BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Profil Singkat Perusahaan

Perusahaan yang menjadi lokasi dari dilakukannya penelitian ini, merupakan sebuah ukm yang bergerak dibidang konveksi. Berikut profil singkat dari ukm tersebut :

Nama : UKM Konveksi Unlogic Projeck
Alamat : Jl. Kerucut No. 1 Rt 03/01, Pojok Tiyasan, Condongcatur, Depok, Yogyakarta.

Perusahaan ini beroprasi selama hari kerja kantor yaitu mulai hari senin hingga sabtu, sedangkan minggu libur. Untuk tiap harinya jam kantor dimulai dari jam 8.30 hingga 16.30, dengan istirahat dari jam 12.00 hingga jam 13.00. Perusahaan ini dalam produksinya mampu memproduksi dua jenis produk pakaian yaitu kaos pollo dan kaos sablon. Produksi dilakukan bila terdapat pesanan masuk atau yang sering disebut dengan *make to order*. Bila tidak ada pesanan dari konsumen maka perusahaan tidak akan melakukan produksi, dan digantikan dengan melakukan proses *maintenance* mesin atau lain sebagainya.

4.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi serta wawancara di lokasi penelitian, dan didapatkan beberapa informasi dan data, seperti alur proses produksi, jumlah mesin yang tersedia, dan waktu proses tiap mesinnya. Perusahaan ini memiliki berbagai macam mesin seperti mesin *single* (berjumlah 5 unit), mesin obras (berjumlah 4 unit), mesin *overdeck*

(berjumlah 2 unit), mesin rantai (berjumlah 1 unit), dan mesin pasang kancing (berjumlah 2 unit), yang semua itu digunakan untuk memproduksi kaos pollo dan sablon.

Namun berdasarkan asumsi yang telah dibuat yaitu penelitian ini akan memfokuskan kepada proses produksi kaos sablon, maka data seperti alur produksi, jenis mesin, jumlah mesin, serta waktu produksi akan disesuaikan dengan yang digunakan untuk memproduksi kaos sablon saja.

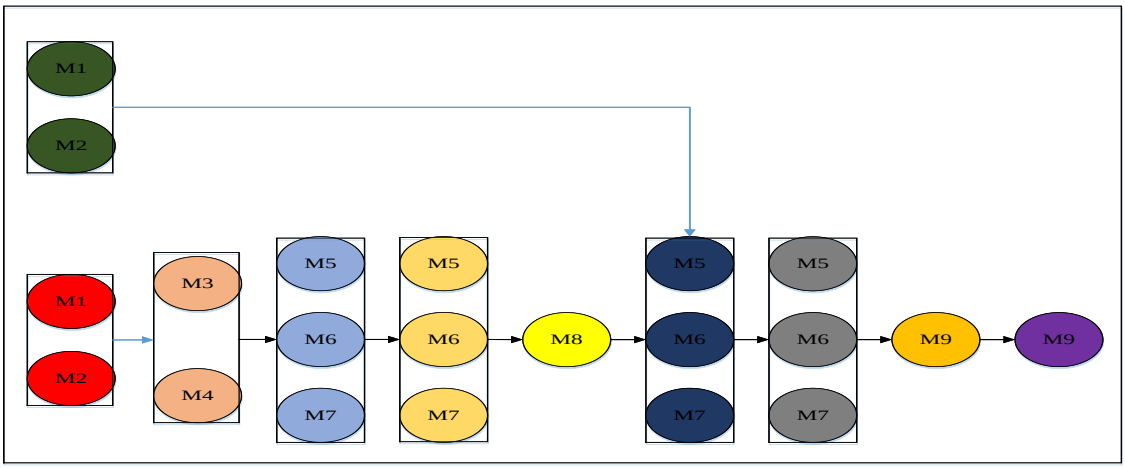
Pertama, penjelasan mengenai alur produksi kaos sablon dari awal hingga akhir yaitu proses *cutting* badan, proses *cutting* lengan, proses sablon, proses obras bahu, proses obras *rip*, proses memasang rantai bahu, proses obras lengan, proses obras samping badan, proses *overdeck* lengan, dan proses *overdeck* badan bawah. Serta untuk data mengenai jenis mesin dan jumlah mesin yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Jenis dan jumlah mesin untuk kaos sablon

Nama Mesin	Jumlah Mesin	Kode Mesin
Cutting	2	{M1 , M2}
Sablon	2	{M3 , M4}
Obras	3	{M5 , M6 , M7}
Rantai	1	{M8}
Overdeck	1	{M9}

Sumber : Ukm Unlogic Projeck DIY, 2017

Lalu untuk memperjelas bagaimana alur produksi serta jenis mesin apa yang digunakan, maka dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Flowchart* proses produksi kaos sablon
Sumber : Ukm Unlogic Projeck DIY, 2017

Untuk lebih memperjelas *flowchart* proses produksi yang digambarkan pada Gambar 4.1, maka dapat dilihat keterangannya pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Keterangan *flowchart* proses produksi kaos sablon

Kode warna	Kode Proses	Nama Proses
	1	*cutting* lengan
	2	*cutting* badan
	3	sablon
	4	obras bahu
	5	obras rip
	6	rantai bahu
	7	obras lengan
	8	obras samping badan
	9	*overdeck* lengan
	10	*overdeck* bawah badan

Setelah mengetahui mesin-mesin yang digunakan, selanjutnya adalah mengumpulkan data waktu proses di tiap mesinnya, yang dapat dilihat pada Tabel 4.3 hingga 4.12.

Tabel 4.3 Waktu proses *cutting* lengan (dalam detik)

1. *Cutting* Lengan	
Mesin 1	Mesin 2
41.4	35.5
40.1	37.2
36.5	33.6
35.3	32.8
33.3	38.1
37.3	35.4

Tabel 4.4 Waktu proses *cutting* badan (dalam detik)

2. *Cutting* Badan	
Mesin 1	Mesin 2
83.6	89.3
115.3	110.2
107.9	108.7
91.0	102.3
100.4	116.5
99.6	105.4

Tabel 4.5 Waktu proses sablon (dalam detik)

3. Sablon	
Mesin 3	Mesin 4
19.2	13.2
15.3	11.4
13.8	14.5
11.9	15.9
16.8	14.4
15.4	13.9

Tabel 4.6 Waktu proses obras bahu (dalam detik)

4. Obras Depan-Belakang (bahu)		
Mesin 5	Mesin 6	Mesin 7
8.8	7.2	8.2
6.5	6.0	8.3
6.9	6.1	7.1
7.4	5.8	6.2
5.8	5.7	8.4
7.1	6.2	7.6

Tabel 4.7 Waktu proses obras *rip* (dalam detik)

5. Obras Rip		
Mesin 5	Mesin 6	Mesin 7
24.8	16.7	19.4
20.3	18.6	25.8
18.0	21.5	18.4
24.1	22.3	19.1
22.7	16.3	21.3
22	19.1	20.8

Tabel 4.8 Waktu proses memasang rantai bahu (dalam detik)

6. Rantai bahu
Mesin 8
12.1
12.3
11.6
11.5
10.8
11.6

Tabel 4.9 Waktu proses obras lengan (dalam detik)

