

Analisis Kinerja Energi Mesin High Pressure Die Casting Berbasis Specific Energy Consumption di PT XYZ

Dika Nur Kholish¹, Arnisa Stefanie²

^{1,2}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang

^{1,2}Jalan HS Ronggo Waluyo, Puseurjaya, Telukjambe Timur, Karawang, Jawa Barat 41361, Indonesia

¹dika.nur.kholish26@gmail.com

²arnisa.stefanie@staff.unsika.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

diajukan : 23-11-2025
revisi : 01-12-2025
diterima : 25-12-2025
dipublish : 31-12-2025

ABSTRAK

Industri manufaktur otomotif memiliki intensitas konsumsi energi listrik yang tinggi, khususnya pada proses pengecoran aluminium menggunakan mesin High Pressure Die Casting (HPDC). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja energi mesin Cold Chamber Aluminium High Pressure Casting (AHPC) 800T menggunakan indikator Specific Energy Consumption (SEC) berdasarkan data pengukuran lapangan aktual. Analisis dilakukan pada satu unit mesin AHPC 800T yang beroperasi pada shift pagi, dengan parameter kelistrikan meliputi daya, energi listrik, arus, dan tegangan. Hasil pengukuran menunjukkan total konsumsi energi listrik sebesar 141,25 kWh dengan output produksi 645 unit, sehingga diperoleh nilai SEC rata-rata sebesar 0,219 kWh/unit. Mesin beroperasi pada kisaran daya 20–25 kW saat produksi stabil dan masih mengonsumsi daya 1,4–2,2 kW pada kondisi idle. Analisis berbasis interval waktu menunjukkan bahwa nilai SEC cenderung meningkat pada fase start-up dan transisi proses, sedangkan pada kondisi produksi stabil nilai SEC relatif konsisten. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode SEC efektif digunakan sebagai indikator kinerja energi mesin HPDC dan dapat dijadikan baseline untuk identifikasi peluang peningkatan efisiensi energi.

Kata kunci : efisiensi energi, high pressure die casting, industri manufaktur, konsumsi energi listrik, specific energy consumption.

PENDAHULUAN

Sektor industri manufaktur merupakan salah satu pengguna energi listrik terbesar, terutama pada industri otomotif yang mengoperasikan mesin berkapasitas besar dan sistem produksi berbasis motor listrik serta sistem hidrolik. Menurut laporan International Energy Agency, peningkatan efisiensi energi pada sektor industri menjadi strategi penting dalam menekan biaya operasional sekaligus mendukung keberlanjutan energi jangka panjang (IEA, 2022). Oleh karena itu, pemantauan dan evaluasi kinerja energi pada peralatan produksi utama menjadi kebutuhan yang semakin relevan.

Pada industri otomotif, proses pengecoran aluminium menggunakan mesin High Pressure Die Casting (HPDC) dikenal sebagai proses yang bersifat intensif energi. Mesin HPDC, khususnya tipe cold chamber dengan kapasitas besar, memerlukan energi listrik yang signifikan selama fase start-up, produksi stabil, transisi proses, hingga kondisi idle. Konsumsi energi yang terjadi pada kondisi non-produktif, seperti idle dan beban parsial, berpotensi meningkatkan intensitas energi serta menurunkan efisiensi proses secara keseluruhan (Brevick et al., 2004). Namun, dalam praktik industri, konsumsi energi sering kali masih dipantau secara kumulatif melalui pencatatan kWh tanpa dikaitkan secara langsung dengan output produksi.

Pendekatan pemantauan energi berbasis total konsumsi belum mampu menggambarkan kinerja energi mesin secara spesifik. Oleh karena itu, diperlukan indikator kinerja energi yang dapat

menghubungkan konsumsi energi dengan jumlah produk yang dihasilkan. Salah satu indikator yang banyak digunakan dalam audit energi industri adalah Specific Energy Consumption (SEC), yaitu rasio antara energi yang dikonsumsi dan output produksi dalam periode tertentu (Thollander et al., 2019). Nilai SEC yang lebih rendah menunjukkan penggunaan energi yang lebih efisien, sedangkan nilai SEC yang tinggi mengindikasikan adanya potensi pemborosan energi atau ketidakefisienan operasi.

