

Analisis Pindah Panas Mesin Hot Press Extruder pada Proses Pembuatan Bio Briket dengan Pendekatan Numerik

Wahyu Kristian Sugandi¹, Muhammad Saukat², Asep Yusuf³, Muhammad Faza Lababan^{4*}

^{1,2,3,4}Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Industri Pertanian,
Universitas Padjadjaran

*Email: muhammad20026@mail.unpad.ac.id

Abstrak

Kebutuhan akan Energi Baru Terbarukan (EBT) seperti bio-briket semakin mendesak untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Bio-briket berbahan dasar biochar dari pirolisis daun-ranting dengan plastik Polyethylene Terephthalate (PET) sebagai perekat merupakan salah satu solusi energi alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perpindahan panas menggunakan pendekatan numerik dalam proses ekstrusi pembuatan bio-briket. Metode analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan dan menginterpretasi data hasil simulasi dan pengukuran aktual untuk memberikan pemahaman yang mendalam tentang distribusi panas. Dengan simulasi Python dan metode Finite Difference Method (FDM) berbasis koordinat polar, penelitian ini mengevaluasi distribusi suhu pada mesin hot press extruder dalam keadaan steady state. Hasil simulasi menunjukkan pola distribusi suhu yang konsisten, dengan suhu lebih tinggi terdeteksi di bagian tepi mesin pada 180°C supaya PET dapat melebur. Pengukuran daya rata-rata mencapai 3810,76 Watt atau sekitar 5,11 HP dengan torsi 519,85 Nm yang menghasilkan gaya sebesar 41588 N dan tekanan sebesar $4,23 \times 10^7$ Pascal untuk proses produksi bio-briket. Pengukuran suhu aktual menunjukkan rata-rata suhu berada pada angka 178 °C yang menandakan bahwa perbedaan suhu antara hasil simulasi dan actual tidak terlalu jauh. Penelitian ini membuktikan bahwa simulasi menggunakan Python efektif dalam memahami mekanisme perpindahan panas pada mesin dengan geometri kompleks seperti hot press extruder dan menegaskan bahwa metode numerik adalah metode yang ringkas dan efisien untuk menganalisis masalah matematika kompleks.

Kata kunci : Analisis numerik, Biobriket, Ekstrusi, Energi baru terbarukan, Pindah panas

Abstract

The need for renewable energy such as bio-briquettes is increasingly urgent to reduce dependence on fossil fuels. Bio-briquettes based on biochar from pyrolysis of leaves and branches with Polyethylene Terephthalate (PET) plastic as adhesive is one of the environmentally friendly alternative energy solutions. This study aims to analyze heat transfer using a numerical approach in the extrusion process of making bio-briquettes. Descriptive analysis methods are used to describe and interpret simulated and actual measurement data to provide an in-depth understanding of heat distribution. With Python simulation and polar coordinate-based Finite Difference Method (FDM), this study evaluates the temperature distribution on the hot press extruder machine in steady state. The simulation results show a consistent temperature distribution pattern, with a higher temperature detected at the edge of the machine at 180°C, sufficient to melt PET plastic. The average power measurement reached 3810.76 Watts or about 5.11 HP with a torque of 519.85 Nm which produced a force of 41588 N and a pressure of 4.23×10^7 Pa for the bio-briquette production process. Actual temperature measurements show the average temperature is at 178 °C which indicates that the temperature difference between simulation results and actual is not too far. This research proves that simulation using Python is effective in understanding the heat transfer mechanism in machines with complex geometry such as hot press extruder and confirms that numerical method is a concise and efficient method to analyze complex mathematical problems.

