi hal ini, dilakukan pengembangan sistem penggerak berbasis turbin uap tekanan rendah, yang memanfaatkan uap dari ketel yang juga digunakan dalam proses pemasakan kedelai. Efisiensi turbin uap sangat dipengaruhi oleh ukuran lubang nozzle, yang berperan penting dalam mengarahkan uap ke sudu turbin. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana variasi ukuran nozzle memengaruhi performa turbin. Dengan ini perumusan masalah yang sesuai digunakan untuk perancangan bangun turbin uap adalah bagaimana pengaruh variasi tekanan dan ukuran lubang nozzle 13mm, 16mm, 19mm terhadap kecepatan putar turbin uap pada mesin penyaring sari tahu ?

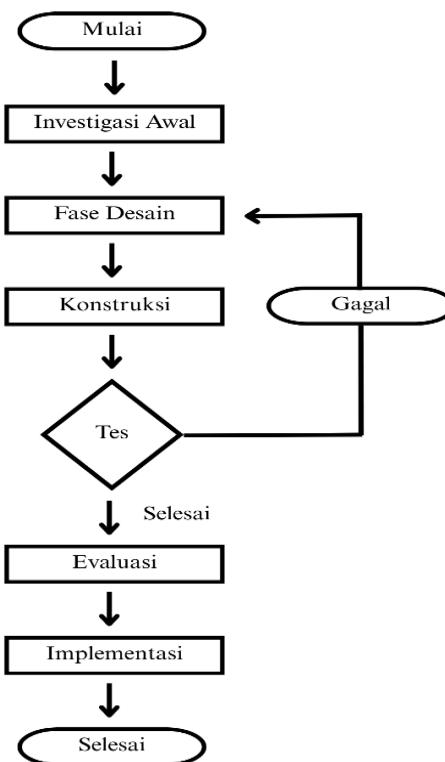
Penelitian ini bertujuan untuk menentukan ukuran lubang nozzle yang paling optimal, yakni pada diameter 13mm, 16mm, 19mm dalam kecepatan menghasilkan putaran turbin yang maksimal.

II. METODE

A. Pendekatan Perancangan

Pendekatan perancangan dalam penelitian ini dilakukan secara sistematis, dimulai dari identifikasi masalah tingginya konsumsi listrik pada mesin penyaring sari tahu. Penelitian ini difokuskan pada analisa pengaruh variasi ukuran lubang nozzle 13mm, 16mm, 19mm terhadap kecepatan putar dan daya output turbin. Proses perancangan meliputi pembuatan desain turbin dan nozzle, perhitungan teknis, serta pembuatan prototipe. Pengujian dilakukan untuk setiap variasi nozzle, lalu data dianalisis menggunakan perangkat lunak statistik (SPSS) guna menentukan ukuran yang paling optimal dan efisien untuk diterapkan pada mesin penyaring sari tahu.

B. Prosedur Perancangan



Gambar 1 *Flowchart* Prosedur Perancangan

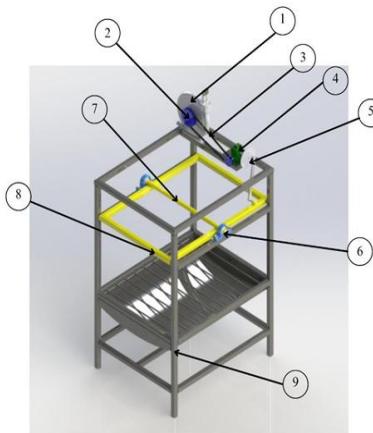
Penjelasan *Flowchart* Prosedur Perancangan :

1. Mulai : Proses perancangan diawali dengan inisiasi atau penetapan tujuan proyek yang akan dilakukan.
2. Investigasi Awal : Tahap ini berisi pengumpulan informasi awal, identifikasi masalah, kebutuhan pengguna, studi literatur, dan data teknis yang relevan sebagai dasar perancangan.
3. Fase Desain : Pada tahap ini dilakukan penyusunan konsep dan desain awal berdasarkan hasil investigasi, termasuk pembuatan sketsa, gambar teknik, dan perhitungan dasar.
4. Konstruksi : Desain yang telah dirancang kemudian diwujudkan dalam bentuk fisik, yaitu pembuatan prototipe atau model alat.
5. Tes (Pengujian) : Prototipe diuji untuk mengetahui apakah desain bekerja sesuai harapan. Parameter kinerja, efisiensi, dan keandalan alat diukur pada tahap ini.
6. Gagal : Jika alat tidak memenuhi kriteria atau tidak bekerja optimal, maka proses kembali ke fase desain untuk dilakukan perbaikan atau modifikasi.
7. Evaluasi : Jika hasil pengujian berhasil dan sesuai standar, maka dilakukan evaluasi terhadap performa, kelebihan, dan kekurangan sistem secara menyeluruh.
8. Implementasi : Setelah evaluasi dinyatakan memuaskan, rancangan siap diimplementasikan dalam skala nyata atau produksi secara lebih luas.
9. Selesai : Proses perancangan dianggap selesai setelah seluruh tahap berhasil dilalui dan produk siap digunakan.