7. Obras Lengan		
Mesin 5	Mesin 6	Mesin 7
26.8	27.0	27.5
28.5	29.7	24.4
27.7	29.7	25.5
23.4	29.3	27.2
25.7	26.9	21.8
26.4	28.5	25.3

Tabel 4.10 Waktu proses obras samping badan (dalam detik)

8. Obras Samping		
Mesin 5	Mesin 6	Mesin 7
34.0	41.6	34.8
28.7	41.0	36.4
35.4	40.7	38.4
33.9	38.2	44.9
33.6	41.4	39.2
33.12	40.6	38.7

Tabel 4.11 Waktu proses *overdeck* lengan (dalam detik)

9. *Overdeck* lengan
Mesin 9
18.1
19.2
18.5
18.7
17.6
18.4

Tabel 4.12 Waktu proses *overdeck* bawah badan (dalam detik)

10. *Overdeck* Bawah
Mesin 9
29.1
24.5
25.7
22.2
25.2
25.3

Dari keseluruhan data waktu yang telah dikumpulkan dan di rata-rata. maka dapat direkapitulasi menjadi data-data yang akan digunakan yaitu rata-rata waktu tiap mesinnya. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Rekapitulasi data waktu proses di tiap mesin

1. *Cutting* lengan		
M1	37,3 detik	per 1-4 item
M2	35,4 detik	per 1-4 item
2. *Cutting* badan		
M1	99,6 detik	per 1-4 item

6. Rantai bahu		
M8	11,6 detik	per 1 item
7. Obras lengan		
M5	26,4 detik	per 1 item
M6	28,5 detik	per 1 item

2. *Cutting* badan		
M2	105,4 detik	per 1-4 item
3. Sablon		
M3	15,4 detik	per 1 item
M4	13,9 detik	per 1 item
4. Obras bahu		
M5	7,1 detik	per 1 item
M6	6,2 detik	per 1 item
M7	7,6 detik	per 1 item
5. Obras rip		
M5	22 detik	per 1 item
M6	19,1 detik	per 1 item
M7	20,8 detik	per 1 item

7. Obras lengan		
M7	25,3 detik	per 1 item
8. Obras samping		
M5	33,12 detik	per 1 item
M6	40,6 detik	per 1 item
M7	38,7 detik	per 1 item
9. *Overdeck* lengan		
M9	18,4 detik	per 1 item
10. *Overdeck* bawah		
M9	25,3 detik	per 1 item

4.3. Data Studi Kasus

Menurut batasan masalah yang telah dibuat sebelumnya, telah dijelaskan bahwa penelitian ini menggunakan sebuah studi kasus untuk melakukan perhitungan modelnya. Studi kasus tersebut didapat dari data *history* perusahaan mengenai order kaos sablon yang pernah masuk ke perusahaan, seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Data *history* produksi kaos sablon

Order	Selesai
360 item	3.5 hari jam kerja (88.200 detik)

Sumber : Ukm Unlogic Projeck DIY, 2017

Menurut Tabel 4,14 diketahui bahwa *makespan* pada kondisi *real* untuk order sebanyak 360 item sebesar 88.200 detik, total waktu tersebut sudah termasuk waktu proses (hanya waktu item ketika diproses di mesin) dan waktu tak proses (yang termasuk didalamnya yaitu waktu *setup*, *maintenance*, perpindahan item, dan interupsi). Berdasarkan batasan dan asumsi yang telah dibuat untuk model pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa *makespan* pada kondisi *real* (Z_{real}) perlu dikurangi dengan waktu tak prosesnya (data hipotetik untuk waktu tak proses = 20.000 detik), sehingga perhitungannya akan menjadi seperti berikut :

Z_{real} = 88.200 – 20.000 = 68.200 detik

Hal lain yang perlu diperhatikan yaitu dengan melihat Tabel 4.13 diketahui bila mesin 1 dan 2 yang melakukan proses 1 dan 2 dan yang menjadi proses awal seperti pada Gambar 4.1, bahwa dalam sekali proses untuk tiap mesinnya dapat mengeluarkan empat item sekaligus. Mengacu pada hal ini maka diketahui bahwa kedua mesin tersebut dalam sekali proses dapat menghasilkan delapan item, yaitu empat item untuk masing-masing mesin 1 dan 2. Dengan data ini maka dapat ditentukan bahwa total *batch* untuk tiap prosesnya (a_i) akan menjadi seperti berikut :

$a_i = \sum_j nij$

$n_{11} = n_{12} = n_{21} = n_{22} = 1$ *batch* = 4 item

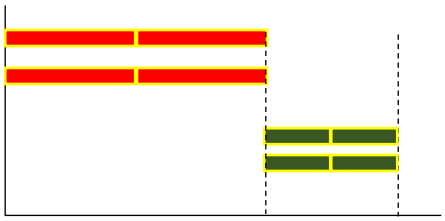
$a = a_i$

$a_1 = n_{11} + n_{12} = 8$ item

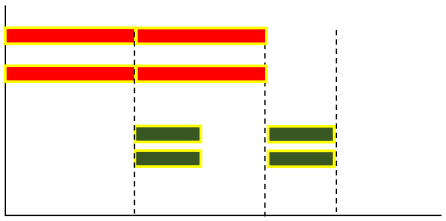
$a_2 = n_{11} + n_{12} = 8$ item

Beberapa alasan yang digunakan, terhadap penggunaan data total *batch* tiap proses (a_i) seperti perhitungan di atas adalah sebagai berikut :

a. Alasan pertama mengapa diasumsikan demikian yaitu karena mesin 1 dan 2 akan memproses dengan waktu yang sama bila menghasilkan antara satu hingga empat item, maka akan lebih baik jika setiap mesin memproses empat item sekaligus.
b. Alasan kedua yaitu bila memproses lebih sedikit *batch* dalam sekali proses sebelum mengirim ke proses selanjutnya, akan lebih cepat memulai pengerjaan proses selanjutnya sehingga dapat mengurangi adanya waktu menganggur mesin serta nilai *makespan*. Hal ini.dapat diilustrasikan dengan Gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2 Memproses banyak *batch*



Gambar 4.3 Memproses sedikit *batch*

Sedangkan untuk proses yang menggunakan mesin selain mesin 1 dan 2 akan tetap memproses sebanyak satu item per prosesnya, sama seperti yang dijelaskan pada Tabel 4.13. Hanya saja dalam kasus ini akan digunakan proses *batching*, yaitu mengumpulkan

beberapa item menjadi satu kelompok sebelum dilanjutkan ke proses selanjutnya. Hal yang mendasari penggunaan proses *batching* ini yaitu karena pada kenyataannya akan kesulitan bila harus melakukan pemindahan item per item dari proses satu ke proses selanjutnya, karena operator yang ada di setiap mesin hanya berjumlah satu orang. Lalu untuk jumlah total *batch* di setiap proses yang digunakan, akan tetap mengikuti total *batch* dari proses yang menggunakan mesin 1 dan 2 yang telah ditentukan sebelumnya.