Keywords: Biobriquettes, Extrusion, Heat transfer, New renewable energy, Numerical analysis

PENDAHULUAN

Dalam dunia teknik dan industri, pindah panas merupakan aspek fundamental yang mempelajari perpindahan energi akibat perbedaan suhu dalam suatu material (Holman, 2010). Konsep ini tidak hanya membantu dalam memahami mekanisme perpindahan energi, tetapi juga dalam memprediksi laju perpindahan panas dalam kondisi tertentu. Hubungannya dengan termodinamika terlihat dalam upaya memprediksi energi yang dibutuhkan untuk mengubah sistem dari satu keadaan ke keadaan lainnya. Ilmu pindah panas melengkapi hukum termodinamika pertama dan kedua yang berfungsi sebagai acuan dalam menentukan laju transfer energi (Çengel, 2002). Seperti halnya termodinamika, prinsip-prinsip dasar dalam ilmu pindah panas cukup sederhana namun dapat diterapkan dalam berbagai situasi praktis, termasuk dalam eksperimen menggunakan mesin hot press extruder untuk produksi bio-briket yang merupakan salah satu bentuk implementasi energi baru terbarukan (EBT) (Alvarenga *et al.*, 2016).

Hot press extruder memainkan peran penting dalam sektor pertanian dan industri, terutama dalam produksi bio-briket. Mesin ini berkontribusi pada pengurangan limbah biomassa dan menghasilkan bio-briket yang ramah lingkungan. Proses ini memanfaatkan kontrol suhu yang akurat dan tekanan tinggi untuk menghasilkan bio-briket yang padat dan tahan lama, menawarkan alternatif yang lebih baik dibandingkan bahan bakar fosil (Wang & Li, 2018). Salah satu parameter penting yang menentukan efisiensi mesin dan kualitas produk adalah pindah panas, yang memerlukan analisis komprehensif dalam proses kerja mesin. Analisis pindah panas dapat dilakukan secara manual atau menggunakan metode numerik (Chapra & Canale, 2007).

Bio-briket sebagai salah satu sumber energi terbarukan berpotensi memenuhi kebutuhan energi global dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil yang semakin menipis. Produksi yang efisien dapat mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, seperti emisi gas rumah kaca dan pencemaran udara, dengan mengurangi konsumsi energi dan emisi gas berbahaya selama proses produksi. Oleh karena itu, penelitian ini penting untuk meningkatkan efisiensi produksi, memperluas penggunaan energi terbarukan, dan mendukung inovasi dalam bidang teknik dan ilmu pengetahuan (Smith & Brown, 2020). Oleh karena itu, analisis mendalam terhadap pindah panas pada mesin hot press extruder menjadi krusial dalam proses pembuatan bio-briket.

Metode numerik menjadi pilihan populer saat ini karena kemampuannya memecahkan permasalahan matematika yang kompleks, termasuk analisis pindah panas.

Metode ini bekerja dengan menyederhanakan persamaan rumit menjadi formulasi matematika sederhana. Pendekatan ini memungkinkan optimasi desain untuk mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan efisiensi produksi dalam lingkungan industri. Selain itu, metode numerik berkontribusi dalam pengembangan teknologi industri yang lebih efisien dan berkelanjutan (Cengel, 2002). Analisis numerik menawarkan solusi untuk memperoleh informasi yang andal mengenai mekanisme pindah panas dalam sistem. Metode ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi tren perpindahan panas pada mesin hot press ekstruder.

Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode numerik adalah pendekatan yang tepat untuk diterapkan dalam penelitian mengenai mesin hot press ekstruder dalam proses pembuatan bio-briket demi mencapai efisiensi maksimum dalam produksi biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis pindah panas yang efisien pada mesin hot press ekstruder untuk produksi bio-briket, menggunakan pendekatan numerik khusus untuk analisis pindah panas yang hasilnya akan dibandingkan dengan analisis simulasi. Metode numerik dipilih karena kemampuannya menyederhanakan rumus kompleks menjadi formulasi matematika yang lebih sederhana (Chapra & Canale, 2007).

