

Optimasi Proses Scheduling di Lini Painting Pada Model Produksi H Minus 1 Menggunakan Fungsi Heaviside

Dewangga Bagaskoro¹, Susanto Sudiro¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta, Indonesia

Email: dewanggabagaskoro@gmail.com , susantosudiro@yahoo.co.id

ABSTRAK

Paint Shop pada lini produksi sebuah perusahaan pembuatan alat kesehatan memproses komponen setengah jadi dari banyak lini pengelasan, dicat pada satu lini pengecatan untuk dijadikan pasokan komponen jadi pada banyak lini perakitan. Skenario aliran proses yang digunakan adalah model produksi H Minus 1, Yaitu model buffer komponen pasokan harus tersedia lengkap satu hari sebelum proses di satu stasiun kerja berjalan. Pada lini pengecatan saat ini belum tersedia jadwal yang sistematis untuk membebani lini pengecatan dengan beban kerja yang dapat memberikan pasokan buffer Work in Process (WIP) yang cukup ke tiap lini perakitan yang memerlukan, sering terjadi target produksi tidak terpenuhi. Dengan menggunakan fungsi Heaviside melalui software matlab dibuat dasbor aplikasi untuk merencanakan jadwal dan mensimulasikan proses pengecatan di lini produksi. Dengan rancangan dasbor tersebut dapat disusun jadwal produksi di lini pengecatan untuk menyediakan pasokan berbagai komponen jadi diberbagai lini produksi. Dengan dasbor ini proses dilini pengecatan dapat dioptimalkan untuk mencapai target produksi pembuatan alat kesehatan yang ditetapkan.

Kata kunci: alat kesehatan, banyak lini, lini pengecatan, D minus 1, Work in Process, Heaviside

ABSTRACT

The paint shop on the production line of a medical device manufacturing company processes semi-finished components from many welding lines, later on is painted on one painting line to supply finished parts to numerous assembly lines. The process flow scenario that is being used is the D minus 1 production model, in the situation where the supply component buffer model must be fully available one day before the process at a work station starts. In the current painting line, there is no available systematic schedule to overload the painting line with workloads that can provide sufficient Work in Process (WIP) buffer supplies to each assembly line that requires them, often the production does not met the target. By using the Heaviside function through matlab software, an application dashboard is created to plan schedules and simulate the painting process on the production line. With the dashboard design, a production schedule in the painting line can be arranged to provide a supply of various finished components in multiple production lines. With this dashboard, the process in the painting line can be optimized to achieve the targeted production of making the medical devices.

Keywords: medical device, multiple lines, painting line, D minus 1, Work in Process, Heaviside

PENDAHULUAN

Industri pengecatan telah mengalami perubahan yang luar biasa melalui pengembangan bahan dan proses mengikuti kemajuan umum teknologi manufaktur dari awal abad kedua puluh hingga hari ini. Permintaan pelapisan pada suatu material cukup besar. Ada kebutuhan untuk perlindungan terhadap *body* seperti anti korosi. Cat (*Coating*) merupakan lapisan proteksi yang melindungi suatu permukaan dari lingkungan.

Pengecatan memiliki dua peran penting, satu untuk melindungi bahan substrat dan meningkat tampilan. Hampir semua barang atau objek itu membutuhkan cat dengan tujuan dan fungsi dari cat itu sendiri yang diperuntukan melindungi struktur yang umumnya terbuat dari baja, besi dan alumunium dari serangan korosi serta memberikan warna untuk memperindah tampilan pada suatu objek [1].

PT XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang industri peralatan rumah sakit. Pemasaran dari produk – produk PT. XYZ sendiri telah mencapai pasar mancanegara. Produk

yang dihasilkan PT XYZ merupakan ranjang pasien. Sistem produksi yang diterapkan oleh PT XYZ adalah *make to order* sehingga produk diproduksi ketika mendapatkan *order* dari customer.

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan PT XYZ memiliki isu bagaimana *paint shop* tidak hanya ditugaskan mengecat komponen – komponen pembentuk sebuah produk saja, tetapi dapat dipakai untuk mengecat komponen–komponen berbagai jenis produk sekaligus. Selain itu *paint shop* dibuat penjadwalan untuk lebih dari satu komponen saja agar saat produk selesai distasiun pengelasan dapat diatur proses penjadwalannya untuk satu shift, sehingga diharapkan produk dapat cepat selesai dan dapat dikirimkan ke lini perakitan.

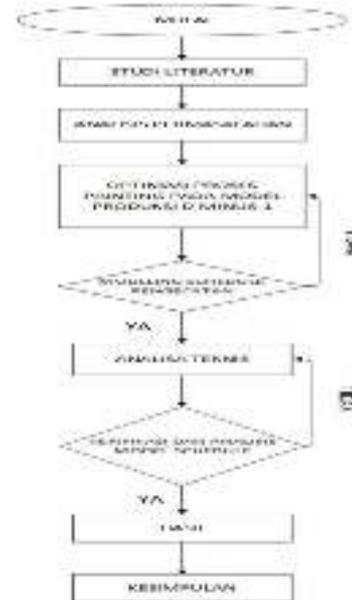
Sistem perencanaan produksi yang terbukti baik untuk digabungkan dengan teknologi kelompoknya adalah sistem Periode Batch Control (PBC). Saat merancang sistem PBC, penting untuk menentukan parameter panjang periode dan jumlah tahapan serta konten, karena parameter tersebut mempengaruhi total waktu *throughput* untuk pesanan pelanggan. Untuk mencapai fleksibilitas sel virtual dan kesederhanaan proses perencanaan produksi yang ditawarkan oleh sistem PBC [2].

Proses Pengecatan merupakan suatu proses *finishing* dalam suatu jenis pekerjaan hampir disegala bidang. Pekerjaan ini terkesan mudah akan tetapi menghasilkan suatu seni keindahan dan terlihat mempengaruhi dari barang tersebut. Hal ini sangat penting sekali dilakukan kajian secara mendalam sehingga masyarakat dapat menerapkan model pengecatan tersebut [3].

Permasalahan yang terjadi adalah pada saat mengoptimasi waktu proses penjadwalan *painting* atau pengecatan yang berawal hanya satu jenis produk saja tetapi dapat dilakukan multi produk, dengan harapan jika dapat di optimasi tidak ada waktu yang terbuang saat proses pengecatan berlangsung serta dapat mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk proses pengecatan selama satu shift atau membutuhkan tambahan shift untuk menyelesaikan jumlah produksi [4].

