

Kajian Penghematan Komsumsi Energi Dengan Menggunakan Energy Value Stream Mapping (EVSM) di Industri Otomotif

Riyadi Juhana^{1)*}, Muhammad Ramdhani²⁾

¹Universitas Kebangsaan Republik Indonesia, Jl. Pelajar Pejuang 45 No. 08, Bandung 40263, Indonesia

²Politeknik Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil Bandung, Jl. Jakarta No. 31 Bandung 40272, Indonesia

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

PT-ED

energy value stream mapping

finite state machine,

Eva,

Cva,

Cnva.

Electrical waste problems often occur in the automotive industry, particularly in the vehicle painting process within the Paint Shop, which consists of Deck Cleaning Pre, Pre-Treatment & Electro Deposition (PT-ED), Dry Sanding I & UBS, Surface, Dry Sanding II, Top Coat Booth, and Paint Finishing. Estimated electrical waste occurs in PT-ED section and the oven. PT-ED comprises 9 processing tanks that often experience idle time while waiting for vehicle bodies to be processed. This situation occurs because when body 1 and body 2 are processed in PT-ED, body 1 should be in tank 4 while body 2 in tank 1. However, in implementation, body 1 is already in tank 6 while body 2 remains in tank 1, causing tanks 2 through 5 to become idle. The objective of this research is to utilize Energy Value Stream Mapping and Finite State Machine models. The results indicate that workstations in the Paint Shop still experience waste in electrical consumption. This is evidenced by the following ratios: $Tva = 0.345$, $Tnva = 0.616$, $Tnva/n = 0.038$, $Elva = 0.342$, $Elnva = 0.125$, $Elnva/n = 0.533$, $Eva = 0.377$, $Enva = 0.317$, $Enva/n = 0.317$, $Cva = 0.77$, $Cnva = 0.306$, $Cnva/n = 0.317$.

Pendahuluan

Pemborosan energi listrik yang sering terjadi di industri otomotif ada pada proses di *Paint Shop*, prosesnya terdiri dari *Pre Cleaning Deck, Pre-Treatment & Electro Deposition, Dry Sanding I & UBS, Surfacer, Dry Sanding II, Top Coat Booth*, serta *Paint Finishing*. Pemborosan energi listrik diestimasi seringkali

terjadi di *pre-treatment-electro deposition (PT-ED)*, dan *oven*. PT-ED yang terdiri dari 9 (sembilan) tangki proses, sering saling menunggu (idle) *body* untuk diproses.

Keadaan tersebut terjadi dikarenakan antara *body 1* dan *body 2* yang diproses PT-ED seharusnya *body 1* di tangki 4 dan *body 2* di

*Corresponding author: rjoehana@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24127/armatur.v7i2.11826>

Received 5 June 2026; Received in revised form 18 June 2026; Accepted 20 June 2026

Available online 1 September 2026

tangki 1. Tetapi pada implementasinya *body* 1 di tangki 6 dan *body* 2 di tangki 1, dampaknya tangki 2 sampai tangki 5 terjadi *idle*. Akibatnya energi listrik yang dipakai di mesin dan utilitas di tangki tersebut terbuang, akibatnya terjadi pemborosan.

Permasalahan pemanfaatan, dan penghematan penggunaan energi listrik merupakan fenomena yang kerap terjadi di industri manufaktur yang sering tidak disadari.

Fenomena pemborosan energi listrik juga terjadi pada industri otomotif yang proses produksinya sangat bergantung pada penggunaan energi listrik. Dalam penelitian ini, Paint Shop dipilih sebagai objek kajian karena seluruh tahapan proses produksinya menggunakan energi listrik sebagai sumber energi utama. Pemborosan energi listrik sering terjadi pada penggunaan mesin dan utilitas yang mendukung proses *pre-treatment*, *electro deposition*, dan *oven* dalam kegiatan pengecatan. Kondisi tersebut umumnya disebabkan oleh adanya waktu tunggu (*idle time*) pada peralatan dan fasilitas produksi, sehingga daya listrik tetap digunakan meskipun proses produksi tidak berlangsung secara optimal. Akibatnya, terjadi penggunaan energi yang tidak efisien dan menimbulkan pemborosan energi listrik. Berdasarkan fenomena tersebut, diperlukan suatu pendekatan yang mampu mengidentifikasi sumber-sumber pemborosan energi dan merumuskan strategi penghematan yang efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis upaya penghematan penggunaan energi listrik di industri otomotif melalui pemanfaatan metode *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) [1].