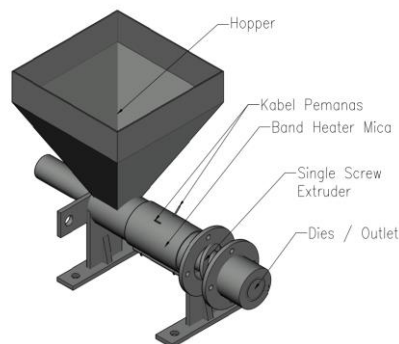
METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga Agustus 2024 di Bengkel Gedung 4 Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran. Metode yang digunakan adalah analisis deskriptif menggunakan *Finite Difference Method* (FDM) dalam koordinat polar. Penelitian dimulai dengan pengamatan spesifikasi teknis mesin hot press ekstruder dan komponennya untuk memahami kinerja mesin, terutama karakteristik perpindahan panas. Tujuan utamanya adalah memetakan distribusi panas pada mesin saat beroperasi dalam keadaan kosong atau *steady state*, yang berarti analisis dilakukan di luar proses ekstrusi.

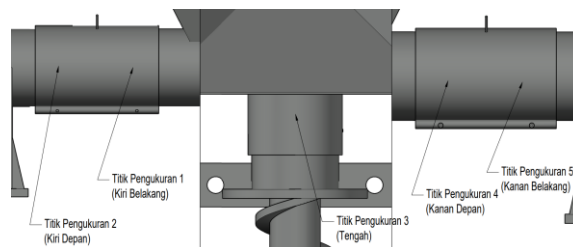
Mesin *hot press extruder* memiliki geometri silinder yang kompleks, sehingga penggunaan koordinat polar lebih tepat dibandingkan dengan koordinat kartesian. Koordinat polar memungkinkan representasi yang lebih akurat dan efisien dari geometri silinder, memfasilitasi pemodelan yang lebih baik. FDM dalam koordinat polar dipilih karena mesin ini melibatkan konduksi dan konveksi secara bersamaan yang memungkinkan pertimbangan aspek perpindahan panas yang relevan, termasuk efek konvektif yang mungkin terabaikan dalam pendekatan lain. Penggunaan FDM membuat perhitungan numerik lebih efisien, terutama dalam menangani mesh yang kompleks akibat geometri dan dimensi sistem.

Ada pun pengujian aktual menggunakan alat *thermogun* industri untuk pengujian temperatur aktual dan *clamp* meter untuk pengujian daya mesin. Alat *thermogun* ditembakkan pada beberapa titik sepanjang *band heater* untuk mendapatkan nilai suhu secara aktual. Pengujian daya dilakukan dengan alat *clamp* meter dipasang dengan menjepitkan tang buaya pada tembaga sambungan kabel listrik dari motor listrik. Pengujian dilakukan sebanyak 5 kali selama mesin berproses untuk mencapai suhu target 180 °C dan 5 kali ulangan, baik untuk uji temperatur aktual maupun uji daya mesin.

Metode ini diintegrasikan dengan analisis deskriptif untuk menggambarkan pola distribusi suhu yang dihasilkan. Analisis deskriptif digunakan untuk menginterpretasi data hasil simulasi dan pengukuran aktual, memberikan gambaran yang jelas tentang distribusi panas dan membantu mengidentifikasi area yang memerlukan optimasi lebih lanjut. Dengan demikian, pendekatan ini tidak hanya mengatasi kompleksitas geometri tetapi juga memberikan wawasan mendalam tentang mekanisme perpindahan panas pada mesin *hot press extruder*.