METODE PENELITIAN

Berikut diagram alur yang digunakan untuk penelitian dalam penelitian ini.



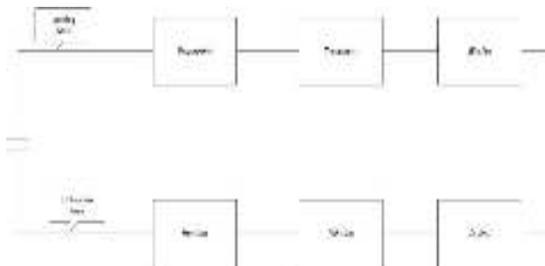
Gambar 1 Diagram Alur Metode Penelitian

Pada gambar 1 menunjukkan diagram alur penelitian yang dilakukan.

1. Penelitian diawali dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada, yaitu pada PT. XYZ yang memiliki permasalahan pada lini painting yaitu mempunyai waktu kosong saat satu produk dilakukan proses pengecatan, sehingga terdapat masih ada kapasitas dan waktu yang tersedia dan dapat digunakan untuk dua hingga tiga produk.
2. Pengumpulan studi literatur diperlukan untuk menambah ilmu dari referensi jurnal yang relevan yang berkaitan dengan *matlab*, *takt time*, *cycle time* dan *scheduling painting*.
3. Tahapan selanjutnya adalah melakukan analisis permasalahan yang terjadi, dari stasiun pengecatan yang berawal memproduksi satu produk saja dan memiliki kapasitas waktu dan kapasitas produk yang dapat dioptimalkan untuk dua hingga tiga produk.
4. Selanjutnya membuat optimasi proses painting dengan membuat jadwal untuk proses pengecatannya sebelum produk dikirim dari stasiun welding.
5. Setelah melakukan proses *scheduling* maka akan tersusun jadwal untuk produk yang akan dilakukan proses painting sehingga dapat mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam satu shift.
6. Setelah dilakukan analisa maka selanjutnya memverifikasi hasil *scheduling* yang telah dibuat agar

- mencocokkan apakah sudah sesuai dengan hasil perencanaan *scheduling* atau belum.
7. Maka dapat ditarik kesimpulan untuk tiap – tiap lini produk.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 2 Layout Paint Shop PT XYZ.

Pada Gambar 2 merupakan layout paint shop dari PT. XYZ dengan kecepatan conveyor yang digunakan sebesar 2 meter/unit, panjang conveyor 234 meter serta panjang gantungannya adalah 2 meter dan gap sebesar 0,5 meter dengan manual *spray booth*.

1. Jenis Produk

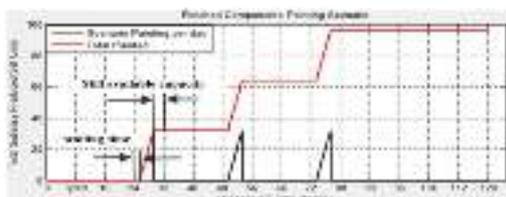
Pada penelitian ini menggunakan empat jenis produk yaitu :

- a. TRG 26
- b. TRG 26i
- c. TRG 29
- d. SS 4MKS



Gambar 3 Produk TRG dan SS 4 MKS

2. Optimasi Proses Proses Painting



Gambar 4 Kurva Painting Terhadap Satu Produk
 Pada Gambar 4 menunjukkan masih ada waktu dan kapasitas tersedia, skenario awal masih menggunakan satu produk saja, maka penelitian ini ditujukan untuk mengoptimasi waktu dengan

penambahan satu dan dua jenis produk baru yang diharapkan membuat laju produksi semakin cepat serta terhindar keterlambatan pengiriman produk ke stasuin selanjutnya.

Tabel 1. Produk Dan Rencana Produksi Harian

| Nama Produk | Unit/Hari |
|-------------|-----------|
| TRG 26 | 42 |
| TRG 26i | 37 |
| TRG 29 | 40 |
| SS 4MKS | 44 |

Pada Tabel 1 tersedia unit/hari yang akan dilakukan proses pengecatan, maka dari tabel tersebut dapat dihitung *takt time* untuk mengetahui apakah cukup dilakukan pengerjaan dalam 1 shift dalam melakukan proses pengecatan. Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan saat proses produksi, maka harus menghitung *Takt Time* dan *Cycle Time*. *Takt time* merupakan perhitungan perencanaan sedangkan jika waktu rill untuk proses pengecatan dalam satu siklus adalah *Cycle Time*.

Tabel 2. Perhitungan *Takt Time* 1 Shift, 480 Menit

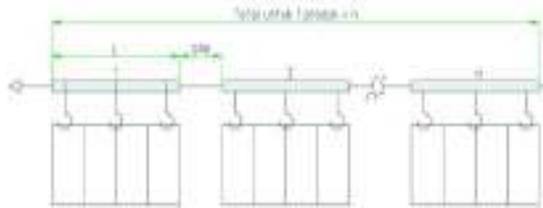
| Nomor | Katalog | Takttime |
|-------|---------|----------|
| 1 | TRG 26 | 11.4286 |
| 2 | TRG 26i | 12.9730 |
| 3 | TRG 29 | 12 |
| 4 | SS 4MKS | 10.9091 |

Pada Tabel 2 merupakan *Takt Time* yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 produk. Jika *Takt Time* yang dibutuhkan untuk memproduksi 1 produk. Jika *Takt Time* lebih kecil dari *Cycle Time* maka waktu produksi tidak cukup sehingga harus dibutuhkan waktu overtime, begitupun sebaliknya jika *takt time* lebih besar dari *cycle time* maka waktu produksi cukup sehingga tidak dibutuhkan waktu untuk over time.

Adapun persamaan untuk menghitung *takt time* yang ditujukan pada Persamaan 1:

$$\text{Takt Time} = \frac{\text{Waktu Kerja Efektif}}{\text{Jumlah Order}} \quad (1)$$

Dalam proses pengecatan komponen-komponen ditempatkan pada gantungan yang dipasang conveyor. Pada gantungan tersebut panjangnya adalah L (meter) dengan jarak antar gantungan adalah sebesar gap (0,5 meter). Untuk satu set komponen dari produk lengkap apabila dicat akan menggunakan n (jumlah gantungan), sehingga panjang bentangan untuk n gantungan ini adalah (n x L).