4.4. Perhitungan Model *Batch Scheduling*

Perhitungan ini akan dilakukan dengan memasukkan data yang telah diolah kedalam model matematis *batch scheduling* yang telah dibuat. Langkah pertama yang perlu dilakukan adalah membuat fungsi objektifnya seperti pada Persamaan (3.1). Dengan melihat *flowchart* proses produksi kaos sablon pada Gambar 4.1, maka dapat diketahui bahwa fungsi objektifnya adalah *completion time* atau *makespan* pada proses ke-10, sehingga fungsi objektifnya menjadi seperti pada Persamaan (4.1).

$$Z = x_{[10]} \tag{4.1}$$

Berdasarkan data pada studi kasus yang telah ditentukan sebelumnya, maka untuk menyelesaikan keseluruhan order sebanyak 360 item, fungsi objektif dapat dirubah menjadi seperti berikut :

$$Z = \left(\frac{360}{a}\right) . x_{[10]} = \left(\frac{360}{8}\right) . x_{[10]}$$

Dari perhitungan tersebut maka perubahan fungsi objektif menjadi seperti pada Persamaan (4.2).

$$Z = 45 . x_{[10]} \tag{4.2}$$

Persamaan (4.2) menjelaskan bahwa model untuk menyelesaikan order sebanyak 360 item dapat menggunakan model *batch scheduling* untuk $a = 8$, yang diulang prosesnya sebanyak 45 kali. Kemudian langkah selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menentukan jalur kritis dari alur proses produksinya. Jalur kritis terdiri dari proses-proses yang bila tidak dilakukan terlebih dahulu akan mempengaruhi lamanya *makespan*.

Dengan melihat ke alur produksi dan data waktu yang ada, maka dapat terlihat bahwa jalur kritisnya adalah 2-3-4-5-6-7-8-9-10. Sehingga dapat ditentukan bahwa proses 1 dapat dilakukan setelah proses 2 selesai dilakukan (karena tidak ada batasan *precedence* di antara kedua proses tersebut), namun harus diselesaikan sebelum proses 7 dilakukan.

Setelah menentukan fungsi tujuan, maka langkah selanjutnya adalah perhitungan *batch scheduling* berdasarkan model yang telah dibuat :

4.4.1. *Stage*-1 (proses 2 ke proses 1)

Stage ini akan menggunakan Persamaan (3.2) hingga (3.3) untuk menentukan *completion time* nya. Berdasar pada jalur kritis yang telah ditentukan, maka perhitungan ini akan menunjukan *completion time* untuk proses 2 yang dilanjutkan ke proses 1.

Perhitungan dilakukan dengan memasukkan data waktu t_{11}, t_{12}, t_{21}, dan t_{22}, serta menggunakan data *batch* n_{11}, n_{12}, n_{21}, dan n_{22} yang telah ditentukan sebelumnya. Dan berikut adalah perhitungan berdasarkan model yang sudah dibuat :

a. Proses 2

$x_{21} = t_{21} \,.\, n_{21}$

x_{21} = 99,6 .1 = 99,6 detik

$x_{22} = t_{22} \,.\, n_{22}$

x_{22} = 105,4 .1 = 105,4 detik

b. Proses 1

$x_{11} = x_{21} + (t_{11} \,.\, n_{11})$

x_{11} = 99,6 + (37,3 . 1) = 136,9 detik

$x_{12} = x_{22} + (t_{12} \,.\, n_{12})$

x_{12} = 105,4 + (35,4 . 1) = 140,8 detik

4.4.2. *Stage*-2 (proses 2 ke proses 3)

Pada *stage*-2 ini, sama seperti model yang dibuat sebelumnya yaitu memiliki struktur dua mesin (3 dan 4) yang akan melakukan proses 3, dimana sebelumnya didahului sebuah *precedence* yaitu proses 2 yang dilakukan di mesin 1 dan 2. Lalu berdasarkan model tersebut, maka untuk *stage* ini pertama-tama akan dilakukan pembagian *batch* menjadi *subbatch* yang akan dilakukan proses 3 pada mesin 3 dan 4. Persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan ini adalah Persamaan (3.4) hingga (3.6). Dan langkah pertama dari persamaan tersebut adalah mencari nilai proporsional dari dua unit mesin, yaitu sebagai berikut :

$$P_{34} = \frac{t33}{t33 + t34}$$

$$P_{34} = \frac{15{,}4}{15{,}4 + 13{,}9} = 0{,}5256$$

$$P_{33} = \frac{t34}{t33 + t34}$$

$$P_{33} = \frac{13{,}9}{15{,}4 + 13{,}9} = 0{,}4744$$

Dari nilai proporsional tersebut dapat dicari nilai dari *subbatch* untuk mesin 4 yang mana memiliki waktu proses lebih kecil (menurut Tabel 4.13), sedangkan sisanya akan menjadi nilai *subbatch* dari mesin 3. Sehingga berdasarkan syarat pada Persamaan (3.5) hingga (3.6) yaitu $t_{34} < t_{33}$, maka perhitungannya akan menjadi seperti berikut :

$$n_{34} = round\ (\frac{P34}{(P33+P34)} \ .\ a)$$

$$n_{34} = round\ (\frac{0{,}5256}{(0{,}4744+0{,}5256)} \ .\ 8\ ) = 4{,}2 = 4 \text{ item}$$

$$n_{33} = a - n_{34}$$

$$n_{33} = 8 - 4 = 4 \text{ item}$$

Setelah mengetahui berapa jumlah *batch* yang perlu dikerjakan di setiap mesinnya, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *completion time* untuk proses ini dengan menggunakan Persamaan (3.7) hingga (3.13). Beberapa persyaratan pada model yang telah dibuat, perlu diperhatikan ketika menggunakan perhitungan *completion time* ini. Pertama yaitu dengan melihat data yang didapat dari *stage* sebelumnya dan diketahui

bahwa $x_{21} < x_{22}$, lalu kedua yaitu menurut Tabel 4.13 diketahui bahwa $t_{34} < t_{33}$. Setelah mengetahui syarat-syaratnya, maka nilai *completion time* untuk tiap mesin dapat dilihat pada perhitungan berikut ini :

a. Mesin 3

$y_{331} = \frac{n21}{2} = \frac{4}{2} = 2$ item

$y_{332} = n_{33} - y_{331} = 4 - 2 = 2$ item

$x_{331} = x_{21} + (y_{331} \,.\, t_{33})$

$x_{331} = 99{,}6 + (2 \,.\, 15{,}4)$

$x_{331} = 130{,}4$ detik

$x_{332} = max\ \{x_{331}, x_{22}\} + (y_{332} \,.\, t_{33})$

$x_{332} = max\ \{130{,}4;105{,}4\} + (2 \,.\, 15{,}4)$

$x_{332} = 130{,}4 + (2 \,.\, 15{,}4) = 161{,}2$ detik

$x_{33} = x_{332}$

$x_{332} = x_{33} = 161{,}2$ detik

b. Mesin 4

$y_{341} = \frac{n21}{2} = \frac{4}{2} = 2$ item

$y_{342} = n_{34} - y_{341}$

$y_{342} = 4 - 2 = 2$ item

$x_{341} = x_{21} + (y_{341} \,.\, t_{34})$

$x_{341} = 99{,}6 + (2 \,.\, 13{,}9)$

$x_{341} = 127{,}4$ detik

$x_{342} = max\ \{x_{341}, x_{22}\} + (y_{342} \,.\, t_{34})$

$x_{332} = max\ \{127{,}4;105{,}4\} + (2 \,.\, 15{,}4)$

$x_{342} = 127{,}4 + (2 \,.\, 13{,}9) = 155{,}2$ detik

$x_{34} = x_{342}$

$x_{342} = x_{34} = 155{,}2$ detik

4.4.3. *Stage*-3 (proses 3 ke proses 4)