C. Desain perancangan

Dalam proses perancangan ini, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan spesifikasi teknis berdasarkan kebutuhan operasional mesin penyaring sari tahu dan karakteristik tekanan uap dari ketel yang tersedia. Perancangan difokuskan pada pembuatan turbin uap sederhana yang mampu memanfaatkan

tekanan uap kerja antara 8 bar. Desain turbin harus mampu menghasilkan putaran dan torsi yang cukup untuk menggerakkan sistem penyaring secara efisien. Komponen utama yang dirancang meliputi turbin, nozzle, poros penggerak, serta sistem transmisi daya. Selain itu, variasi ukuran lubang nozzle 13mm, 16mm, 19mm juga dirancang untuk dianalisis pengaruhnya terhadap kecepatan putar turbin guna memperoleh performa optimal dari sistem keseluruhan.



Gambar 2 Desain Mesin Penyaring Bubur Sari Tahu

Keterangan :

1. Turbin Uap
2. Pulley
3. Sabuk-V
4. Gearbox reducer
5. Poros Eksentrik
6. Bearing
7. Poros
8. Rangka Penyaring
9. Rangka mesin



Gambar 3 Desain Nozzle Turbin Uap

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan awal difokuskan pada pengukuran rata-rata kecepatan putar turbin (RPM) berdasarkan variasi ukuran nozzle dan tekanan uap. Data ini digunakan untuk melihat kecenderungan performa turbin dan menjadi dasar analisis statistik. Data lokasi menunjukkan tekanan uap 8 bar (800 kpa), suhu keluaran 170,41°C (443,5 K), dan luas penampang pipa 1,5 inch. Nilai konstanta gas spesifik uap air sebesar

0,4615 $kJ/kg \cdot K$ digunakan dalam analisis termodinamika dan fluida untuk mengevaluasi performa sistem dari diameter *nozzle*. Hasil perhitungan ini menjadi acuan validasi efektivitas desain turbin sebelum diterapkan pada mesin penyaring sari tahu.

Untuk mengisi bagian hasil perhitungan pada penelitian tentang variasi ukuran *nozzle* terhadap kecepatan putar turbin uap, beberapa hal penting yang perlu dihitung dan dicari adalah:

1. Debit Aliran Massa Uap

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \cdot A \cdot V \\ &= 3.869 \times 0.000506 \times 563.91 \\ &\text{maka } \dot{m} = 1.103 \text{ kg/s} \end{aligned} \quad (1)$$

Hasil yang di dapatkan dari laju aliran massa yaitu $\dot{m} = 1.103 \text{ kg/s}$

2. Langkah selanjutnya Menentukan Daya Turbin Yang Akan Di Hasilkan Dengan Mencari Penurunan entalpi (Δh) yang sesuai daya turbin uap sebagai target perancangan turbin uap,dengan menghitung menggunakan persamaan

$$\begin{aligned} W_t &= Q \\ 208(W) &= M_{uap} \times (\Delta h) \\ \text{Sehingga,} \\ \Delta h &= \frac{0.208 \text{ kw}}{1.103 \text{ kg/s}} \\ &= 0,18 \text{ kj/kg} \end{aligned} \quad (2)$$

Daya turbin yang di ketahui dengan persamaan di atas ialah sebesar $0,18 \text{ kj/kg}$

Maka yang di dapatkan selisih *enthalpy* (Δh) adalah $0,18 \frac{\text{kj}}{\text{kg}}$