Gambar 5. Total Gantungan Untuk 1 Produk

Karena jarak antara satu gantungan dengan gantungan lain adalah sebesar gap sebesar (n-1) maka untuk sejumlah n gantungan terpasang ada panjang gap sebesar gap(n-1), maka panjang total bentangan untuk menempatkan satu set komponen pembentuk sebuah produk di lini pengecatan dengan Persamaan 2.

$$Lt = (n \times L) + gap (n - 1) \quad (2)$$

Pada proses pengecatan ini digunakan konveyor dengan kecepatan V/menit, pada kasus ini menggunakan kecepatan konveyor yang digunakan adalah 2m/ menit maka untuk pengecatan satu set komponen pembentuk produk (cycle time) ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$Tc = \frac{Lt}{V} \quad (3)$$

3. Modeling schedule Pengecatan

3.1 Heaviside

Kegiatan produksi dimodelkan dengan menggunakan model matematika dari fungsi langkah Heaviside dari berbagai proses produksi yang terlibat didalamnya. Dengan persamaan matematis tersebut, model penjadwalan produksi dapat disusun dengan skenario produksi yang ditentukan dan dimungkinkan untuk membangun model simulasi produksi dalam bentuk grafik.

Serta bentuk fisik melalui dashboard produksi yang disediakan untuk tujuan ini. Jadwal produksi diatur menggunakan fungsi langkah Heaviside Matematis H (t) adapun persamaan ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$H(t) = \begin{cases} 0 & \rightarrow t \leq 0 \\ 1 & \rightarrow t > 0 \end{cases} \quad (4)$$

Ddi merupakan stimulus dan ST adalah perencanaan total produksi respon waktu umum Dp pada waktu t untuk setiap jumlah periode k dari jangka waktu Td yang merupakan periode waktu dari suatu proses untuk diselesaikan Dp di produk dalam sehari dapat ditentukan pada Persamaan 5.

$$Dp(t, k) = D_{di}(H(t - kT_d) - H(t - kT_d - T_d)) \quad (5)$$

k : 1, 2, 3, ST

Dengan Persamaan 2.6 dapat ditentukan jadwal produksi sehari-hari di setiap workstation masing- masing dijadwalkan untuk pengelasan, pengecatan, dan perakitan. Ddi adalah jumlah produksi direncanakan diproduksi (unit atau set produk) dalam sehari, Dp jumlah produk (unit atau set produk) dijadwalkan diproduksi distasiun kerja pada dari hari ke 1 hingga hari k, dibawah ini merupakan persamaan welding, painting dan assemblink 6, 7 dan 8.

$$Dpk(t, k) = D_{di}(H(t - (k - 1)T_d) - H(t - (k - 1)T_d - T_d)) \quad (6)$$

$$Dpc(t, k) = D_{di}(H(t - kT_d) - H(t - kT_d - T_d)) \quad (7)$$

$$Dpa(t, k) = D_{di}(H(t - (k + 1)T_d) - H(t - (k + 1)T_d - T_d)) \quad (8)$$

Pada Persamaan 6, 7, dan 8 dapat dibuat persamaannya dengan menggunakan software matlab untuk dibuat untuk jadwal produksi yang ditunjukkan pada Tabel 3 untuk dua lini dan Tabel 4 untuk tiga lini.

Tabel 3. Penjadwalan Painting Dua Lini

Tabel 4. Penjadwalan Painting Tiga Lini

3.2 Model Matematis WIP

Model H Minus 1 untuk satu jenis produk sebagai proses produksi yang didapatkan model dengan open loop production system yang menggunakan teori kontrol klasik untuk 3 mesin

dan 4 penyangga seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6 Open Loop Production System

Input system adalah $Z(t)$ untuk kasus ini permintaan order adalah (D_{di}) dan output adalah $y(t)$. Akurasi kecepatannya dari buffer B_i ke mesin M_i adalah $u_i(t)$ kecepatan laju keluarannya adalah $p_i(t)$. Laju perubahan volume buffer $Q_i(t)$ untuk waktu t dapat ditentukan dengan Persamaan 9.

$$\frac{dQ_i(t)}{dt} = -u_i(t) \tag{9}$$

$$p_i(t) = \frac{H(t)}{t_{c1i}} \tag{10}$$

Untuk Persamaan $u_i(t) = p_i(t)$ adalah Volume Buffer buffer $Q_i(t)$, tcli adalah dapat dijelaskan pada Persamaan 11.

$$Q_i(t) = D_{di}H(t) - K_{c1i}t ; K_{c1i} = \frac{1}{t_{c1i}} \tag{11}$$

Dan isi dari volume material pindah untuk buffer B_{i+1} terhadap waktu t ditunjukkan pada Persamaan 12.

$$Q_{i+1}(t) = K_{c1i}t \tag{12}$$

Volume buffer $Q_i(t)$ menunjukkan hasil proses pengerjaan $WIP_i(t)$ menggunakan persamaan Heavisde untuk persamaan dari fungsi $Q_i(t)$ dan dapat menentukan WIP stasion welding dengan rumus model matematika WIP.

$$WIP_{1i} = \sum_{k=1}^{ST-2} (D_{di}(H(t - 3(k - 1)Tp)) - (H(t - 3(k - 1)Tp)(t - 3(k - 1)Tp) + a_{1i}(k) + b_{1i}(k)) \tag{13}$$

$$a_{1i}(k) = H(t - (3k - 2))(t - (3k - 2)Tp)/t_{c1i}$$

$$b_{1i}(k) = D_{di}(H(t - (3k - 2)Tp) - H(t - 3kTp))$$

Pada Persamaan 13. dapat ditentukan jumlah output dari masing-masing stasiun kerja seperti yang terlihat pada rumus yang digunakan pada lini painting, dan dapat ditunjukkan pada Persamaan 14.

$$O_{2i} = \sum_{k=1}^{ST} H(t - 3kTp)(t - 3kTp) / t_{c2i} - a(k) - b(k)$$

$$a(k) = D_{di}(H(t - (3k + 1)Tp)(t - (3k + 1)Tp))$$

$$b(k) = H(t - (3k + 1)Tp)(t - (3k + 1)Tp)/t_{c2i}$$

Dengan persamaan tersebut dapat ditentukan output untuk stasiun *painting*. Pada persamaan ini disimulasikan ke *software matlab* sehingga saat pengoperasian dengan mudah mendapatkan hasilnya.