Pada *stage*-3 ini, sama seperti model yang dibuat sebelumnya yaitu memiliki struktur tiga mesin (5, 6 dan 7) yang akan melakukan proses 4, dimana sebelumnya didahului sebuah

precedence yaitu proses 3 yang dilakukan di mesin 3 dan 4. Lalu berdasarkan model tersebut, maka untuk *stage* ini pertama-tama akan dilakukan pembagian *batch* menjadi *subbatch* yang akan dikerjakan pada proses 4 di mesin 5, 6 dan 7. Persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan ini adalah Persamaan (3.14) hingga (3.19), berikut ini adalah hasil perhitungannya :

a. 3-mesin (*j*-*k*-*l*)

Pertama-tama perlu dilakukan perhitungan nilai proporsional untuk ketiga unit mesin tersebut, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses tercepat. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{46} = \frac{(t45 + t46 + t47) - t46}{(t45 + t46 + t47)}$$

$$P_{46} = \frac{7{,}1 + 7{,}6}{7{,}1 + 6{,}2 + 7{,}6} = 0{,}70335$$

$$P_{45} = \frac{(t45 + t46 + t47) - t45}{(t45 + t46 + t47)}$$

$$P_{45} = \frac{6{,}2 + 7{,}6}{7{,}1 + 6{,}2 + 7{,}6} = 0{,}66029$$

$$P_{47} = \frac{(t45 + t46 + t47) - t47}{(t45 + t46 + t47)}$$

$$P_{47} = \frac{7{,}1 + 6{,}2}{7{,}1 + 6{,}2 + 7{,}6} = 0{,}63636$$

Diketahui dari Tabel 4.13 bahwa mesin yang memiliki waktu tercepat ketika melakukan proses 4 adalah mesin 6, dengan urutan yaitu $t_{46} \leq t_{45} \leq t_{47}$, maka jumlah *subbatch* dari mesin 6 untuk proses 4 ini adalah sebagai berikut :

$$n_{46} = roundup\ \left(\frac{P46}{(P45 + P46 + P47)} . a \right)$$

$$n_{46} = roundup\ \left(\frac{0{,}70335}{(0{,}66029 + 0{,}70335 + 0{,}63636)} . 8 \right) = 2{,}81 = 3 \text{ item}$$

Setelah mengetahui jumlah *subbatch* untuk mesin 6, maka terdapat sisa *batch* yang belum ditentukan akan diproses di mesin 5 atau 7. Jumlah sisa *batch* tersebut adalah sebagai berikut :

$b = a - n_{46}$

$b = 8 - 3 = 5$ item

b. 2-mesin (*k*-*l*)

Langkah kedua dalam pembagian *batch* ini adalah perhitungan nilai proporsional untuk dua unit mesin yang tersisa, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses lebih cepat dari mesin satunya. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{45} = \frac{(t45 + t47) - t45}{(t45 + t47)}$$

$$P_{45} = \frac{7{,}6}{7{,}1 + 7{,}6} = 0{,}517007$$

$$P_{47} = \frac{(t45 + t47) - t47}{(t45 + t47)}$$

$$P_{47} = \frac{7{,}1}{7{,}1 + 7{,}6} = 0{,}48299$$

Berdasarkan urutan waktu proses antara mesin-mesin di proses 4 ini, mesin 5 diketahui lebih cepat dari mesin 7, maka jumlah *subbatch* untuk mesin 5 adalah sebagai berikut :

$$n_{45} = round\ \left(\frac{P45}{(P45 + P47)} \cdot b\right)$$

$$n_{45} = round\ \left(\frac{0{,}517007}{(0{,}517007 + 0{,}482993)} \cdot 5\right) = 2{,}585 = 3 \text{ item}$$

c. 1-mesin (*l*)

Karena mesin 7 merupakan mesin yang memiliki waktu proses terlama, maka jumlah *subbatch* nya tidak diprioritaskan seperti dua mesin sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa jumlahnya didapat dari sisa *batch* yang belum di proses pada proses 4 ini, dengan perhitungan sebagai berikut :

$n_{47} = b - n_{45}$

$n_{47} = 5 - 3 = 2$ item

Setelah mengetahui berapa jumlah *batch* yang perlu dikerjakan di setiap mesinnya, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *completion time* untuk proses ini dengan menggunakan Persamaan (3.20) hingga (3.28). Beberapa persyaratan pada model yang telah dibuat perlu diperhatikan ketika menggunakan perhitungan *completion time* ini, pertama yaitu dengan melihat data yang didapat dari *stage* sebelumnya dan diketahui bahwa $x_{34} \leq x_{33}$, lalu kedua yaitu menurut Tabel 4.13 diketahui bahwa $t_{46} \leq t_{45} \leq t_{47}$. Setelah mengetahui syarat-syaratnya, maka nilai *completion time* untuk tiap mesin dapat dilihat pada perhitungan berikut ini :

a. Mesin 5

$y_{451} = roundup\ (\frac{n34 - y461}{2})$

$y_{451} = roundup\ (\frac{4-2}{2}) = 1$ item

$y_{452} = n_{45} - y_{451}$

$y_{452} = 3 - 1 = 2$ item

$x_{451} = x_{34} + (y_{451} \,.\, t_{45})$

$x_{451} = 155{,}2 + (1 \,.\, 7{,}1) = 162{,}3$ detik

$x_{452} = max\ \{x_{451}, x_{33}\} + (y_{452} \,.\, t_{45})$

$x_{452} = max\ \{162{,}3; 161{,}2\} + (2 \,.\, 7{,}1)$

$x_{452} = 162{,}3 + (2 \,.\, 7{,}1) = 176{,}5$ detik

$x_{45} = x_{452}$

$x_{45} = 176{,}5$ detik

b. Mesin 6

$y_{461} = roundup\ (\frac{n34}{3})$

$y_{461} = roundup\ (\frac{4}{3}) = 2$ item

$y_{462} = n_{46} - y_{461}$

$y_{462} = 3 - 2 = 1$ item

$x_{461} = x_{34} + (y_{461} \,.\, t_{46})$

$x_{461} = 155{,}2 + (2 \,.\, 6{,}2) = 167{,}6$ detik

$x_{462} = max\ \{x_{461}, x_{33}\} + (y_{462} \,.\, t_{46})$

$x_{462} = max\ \{167{,}6; 161{,}2\} + (1 \,.\, 6{,}2)$

$x_{462} = 167{,}6 + (1 \,.\, 6{,}2) = 173{,}8$ detik

$x_{46} = x_{462}$

x_{46} = 173,8 detik

c. Mesin 7

$y_{471} = n_{34} - (y_{461} + y_{451})$

$y_{471} = 4 - (2+1) = 1$ item

$y_{472} = n_{47} - y_{471}$

$y_{472} = 2 - 1 = 1$ item

$x_{471} = x_{34} + (y_{471} \,.\, t_{47})$

$x_{471} = 155{,}2 + (1 \,.\, 7{,}6) = 162{,}8$ detik

$x_{472} = max\ \{x_{471}, x_{33}\} + (y_{472} \,.\, t_{47})$

$x_{472} = max\ \{162{,}8; 161{,}2\} + (1 \,.\, 7{,}6)$

$x_{472} = 162{,}8 + (1 \,.\, 7{,}6) = 170{,}4$ detik

$x_{47} = x_{472}$

x_{47} = 170,4 detik

4.4.4. *Stage*-4 (proses 4 ke proses 5)