Penelitian ini membahas evaluasi kinerja energi mesin Cold Chamber Aluminium High Pressure Casting (AHPC) 800T menggunakan metode Specific Energy Consumption (SEC) berdasarkan data pengukuran lapangan aktual. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan nilai SEC sebagai indikator kinerja energi mesin, menganalisis karakteristik konsumsi daya pada berbagai kondisi operasi, serta mengidentifikasi peluang peningkatan efisiensi energi tanpa mengganggu stabilitas proses produksi. Ruang lingkup penelitian dibatasi pada konsumsi energi listrik mesin AHPC 800T sebagai end-use equipment utama, dengan parameter yang dianalisis meliputi daya, energi listrik, arus, dan tegangan selama satu periode operasi shift. Penelitian ini menggunakan pendekatan teori manajemen energi industri dan prinsip Energy Performance Indicator (EnPI) sebagaimana direkomendasikan dalam standar ISO 50006, dengan asumsi bahwa nilai SEC dapat merepresentasikan kinerja energi aktual mesin secara kuantitatif dan objektif.

TEORI

Konsumsi Energi Listrik pada Industri

Konsumsi energi listrik pada industri manufaktur didefinisikan sebagai total energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan mesin produksi dan sistem pendukungnya dalam periode waktu tertentu. Pada industri berbasis mesin, energi listrik umumnya digunakan untuk menggerakkan motor listrik, sistem hidrolik, sistem kontrol, dan peralatan bantu lainnya. Besarnya konsumsi energi sangat dipengaruhi oleh karakteristik proses produksi, kapasitas mesin, waktu operasi, serta pola beban selama siklus kerja (IEA, 2011). Secara umum, konsumsi energi listrik dapat dihitung dari hasil perkalian antara daya listrik dan waktu operasi mesin.

$$E = P \times t \quad (1)$$

di mana E merupakan energi listrik yang dikonsumsi (kWh), P adalah daya listrik rata-rata mesin (kW), dan t adalah waktu operasi mesin (jam)

Aluminium High Pressure Die Casting

Proses Aluminium High Pressure Die Casting (HPDC) merupakan metode pengecoran logam aluminium dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam cetakan baja menggunakan tekanan dan kecepatan tinggi. Proses ini banyak digunakan pada industri otomotif karena mampu menghasilkan komponen dengan presisi dimensi tinggi, kualitas permukaan baik, serta produktivitas tinggi (Campbell, 2015). Mesin HPDC tipe cold chamber digunakan untuk material aluminium karena titik leburnya relatif tinggi, sehingga proses peleburan dilakukan pada furnace terpisah.

Mesin ini bekerja secara siklik yang mencakup proses clamping, injeksi, penahanan tekanan, pendinginan, pembukaan cetakan, dan ejskisi produk, di mana setiap tahapan berkontribusi terhadap konsumsi energi listrik mesin (NADCA, 2017).

Mesin High Pressure Die Casting (HPDC)

Mesin HPDC berkapasitas besar dikenal sebagai peralatan dengan intensitas energi tinggi, terutama karena penggunaan sistem hidrolik yang digerakkan oleh motor listrik berdaya besar. Selama kondisi produksi stabil, konsumsi energi mesin relatif konstan, sedangkan pada fase start-up, transisi, dan idle, energi tetap dikonsumsi meskipun output produksi belum optimal atau tidak ada sama sekali. Kondisi ini menyebabkan munculnya energi non-produktif yang berpengaruh terhadap efisiensi energi secara keseluruhan (Brevick et al., 2004).

Specific Energy Consumption

Specific Energy Consumption (SEC) merupakan salah satu indikator kinerja energi yang digunakan untuk menyatakan besarnya energi yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit produk. SEC didefinisikan sebagai rasio antara total konsumsi energi dan jumlah output produksi dalam periode tertentu (Thollander et al., 2019). Indikator ini banyak digunakan dalam audit energi industri karena bersifat sederhana, kuantitatif, dan mampu merepresentasikan kinerja energi aktual mesin. Nilai SEC yang rendah menunjukkan proses produksi yang lebih efisien, sedangkan nilai SEC yang tinggi mengindikasikan adanya ketidakefisienan

operasi atau tingginya konsumsi energi non-produktif.