4. Analisa Teknis

4.1 Dua Lini

Pada Tabel 3. Merupakan penjadwalan yang telah dilakukan dan dibuat dengan jumlah empat hari, selanjut pada Tabel 5. Menunjukkan data awal yang digunakan untuk mendapatkan hasilnya.

Tabel 5. Input Data Awal Dua Lini

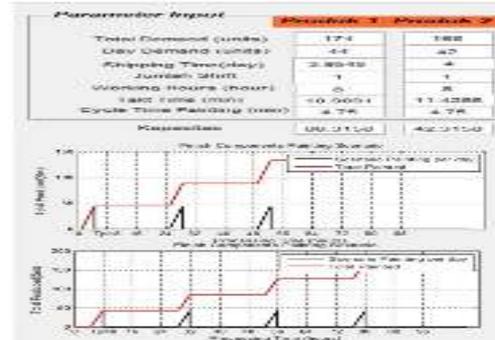
| Dua Lini | Kecepatan | Kelelahan | Statis | Area Menger |
|----------|-----------|-----------|--------|-------------|
| 1 | 2 | 55 | 1 | 78 |
| 2 | 1 | 60 | 1 | 8 |

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan matlab dan akan menghasilkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk kedua produk tersebut. Pada Tabel 6 dan Tabel 7 merupakan hasil perhitungan yang telah digunakan pada *software matlab*.

Tabel 6. Perhitungan Waktu *Painting* SS 4MKS

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|------------|
| | | | SS 4MKS | - | - |
| | | | Takt/Cycle Time | | menit |
| 1 | SS 4MKS | 1 | 10.9091 | 4.75 | -63.8409 |
| 2 | SS 4MKS | 2 | 21.8182 | 79.5 | -57.6818 |
| 3 | SS 4MKS | 3 | 32.7273 | 84.25 | -51.5227 |
| 4 | SS 4MKS | 4 | 43.6364 | 89 | -45.3636 |
| 5 | SS 4MKS | 5 | 54.5455 | 93.75 | -39.2045 |
| 6 | SS 4MKS | 6 | 65.4545 | 98.5 | -33.0455 |
| 7 | SS 4MKS | 7 | 76.3636 | 103.25 | -26.8864 |
| 8 | SS 4MKS | 8 | 87.2727 | 108 | -20.7273 |
| 9 | SS 4MKS | 9 | 98.1818 | 112.75 | -14.5682 |
| 10 | SS 4MKS | 10 | 109.0909 | 117.5 | -8.4091 |
| 11 | SS 4MKS | 11 | 120 | 122.25 | -2 |
| 12 | SS 4MKS | 12 | 130.9091 | 127 | 3.9091 |
| 13 | SS 4MKS | 13 | 141.8182 | 131.75 | 10.0682 |
| 14 | SS 4MKS | 14 | 152.7273 | 136.5 | 16.2273 |
| 15 | SS 4MKS | 15 | 163.6364 | 141.25 | 22.3864 |
| 16 | SS 4MKS | 16 | 174.5455 | 146 | 28.5455 |
| 17 | SS 4MKS | 17 | 185.4545 | 150.75 | 34.7045 |
| 18 | SS 4MKS | 18 | 196.3636 | 155.5 | 40.8636 |
| 19 | SS 4MKS | 19 | 207.2727 | 160.25 | 47.0227 |
| 20 | SS 4MKS | 20 | 218.1818 | 165 | 53.1818 |
| 21 | SS 4MKS | 21 | 229.0909 | 169.75 | 59.3409 |
| 22 | SS 4MKS | 22 | 240.0000 | 174.5 | 65.5000 |
| 23 | SS 4MKS | 23 | 250.9091 | 179.25 | 71.6591 |
| 24 | SS 4MKS | 24 | 261.8182 | 184 | 77.8182 |
| 25 | SS 4MKS | 25 | 272.7273 | 188.75 | 83.9773 |
| 26 | SS 4MKS | 26 | 283.6364 | 193.5 | 90.1364 |
| 27 | SS 4MKS | 27 | 294.5455 | 198.25 | 96.2955 |
| 28 | SS 4MKS | 28 | 305.4545 | 203 | 102.4545 |
| 29 | SS 4MKS | 29 | 316.3636 | 207.75 | 108.6136 |
| 30 | SS 4MKS | 30 | 327.2727 | 212.5 | 114.7727 |
| 31 | SS 4MKS | 31 | 338.1818 | 217.25 | 120.9318 |
| 32 | SS 4MKS | 32 | 349.0909 | 222 | 127.0909 |
| 33 | SS 4MKS | 33 | 360 | 226.75 | 133.2500 |
| 34 | SS 4MKS | 34 | 370.9091 | 231.5 | 139.4091 |
| 35 | SS 4MKS | 35 | 381.8182 | 236.25 | 145.5682 |
| 36 | SS 4MKS | 36 | 392.7273 | 241 | 151.7273 |
| 37 | SS 4MKS | 37 | 403.6364 | 245.75 | 157.8864 |
| 38 | SS 4MKS | 38 | 414.5455 | 250.5 | 164.0455 |
| 39 | SS 4MKS | 39 | 425.4545 | 255.25 | 170.2045 |
| 40 | SS 4MKS | 40 | 436.3636 | 260 | 176.3636 |
| 41 | SS 4MKS | 41 | 447.2727 | 264.75 | 182.5227 |
| 42 | SS 4MKS | 42 | 458.1818 | 269.5 | 188.6818 |
| 43 | SS 4MKS | 43 | 469.0909 | 274.25 | 194.8409 |
| 44 | SS 4MKS | 44 | 480 | 279 | 201 |

Pada Tabel 6 untuk produk SS 4MKS masih memiliki sisa waktu sebesar 201 menit, sehingga dapat dilanjutkan pada produk kedua yaitu TRG 26, pada Tabel 7 yang menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan produk kedua dan memiliki sisa waktu sebesar 1,5 menit. Dapat diartikan bahwa untuk dua lini selesai pada satu shift, untuk lebih detailnya dapat dilihat pada Gambar 7. Menunjukkan kurva pada proses painting untuk dua lini.