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan *energi value stream mapping* (EVSM), serta model *finite state machine* (FSM) untuk mengukur dan mengendalikan penggunaan energi listrik. EVSM dan model FSM dapat memetakan dan mengidentifikasi pemborosan yang terjadi berupa pemakaian energi listrik yang diakibatkan dari waktu menunggu (*idle time*), pemborosan karena gerakan, waktu pemanasan mesin dan peralatan (*warm up*), transportasi, dan kekurangan produksi. Penelitian ini menghasilkan *Energy Value*

Stream Mapping (EVSM yang dapat mengidentifikasi, serta memperbaiki kinerja setiap proses produksi yang dapat pemilahan serta membedakan dari *time value adding* (t_{va}), *time non value adding* (t_{nva}), *time non value adding necessary* ($t_{nva/n}$), *energy value adding* (E_{va}), *energy non value adding necessary* ($E_{nva/n}$), *energy non value adding* (E_{nva}), *cost value added* (C_{va}), *cost non value adding* (C_{nva}), dan *cost non value added necessary* ($C_{nva/n}$). Khusus *time non value adding* (t_{nva}), dan *energy non value adding* (E_{nva}), dan *cost non value adding* (C_{nva}) dapat dieleminasi dengan memperbaiki sistem, dan proses kerja.

Pada penelitian ini, ada beberapa penelitian yang dijadikan sebagai dasar atau literature review dalam penelitian ini [2] menggunakan value dan energy stream mapping (VESM) untuk efisiensi penggunaan energi dengan waktu proses sebagai *improvement* di *linking manufacturing*. [3][4][5]. Pengaruh lean tools atas konsumsi energi, yaitu menghilangkan pemborosan penggunaan energi di industri manufaktur dengan EVSM atas penggunaan energi berkaitan dengan waktu. Serta [2] tentang desain eksperimental dalam penerapan *energy value stream* (EVS) untuk mengukur konsumsi energi secara visualisasi dari penggunaan *steam*, *electricity*, *thermal energy*, dan *compressor air* di lingkungan produksi.

Beberapa penelitian lainnya yang berkaitan dengan *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) selama beberapa tahun terakhir yang fokus pada penghematan, dan penggunaan energi, diantaranya [6] [7] melakukan penandaan energi dual, konsumsi *flow rate* (l/menit), dan *electrical power* (watt) dari *compressor air* dengan *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) di *machining centre* [8][9] menggunakan *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) di bidang produksi, dan logistik berkaitan waktu proses dengan konsumsi energi. Juga [10] lanjutan model *energy value stream* (EVS) dari dimensi *technical building services* (TBS) penerapan terhadap rantai proses produk di industri *railway* terhadap kebutuhan *direct* dan *indirect energy*.

Dalam penelitian ini yang diteliti berkaitan dengan pemanfaatan dan penghematan penggunaan energi dengan memanfaatkan *Energy Value Stream Mapping* untuk memetakan permasalahan penggunaan energi listrik [11][12] serta model *Finite State Machine* (FSM), untuk mengendalikan penggunaan energi listrik di mesin, peralatan, dan utilitas, dengan parameter waktu baku (menit/jam), dan penggunaan energi listrik (kWh) dikaitkan dengan biaya.

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah memanfaatkan *Energy Value Stream Mapping* (EVSM), serta model *Finite State Machine* (FSM) untuk mengukur dan mengendalikan penggunaan energi listrik. Dengan konsep *lean manufacturing*, [13], dalam mengevaluasi pemanfaatan dan penghematan penggunaan energi listrik.

Adapun manfaat penelitian ini adalah memberikan pemahaman mengenai strategi, konsep, serta model yang berkaitan dengan penghematan penggunaan energi di sektor industri manufaktur, khususnya penghematan penggunaan energi listrik di industri otomotif.

Kontribusi dari penelitian ini adalah pengembangan konsep dan model *Energy*

Value Stream Mapping (EVSM) untuk mengevaluasi penghematan energi yang diukur dan dikendalikan oleh model *Finite State Machine* (FSM) berhubungan dengan konsumsi energi listrik dilandasi pada konsep pemetaan pada keadaan lingkungan kerja serta prinsip *Lean Manufacturing*.

Metode Penelitian

Object penelitian ini adalah pemakaian energi listrik untuk proses produksi di *Pre Treatment-Electro Deposition*. Proses PT-ED dibagi menjadi 2 (dua) yaitu *loading* yang dilakukan adalah mengangkat mobil dengan *monorail* dan *hanger* kemudian mobil siap dimasukkan ke dalam tangki. Sedangkan *unloading* adalah proses dimana mobil keluar dari tangki untuk dibersihkan dan didiamkan sampai cat benar-benar kering.

Proses berjalan dikendalikan secara otomatis dengan menggunakan *programmable logic controller* (PLC). Proses di *Pre Treatment-Electro Deposition* (PT-ED) terdiri dari 9 (sembilan) proses. Prosesnya dapat Tabel 1.