Pada *stage*-4 ini, sama seperti model yang dibuat sebelumnya yaitu memiliki struktur tiga mesin (5, 6 dan 7) yang akan melakukan proses 5, dimana sebelumnya didahului sebuah *precedence* yaitu proses 4 yang juga dilakukan di mesin yang sama (5, 6, dan 7). Lalu berdasarkan model tersebut, maka untuk *stage* ini pertama-tama akan dilakukan pembagian *batch* menjadi *subbatch* yang akan dikerjakan pada proses 5 di mesin 5, 6 dan 7 ini. Persamaan yang digunakan untuk melakukan perhitungan ini adalah Persamaan (3.14) hingga (3.19), berikut ini adalah hasil perhitungannya :

a. 3-mesin (*j*-*k*-*l*)

Pertama-tama perlu dilakukan perhitungan nilai proporsional untuk ketiga unit mesin tersebut, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses tercepat. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{56} = \frac{(t55 + t56 + t57) - t56}{(t55 + t56 + t57)}$$

$$P_{56} = \frac{22 + 20.8}{22 + 19.1 + 20.8} = 0{,}6914$$

$$P_{57} = \frac{(t55 + t56 + t57) - t57}{(t55 + t56 + t57)}$$

$$P_{57} = \frac{22 + 19{,}1}{22 + 19.1 + 20.8} = 0{,}66397$$

$$P_{55} = \frac{(t55 + t56 + t57) - t55}{(t55 + t56 + t57)}$$

$$P_{55} = \frac{19{,}1 + 20{,}8}{22 + 19.1 + 20.8} = 0{,}64459$$

Diketahui dari Tabel 4.13 bahwa mesin yang memiliki waktu tercepat ketika melakukan proses 5 adalah mesin 6, dengan urutan yaitu $t_{56} \leq t_{57} \leq t_{55}$, maka jumlah *subbatch* dari mesin 6 untuk proses 5 ini adalah sebagai berikut :

$$n_{56} = roundup\ (\frac{P56}{(P55 + P56 + P57)} . a)$$

$$n_{56} = roundup\ (\frac{0{,}69144}{(0{,}64459 + 0{,}69144 + 0{,}66397)} . 8\ ) = 2{,}77 = 3 \text{ item}$$

Setelah mengetahui jumlah *subbatch* untuk mesin 6, maka terdapat sisa *batch* yang belum ditentukan akan diproses di mesin 5 atau 7. Jumlah sisa *batch* tersebut adalah sebagai berikut :

$$b = a - n_{56}$$

$$b = 8 - 3 = 5 \text{ item}$$

b. 2-mesin (*k*-*l*)

Langkah kedua dalam pembagian *batch* ini adalah perhitungan nilai proporsional untuk dua unit mesin yang tersisa, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses lebih cepat dari mesin satunya. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{57} = \frac{(t55 + t57) - t57}{(t55 + t57)}$$

$$P_{57} = \frac{22}{22 + 20.8} = 0{,}51402$$

$$P_{55} = \frac{(t55 + t57) - t55}{(t55 + t57)}$$

$$P_{55} = \frac{20{,}8}{22 + 20.8} = 0{,}48598$$

Berdasarkan urutan waktu proses antara mesin-mesin di proses 5 ini, mesin 7 diketahui lebih cepat dari mesin 5, maka jumlah *subbatch* untuk mesin 7 adalah sebagai berikut :

$n_{57} = round\ (\frac{P57}{(P55 + P57)} . b)$

$n_{57} = round\ (\frac{0{,}51402}{(0{,}48598 + 0{,}51402)} . 5\ ) = 2{,}57009 = 3$ item

c. 1-mesin (*l*)

Karena mesin 5 merupakan mesin yang memiliki waktu proses terlama, maka jumlah *subbatch* nya tidak diprioritaskan seperti dua mesin sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa jumlahnya didapat dari sisa *batch* yang belum di proses pada proses 5 ini, dengan perhitungan sebagai berikut :

$n_{55} = b - n_{57}$

$n_{55} = 5 - 3 = 2$ item

Setelah mengetahui berapa jumlah *batch* yang perlu dikerjakan di setiap mesinnya, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *completion time* untuk proses ini dapat menggunakan Persamaan (3.29) hingga (3.36), sehingga menjadi seperti berikut :

a. Mesin 5

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{55} < n_{45}$ yaitu *subbatch* pada proses 5 di mesin 5 kurang dari jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 4 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya hanya ada satu seperti pada perhitungan berikut ini :

$n_{55} = y_{551} + y_{552} + y_{553} = 2$ item

$y_{551} = n_{55}$

$y_{551} = 2$ item

$y_{552} = 0$

$y_{553} = 0$

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 5 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-2 dan ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{551} = x_{45} + (t_{55} \,.\, y_{551})$
$x_{551} = 176{,}5 + (22 \,.\, 2) = 220{,}5$ detik
$x_{552} = 0$
$x_{553} = 0$
$x_{55} = x_{551}$
$x_{55} = 220{,}5$ detik

b. Mesin 6

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{56} = n_{46}$ yaitu *subbatch* pada proses 5 di mesin 6 sama dengan jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 4 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya hanya ada satu seperti pada perhitungan berikut ini :

$n_{56} = y_{561} + y_{562} + y_{563} = 3$ item
$y_{561} = n_{56}$
$y_{561} = 3$ item
$y_{562} = 0$
$y_{563} = 0$

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 6 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-2 dan ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{561} = x_{46} + (t_{56} \,.\, y_{561})$
$x_{561} = 173{,}8 + (19{,}1 \,.\, 3) = 231{,}1$ detik
$x_{562} = 0$
$x_{563} = 0$
$x_{56} = x_{561} = 231{,}1$ detik

c. Mesin 7

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{57} > n_{47}$ yaitu *subbatch* pada proses 5 di mesin 7 lebih besar dari jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 4 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya akan ada lebih dari satu. Besarnya jumlah *sub-subbatch* yang pertama dapat dilihat pada perhitungan berikut ini :

$n_{57} = y_{571} + y_{572} + y_{573} = 3$ item

$y_{571} = n_{47}$

$y_{571} = 2$ item

Lalu untuk *sub-subbatch* yang kedua bersumber dari proses sebelumnya di mesin yang lain, dimana mesin tersebut terdapat kelebihan item untuk di proses di mesin yang sama pada proses 5 ini. Diketahui bahwa $n_{45} - n_{55} > 0$ atau $n_{45} > n_{55}$ yang artinya di mesin 5 ini, *subbatch* pada proses 4 lebih besar dibanding *subbatch* yang akan dikerjakan di proses 5. Maka perhitungannya menjadi seperti berikut :

$y_{572} = n_{45} - n_{55}$

$y_{572} = 3 - 2 = 1$ item

$y_{573} = 0$

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 7 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{571} = x_{47} + (t_{57} \,.\, y_{571})$

$x_{571} = 170{,}4 + (20{,}8 \,.\, 2) = 212$ detik

$x_{572} = max\ \{x_{571}, x_{45}\} + (t_{57} \,.\, y_{572})$

$x_{572} = max\ \{212; 176{,}5\} + (20{,}8 \,.\, 1)$

$x_{572} = 212 + (20{,}8 \,.\, 1) = 232{,}8$ detik

$x_{573} = 0$

$x_{57} = x_{572}$

$x_{57} = 232{,}8$ detik

4.4.5. *Stage*-5 (proses 5 ke proses 6)

Stage ini akan menjelaskan perhitungan untuk proses 6 yang dilakukan di mesin 8, namun sebelum item dikerjakan pada proses 6 terdapat senuah proses yang harus diselesaikan terlebih dahulu yaitu proses 5 (proses dengan tiga mesin yaitu 5, 6, dan 7). Untuk perhitungan pada *stage*-5 ini dapat menggunakan Persamaan (3.37) hingga (3.44).