Gambar 7. Kurva Dua Jenis Produk Di Lini Painting

Tabel 7. Perhitungan Waktu *Painting* TRG 26

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|---------------|-----------------|--------------|------------|
| | | | TRG 26 | - | - |
| | | | Takt/Cycle Time | | menit |
| 45 | TRG 26 | 1 | 11.4286 | 4.75 | -272.3214 |
| 46 | TRG 26 | 2 | 22.8571 | 288.5 | -265.6429 |
| 47 | TRG 26 | 3 | 34.2857 | 293.25 | -258.9643 |
| 48 | TRG 26 | 4 | 45.7143 | 298 | -252.2857 |
| 49 | TRG 26 | 5 | 57.1429 | 302.75 | -245.6071 |
| 50 | TRG 26 | 6 | 68.5714 | 307.5 | -238.9286 |
| 51 | TRG 26 | 7 | 80 | 312.25 | -232.2500 |
| 52 | TRG 26 | 8 | 91.4286 | 317 | -225.5714 |
| 53 | TRG 26 | 9 | 102.8571 | 321.75 | -218.8929 |
| 54 | TRG 26 | 10 | 114.2857 | 326.5 | -212.2143 |
| 55 | TRG 26 | 11 | 125.7143 | 331.25 | -205.5357 |
| 56 | TRG 26 | 12 | 137.1429 | 336 | -198.8571 |
| 57 | TRG 26 | 13 | 148.5714 | 340.75 | -192.1786 |
| 58 | TRG 26 | 14 | 160 | 345.5 | -185.5000 |
| 59 | TRG 26 | 15 | 171.4286 | 350.25 | -178.8214 |
| 60 | TRG 26 | 16 | 182.8571 | 355 | -172.1429 |
| 61 | TRG 26 | 17 | 194.2857 | 359.75 | -165.4643 |
| 62 | TRG 26 | 18 | 205.7143 | 364.5 | -158.7857 |
| 63 | TRG 26 | 19 | 217.1429 | 369.25 | -152.1071 |
| 64 | TRG 26 | 20 | 228.5714 | 374 | -145.4286 |
| 65 | TRG 26 | 21 | 240 | 378.75 | -138.7500 |
| 66 | TRG 26 | 22 | 251.4286 | 383.5 | -132.0714 |
| 67 | TRG 26 | 23 | 262.8571 | 388.25 | -125.3929 |
| 68 | TRG 26 | 24 | 274.2857 | 393 | -118.7143 |
| 69 | TRG 26 | 25 | 285.7143 | 397.75 | -112.0357 |
| 70 | TRG 26 | 26 | 297.1429 | 402.5 | -105.3571 |
| 71 | TRG 26 | 27 | 308.5714 | 407.25 | -98.6786 |
| 72 | TRG 26 | 28 | 320 | 412 | -92.0000 |
| 73 | TRG 26 | 29 | 331.4286 | 416.75 | -85.3214 |
| 74 | TRG 26 | 30 | 342.8571 | 421.5 | -78.6429 |
| 75 | TRG 26 | 31 | 354.2857 | 426.25 | -71.9643 |
| 76 | TRG 26 | 32 | 365.7143 | 431 | -65.2857 |
| 77 | TRG 26 | 33 | 377.1429 | 435.75 | -58.6071 |
| 78 | TRG 26 | 34 | 388.5714 | 440.5 | -51.9286 |
| 79 | TRG 26 | 35 | 400 | 445.25 | -45.2500 |
| 80 | TRG 26 | 36 | 411.4286 | 450 | -38.5714 |
| 81 | TRG 26 | 37 | 422.8571 | 454.75 | -31.8929 |
| 82 | TRG 26 | 38 | 434.2857 | 459.5 | -25.2143 |
| 83 | TRG 26 | 39 | 445.7143 | 464.25 | -18.5357 |
| 84 | TRG 26 | 40 | 457.1429 | 469 | -11.8571 |
| 85 | TRG 26 | 41 | 468.5714 | 473.75 | -5.1786 |
| 86 | TRG 26 | 42 | 480 | 478.5 | 1.5 |

4.2 Tiga Lini

Pada Tabel 4. Merupakan penjadwalan yang telah dilakukan dan dibuat dengan jumlah empat hari. Pada Tabel 8. Menunjukkan data awal yang diinput untuk tiga jenis produk.

Tabel 8. Input Data Awal Tiga Lini

| Tipe Lini | Produk | Waktu (menit) | Stok | Waktu Tunggu |
|-----------|--------|---------------|------|--------------|
| SS 4MKS | 1 | 41 | 1 | 0 |
| TRG 26 | 4 | 42 | 1 | 0 |
| TRG 26 | 4 | 40 | 1 | 0 |

Selanjutnya dilakukan perhitungan dengan matlab dan akan menghasilkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk kedua produk tersebut. Pada Tabel 9, Tabel 10 dan Tabel 11 merupakan hasil perhitungan yang telah digunakan pada *software matlab*.