Tabel 1 Alur Proses Produksi di PTED

Tank 1 Degreasing	Tank 2 Water Rinse I	Tank 3 Surfacer Conditioning	Tank 4 Phospating	Tank 5 Water Rinse II	Tank 6 DI Water Rinse I	Tank 7 Electro Deposition	Tank 8 UF Water Rinse	Tank 9 DI Water Rinse II
6.00 menit	3.00 menit	3.00 menit	6.00 mewnit	3.00 menit	3.00 menit	7.00 menit	3.00 menit	4.00 menit

Mengukur waktu proses dari object yang diteliti sebanyak 30 pengukuran waktu proses. dan mengukur daya (kW) yang dipakai dimasing-masing mesin pada object penelitian, Disamping itu melakukan analisis terhadap jalannya masing-masing mesin dengan menggunakan model *Finite State Machine* (FSM).

Analisis proses manufaktur dan transportasi dengan cara tanda ganda memungkinkan untuk menghubungkan VSM ke EVSM itu tetap menjaga logika VSM [6] dan Untuk membangun EVSM, hal pertama yang harus dilakukan adalah untuk menarik

Data nilai aliran yang disajikan dalam EVSM tidak hanya menggambarkan konsumsi energi pada proses utama, tetapi juga memasukkan aktivitas transportasi sebagai bagian dari keseluruhan aliran nilai, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Sesuai dengan fungsi persegi panjang dari garis waktu, fungsi persegi panjang dari garis energi harus dipetakan dalam grafik. Cara ini, menganalogi jenis pemborosan persediaan, juga transportasi dan masukan energi yang berkaitan dengan mereka memvisualisakannya.

1. Top baris : kali Menunggu / periode idle (Persediaan).

2. Garis Tengah: Pengangkutan kali (Waktu Siklus).

3. Intinya: kali Processing (Waktu Siklus).

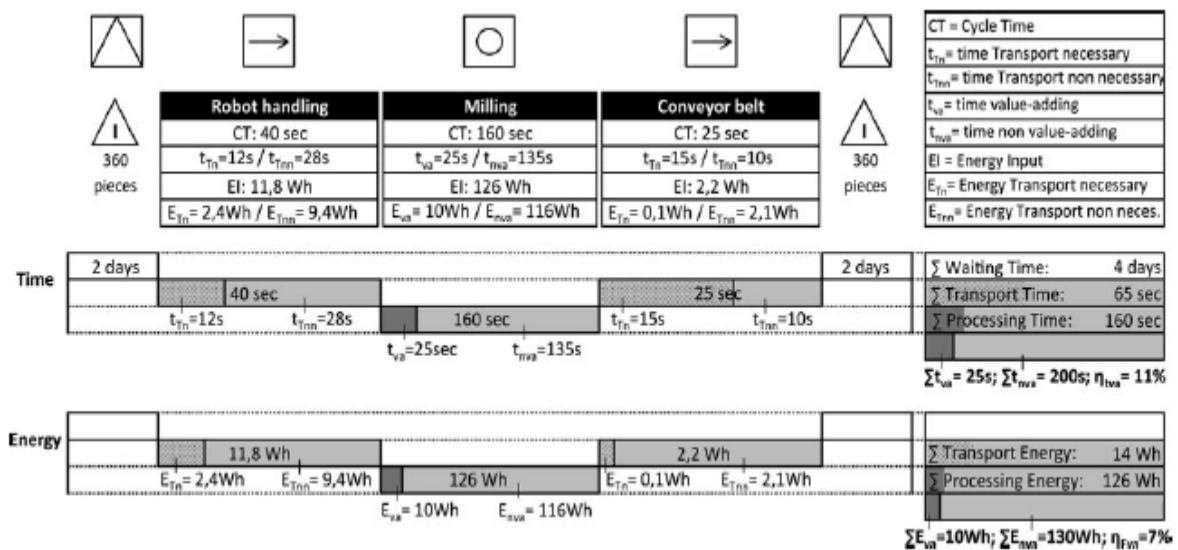
t_{Tn}/t_{Tnn} adalah waktu transportasi dan t_{va}/t_{nva} adalah waktu proses akan ditampilkan secara proporsional dalam bentuk batangan, serta nominal dalam bentuk angka (Gambar 2, garis waktu). Jumlah dari waktu yang berbeda dan porsi t_{Tn}/t_{Tnn} dan t_{va}/t_{nva} akan ditampilkan pada sisi kanan dari garis waktu. Dari sudut pandang pelanggan, hanya t_{va} selama pemrosesan melayani tujuan nilai tambah, sehingga efisiensi nilai tambah secara keseluruhan dalam hal waktu dapat dihitung sebagai berikut:

$$hEva = \frac{Eva}{(Eva + Enva)} \quad (1)$$

$$htva = \frac{tva}{(tva + tnva)} \quad (2)$$

$$htva = \frac{\sum tva}{\sum (tva + tnva) + \sum (tTn + tTnn)} \quad (3)$$

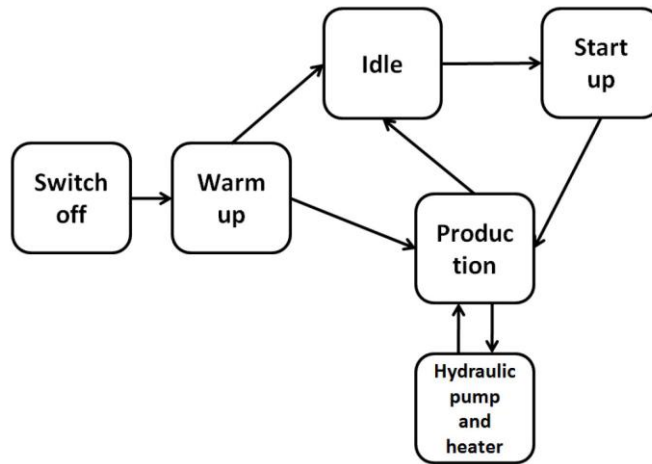
Persamaan (2) digunakan untuk menghitung efisiensi keseluruhan nilai tambah (*Total Value-Added Efficiency*) berdasarkan aspek waktu. Hasil perhitungan dari Persamaan (2) juga ditampilkan secara proporsional dalam bentuk diagram batang yang terletak di sisi kanan bawah kotak data pada Gambar 1. Apabila waktu tunggu yang tidak memberikan nilai tambah (*non-value-added waiting time*) turut dimasukkan dalam evaluasi, maka proporsi waktu bernilai tambah (*total value-added time/TVA*) akan menjadi sangat kecil dan hampir tidak terlihat. Konsep yang sama dapat diterapkan pada analisis penggunaan energi dalam *Energy Value Stream Mapping* (EVSM), sebagaimana ditunjukkan pada bagian bawah Gambar 1, di mana konsumsi energi diklasifikasikan ke dalam kategori bernilai tambah dan tidak bernilai tambah untuk mengevaluasi efisiensi energi secara menyeluruh.



Gambar 1 *Energy Value Stream Mapping*

Finite State Machine (FSM) adalah model matematika yang umum digunakan untuk even diskrit dan sistem logic. Ini akan memperlihatkan grafik menggunakan *diagraph*

dengan tahapannya, *transition*, dan *action* (or *triggers*). Observasi profil konsumsi daya, model konsumsi energi FSM di form *diagraph* akan diperlihatkan di Gambar 2.

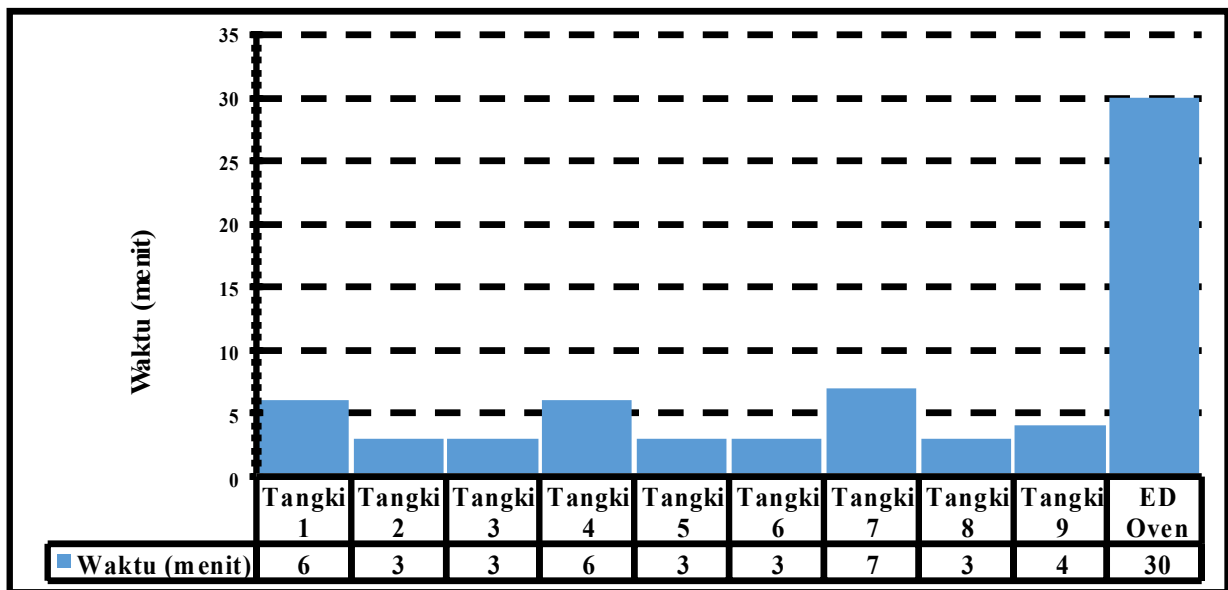


Gambar 2 Model FSM dari proses industri *injection moulding*

Data Analysis

Proses *Pre Treatment-Electro Deposition* (PT-ED) dilakukan secara otomatis dengan menggunakan program *programming logic controller* (PLC), yang dapat diprogram sesuai

dengan kondisi yang diinginkan. Untuk waktu baku diprogram pada masing-masing tangki pada proses di *Pre Treatment* dan *Electro Deposition*, yang datanya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Data Waktu Proses di *Pre Treatment* dan *Electro Deposition*