Gambar 1. Gambar teknik mesin *hot press extruder*



Gambar 2. Titik-titik pengukuran suhu aktual pada *band heater* dari tampak samping dan tampak atas

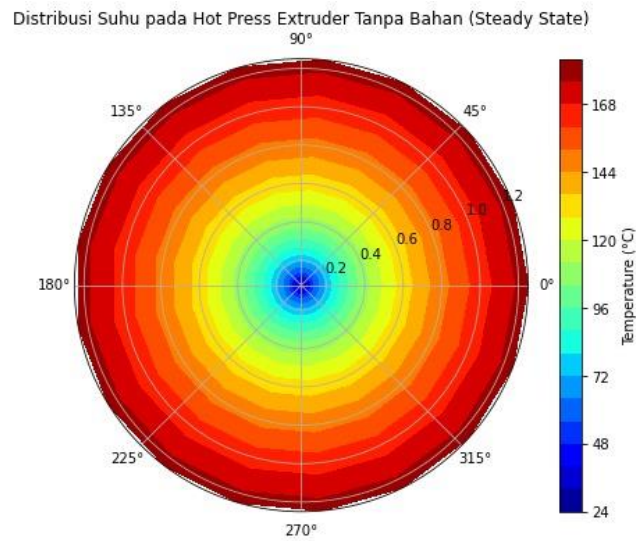
HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Program

Suhu awal yang digunakan yaitu suhu lingkungan 25 °C dengan suhu akhir 180 °C untuk peleburan plastik PET sebagai perekat biochar yang disetel pada kontrol panel. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suhu tersebut dari suhu lingkungan adalah selama 30 menit. Hasil simulasi pada program dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Hasil Simulasi Python

Jari-jari ke- (r)	Suhu (°C)
r2	56.025761
r3 (0,2 cm)	75.276019
r4	89.478766
r5	100.884621
r6 (0,4 cm)	110.518573
r7	118.933336
r8	126.460981
r9 (0,6 cm)	133.316687
r10	139.647923
r11	145.560229
r12 (0,8 cm)	151.131797
r13	156.422224
r14	161.478018
r15 (1 cm)	166.336218
r16	171.026835
r17	175.574564
r18 (1,2 cm)	180.000000



Gambar 3. Plot distribusi suhu pada program

Gambar 3 menerangkan bahwa suhu pada tepian luar lebih tinggi dibandingkan suhu pada bagian dalam. Hal tersebut dikarenakan tepian luar merupakan bagian yang paling dekat untuk berinteraksi dengan *band heater* yang berguna untuk memanaskan dinding silinder pada mesin. Suhu paling panas pada tepian luar menunjukkan angka 180 °C dan suhu menurun secara bertahap seiring dengan penurunan jari-jari radial, sehingga titik terdingin berada pada bagian tengah *screw* dengan suhu 56,02 °C. Hal tersebut menandakan bahwa *band heater* yang digunakan dapat menghantarkan panas secara konduksi dan konveksi dari luar hingga ke dalam mesin dan suhu material dapat mencapai kesetimbangan setelah waktu pemanasan tertentu.

Uji Temperatur Aktual

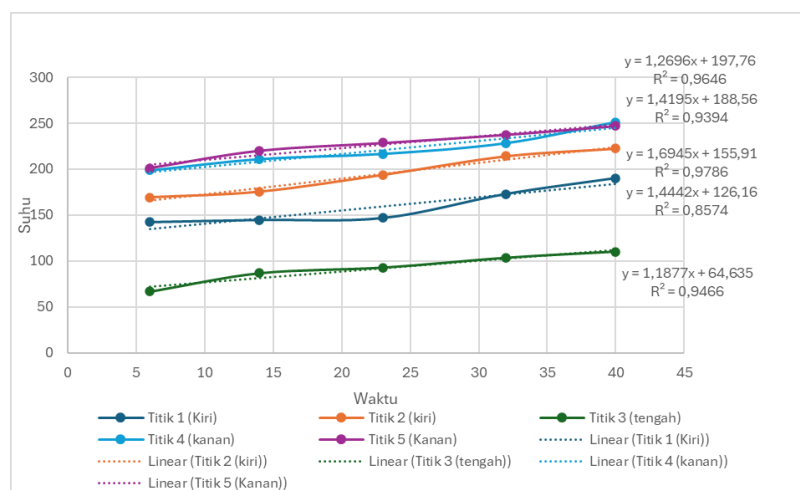
Uji suhu aktual ditujukan untuk mengetahui bagaimana perbedaan hasil analisis secara nyata jika dibandingkan dengan menggunakan simulasi pada program. Pengujian dilakukan menggunakan *thermogun industry* yang dapat mengukur panas hingga suhu 400°C. Pengukuran dilakukan dengan menembakkan *thermogun* pada lima titik, yaitu kiri depan dan kiri belakang, bagian atas, serta kanan depan dan kanan belakang. Interval waktu yang digunakan adalah suhu diukur setiap 6 menit hingga suhu pada mesin mencapai 180°C pada control panel berdasarkan termokopel yang menempel dengan *barrel* pada *band heater*.