3. Kecepatan Uap Yang Keluar Dari *Nozzle* di hitung dengan menggunakan perhitungan uap jenuh dengan menggunakan persamaan dari tabel enthalpy dengan persamaan sebagai berikut

$$\begin{aligned} c_{1t} &= \sqrt[2]{60 \times \Delta h} \\ c_{1t} &= \sqrt[2]{60 \times 0,18} \\ &= 3,29 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (3)$$

Maka nilai dari hasil kecepatan uap bedasarkan perbedaan enthalpy adalah $3,29 \text{ m/s}$

4. Kecepatan Uap Keluar *Nozzle*

- a. *Nozzle* 13 mm

$$\begin{aligned} c_1 &= \varphi \cdot c_{1t} \\ c_1 &= 0,02456 \times 3,29 \\ &= 0,0808 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan *Nozzle* diameter 13 mm hasil kecepatan uap yang keluar adalah $0,0808 \text{ m/s}$

- b. *Nozzle* 16 mm

$$\begin{aligned} c_1 &= \varphi \cdot c_{1t} \\ c_1 &= 0,02368 \times 3,29 \\ &= 0,0779 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (5)$$

Dengan menggunakan *Nozzle* diameter 16 mm hasil kecepatan uap yang keluar adalah $0,0779 \text{ m/s}$

- c. *Nozzle* 19 mm

$$\begin{aligned} c_1 &= \varphi \cdot c_{1t} \\ c_1 &= 0,02463 \times 3,29 \\ &= 0,0810 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (6)$$

Dengan menggunakan *Nozzle* diameter 16 mm hasil kecepatan uap yang keluar adalah $0,0810 \text{ m/s}$

Tabel 1 Hasil Uji Diameter Nozzle 13mm

No	Ukuran Nozzle	Tekanan (Bar)	Temperatur (°C)	Waktu (s)	RPM	Keterangan
1	13 mm	8	170	30	8204	Berputar
2	13 mm	8	170	30	8000	Berputar
3	13 mm	8	170	30	5524	Berputar
4	13 mm	8	170	30	3922	Berputar
5	13 mm	8	170	30	3221	Berputar
6	13 mm	8	170	30	4800	Berputar
7	13 mm	8	170	30	6000	Berputar
8	13 mm	8	170	30	6100	Berputar
9	13 mm	8	170	30	5900	Berputar
10	13 mm	8	170	30	5400	Berputar
Rata-rata: 5710						

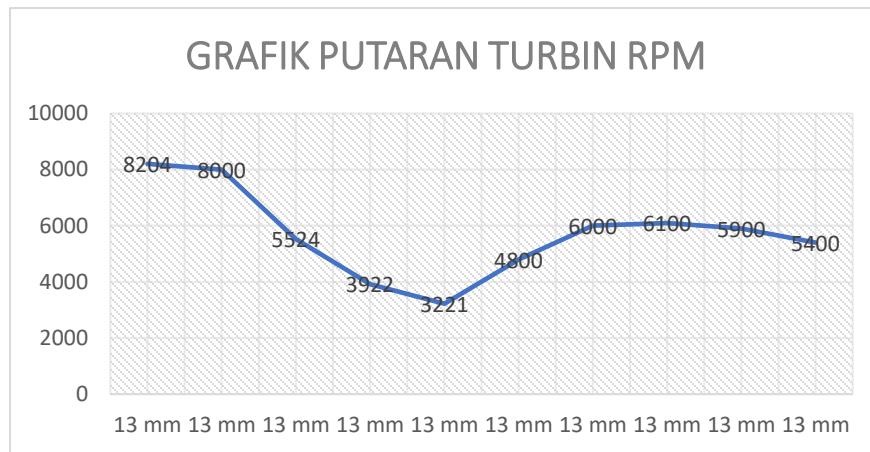
Tabel 2 Tabel Hasil Uji Diameter Nozzle 16mm

No	Ukuran Nozzle	Tekanan (Bar)	Temperatur (°C)	Waktu (s)	RPM	Keterangan
1	16 mm	8	170	30	5903	Berputar
2	16 mm	8	170	30	5706	Berputar
3	16 mm	8	170	30	5360	Berputar
4	16 mm	8	170	30	4700	Berputar
5	16 mm	8	170	30	4612	Berputar
6	16 mm	8	170	30	5000	Berputar
7	16 mm	8	170	30	5200	Berputar
8	16 mm	8	170	30	5100	Berputar
9	16 mm	8	170	30	5300	Berputar
10	16 mm	8	170	30	4900	Berputar
Rata-rata : 5178						