Untuk perpindahan antar tangki masing-masing disetting selama 30 detik, secara otomatis dengan menggunakan *programming logic controller* (PLC). Model FSM untuk mengukur konsumsi daya yang digunakan pada operasional *Pre Treatment-Electro Deposition* (PT-ED) adalah:

1. *Switch off*, pada panel pre treatment tombol Plant on.
2. *Switch off*, Lampu Tangki ke posisi on.
3. *Switch off*, manual pompa *spray* tangki ke posisi on.
4. Lihat apakah sirkulasi pompa tangki 4 berjalan normal.
5. Lihat apakah sirkulasi pompa tangki 1 berjalan normal
6. Monitor dan catat temperatur tangki 4, temperatur tercapai 30°C.
7. Monitor dan catat temperatur tangki 1, temperatur tercapai 30°C.

8. Lihat sirkulasi setiap tangki untuk *electro deposition*.

Tabel 2 Konsumsi Daya Listrik Pada *Pre Treatment-Electro Deposition* (PT-ED)

Operation State	Power Active	Time	Usage	Cost/kWh	Cost (Rp)
	(kW)	(Hour)	Power (kWh)	(Rp)	(Rp)
	(1)	(2)	(3)=(1)x(2)	(4)	(5)=(3)x(4)
Switch off	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 1	22,09	1,00	22,09	965	21.316,85
Idle	12,84	0,36	4,62	965	4.460,62
Start up	-	-	-	-	-
Production	22,09	0,10	2,21	965	2.131,69
Degreasing	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 2	12,84	1,00	12,84	965	12.390,60
Idle	12,84	0,46	5,91	965	5.699,68
Start up	-	-	-	-	-
Production	12,84	0,05	0,64	965	619,53
Water Rinse I	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 3	30,14	1,00	30,14	965	29.085,10
Idle	7,39	0,51	3,77	965	3.636,99
Start up	-	-	-	-	-
Production	30,14	0,05	1,51	965	1.454,26
Surfacer Conditioning	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 4	58,24	1,00	58,24	965	56.201,60
Idle	30,07	0,56	16,84	965	16.249,83
Start up	-	-	-	-	-
Production	58,24	0,10	5,82	965	5.620,16
Phospating	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 5	6,64	1,00	6,64	965	6.407,60
Idle	6,64	0,66	4,38	965	4.229,02
Start up	-	-	-	-	-
Production	6,64	0,05	0,33	965	320,38
Water Rinse II	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 6	30,18	1,00	30,18	965	29.123,70
Idle	13,85	0,71	9,83	965	9.489,33
Start up	-	-	-	-	-
Production	30,18	0,05	1,51	965	1.456,19
DI Water Rinse I	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 7	30,36	1,00	30,36	965	29.297,40
Idle	21,03	0,76	15,98	965	15.423,40
Start up	-	-	-	-	-
Production	30,36	0,12	3,64	965	3.515,69
Electro Deposition	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 8	8,76	1,00	8,76	965	8.453,40
Idle	8,76	0,87	7,62	965	7.354,46
Start up	-	-	-	-	-
Production	8,76	0,05	0,44	965	422,67
UF Water Rinse	-	-	-	-	-
Warm up Tangki 9	21,21	1,00	21,21	965	20.467,65
Idle	8,76	0,92	8,06	965	7.777,13
Start up	-	-	-	-	-
Production	21,21	0,07	1,48	965	1.432,74
DI Water Rinse II	-	-	-	-	-

Tabel 3 Analisis Pemakaian Energi listrik di PTED

Condition	Power Active (kW)	Time (Hour)	Usage Power (kWh)	Cost/kWh (Rp)	Cost (Rp)	Rasio
(1)	(2)	(3)	(4)=(2)x(3)	(5)	(6)=(4)x(5)	(5)=(4)/Sub Total (4)
Pre- Treatment-Electro Deposition						
<i>Warm up</i>						
VA	-	-	-	-	-	-
NVA	-	-	-	-	-	-
NVA/N	220,46	21,00	4.629,66	965,00	4.467.621,90	0,30
<i>Idle</i>						
VA	-	-	-	-	-	-
	22,09	87,36	1.929,78	965,00	1.862.240,02	0,12
	12,84	36,96	474,57	965,00	457.956,58	0,03
	7,39	57,12	422,12	965,00	407.342,71	0,03
NVA	6,64	36,96	245,41	965,00	236.824,90	0,02
	13,85	57,12	791,11	965,00	763.423,08	0,05
	8,76	43,68	382,64	965,00	369.244,51	0,02
	8,76	63,84	559,24	965,00	539.665,06	0,04
NVA/N	122,18	2,73	333,55	965,00	321.877,10	0,02
<i>Start up</i>						
VA	-	-	-	-	-	-
NVA	-	-	-	-	-	-
NVA/N	-	-	-	-	-	-
Production						
	22,09	33,6	742,22	965,00	716.246,16	0,05
	12,84	16,8	215,71	965,00	208.162,08	0,01
	30,14	16,8	506,35	965,00	488.629,68	0,03
	58,24	33,6	1956,86	965,00	1.888.373,76	0,12
VA	6,64	16,8	111,55	965,00	107.647,68	0,01
	30,18	16,8	507,02	965,00	489.278,16	0,03
	30,36	40,32	1224,12	965,00	1.181.271,17	0,08
	8,76	16,8	147,17	965,00	142.017,12	0,01
	21,21	23,52	498,86	965,00	481.399,13	0,03
NVA	-	-	-	-	-	-
NVA/N	-	-	-	-	-	-
Total	643,43	621,81	15.677,95		15.129.220,79	1,00