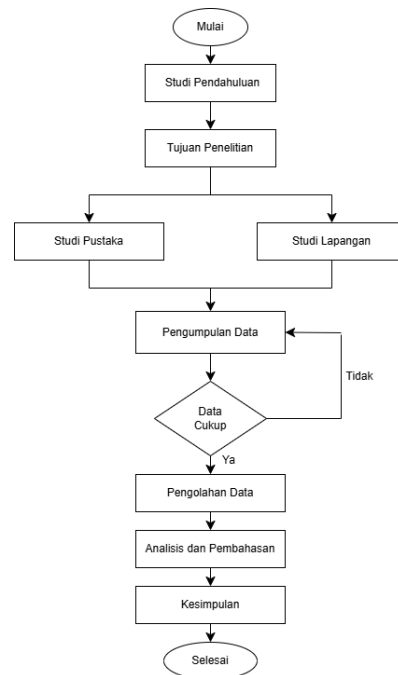
$$SEC = \frac{E}{Q} \quad (2)$$

di mana *SEC* adalah *Specific Energy Consumption*, *E* merupakan total energi yang dikonsumsi (kWh), dan *Q* adalah jumlah output produksi (unit, kg, atau ton).

Sistem Manajemen Energi

Dalam sistem manajemen energi, SEC termasuk dalam kategori Energy Performance Indicator (EnPI). Standar ISO 50006 merekomendasikan penggunaan EnPI berbasis rasio, seperti SEC, untuk memantau dan mengevaluasi kinerja energi peralatan dan proses industri secara berkelanjutan, selama batasan sistem dan metode pengukuran didefinisikan secara konsisten (ISO, 2017). Oleh karena itu, penggunaan SEC pada penelitian ini didasarkan pada teori manajemen energi industri yang menekankan keterkaitan langsung antara konsumsi energi dan output produksi sebagai dasar evaluasi efisiensi energi mesin HPDC.

METODOLOGI



Gambar 1. Alur Penelitian Analisis Kinerja Mesin HPDC dengan Metode SEC

Dihat dari Gambar 1 di atas, berikut merupakan penjelasannya.

Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan untuk memahami karakteristik proses High Pressure Die Casting serta pola konsumsi energi listrik mesin. Pada studi pendahuluan dilakukan identifikasi pada Departemen Produksi bagian *High Pressure Casting*

Tujuan Penelitian

Pada tahap ini ditetapkan tujuan penelitian, yaitu mengevaluasi kinerja energi mesin menggunakan indikator Specific Energy Consumption (SEC)

Pengumpulan data

Pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini terbagi tiga, yaitu:

Wawancara, metode wawancara dilakukan kepada beberapa anggota Departemen Produksi bagian *High Pressure Casting* yang tujuannya untuk memperoleh keterangan dan data sesuai tujuan penelitian. Observasi, metode observasi dilakukan pengamatan secara langsung ke lapangan yang bertujuan untuk mengetahui proses sistem bekerja. Dokumentasi, metode dokumentasi dilakukan dengan melakukan pencatatan, dan menyalin data perusahaan yang dibutuhkan sesuai tujuan penelitian.

Pengolahan Data

Dalam pengolahan data melalui beberapa tahap meliputi, pemeriksaan data, klasifikasi, verifikasi, analisis, dan kesimpulan.

Analisis dan Pembahasan

Pada tahap ini dilakukan analisis dan pembahasan secara lebih mendalam mengenai hasil pengumpulan data.