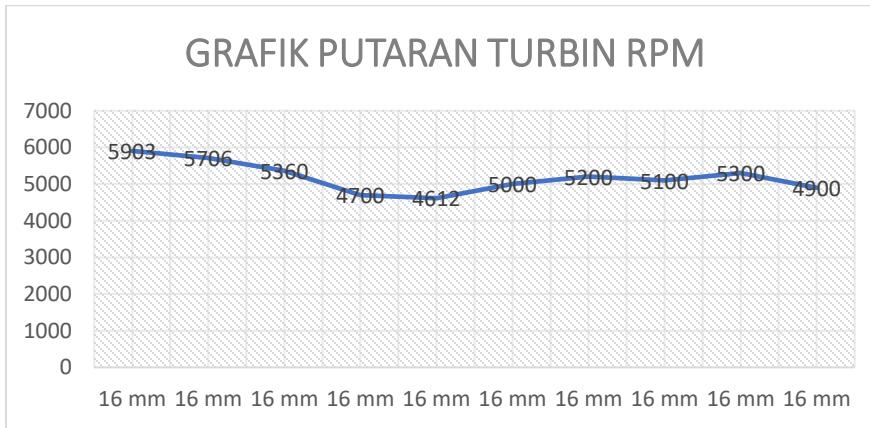
Tabel 3 Hasil Uji Diameter Nozzle 19mm

No	Ukuran Nozzle	Tekanan (Bar)	Temperatur (°C)	Waktu (s)	RPM	Keterangan
1	19 mm	8	170	30	7619	Berputar
2	19 mm	8	170	30	5369	Berputar
3	19 mm	8	170	30	4803	Berputar
4	19 mm	8	170	30	4343	Berputar
5	19 mm	8	170	30	4341	Berputar
6	19 mm	8	170	30	5000	Berputar
7	19 mm	8	170	30	5100	Berputar
8	19 mm	8	170	30	4800	Berputar
9	19 mm	8	170	30	4950	Berputar
10	19 mm	8	170	30	4600	Berputar