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang telah dibuat, diketahui bahwa $x_{55} < x_{56} < x_{57}$ yang artinya bahwa mesin 5 yang mengerjakan paling cepat di antara ketiga mesin yang mengerjakan proses 5. Berikut adalah perhitungan *stage*-5 yang disesuaikan dengan modelnya :

$a_6 = n_{68} = y_{681} + y_{682} + y_{683}$

$y_{681} + y_{682} + y_{683} = 8$ item

$y_{681} = n_{55}$

$y_{681} = 2$ item

$y_{682} = n_{56}$

$y_{682} = 3$ item

$y_{683} = n_{57}$

$y_{683} = 3$ item

$x_{681} = x_{55} + (t_{68} \,.\, y_{681})$

$x_{681} = 220{,}5 + (11{,}6 \,.\, 2) = 243{,}7$ detik

$x_{682} = max\ \{x_{56}, x_{681}\} + (t_{68} \,.\, y_{682})$

$x_{682} = max\ \{231{,}1; 243{,}7\} + (11{,}6 \,.\, 3)$

$x_{682} = 243{,}7 + (11{,}6 \,.\, 3) = 278{,}5$ detik

$x_{683} = max\ \{x_{57}, x_{682}\} + (t_{68} \,.\, y_{683})$

$x_{683} = max\ \{232{,}8; 278{,}5\} + (11{,}6 \,.\, 3)$

$x_{683} = 278{,}5 + (11{,}6 \,.\, 3) = 313{,}3$ detik

$x_{68} = x_{683} = 313{,}3$ detik

4.4.6. *Stage*-6 (proses 6 dan 1 ke proses 7)

Stage ini akan menjelaskan perhitungan untuk proses 7 yang dilakukan di mesin 5, 6, dan 7, namun item dikerjakan pada proses 7 terdapat dua proses yang harus diselesaikan

terlebih dahulu yaitu proses 6 (proses dengan satu mesin yaitu 8) dan proses 1 (proses dengan dua mesin yaitu 1 dan 2). Hal ini menunjukan bahwa jumlah item yang tersedia untuk dikerjakan di proses 7 harus sama dengan jumlah item dari proses 6 dan 1. Dari syarat yang dijelaskan menurut model pada *stage* ini, diketahui bahwa proses 6 lebih lama waktu penyelesainnya dibanding proses 1 di kedua mesinnya.

Oleh sebab itu langkah pertama yang dilakukan adalah melakukan pembagian *subbatch* untuk tiga mesin yaitu 5, 6 dan 7, dengan menggunakan Persamaan (3.14) hingga (3.19). Berikut ini adalah perhitungannya :

a. 3-mesin (*j*-*k*-*l*)

Pertama-tama perlu dilakukan perhitungan nilai proporsional untuk ketiga unit mesin tersebut, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses tercepat. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{77} = \frac{(t75 + t76 + t77) - t77}{(t75 + t76 + t77)}$$

$$P_{77} = \frac{26{,}4 + 28{,}5}{26{,}4 + 28{,}5 + 25{,}3} = 0{,}68454$$

$$P_{75} = \frac{(t75 + t76 + t77) - t75}{(t75 + t76 + t77)}$$

$$P_{75} = \frac{28{,}5 + 25{,}3}{26{,}4 + 28{,}5 + 25{,}3} = 0{,}67082$$

$$P_{76} = \frac{(t75 + t76 + t77) - t76}{(t75 + t76 + t77)}$$

$$P_{76} = \frac{26{,}4 + 25{,}3}{26{,}4 + 28{,}5 + 25{,}3} = 0{,}64464$$

Diketahui dari Tabel 4.13 bahwa mesin yang memiliki waktu tercepat ketika melakukan proses 7 adalah mesin 7, dengan urutan yaitu $t_{77} < t_{75} < t_{76}$, maka jumlah *subbatch* dari mesin 7 untuk proses 7 ini adalah sebagai berikut :

$$n_{77} = roundup\ \left(\frac{P77}{(P75 + P76 + P77)} . a \right)$$

$$n_{77} = roundup\ \left(\frac{0{,}68454}{(0{,}67082 + 0{,}64464 + 0{,}68454)} . 8 \right) = 2{,}74 = 3 \text{ item}$$

Setelah mengetahui jumlah *subbatch* untuk mesin 7, maka terdapat sisa *batch* yang belum ditentukan akan diproses di mesin 5 atau 6. Jumlah sisa *batch* tersebut adalah sebagai berikut :

$b = a - n_{77}$

$b = 8 - 3 = 5$ item

b. 2-mesin (*k*-*l*)

Langkah kedua dalam pembagian *batch* ini adalah perhitungan nilai proporsional untuk dua unit mesin yang tersisa, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses lebih cepat dari mesin satunya. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{75} = \frac{(t75 + t76) - t75}{(t75 + t76)}$$

$$P_{75} = \frac{28{,}5}{26{,}4 + 28{,}5} = 0{,}5191$$

$$P_{76} = \frac{(t75 + t76) - t76}{(t75 + t76)}$$

$$P_{76} = \frac{26{,}4}{22 + 20.8} = 0{,}4809$$

Berdasarkan urutan waktu proses antara mesin-mesin di proses 7 ini, mesin 5 diketahui lebih cepat dari mesin 6, maka jumlah *subbatch* untuk mesin 5 adalah sebagai berikut :

$$n_{75} = round\ (\frac{P75}{(P75 + P76)} . b)$$

$$n_{75} = round\ (\frac{0{,}5191}{(0{,}5191 + 0{,}40809)} . 5) = 2{,}5956 = 3 \text{ item}$$

c. 1-mesin (*l*)

Karena mesin 6 merupakan mesin yang memiliki waktu proses terlama, maka jumlah *subbatch* nya tidak diprioritaskan seperti dua mesin sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa jumlahnya didapat dari sisa *batch* yang belum di proses pada proses 7 ini, dengan perhitungan sebagai berikut :