Hasil dan Pembahasan

Analisis konsumsi energi listrik untuk masing-masing stasiun kerja di PTED dapat dipakai sebagai dasar untuk melakukan evaluasi, dan *improvement* dimasing-masing stasiun kerja. Hasil analisis untuk pemakaian energi listrik selama 1 (satu) bulan yaitu bulan April 2015 di PTED dapat dilihat pada Tabel 3.

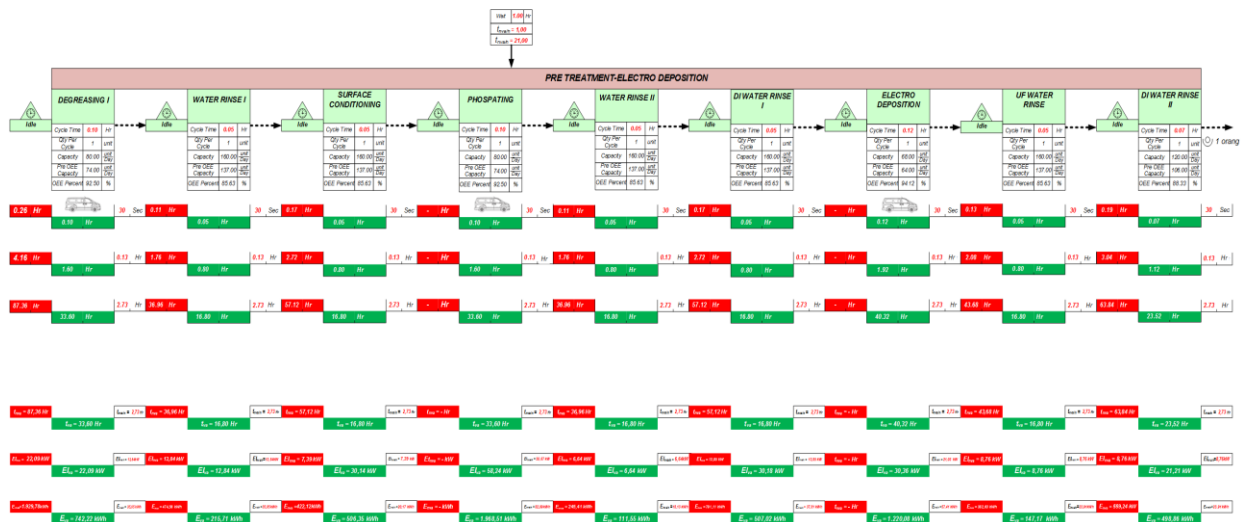
Untuk analisis *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) dilakukan atas dasar waktu proses produksi yang berhubungan dengan pemakaian energi listrik. Analisis dilakukan untuk mempermudah dalam membuat visualisasi peta EVSM. Disamping itu analisis digunakan untuk mengetahui sejauh mana pemakaian waktu dan energi dapat dimanfaatkan sesuai pemanfaatannya, yang diperuntukan untuk produk yang mempunyai nilai tambah (*value added*).

Analisis EVSM dilakukan agar dapat diketahui nilai dari *time value adding* (t_{va}), *time non value adding* (t_{nva}), *time non value*

adding necessary ($t_{nva/n}$), *energy value adding* (E_{va}), *energy non value adding* (E_{nva}), serta *energy non value adding necessary* ($E_{nva/n}$) [16]. Selain menganalisis pemakaian waktu dan energi listrik juga analisis ini menghitung pengeluaran ongkos pemakaian energi listrik yang dikeluarkan selama proses produksi berlangsung.

Ongkos pemakaian energi listrik dapat dianalisis berdasarkan fungsi pemakaiannya. Ongkos pemakaian energi listrik dianalisis berdasarkan alur pemakaian energi pada proses produksi, hasil analisis berupa *cost value added* (C_{va}), *cost non value added* (C_{nva}), dan *cost non value added necessary* ($C_{nva/n}$) [15].

Analisis *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) dilakukan selama 1 (satu) bulan produksi (April 2015), yang hasil analisisnya dapat dilihat pada Tabel 2 dan diperjelas oleh *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) hasil penelitian ini (Gambar 3).