Kesimpulan

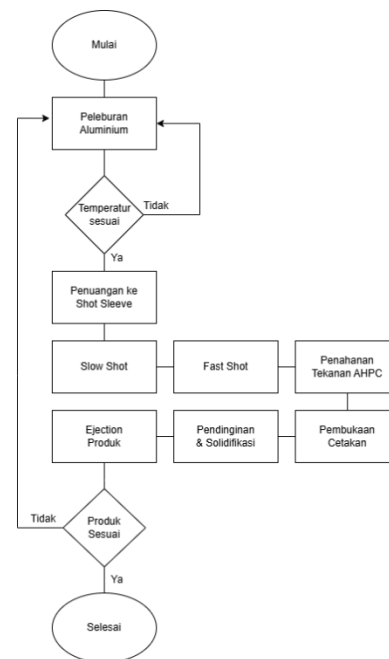
Tahap ini adalah tahap akhir dari penelitian yang berupa penarikan kesimpulan. Penarikan kesimpulan berkaitan dengan hasil analisis dan pembahasan terhadap tujuan penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Operasi Mesin AHPC 800T

Mesin yang dianalisis dalam penelitian ini adalah mesin Aluminum High Pressure Casting (AHPC) 800T tipe cold chamber, yang digunakan pada proses produksi komponen aluminium untuk industri otomotif. Mesin ini bekerja dengan sistem injeksi bertekanan tinggi untuk

menghasilkan produk dengan kepadatan dan presisi dimensi yang baik. Pemilihan mesin AHPC 800T sebagai objek penelitian didasarkan pada karakteristik konsumsi energinya yang relatif besar, terutama pada sistem hidrolik dan motor penggerak, sehingga relevan untuk dilakukan evaluasi kinerja energi.



Gambar 2. Flow proses mesin AHPC 800T pada PT XYZ

Secara operasional, mesin AHPC 800T memiliki beberapa fase kerja utama yang mempengaruhi profil konsumsi energi, yaitu fase start-up, fase produksi stabil, fase beban puncak, serta kondisi idle atau idle parsial. Pada fase produksi stabil, mesin beroperasi secara siklik dengan beban dominan pada sistem hidrolik untuk proses injeksi dan clamping. Sementara itu, pada kondisi idle, sebagian besar sistem pendukung seperti pompa hidrolik, sistem pendingin, dan kontrol masih tetap aktif meskipun tidak menghasilkan output produksi.

Profil Konsumsi Energi Listrik Mesin AHPC 800T

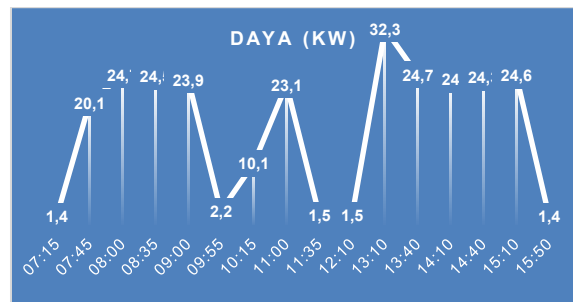
Profil konsumsi energi listrik mesin AHPC 800T dianalisis berdasarkan hasil pengukuran arus, tegangan, daya, dan energi listrik selama satu shift operasi. Pengukuran dilakukan pada kondisi operasi aktual yang mencakup fase start-up, produksi stabil, beban puncak, serta kondisi idle dan idle parsial. Parameter-parameter ini digunakan untuk menggambarkan karakteristik konsumsi energi mesin secara menyeluruh.

Tabel 1. Data Observasi pada Mesin AHPC 800T PT XYZ

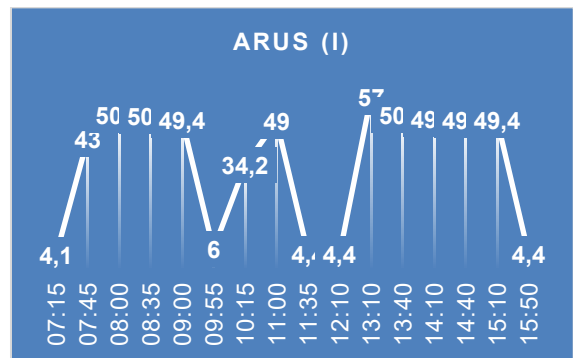
Jam	Arus (A)	Tegangan (V)	kW	kWh
07:15	4.1	405.1	1.4	45656
07:45	43	405.8	20.1	45661
08:00	50.9	401.8	24.7	45667
08:35	50.8	403	24.5	45681
09:00	49.4	401.4	23.9	45691
09:55	6	406.4	2.2	45703
10:15	34.2	402.5	10.1	45705
11:00	49	404.7	23.1	45717
11:35	4.4	412.5	1.5	45725
12:10	4.4	412.8	1.5	45726
13:10	57	404.5	32.3	45742
13:40	50.9	402.7	24.7	45757
14:10	49.8	401.8	24	45769
14:40	49.3	403.2	24.3	45781
15:10	49.4	404.3	24.6	45793
15:50	4.4	404.8	1.4	45797