Tabel 9. Perhitungan Waktu *Painting* SS 4MKS

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog Takt/Cycle Time | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|-------------------------------|------------|--------------|------------|
| | | | SS 4MKS | - | - |
| 1 | SS 4MKS | 1 | 10.9091 | 74.75 | -63.8409 |
| 2 | SS 4MKS | 2 | 21.8182 | 79.5 | -57.6818 |
| 3 | SS 4MKS | 3 | 32.7273 | 84.25 | -51.5227 |
| 4 | SS 4MKS | 4 | 43.6364 | 89 | -45.3636 |
| 5 | SS 4MKS | 5 | 54.5455 | 93.75 | -39.2045 |
| 6 | SS 4MKS | 6 | 65.4545 | 98.5 | -33.0455 |
| 7 | SS 4MKS | 7 | 76.3636 | 103.25 | -26.8864 |
| 8 | SS 4MKS | 8 | 87.2727 | 108 | -20.7273 |
| 9 | SS 4MKS | 9 | 98.1818 | 112.75 | -14.5682 |
| 10 | SS 4MKS | 10 | 109.0909 | 117.5 | -8.4091 |
| 11 | SS 4MKS | 11 | 120 | 122.25 | -2 |
| 12 | SS 4MKS | 12 | 130.9091 | 127 | 3.9091 |
| 13 | SS 4MKS | 13 | 141.8182 | 131.75 | 10.0682 |
| 14 | SS 4MKS | 14 | 152.7273 | 136.5 | 16.2273 |
| 15 | SS 4MKS | 15 | 163.6364 | 141.25 | 22.3864 |
| 16 | SS 4MKS | 16 | 174.5455 | 146 | 28.5455 |
| 17 | SS 4MKS | 17 | 185.4545 | 150.75 | 34.7045 |
| 18 | SS 4MKS | 18 | 196.3636 | 155.5 | 40.8636 |
| 19 | SS 4MKS | 19 | 207.2727 | 160.25 | 47.0227 |
| 20 | SS 4MKS | 20 | 218.1818 | 165 | 53.1818 |
| 21 | SS 4MKS | 21 | 229.0909 | 169.75 | 59.3409 |
| 22 | SS 4MKS | 22 | 240.0000 | 174.5 | 65.5000 |
| 23 | SS 4MKS | 23 | 250.9091 | 179.25 | 71.6591 |
| 24 | SS 4MKS | 24 | 261.8182 | 184 | 77.8182 |
| 25 | SS 4MKS | 25 | 272.7273 | 188.75 | 83.9773 |
| 26 | SS 4MKS | 26 | 283.6364 | 193.5 | 90.1364 |
| 27 | SS 4MKS | 27 | 294.5455 | 198.25 | 96.2955 |
| 28 | SS 4MKS | 28 | 305.4545 | 203 | 102.4545 |
| 29 | SS 4MKS | 29 | 316.3636 | 207.75 | 108.6136 |
| 30 | SS 4MKS | 30 | 327.2727 | 212.5 | 114.7727 |
| 31 | SS 4MKS | 31 | 338.1818 | 217.25 | 120.9318 |
| 32 | SS 4MKS | 32 | 349.0909 | 222 | 127.0909 |
| 33 | SS 4MKS | 33 | 360 | 226.75 | 133.2500 |
| 34 | SS 4MKS | 34 | 370.9091 | 231.5 | 139.4091 |
| 35 | SS 4MKS | 35 | 381.8182 | 236.25 | 145.5682 |
| 36 | SS 4MKS | 36 | 392.7273 | 241 | 151.7273 |
| 37 | SS 4MKS | 37 | 403.6364 | 245.75 | 157.8864 |
| 38 | SS 4MKS | 38 | 414.5455 | 250.5 | 164.0455 |
| 39 | SS 4MKS | 39 | 425.4545 | 255.25 | 170.2045 |
| 40 | SS 4MKS | 40 | 436.3636 | 260 | 176.3636 |
| 41 | SS 4MKS | 41 | 447.2727 | 264.75 | 182.5227 |
| 42 | SS 4MKS | 42 | 458.1818 | 269.5 | 188.6818 |
| 43 | SS 4MKS | 43 | 469.0909 | 274.25 | 194.8409 |
| 44 | SS 4MKS | 44 | 480 | 279 | 201 |

Tabel 10. Perhitungan Waktu *Painting* TRG 26

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog Takt/Cycle Time | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|-------------------------------|------------|--------------|------------|
| | | | TRG 26 | - | menit |
| 45 | TRG 26 | 1 | 11.4286 | 283.75 | -272.3214 |
| 46 | TRG 26 | 2 | 22.8571 | 288.5 | -265.6429 |
| 47 | TRG 26 | 3 | 34.2857 | 293.25 | -258.9643 |
| 48 | TRG 26 | 4 | 45.7143 | 298 | -252.2857 |
| 49 | TRG 26 | 5 | 57.1429 | 302.75 | -245.6071 |
| 50 | TRG 26 | 6 | 68.5714 | 307.5 | -238.9286 |
| 51 | TRG 26 | 7 | 80 | 312.25 | -232.2500 |
| 52 | TRG 26 | 8 | 91.4286 | 317 | -225.5714 |
| 53 | TRG 26 | 9 | 102.8571 | 321.75 | -218.8929 |
| 54 | TRG 26 | 10 | 114.2857 | 326.5 | -212.2143 |
| 55 | TRG 26 | 11 | 125.7143 | 331.25 | -205.5357 |
| 56 | TRG 26 | 12 | 137.1429 | 336 | -198.8571 |
| 57 | TRG 26 | 13 | 148.5714 | 340.75 | -192.1786 |
| 58 | TRG 26 | 14 | 160 | 345.5 | -185.5000 |
| 59 | TRG 26 | 15 | 171.4286 | 350.25 | -178.8214 |
| 60 | TRG 26 | 16 | 182.8571 | 355 | -172.1429 |
| 61 | TRG 26 | 17 | 194.2857 | 359.75 | -165.4643 |
| 62 | TRG 26 | 18 | 205.7143 | 364.5 | -158.7857 |
| 63 | TRG 26 | 19 | 217.1429 | 369.25 | -152.1071 |
| 64 | TRG 26 | 20 | 228.5714 | 374 | -145.4286 |
| 65 | TRG 26 | 21 | 240 | 378.75 | -138.7500 |
| 66 | TRG 26 | 22 | 251.4286 | 383.5 | -132.0714 |
| 67 | TRG 26 | 23 | 262.8571 | 388.25 | -125.3929 |
| 68 | TRG 26 | 24 | 274.2857 | 393 | -118.7143 |
| 69 | TRG 26 | 25 | 285.7143 | 397.75 | -112.0357 |
| 70 | TRG 26 | 26 | 297.1429 | 402.5 | -105.3571 |
| 71 | TRG 26 | 27 | 308.5714 | 407.25 | -98.6786 |
| 72 | TRG 26 | 28 | 320 | 412 | -92.0000 |
| 73 | TRG 26 | 29 | 331.4286 | 416.75 | -85.3214 |
| 74 | TRG 26 | 30 | 342.8571 | 421.5 | -78.6429 |
| 75 | TRG 26 | 31 | 354.2857 | 426.25 | -71.9643 |
| 76 | TRG 26 | 32 | 365.7143 | 431 | -65.2857 |
| 77 | TRG 26 | 33 | 377.1429 | 435.75 | -58.6071 |
| 78 | TRG 26 | 34 | 388.5714 | 440.5 | -51.9286 |
| 79 | TRG 26 | 35 | 400 | 445.25 | -45.2500 |
| 80 | TRG 26 | 36 | 411.4286 | 450 | -38.5714 |
| 81 | TRG 26 | 37 | 422.8571 | 454.75 | -31.8929 |
| 82 | TRG 26 | 38 | 434.2857 | 459.5 | -25.2143 |
| 83 | TRG 26 | 39 | 445.7143 | 464.25 | -18.5357 |
| 84 | TRG 26 | 40 | 457.1429 | 469 | -11.8571 |
| 85 | TRG 26 | 41 | 468.5714 | 473.75 | -5.1786 |
| 86 | TRG 26 | 42 | 480 | 478.5 | 1.5 |