Gambar 4 EVSM di *Pre Treatment* dan *Electro Deposition*

Pembahasan

Berdasarkan hasil dari analisis pemakaian energi listrik ada beberapa peluang perbaikan yang dapat dilakukan untuk mengeleminasi *waste* yang diakibatkan dari proses produksi [14]. Terutama mengenai pemakaian energi listrik yang diindikasikan sebagai pemborosan *non value adding* (nva) dari proses *time non value adding* (t_{nva}).

Melalui eliminasi aktivitas yang tidak bernilai tambah dan optimalisasi penggunaan energi pada setiap tahapan proses, perusahaan berpotensi mengurangi pemborosan energi listrik hingga sekitar 30% dibandingkan kondisi awal (*current state map*). Penurunan E_{NVA} tersebut secara langsung akan menurunkan C_{NVA} , meningkatkan efisiensi penggunaan energi, mengurangi biaya produksi, serta mendukung pencapaian target keberlanjutan perusahaan melalui pengurangan konsumsi energi dan emisi karbon. Oleh karena itu, *future state map* tidak hanya berfungsi sebagai alat perbaikan aliran proses, tetapi juga sebagai instrumen strategis untuk meningkatkan efisiensi energi dan daya saing industri secara berkelanjutan [15].

Pada *future state map*, terdapat beberapa usulan aktivitas perbaikan yang dapat dilakukan agar dapat mengeleminasi pemborosan pemakaian/konsumsi energi listrik secara berkelanjutan, aktivitas usulan perbaikan tersebut adalah:

1. Mengkaji ulang mengenai proses *Warm Up* untuk masing-masing mesin dan peralatan tanpa mengurangi kualitas produk sesuai aturan yang terdapat pada masing-masing *manual book*.
2. Melakukan perbaikan terhadap sistem kerja dengan prinsip-prinsip Ergonomi. Contoh: Mengkaji ulang pencahayaan dengan pencahayaan minimum 100 lux (Bridger, 2003), dan batasan maksimum pencahayaan agar menjaga kesehatan mata operator dan juga untuk melakukan penghematan.
3. Mengkaji ulang proses setting waktu pada proses *Pre Treatment-Electro Deposition* (PT-ED). *Oven*.
4. Perbaiki *layout* untuk mendukung *future state map* jika dimungkinkan.

Permasalahan pemborosan (*waste*) energi merupakan masalah yang krusial yang dialami oleh industri otomotif. Terutama permasalahan bidang pemborosan energi listrik yang berhubungan dengan waktu. Penelitian mengenai pemborosan energi di industri otomotif masih jarang dilakukan. Terutama mengenai pemborosan energi listrik yang dijadikan sebagai energi utama untuk proses produk. Meskipun jarang ada beberapa peneliti yang meneliti pemborosan energi yang terjadi pada industri otomotif.

Pada penelitian ini, yaitu evaluasi penghematan penggunaan energi dengan memanfaatkan *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) pada *Paint Shop* di industri otomotif.

Dengan model *Finite State Machine* (FSM) sebagai alat dalam menghitung, dan mengukur

konsumsi energi listrik, yang hasil penelitiannya dapat dilihat pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Hasil Penelitian

<i>Condition</i>	<i>EI (kW)</i>	<i>t (Hour)</i>	<i>E (kWh)</i>	<i>C (Rp)</i>	<i>Rasio</i>
<i>Pre Treatment-Electro Deposition</i>					
VA	220.46	215.04	5,909.87	5,703,024.94	0,38
NVA	80.33	383.04	4,804.87	4,636,696.85	0,30
NVA/N	342.64	23.73	4,963.21	4,789,499.00	0,32
Sub Total	643.43	621.81	15,677.95	15,129,220.79	1,00

Kesimpulan

Pemanfaatan *Energi Value Stream Mapping* (EVSM) dan model FSM dalam penelitian ini digunakan untuk memetakan dan mengidentifikasi pemborosan pemakaian energi, khususnya pada penghematan pemakaian (konsumsi) energi listrik. Pemborosan energi listrik yang diakibatkan dari waktu menunggu (*idle time*), pemborosan karena gerakan, waktu pemanasan mesin dan peralatan (*warm up*), transportasi.