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa selama fase produksi stabil, konsumsi daya mesin berada pada kisaran 23–25 kW, yang merupakan beban dominan akibat kerja sistem hidrolik dan motor

penggerak selama proses injeksi dan clamping. Pada beberapa interval tertentu, terutama saat beban puncak, daya maksimum tercatat mencapai sekitar 32,3 kW, yang masih berada dalam batas kemampuan operasional mesin. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan daya pada fase beban tinggi berkaitan langsung dengan kebutuhan proses dan bukan merupakan indikasi kegagalan sistem.



Gambar 3. Grafik Konsumsi Daya pada Mesin AHPC 800T PT XYZ

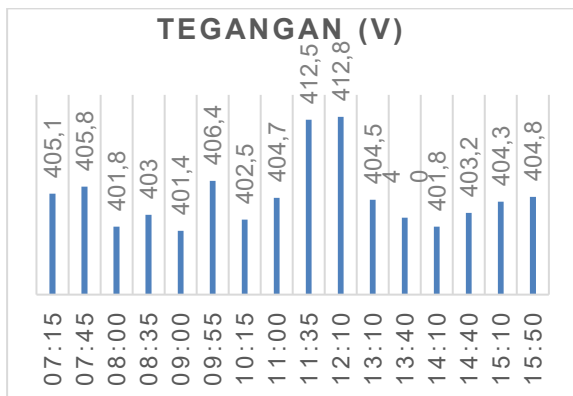


Gambar 4. Grafik Konsumsi Arus pada Mesin AHPC 800T PT XYZ

Sebaliknya, pada kondisi idle dan idle parsial, konsumsi daya mesin turun secara signifikan hingga berada pada kisaran 1,4–2,2 kW. Meskipun nilai ini relatif kecil dibandingkan daya saat produksi, energi listrik tetap dikonsumsi tanpa menghasilkan output. Kondisi ini mengindikasikan adanya konsumsi energi non-produktif yang berpotensi mempengaruhi nilai konsumsi energi

spesifik apabila durasi idle tidak dikendalikan dengan baik.

Dari sisi kualitas daya, hasil pengukuran menunjukkan bahwa tegangan suplai listrik berada pada kisaran 401–413 V selama periode pengamatan. Fluktuasi tegangan tersebut masih berada dalam batas toleransi sistem tenaga listrik industri, sehingga tidak memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan arus maupun konsumsi daya mesin. Hal ini mengindikasikan bahwa variasi konsumsi energi yang terjadi lebih dipengaruhi oleh karakteristik beban operasional mesin dibandingkan oleh kualitas suplai listrik.



Gambar 5. Grafik Tegangan pada Mesin AHPC PT XYZ

Analisis Specific Energy Consumption (SEC)

Analisis kinerja energi mesin AHPC 800T dilakukan menggunakan indikator Specific Energy Consumption (SEC), yang menyatakan besarnya energi listrik yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu unit produk. SEC dihitung sebagai rasio antara total konsumsi energi listrik (kWh) dan total output produksi (unit) pada periode operasi yang sama. Penggunaan SEC sebagai

indikator kinerja energi telah direkomendasikan secara luas dalam evaluasi energi proses manufaktur karena mampu merepresentasikan hubungan langsung antara konsumsi energi dan output produksi.

Tabel 2. Data Produksi Shift pagi PT XYZ

DATA PRODUKSI	SHIFT	OUTPUT RATA-RATA	TOTAL
Part 1	Pagi	384	645
Part 2	Pagi	261	

Berdasarkan hasil pengukuran, konsumsi energi listrik mesin AHPC 800T selama satu shift pagi tercatat sebesar 141,25 kWh, yang diperoleh dari selisih pembacaan kWh meter awal dan akhir shift, termasuk estimasi konsumsi energi pada periode idle menjelang akhir shift. Pada periode yang sama, total output produksi yang dihasilkan adalah 645 unit, yang merupakan gabungan dari dua jenis produk yang diproduksi pada shift tersebut. Dengan demikian, nilai SEC rata-rata mesin AHPC 800T dihitung sebesar 0,219 kWh/unit.