$n_{76} = b - n_{75}$

$n_{76} = 5 - 3 = 2$ item

Lalu perhitungan *completion time* untuk proses ini dapat menggunakan Persamaan (3.45), dimana proses 7 ini dapat dikerjakan ketika proses 6 telah selesai dikerjakan di mesin 8. Sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut :

a. Mesin 5

$x_{75} = x_{68} + (t_{75} \cdot n_{75})$

$x_{75} = 313{,}3 + (26{,}4 \cdot 3) = 392{,}5$ detik

b. Mesin 6

$x_{76} = x_{68} + (t_{76} \cdot n_{76})$

$x_{76} = 313{,}3 + (28{,}5 \cdot 2) = 370{,}3$ detik

c. Mesin 7

$x_{77} = x_{68} + (t_{77} \cdot n_{77})$

$x_{77} = 313{,}3 + (25{,}3 \cdot 3) = 389{,}2$ detik

4.4.7. *Stage*-7 (proses 7 ke proses 8)

Stage-7 yang memiliki struktur yang sama dengan *stage*-4, maka langkah-langkah perhitungan untuk proses 8 akan menjadi seperti berikut, yaitu pertama membagi *subbatch* untuk tiga mesin (5, 6 dan 7), seperti pada Persamaan (3.14) hingga (3.19). Berikut adalah hasil perhitungan pembagian *batch* menjadi *subbatch* :

a. 3-mesin (*j*-*k*-*l*)

Pertama-tama perlu dilakukan perhitungan nilai proporsional untuk ketiga unit mesin tersebut, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses tercepat. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{85} = \frac{(t85 + t86 + t87) - t85}{(t85 + t86 + t87)}$$

$$P_{85} = \frac{40{,}6 + 38{,}7}{33{,}12 + 40{,}6 + 38{,}7} = 0{,}70539$$

$$P_{87} = \frac{(t85 + t86 + t87) - t87}{(t85 + t86 + t87)}$$

$$P_{87} = \frac{33{,}12 + 40{,}6}{33{,}12 + 40{,}6 + 38{,}7} = 0{,}65576$$

$$P_{86} = \frac{(t85 + t86 + t87) - t86}{(t85 + t86 + t87)}$$

$$P_{86} = \frac{33{,}12 + 38{,}7}{33{,}12 + 40{,}6 + 38{,}7} = 0{,}63885$$

Diketahui dari Tabel 4.13 bahwa mesin yang memiliki waktu tercepat ketika melakukan proses 8 adalah mesin 5, dengan urutan yaitu $t_{85} \leq t_{87} \leq t_{86}$, maka jumlah *subbatch* dari mesin 5 untuk proses 8 ini adalah sebagai berikut :

$$n_{85} = roundup\ (\frac{P85}{(P85 + P86 + P87)} . a)$$

$$n_{85} = roundup\ (\frac{0{,}70539}{(0{,}70539 + 0{,}63885 + 0{,}65576)} . 8\ ) = 2{,}82 = 3 \text{ item}$$

Setelah mengetahui jumlah *subbatch* untuk mesin 5, maka terdapat sisa *batch* yang belum ditentukan akan diproses di mesin 6 atau 7. Jumlah sisa *batch* tersebut adalah sebagai berikut :

$$b = a - n_{85}$$

$$b = 8 - 3 = 5 \text{ item}$$

b. 2-mesin (*k*-*l*)

Langkah kedua dalam pembagian *batch* ini adalah perhitungan nilai proporsional untuk dua unit mesin yang tersisa, sebelum menentukan *subbatch* untuk mesin yang memiliki waktu proses lebih cepat dari mesin satunya. Perhitungannya adalah sebagai berikut :

$$P_{87} = \frac{(t86 + t87) - t87}{(tt86 + t87)}$$

$$P_{87} = \frac{40{,}6}{40{,}6 + 38{,}7} = 0{,}51198$$

$P_{86} = \frac{(t86 + t87) - t86}{(tt86 + t87)}$

$P_{86} = \frac{38,7}{40,6 + 38,7} = 0,48802$

Berdasarkan urutan waktu proses antara mesin-mesin di proses 8 ini, mesin 7 diketahui lebih cepat dari mesin 6, maka jumlah *subbatch* untuk mesin 7 adalah sebagai berikut :

$n_{87} = round\ (\frac{P87}{(P85 + P87)} . b)$

$n_{87} = round\ (\frac{0,51198}{(0,48802 + 0,51198)} . 5) = 2,5599 = 3$ item

c. 1-mesin (l)

Karena mesin 6 merupakan mesin yang memiliki waktu proses terlama, maka jumlah *subbatch* nya tidak diprioritaskan seperti dua mesin sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa jumlahnya didapat dari sisa *batch* yang belum di proses pada proses 8 ini, dengan perhitungan sebagai berikut :

$n_{86} = b - n_{87}$

$n_{86} = 5 - 3 = 2$ item

Setelah mengetahui berapa jumlah *batch* yang perlu dikerjakan di setiap mesinnya, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan *completion time* untuk proses 8 ini dengan menggunakan Persamaan (3.29) hingga (3.36), sehingga perhitungannya menjadi seperti berikut :

a. Mesin 5

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{85} = n_{75}$ yaitu *subbatch* pada proses 8 di mesin 5 sama dengan jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 7 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya hanya ada satu seperti pada perhitungan berikut ini :

$n_{85} = y_{851} + y_{852} + y_{853}$ = 3 item

$y_{851} = n_{85}$

y_{851} = 3 item

y_{852} = 0

y_{853} = 0

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 5 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-2 dan ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{851} = x_{75} + (t_{85} \,.\, y_{851})$

x_{851} = 392,5 + (33,12 . 3) = 491,86 detik

x_{852} = 0

x_{853} = 0

$x_{85} = x_{851}$

x_{85} = 491,86 detik

b. Mesin 6

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{86} = n_{76}$ yaitu *subbatch* pada proses 8 di mesin 6 sama dengan jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 7 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya hanya ada satu seperti pada perhitungan berikut ini :

$n_{86} = y_{861} + y_{862} + y_{863}$ = 2 item

$y_{861} = n_{86}$

y_{861} = 2 item

y_{862} = 0

y_{863} = 0

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 6 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-2 dan ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{861} = x_{76} + (t_{86} \,.\, y_{861})$

$x_{861} = 370{,}3 + (40{,}6 \,.\, 2) = 451{,}5$ detik

$x_{862} = 0$

$x_{863} = 0$

$x_{86} = x_{861} = 451{,}5$ detik

c. Mesin 7

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $n_{87} = n_{77}$ yaitu *subbatch* pada proses 8 di mesin 7 sama dengan jumlah *subbatch* pada proses sebelumnya yaitu proses 7 di mesin yang sama, maka *sub-subbatch* nya hanya ada satu seperti pada perhitungan berikut ini :

$n_{87} = y_{871} + y_{872} + y_{873} = 3$ item

$y_{871} = n_{87}$

$y_{871} = 3$ item

$y_{871} = 0$

$y_{573} = 0$

Dikarenakan *subbatch* untuk mesin 7 telah terpenuhi maka *sub-subbatch* ke-2 dan ke-3 akan bernilai nol, kemudian berikut ini adalah nilai *completion time* nya :

$x_{871} = x_{77} + (t_{87} \,.\, y_{871})$

$x_{871} = 389{,}2 + (38{,}7 \,.\, 3) = 505{,}3$ detik

$x_{872} = 0$

$x_{873} = 0$

$x_{87} = x_{871}$

$x_{87} = 505{,}3$ detik

4.4.8. *Stage*-8 (proses 8 ke proses 9)