Berdasarkan hasil pembahasan yang sudah dilakukan, maka simpulan penelitian ini adalah:

1. Bahwa *Energy Value Stream Mapping* (EVSM) sebagai metode terbukti dapat mengidentifikasi, membedakan, serta memperbaiki kinerja pemakaian energi listrik yang konsumsi. Sehingga dapat menghasilkan nilai tambah atau *value added* (VA), tidak menghasilkan nilai tambah atau *non value added* (NVA), serta tidak menghasilkan nilai tambah tapi sangat penting atau *non value added necessary* (NVA/N) di proses produksi pada *Paint Shop* Industri Otomotif.
2. Untuk *Finite State Machine* (FSM) dalam penelitian ini dimanfaatkan sebagai model untuk mengukur dan mengendalikan jalannya mesin, utilitas, serta peralatan yang mengkonsumsi energi listrik dalam proses produksi yang berada di *Paint Shop* Industri Otomotif. Meskipun proses produksi dimasing-masing mesin, utilitas, dan peralatan yang relatif rumit.
3. Disamping kesimpulan diatas, hasil dari analisis dan kesimpulan dalam penelitian ini berupa *time value adding* (t_{va}) sebesar 0,345 (34,5%), *time non value adding* (t_{nva}) sebesar 0,616 (61,6%), *time non value*

adding necessary ($t_{nva/n}$) sebesar 0,038 (3,8%), *energy input value adding* (EI_{va}) sebesar 0,342 (34,2%), *energy input non value adding* (EI_{nva}) sebesar 0,125 (12,5%), *energy input non value adding necessary* ($EI_{nva/n}$) sebesar 0,533(53.3%), *energy value adding* (E_{va}) sebesar 0,377 (37,7%), *energy non value adding* (E_{nva}) sebesar 0,306 (30.6%), *energy non value adding necessary* ($E_{nva/n}$) sebesar 0,317 (31.7%), *cost value added* (C_{va}) sebesar 0,377 (37,7%), *cost non value adding* (C_{nva}) sebesar 0,306 (30,6%), dan *cost non value added necessary* ($C_{nva/n}$) sebesar 0,317 (31,7%).

Referensi

- [1] Cem Keskin, Cem, Asan, Umut, and Kayakutlu Gulgun. *Value Stream Maps for Industrial Energy Efficiency. Assessment and Simulation Tools for Sustainable Energy System*, Springer pp 357-379, 2013.
- [2] Asmus, S., Karl, F., Grassl, M., Mohnen, A., Reinhart, G.(2013), *Energy efficiency in production processes – the influence of consumption visualization and stafftraining*, pp 182, Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Innovative Solutions ISBN 978-3-7983-2609-5 © Universitätsverlag der TU Berlin, 2013
- [3] Gogula, Vikram et. al.. Impact of lean tools on energy consumption. Citación: *Revista S&T*, 9(19), 33-53. 2011.
- [4] Fysikopoulos, A., Anagnostakis, D., Salonitis, K., Chryssolouris, G. *An Empirical Study of the Energy Consumption in Automotive Assembly*. Journal of Elsevier : 45th CIRP

- Conference on Manufacturing Systems, 2012.
- [5] Batwara, Amber, et.al. (2023). *Towards smart sustainable development through value stream mapping – a systematic literature review*. Heliyon, Volume 9 Issue 5, 2023.
- [6] Muller, E. et. al. *Dual energy signatures enable energy value-stream mapping*. Proceedings of 23rd international conference on flexible automation and intelligent manufacturing (FAIM), Porto, Portugal. pp. 2-4, 2013.
- [7] Vinh. Le Cao et al. *Classification of Energy Consumption Pattern for Energy Audit and Machine Scheduling in Industrial Manufacturing Systems*. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2012.
- [8] Muller, E. et. al. *A method to generate energy value-streams in production and logistics in respect of time- and energy-consumption*. Journal of Springer: Prod. Eng. Res. Deve, 2014.
- [9] Silva, serafim, Euclides. et.al. *Value stream mapping for sustainability: A management tool proposal for more sustainable companies*. Journal of Sustainable Production and Consumption. Volume 47. 329-342, 2024
- [10] Posselt, G. et. al. *Extending Energy Value Stream Models by the TBS Dimension-Applied on a Multi Product Process Chain in the Railway Industry*. 21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering, Journal of Elsevier. 2012.
- [11] Pawlak, Szymon and Saturnus, Mariola. *Energy Value Stream Mapping (EVSM) as a Tool for the Analysis and Reduction of Energy Consumption in Manufacturing Processes*. Journal of Energies MDPI, 2026.
- [12] Leonardo, Fontoura et. Al. *Real-time energy flow mapping: A VSM-based proposal for energy efficiency*. Journal of Cleaner Production Vol. 419, 2023.
- [13] Salwin, Mariusz. et.al. *Value-Stream Mapping as a Tool to Improve Production and Energy Consumption: A Case Study of a Manufacturer of Industrial Hand Tools*. Energies, MDPI 16(21). 2023.
- [14] Pang, Khiang Chee et. al. *Intelligent Energy Audit and Machine Management for Energy-Efficient Manufacturing*, 2011 IEEE 5th International Conference on Cybernetics and Intelligent Systems (CIS).2011.
- [15] Schillig R, Stock T, Muller E *Energiewertstrom-analyse.Eine Methode zur Optimierung von Wertströmen in Bezug auf den Zeit- und Energieeinsatz*. ZWF Jahrg 107(1-2), pp 20-26, 2013.
- [16] Turner, Wayne C., and Doty, Steve. *Energy Management Handbook*, 6th. Taylor & Francis Group: CRC Press, 2007.