Tabel 2. Data Waktu Percobaan

Percobaan ke-	Jam	Menit
Mulai	13.45	0
1	13.51	6
2	13.59	14
3	14.08	23
4	14.17	32
5	14.25	40

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Temperatur Aktual

Data ke-	Menit	Hasil Percobaan Suhu (°C)				
		1	2	3	4	5
1	6	142,3	169,08	67	198,7	201,2
2	14	144,66	175,3	86,74	211	220,14
3	23	146,78	193,68	92,76	216,68	228,62
4	32	173	214,06	103,36	228,4	237,68
5	40	190,16	222,32	109,9	251,28	247,18
Rata-rata		159,38	194,888	91,952	221,212	226,964
Rata-rata Keseluruhan						178,68



Gambar 4. Hasil pengujian temperatur aktual

Tabel 2 menunjukkan bahwa waktu yang digunakan untuk penelitian yaitu 40 menit dan tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian suhu mesin secara aktual. Gambar 4 menunjukkan bahwa berdasarkan pengujian aktual, seluruh titik pengujian mengalami peningkatan suhu secara konsisten seiring berjalannya waktu. Waktu pengujian bertambah selama 10 menit dikarenakan adanya ketidakstabilan kondisi lingkungan selama pengujian, sehingga menyebabkan fungsi *band heater* dan termokopel sedikit terganggu. Seluruh titik

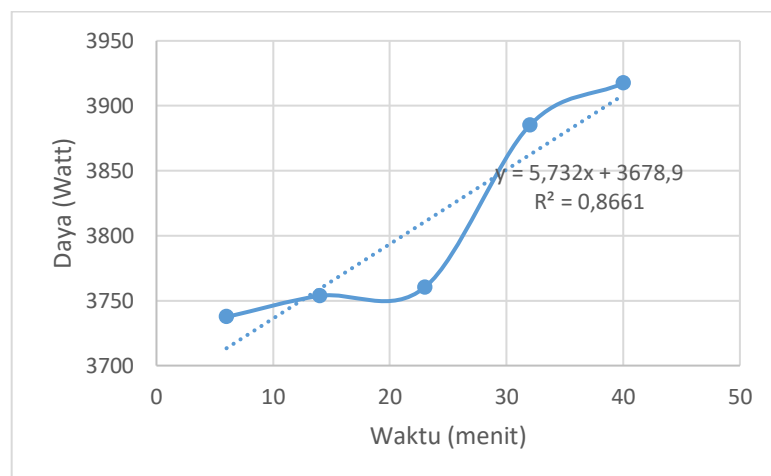
memiliki nilai korelasi pada grafik regresi yang mendekati satu. Hal tersebut menandakan bahwa adanya hubungan yang baik antara variable suhu dan waktu, sehingga bisa dikatakan bahwa hasil yang didapatkan ini termasuk baik.