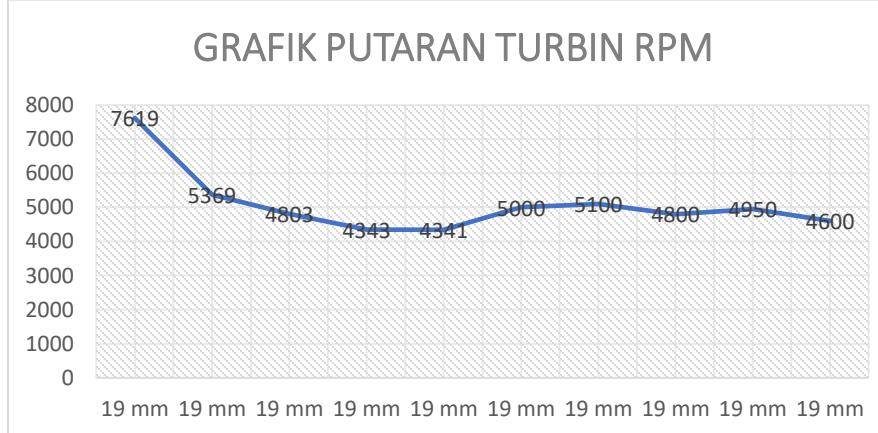
Rata-rata : 5192



Gambar 4 Grafik Hasil Pengujian Diameter Nozzle 13mm



Gambar 5 Grafik Hasil Pengujian Diameter Nozzle 16mm



Gambar 6 Grafik Hasil Pengujian Diameter Nozzle 19mm

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian variasi ukuran *nozzle* pada sistem turbin uap, dapat disimpulkan bahwa ukuran *nozzle* memiliki pengaruh signifikan terhadap kecepatan putar turbin. *Nozzle* dengan diameter 13 mm menghasilkan rata-rata kecepatan putar tertinggi sebesar 5710 RPM dibandingkan dengan 16 mm (5178 RPM) dan 19 mm (5192 RPM). Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil diameter *nozzle*, semakin tinggi kecepatan aliran uap yang dihasilkan, sehingga berdampak langsung pada peningkatan efisiensi putaran turbin. Perhitungan termodinamika seperti debit aliran massa dan daya turbin mendukung hasil eksperimen secara konsisten. Oleh karena itu, ukuran *nozzle* 13 mm dinilai sebagai pilihan paling optimal dalam pengoperasian mesin penyaring sari tahu berbasis turbin uap, karena mampu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi konsumsi listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. H. Bintari, "Penerapan Iptek Usaha Pembuatan Tahu Dan Tempe Di Bandungan Kabupaten Semarang," *Rekayasa*, vol. 12, no. 1, pp. 16–24, 2014.
- [2] D. Y. Yosifani, R. Satriani, and D. D. Putri, "Nilai Tambah Kedelai Menjadi Tahu Kuning Dan Faktor-Faktor Yang Memengaruhinya," *SEPA J. Sos. Ekon. Pertan. dan Agribisnis*, vol. 18, no. 1, p. 101, 2021, doi: 10.20961/sepa.v18i1.47688.
- [3] D. Iswadi, "Modifikasi Pembuatan Tahu Dengan Penggunaan Lama Perendaman, Lama Penggilingan dan Penggunaan Suhu dalam Upaya Meningkatkan Kualitas Produk Tahu," *J. Ilm. Tek. Kim.*, vol. 5, no. 1, p. 20, 2021, doi: 10.32493/jitk.v5i1.7008.
- [4] E. Hasman *et al.*, "RANCANG BANGUN MESIN PENYARING BUBUR TAHU DESIGN OF A TOFU SLURRY FILTER MACHINE Elvin," vol. 1, no. 2, pp. 43–53, 2024, doi: <https://doi.org/10.45035/Atech->.
- [5] D. Irawan, E. Nugroho, and E. Widiyanto, "Pengaruh jumlah nozzle terhadap kinerja turbin pelton sebagai pembangkit listrik di Desa Sumber Agung Kecamatan Suoh Kabupaten Lampung Barat," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 265–269, 2020, doi: 10.24127/trb.v9i2.1434.
- [6] I. P. Bayu Suka Yasa, I. W. Arta Wijaya, and I. G. N. Janardana, "Pengaruh Variasi Sudut Nozzle Terhadap Kecepatan Putar Turbin Dan Daya Output Pada Prototype Pltmh Menggunakan Turbin Turgo," *J. SPEKTRUM*, vol. 9, no. 2, pp. 112–119, 2022, doi: 10.24843/spektrum.2022.v09.i02.p13.
- [7] E. Koswara, E. Dewi Jannati, A. Rachmat, A. Fudholi, and A. Zauhari, "PENGARUH VARIASI SUDUT NOZZLE DAN JUMLAH SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN PELTON," *J-ENSITEC*, vol. 11, no. 01, pp. 10147–10151, Dec. 2024, doi: 10.31949/jensitec.v11i01.11912.
- [8] I. N. Daton Trisnadana, C. G. Indra Partha, and I. G. N. Janardana, "PENGARUH VARIASI DIAMETER UJUNG NOZZLE TERHADAP LAJU UAP UNTUK MENGERAKAN TURBIN PLTSa," *J. SPEKTRUM*, vol. 10, no. 4, pp. 34–41, 2023, doi: 10.24843/spektrum.2023.v10.i04.p5.
- [9] M. Hanry, S. Darmawan, and S. Y. Lubis, "Pengaruh Nozzle dan Pengaruh Variasi Nozzle Terhadap Mini Turbine," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 1, pp. 340–348, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i1.16805.
- [10] G. Sihombing, K. Lubis, U. Amir, and H. Reat, "Analisis Performansi Turbin Uap dengan Kapasitas 115 MW dan Putaran 3000 Rpm pada unit 1 PLTU Labuhan Angin Sibolga," *Elektrise J. Sains dan Teknol. Elektro*, vol. 14, no. 02, pp. 193–202, 2024, doi: <https://doi.org/10.47709/elektrise.v14i02.4803%0AAnalisis>.

- [11] I. Yanti, Z. Effendi, and I. U. P. Rangkuti, “Pengaruh Laju Massa Uap Terhadap Efisiensi Kerja Turbin Uap Pada Pabrik Kelapa Sawit Kapasitas 50 Ton/Jam,” *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 182–190, 2024, doi: 10.24127/trb.v13i1.3301.
- [12] Q. adar BakhshBaloch, “RANCANG BANGUN TURBIN UAP PADA MAKET PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA UAP,” vol. 11, no. 1, pp. 92–105, 2017.