Menurut *flowchart* alur proses produksi pada Gambar 4.1 menunjukan bahwa proses 9 akan di proses pada satu mesin (mesin 9) sedangkan didahului oleh proses 8 yang

dikerjakan dengan tiga mesin (5, 6 dan 7), hal ini sama seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.11. Sehingga perhitungan pada *stage* ini akan mengikuti model pada *stage*-5. Berikut adalah perhitungan pada *stage* ini :

Berdasarkan syarat yang perlu diperhatikan ketika menggunakan model yang dibuat, telah diketahui bahwa $x_{86} < x_{85} < x_{87}$ yaitu mesin 6 lebih cepat menyelesaikan pekerjaannya pada proses 8, sehingga sejumlah item (*subbatch*) dari mesin 6 tersebut akan diproses terlebih dahulu pada proses 9 dan menyusul *subbatch* dari mesin 5 dan 7. Dengan batasan-batasan yang berlaku pada model ini, maka berikut adalah perhitungannya :

$y_{991} = n_{86}$

y_{991} = 2 item

$y_{992} = n_{85}$

y_{992} = 3 item

$y_{993} = n_{87}$

y_{993} = 3 item

$n_{99} = y_{991} + y_{992} + y_{993}$

$a_9 = n_{99}$ = 8 item

$x_{991} = x_{86} + (t_{99} \,.\, y_{991})$

x_{991} = 451,5 + (18,4 . 2) = 488,3 detik

$x_{992} = max\{x_{85},x_{991}\} + (t_{99} \,.\, y_{992})$

$x_{992} = max\{491,86;488,3\} + (18,4 \,.\, 3)$

x_{992} = 491,86 + (18,4 . 3) = 547,06 detik

$x_{993} = max\{x_{87},x_{992}\} + (t_{99} \,.\, y_{993})$

$x_{993} = max\{505,3;547,06\} + (18,4 \,.\, 3)$

x_{993} = 547,06 + (18,4 . 3) = 602,26 detik

$x_{99} = x_{993}$ = 602,26 detik

4.4.9. *Stage*-9 (proses 9 ke proses 10)

Menurut *flowchart* alur proses produksi pada Gambar 4.1 menunjukan bahwa proses 10 akan di proses pada satu unit mesin yang sama untuk mengerjakan proses 9 yaitu mesin

9, hal ini sama seperti yang diilustrasikan oleh Gambar 3.15. Sehingga perhitungan pada *stage*-9 dapat menggunakan Persamaan (3.46), seperti berikut ini :

$a_{10} = n_{109} = 8$ item

$x_{109} = x_{99} + (t_{109} \,.\, n_{109})$

$x_{109} = 602{,}26 + (25{,}3 \,.\, 8)$

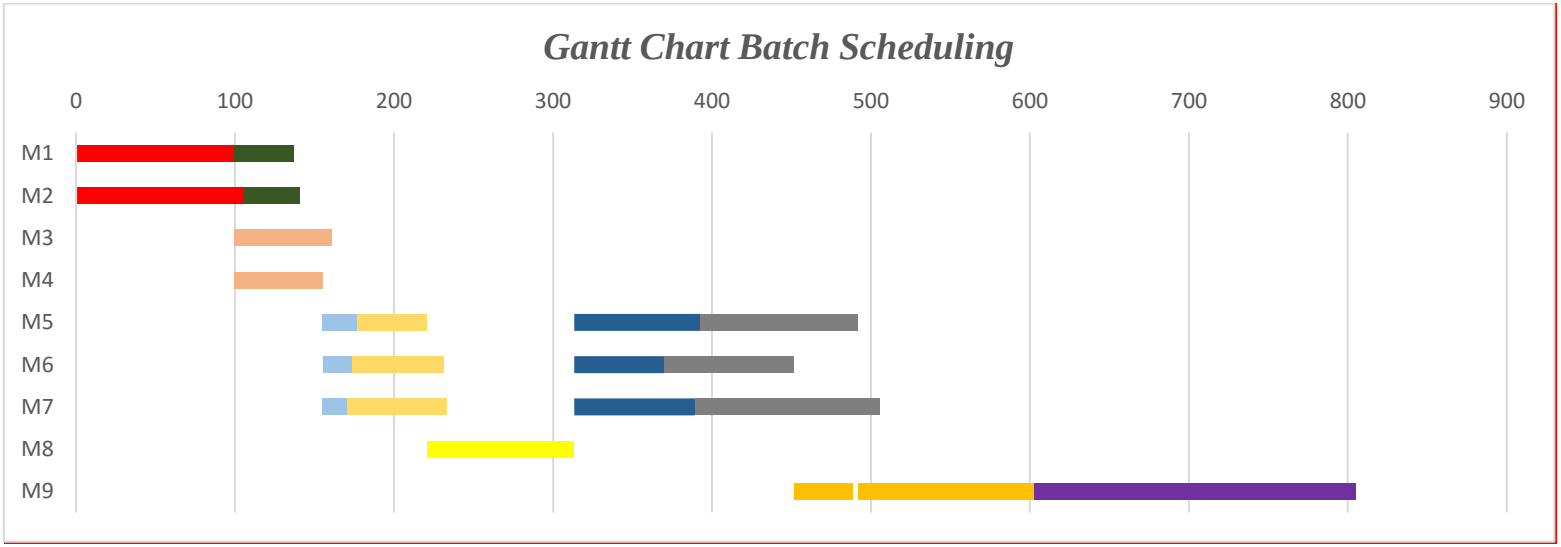
$x_{109} = 804{,}66$ detik

4.5. *Gantt Chart Total Completion Time* (*a* = 8)

Untuk memudahkan penggambaran pada tiap waktu proses *batch* dari perhitungan *batch scheduling* di atas, maka dapat dibuat sebuah *gantt chart*. *Gantt chart* tersebut dibuat dengan menggunakan bantuan *software Microsoft Excel*. Langkah pertama yang diperlukan adalah membuat tabel yang datanya berdasarkan pada perhitungan dari *completion time* di atas, setelah itu membentuk *gantt chart* sesuai data tabel yang dibuat. Tabel perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.15, sedangkah *gantt chart batch scheduling* dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Tabel 4.15 Perhitungan dalam pembuatan *gantt chart batch scheduling*

M1	99,6	37,3																
M2	105,4	35,4																
M3	99,6	30,8	30,8															
M4	99,6	27,8	27,8															
M5			155,2	7,1	14,2	44				92,8	79,2	99,36						
M6			155,2	12,4	6,2	57,3				82,2	57	81,2						
M7			155,2	7,6	7,6	41,6	20,8			80,5	75,9	116,1						
M8							220,5	23,2	34,8	34,8								
M9												451,5	36,8	3,56	55,2	55,2	202,4	804,66



Gambar 4.4 *Gantt chart batch scheduling* (*a* = 8)

4.6. *Total Completion Time* (*Makespan*)

Setelah keseluruhan *stage* atau proses dilakukan perhitungan, maka selanjutnya dapat mencari tahu nilai *makespan* atau *completion time* yang menjadi fungsi objektif dari model *batch scheduling* ini. Dengan menggunakan Persamaan (4.2), berikut adalah perhitungan fungsi objektifnya :

$Z = 45 \,.\, \min x_{[10]}$

$Z = 45 \,.\, 804{,}66$

$Z = 36.209{,}7$ detik