Uji Daya Mesin

Pengujian daya mesin menggunakan *clamp meter* ditujukan untuk mengetahui daya yang dikeluarkan oleh mesin melalui motor listrik sebagai sumber penggerak agar dapat menggerakkan mesin. Tujuan utamanya yaitu untuk mengetahui daya yang dikeluarkan oleh sumber penggerak sekaligus elemen pemanas berupa *band heater* untuk menjalankan mesin *hot press extruder*. Waktu pengujian dan interval waktu yang digunakan sama dengan waktu pengujian suhu aktual karena kedua pengujian ini dijalankan secara bersamaan dalam satu waktu yang sama.

Tabel 4. Data Hasil Pengujian Daya Mesin

Menit	Hasil Percobaan (Watt)					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
6	3744,18	3723,3	3767,07	3725,27	3727,24	3737,412
14	3752,1	3773,04	3752,1	3735,12	3756,06	3753,684
23	3748,14	3769,06	3767,07	3769,06	3748,14	3760,294
32	3870,32	3893,54	3895,57	3874,36	3891,51	3885,06
40	3910,68	3912,72	3916,8	3914,76	3931,9	3917,372
Rata-rata Keseluruhan						3810,764



Gambar 5. Hasil pengujian daya

Hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan daya seiring waktu berjalan. Sebagai informasi, motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan mesin *hot press*

extruder memiliki spesifikasi berupa daya sebesar 2 HP pada 1400 rpm yang disalurkan pada sistem transmisi sabuk-puli dengan *reduction gear* 1/20, sehingga putaran mesin saat beroperasi yaitu 70 rpm. Nilai daya yang dihasilkan menurut bacaan *clamp meter* lebih besar ketimbang spesifikasi yang dimiliki oleh motor Listrik sebagai sumber penggerak. Hal tersebut dapat terjadi karena adanya tambahan *band heater* sebagai elemen pemanas pada mesin *hot press extruder* untuk memanaskan dinding silinder dan *screw* ekstrusi.

Analisis Perhitungan Torsi, Gaya, dan Tekanan

Berdasarkan nilai daya (P) yang sudah diketahui pada *clamp meter* pada tabel 4, didapatkan rata-rata nilai daya sebesar 3810,76 Watt. Torsi yang dihasilkan oleh mesin *hot press extruder* dapat dihitung menggunakan persamaan 1:

$$T = \frac{60P}{2\pi n} \dots (1)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

P = Daya (Watt)

n = Putaran mesin (RPM)

Torsi yang dihasilkan oleh mesin *hot press extruder* yaitu sebesar 519,85 Nm. Nilai torsi yang dihasilkan oleh mesin ini tergolong cukup besar untuk menggerakkan *screw* ekstrusi, sehingga putaran mesin selalu terjaga. Berdasarkan nilai torsi yang sudah didapat, maka perhitungan untuk gaya (F) dapat dilakukan dengan persamaan 2:

$$F = \frac{T}{r} \dots (2)$$

Dimana:

F = Gaya (N)

T = Torsi (Nm)

r = Jari-jari (m)

Dengan menggunakan persamaan 2 dan jari-jari *screw* sebesar 1,25 cm, maka nilai gaya yang didapatkan yaitu sebesar 41588 N. Nilai tersebut cukup untuk menghasilkan biobriket yang berkualitas dengan kepadatan yang baik karena semakin tinggi gaya pengepresan, semakin padat ikatan antar partikel dalam briket, sehingga meningkatkan kekuatan dan kualitas produk akhir (Altikat & Alma,

2022). Berdasarkan nilai gaya tersebut, maka perhitungan tekanan yang dihasilkan pada mesin dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$P = \frac{F}{A} \dots (3)$$

Dimana:

P = Tekanan (Pa)

F = Gaya (N)

A = Luas permukaan (m²)