Nilai SEC sebesar 0,219 kWh/unit menunjukkan bahwa konsumsi energi listrik mesin meningkat secara proporsional terhadap output produksi selama periode operasi. Hal ini mengindikasikan bahwa secara umum mesin beroperasi dalam kondisi yang relatif efisien, terutama pada fase produksi stabil. Konsumsi energi yang lebih tinggi pada fase produksi diimbangi oleh peningkatan jumlah output, sehingga tidak menyebabkan lonjakan signifikan pada nilai SEC.

Analisis Specific Energy Consumption (SEC) Berdasarkan Interval Operasi

Tabel 3. Analisa SEC Berdasarkan Interval

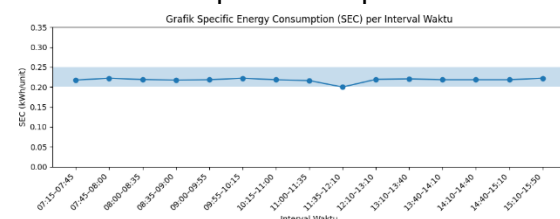
Interval	ΔkWh	Output ideal	SEC (kWh/unit)	Kategori Operasi
07:15–07:45	5.00	23	0.217	Start-up
07:45–08:00	6.00	27	0.222	Beban naik
08:00–08:35	14.00	64	0.219	Produksi stabil
08:35–09:00	10.00	46	0.217	Produksi
09:00–09:55	12.00	55	0.218	Produksi panjang
09:55–10:15	2.00	9	0.222	Break / idle parsial
10:15–11:00	12.00	55	0.218	Produksi
11:00–11:35	8.00	37	0.216	Produksi
11:35–12:10	1.00	5	0.200	Idle parsial
12:10–13:10	16.00	73	0.219	Produksi berat
13:10–13:40	15.00	68	0.221	Beban puncak
13:40–14:10	12.00	55	0.218	Produksi
14:10–14:40	12.00	55	0.218	Produksi
14:40–15:10	12.00	55	0.218	Produksi
15:10–15:50	4.00	18	0.222	Menjelang akhir
15:50–16:00	0.25	0	–	Idle murni

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai SEC bervariasi antar interval operasi, terutama pada fase start-up, idle parsial, dan transisi proses. Pada interval yang dikategorikan sebagai produksi stabil, nilai

SEC cenderung berada pada kisaran 0,216–0,219 kWh/unit, dengan pola yang relatif konsisten. Konsistensi ini menunjukkan bahwa pada kondisi steady-state, konsumsi energi listrik mesin bersifat proporsional terhadap output produksi.

Sebaliknya, pada interval yang berkaitan dengan fase start-up dan idle parsial, nilai SEC menunjukkan kecenderungan meningkat meskipun masih berada dalam rentang yang dapat diterima. Peningkatan ini disebabkan oleh konsumsi energi listrik yang tetap terjadi pada sistem hidrolik dan pendukung, sementara output produksi belum mencapai kondisi optimal. Fenomena ini mencerminkan adanya energi non-produktif yang berkontribusi terhadap fluktuasi nilai SEC.

Pada beberapa interval tertentu, terutama yang berkaitan dengan kondisi beban berat dan beban puncak, konsumsi daya mesin meningkat hingga mencapai nilai maksimum sekitar 32,3 kW. Namun demikian, peningkatan daya tersebut diimbangi oleh peningkatan output produksi yang sebanding, sehingga nilai SEC tetap berada dalam zona efisiensi. Hal ini menunjukkan bahwa operasi mesin pada beban tinggi tidak secara otomatis menyebabkan ketidakefisienan energi selama kondisi proses tetap stabil.