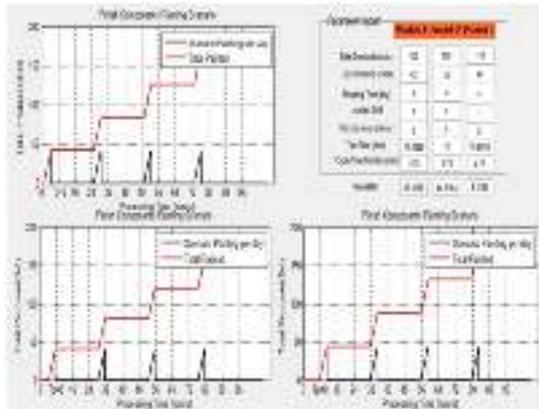
Tabel 9 dan 10 menunjukkan bahwa masih tersisa waktu dan dapat dilanjutkan dengan produk ketiga yaitu TRG 29, adapun hasil perhitungan untuk produk ketiga yang ditujukan pada Tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan Waktu *Painting* TRG 29

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog Takt/Cycle Time | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|-------------------------------|------------|--------------|------------|
| | | | TRG 29 | - | - |
| 87 | TRG 29 | 1 | 12 | 483.25 | -471.25 |
| 88 | TRG 29 | 2 | 24 | 488 | -464 |
| 89 | TRG 29 | 3 | 36 | 492.75 | -456.75 |
| 90 | TRG 29 | 4 | 48 | 497.5 | -449.5 |
| 91 | TRG 29 | 5 | 60 | 502.25 | -442.25 |
| 92 | TRG 29 | 6 | 72 | 507 | -435 |
| 93 | TRG 29 | 7 | 84 | 511.75 | -427.75 |
| 94 | TRG 29 | 8 | 96 | 516.5 | -420.5 |
| 95 | TRG 29 | 9 | 108 | 521.25 | -413.25 |
| 96 | TRG 29 | 10 | 120 | 526 | -406 |
| 97 | TRG 29 | 11 | 132 | 530.75 | -398.75 |
| 98 | TRG 29 | 12 | 144 | 535.5 | -391.5 |
| 99 | TRG 29 | 13 | 156 | 540.25 | -384.25 |
| 100 | TRG 29 | 14 | 168 | 545 | -377 |

| No Antrian | Skenario Antrian | Nomor Katalog Takt/Cycle Time | Waktu Takt | Waktu Output | Beda Waktu |
|------------|------------------|-------------------------------|------------|--------------|------------|
| | | | TRG 29 | - | - |
| 100 | TRG 29 | 14 | 168 | 545 | -377 |
| 101 | TRG 29 | 15 | 180 | 549.75 | -369.75 |
| 102 | TRG 29 | 16 | 192 | 554.5 | -362.5 |
| 103 | TRG 29 | 17 | 204 | 559.25 | -355.25 |
| 104 | TRG 29 | 18 | 216 | 564 | -348 |
| 105 | TRG 29 | 19 | 228 | 568.75 | -340.75 |
| 107 | TRG 29 | 21 | 252 | 578.25 | -326.25 |
| 108 | TRG 29 | 22 | 264 | 583 | -319 |
| 109 | TRG 29 | 23 | 276 | 587.75 | -311.75 |
| 110 | TRG 29 | 24 | 288 | 592.5 | -304.5 |
| 111 | TRG 29 | 25 | 300 | 597.25 | -297.25 |
| 112 | TRG 29 | 26 | 312 | 602 | -290 |
| 113 | TRG 29 | 27 | 324 | 606.75 | -282.75 |
| 114 | TRG 29 | 28 | 336 | 611.5 | -275.5 |
| 115 | TRG 29 | 29 | 348 | 616.25 | -268.25 |
| 116 | TRG 29 | 30 | 360 | 621 | -261 |
| 117 | TRG 29 | 31 | 372 | 625.75 | -253.75 |
| 118 | TRG 29 | 32 | 384 | 630.5 | -246.5 |
| 119 | TRG 29 | 33 | 396 | 635.25 | -239.25 |
| 120 | TRG 29 | 34 | 408 | 640 | -232 |
| 121 | TRG 29 | 35 | 420 | 644.75 | -224.75 |
| 122 | TRG 29 | 36 | 432 | 649.5 | -217.5 |
| 123 | TRG 29 | 37 | 444 | 654.25 | -210.25 |
| 124 | TRG 29 | 38 | 456 | 659 | -203 |
| 125 | TRG 29 | 39 | 468 | 663.75 | -195.75 |
| 126 | TRG 29 | 40 | 480 | 668.5 | -188.5 |

Hasil dari perhitungan pada Tabel 11 menunjukan bahwa produk ketiga memiliki waktu *overtime* sehingga harus dilanjutkan ke shift 2 dengan menyisakan waktu sebesar 188.5 menit. Untuk penjelasan lebih detail dapat disajikan pada Gambar 8. menunjukan kurva dan parameternya.



Gambar 8. Kurva Tiga Jenis Produk Di Lini Painting

5. Verifikasi Dan Analisis Model Schedule

Setelah dilakukan proses *scheduling painting* untuk dua lini dan tiga lini, menggunakan satu stasiun cat yang beroperasi pada 1 hari terdapat 24 jam dengan 1 shift = $T_p=8$ jam, 2 shift= $2T_p=16$ jam dan 3 shift = $3T_p=24$ jam. Pada optimasi dua produk ditunjukkan pada Tabel 12.

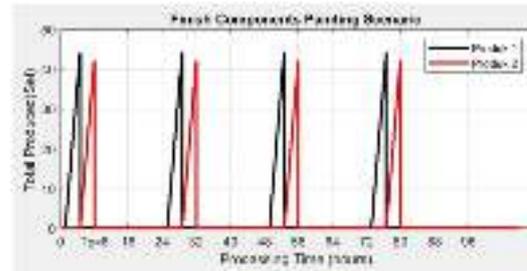
Tabel 12. Hasil Optimasi Pada Dua Produk

| Produk | Waktu | Taktik | Cycle Time | Waktu Dd | Waktu pindah | Waktu cat | Waktu Dd | Waktu |
|--------|--------|--------|------------|----------|--------------|-----------|----------|--------|
| 1 | 10.000 | 10.000 | 4.75 | 1 | 1 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| 2 | 10.000 | 10.000 | 4.75 | 1 | 1 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |

Tabel 12 merupakan hasil optimasi dengan dua produk, kemudian disimulasikan kedalam *dashboard matlab* dengan persamaan *Heaviside* dan menginput parameter yang dibutuhkan seperti *cycle time*, *takt time*, *total demand* dan lain-lain. Sehingga dapat menghasilkan output berupa grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 untuk satu hari dengan satu shift sebesar 8 jam dan Gambar 10 untuk empat hari dengan satu shift sebesar 8 jam.