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan 3, didapatkan nilai tekanan yang dihasilkan oleh mesin yaitu sebesar 4,23 x 10⁷ Pa atau 42,3 MPa. Nilai tersebut jauh lebih tinggi daripada nilai yang umumnya digunakan untuk pencetakan briket yang berkisar antara 9,81 hingga 14,72 MPa. Dengan tekanan yang sangat tinggi, terdapat potensi untuk meningkatkan kualitas dan kepadatan bio-briket, namun dengan catatan dapat menimbulkan risiko terhadap kualitas produk dan efisiensi proses (Kurniawan, 2017). Oleh karena itu, penting untuk mengatur tekanan dalam rentang yang optimal untuk memastikan kualitas biobriket yang dihasilkan tetap tinggi dan proses produksi berjalan lancar. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk menentukan tekanan ideal yang dapat memaksimalkan keuntungan dari penggunaan tekanan tinggi tanpa mengorbankan kualitas produk akhir.

KESIMPULAN DAN SARAN

Distribusi suhu pada mesin *hot press extruder* ketika dijalankan dalam keadaan kosong tanpa bahan atau *steady state* menunjukkan pola yang konsisten dengan hasil simulasi, di mana suhu lebih tinggi tercatat di bagian tepi dan lebih rendah di bagian tengah. Pengukuran aktual dengan alat *thermogun* industri menunjukkan suhu rata-rata pada lima titik adalah sekitar 178,68 °C, mendukung temuan ini dengan suhu tertinggi di titik bagian kanan depan dan belakang. Hasil simulasi pada *software* Python menunjukkan distribusi suhu dengan nilai maksimum sekitar 180 °C di tepian dinding mesin dan nilai minimum sekitar 56 °C pada bagian tengah sekrup ekstrusi. Nilai suhu antara hasil pengukuran aktual dengan simulasi memiliki nilai yang tidak jauh berbeda. Daya rata-rata yang digunakan selama operasi adalah sekitar 3810,76 watt dengan torsi 519,85 Nm yang menandakan adanya efisiensi energi yang baik dalam proses pemanasan. Dengan nilai tekanan 42,3

MPa, maka terdapat potensi untuk meningkatkan kualitas dan kepadatan bio-briket, namun dengan catatan dapat menimbulkan risiko terhadap kualitas produk dan efisiensi proses. Untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produk, disarankan untuk melakukan kalibrasi lebih lanjut pada sistem kontrol suhu agar distribusi panas lebih merata. Selain itu, pengoptimalan desain mesin dapat dipertimbangkan untuk mengurangi konsumsi energi dan meningkatkan daya tahan bio-briket yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Altikat, A., & Alma, M. H. (2022). Prediction carbonization yields and the sensitivity analyses using deep learning neural networks and support vector machines. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 20, 5071-5080. doi:<https://doi.org/10.1007/s13762-022-04525-x>
- Alvarenga, T. d., Sartori, S., Campos, L. d., & Rodriguez, C. M. (2016). Briquette production and its contribution for the energy sustainability: A case study in Brazil. 37(13), 18.
- Cengel, Y. A. (2002). *Heat Transfer: A Practical Approach* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2014). *Thermodynamics: An Engineering Approach*. McGraw-Hill Education.
- Chapra, S. C., & Canale, R. P. (2007). *NUMERICAL METHODS FOR ENGINEERS, SEVENTH EDITION*. Michigan: University of Michigan.
- Holman, J. P. (2010). *Heat Transfer - Tenth Edition*. New York: Departement of Mechanical Engineering, Southern Methodist University.
- Kurniawan, A. (2017). Pengaruh variasi tekanan pengepresan terhadap karakteristik briket arang tempurung kelapa.
- Smith, J., & Brown, A. (2020). Numerical Analysis of Heat Transfer in Hot Press Extruders for Polymer Processing. *Journal of Polymer Engineering*, 123-138.
- Wang, Q., & Li, H. (2018). Optimization of Energy Consumption in Plastic Extrusion Using Numerical Heat Transfer Analysis. *International Journal of Energy Efficiency*, 6(3), 213-230.