Gambar 6. Grafik SEC Berdasarkan Interval Waktu

Analisis interval juga menunjukkan bahwa kondisi idle murni tidak menghasilkan nilai SEC karena tidak terdapat output produksi. Meskipun demikian, energi listrik

tetap dikonsumsi selama periode tersebut, yang secara tidak langsung berkontribusi terhadap peningkatan nilai SEC rata-rata per shift. Oleh karena itu, pengendalian durasi idle dan idle parsial menjadi faktor penting dalam upaya peningkatan efisiensi energi mesin AHPC 800T

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa studi sebelumnya yang melaporkan bahwa mesin HPDC cold chamber berkapasitas besar umumnya beroperasi pada daya 20–25 kW selama kondisi produksi stabil. Penggunaan SEC sebagai indikator kinerja energi juga telah direkomendasikan dalam standar ISO 50006 untuk evaluasi energi proses manufaktur. Dengan demikian, nilai SEC yang diperoleh dalam penelitian ini dapat diposisikan sebagai baseline kinerja energi mesin AHPC 800T pada kondisi operasi aktual.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja energi mesin Aluminum High Pressure Casting (AHPC) 800T melalui analisis konsumsi energi listrik dan perhitungan Specific Energy Consumption (SEC) berdasarkan data pengukuran aktual di lingkungan industri otomotif. Berdasarkan hasil pengukuran selama satu shift operasi, konsumsi energi listrik mesin tercatat sebesar 141,25 kWh dengan total output produksi 645 unit, sehingga diperoleh nilai SEC rata-rata sebesar 0,219 kWh/unit.

Hasil analisis menunjukkan bahwa selama kondisi produksi stabil, konsumsi daya mesin berada pada kisaran 23–25 kW, sementara pada kondisi beban puncak daya maksimum mencapai sekitar 32,3 kW. Nilai daya tersebut masih berada dalam karakteristik normal operasi mesin AHPC

dan menunjukkan bahwa peningkatan konsumsi energi pada fase beban tinggi diimbangi oleh peningkatan output produksi. Sebaliknya, pada kondisi idle dan idle parsial, mesin tetap mengonsumsi daya pada kisaran 1,4–2,2 kW, yang berkontribusi terhadap konsumsi energi non-produktif.

Analisis SEC berbasis interval waktu menunjukkan bahwa nilai SEC relatif stabil pada kisaran 0,216–0,219 kWh/unit selama fase produksi stabil, sedangkan variasi nilai SEC cenderung meningkat pada fase start-up, idle parsial, dan transisi proses. Hal ini mengindikasikan bahwa fluktuasi kinerja energi mesin lebih dipengaruhi oleh karakteristik fase operasi dibandingkan oleh kualitas suplai listrik, yang selama periode pengamatan berada dalam batas toleransi sistem industri.

DAFTAR PUSTAKA

- Brevick, J. R., Noel, J. F., & Olson, D. L. (2004). *Energy efficiency opportunities in the metal casting industry*. U.S. Department of Energy.
- Campbell, J. (2015). *Complete casting handbook: Metal casting processes, metallurgy, techniques and design* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Ferdyn, M., & Piątkowski, J. (2020). Influence of vacuum on adjusting parameters of high pressure die casting parts from alloy AISi9Cu3(Fe). In *Proceedings of the 29th International Conference on Metallurgy and Materials* (pp. 914–918).
- He, Z., Li, L., Sun, Z., & Wang, J. (2018). Energy modeling and efficiency analysis of aluminum high pressure die casting processes. *Journal of Cleaner Production*, 172, 329–338. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.180>

-
- International Energy Agency. (2011). *Energy efficiency in motor-driven systems*. IEA.
- International Energy Agency. (2022). *Energy efficiency 2022*. IEA.
- International Organization for Standardization. (2017). *ISO 50006: Energy management systems—Measuring energy performance using energy baselines and energy performance indicators*. ISO.
- North American Die Casting Association. (2017). *Die casting process engineering*. NADCA.
- Thollander, P., Backlund, M., Palm, J., & Rohdin, P. (2019). Specific energy consumption/use (SEC) as an energy performance indicator for improving energy efficiency in industry. *Energies*, 12(2), 1–22.
<https://doi.org/10.3390/en12020247>
- U.S. Department of Energy. (2004). *Energy efficiency opportunities in the metal casting industry*. U.S. DOE.