Gambar 9. Kurva Pengecatan Dua Produk Pada 1 Hari.



Gambar 10. Kurva Pengecatan Dua Produk Pada 4 Hari.

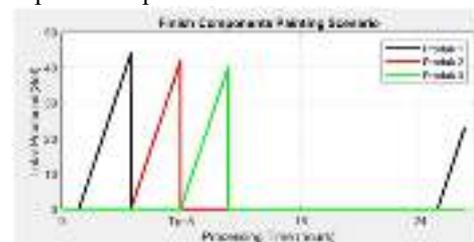
Gambar 9 dan 10 menunjukkan bahwa dengan dua produk dapat dilakukan dalam 1 shift dikarenakan jumlah *cycle time* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan *takttime*. Berdasarkan grafik diatas untuk produk 1 yaitu SS 4MKS dapat dilakukan proses pengecatan untuk 44 unit dan dapat diselesaikan dan menyisakan waktu sehingga dapat melakukan proses pengecatan kembali untuk produk 2 yaitu TRG 26 dan melakukan pengecatan untuk 42-unit yang diselesaikan dalam 8 jam dan menyisakan waktu sebesar 1,25 menit. Optimasi yang dilakukan untuk 2 lini painting dapat diterapkan pada stasiun pengecatan.

Selanjutnya akan menampilkan hasil optimasi pada tiga lini painting yang ditunjukkan pada Tabel 13 sebagai berikut.

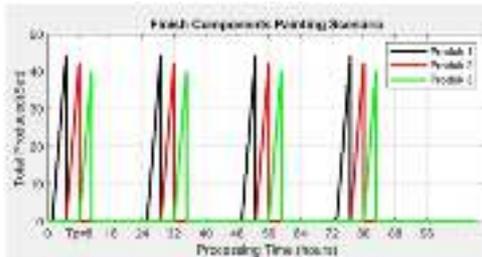
Tabel 13. Hasil Optimasi Pada Tiga Produk

| Produk | Waktu | Taktik | Cycle Time | Waktu Dd | Waktu pindah | Waktu cat | Waktu Dd | Waktu |
|--------|--------|--------|------------|----------|--------------|-----------|----------|--------|
| 1 | 10.000 | 10.000 | 4.75 | 1 | 1 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| 2 | 10.000 | 10.000 | 4.75 | 1 | 1 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |
| 3 | 10.000 | 10.000 | 4.75 | 1 | 1 | 10.000 | 10.000 | 10.000 |

Tabel 13 merupakan hasil optimasi pada tiga produk yang dilakukan dengan satu stasiun mesin cat selama satu shift berlangsung. Sehingga hasil output yang dihasilkan dapat digambarkan pada kurva. Gambar 11 menunjukkan kurva pada proses satu hari dan Gambar 12 menunjukkan kurva pada proses empat hari.



Gambar 11. Kurva Pengecatan Tiga Produk Pada 1 Hari



Gambar 12. Kurva Pengecatan Tiga Produk Pada 4 Hari.

Gambar 10 dan 11 menunjukkan bahwa dengan tiga produk tidak dapat dilakukan dalam 1 shift dikarenakan jumlah *cycle time* yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan *takttime*. Berdasarkan grafik Gambar 12 untuk produk 1 yaitu SS 4MKS dapat dilakukan proses pengecatan untuk 44 unit dan dapat diselesaikan dan menyisahkan waktu sehingga dapat melakukan proses pengecatan kembali untuk produk 2 yaitu TRG 26 dan melakukan pengecatan untuk 42 unit dan dilanjutkan ke produk 3 yaitu TRG 29 dengan melakukan pengecatan untuk 40-unit yang diselesaikan dalam 8 jam. Pada data Tabel 13 menunjukan untuk produk ketiga memiliki total kekurangan waktu sebesar 188.5 menit serta perlu tambahan pada shift ke 2. Bila direncanakan pabrik bekerja dengan dua shift, maka pada shift ke dua masih tersedia waktu $480 - 188.5 = 291.5$ menit, waktu ini dapat dimanfaatkan untuk memproses produk lainnya, berarti dapat meningkatkan kapasitas dilantai pengecatan.

Kesimpulan

Setelah dilakukan optimasi proses painting, pada dua dan tiga lini serta menganalisis skenario scheduling mendapat hasil dan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Untuk skenario dua lini menunjukkan bahwa dalam satu shift sudah cukup untuk melakukan proses painting, dengan menunjukkan pada *model schedule* memiliki waktu tersisa sebesar 1,5 menit dan setelah diverifikasi menunjukkan waktu tersisa sebesar 1,25 menit.
2. Skenario tiga lini menunjukkan bahwa dalam satu shift tidak cukup untuk tiga produk, dari hasil *model schedule* dan verifikasi model dapat menunjukkan bahwa pada produk ketiga memiliki waktu *overtime* sebesar 188,5 menit.
3. Pada *overtime* yang didapatkan pada produk ketiga jika pabrik merencanakan untuk dua shift dapat dilakukan untuk produk keempat. Sehingga dalam proses pengecatannya dapat selesai pada satu

hari dan dapat didistribusikan ke lini perakitan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim, Step 1 Pedoman Pelatihan Pengecatan. Jakarta : PT Toyota – Astra Motor. (1995).
- [2] Tesic, Z., Stevanaov, B., Jovanovic, V., Tomic, M., & Kafol, C. "Period batch control-a production planning system applied to virtual manufacturing cells. " *International Journal of Simulation Modelling*, 15(2). (2016).
- [3] Riezebos, J. "Design of a period batch control planning system for cellular manufacturing. " University Library Groningen][Host]. (2001).
- [4] Anonim, Technical Data Sheet Dana Gloss. (http://www.hempel.com.bh/pdfs/DANA_GLOSS/599ME.pdf, (2008).