Bab 4
Pengumpulan dan Pengolahan Data

4.1. Data Umum Perusahaan

4.1.1. Sejarah Perusahaan

Pada tanggal 1 Agustus 1977 berdiri CV. Vigano Inti yang terletak di Jl. Asia-Afrika No. 184-186 Bandung. Perusahaan mengembangkan usahanya dengan mendirikan cabang pada tahun 1992 di Jl. Lingkar Selatan Bandung. CV. Vigano Inti selain sebagai bengkel onderdil juga berkembang dengan membuatkan komponen mesin produksi untuk pabrik tekstil dan mesin-mesin industri lainnya.

CV. Vigano Inti memiliki dua divisi produksi yaitu Divisi Industri yang memproduksi produk yang dipesan konsumen dan Divisi Automotif yang memperbaiki komponen dari kendaraan bermotor. Kegiatan produksi perusahaan merupakan aktivitas pokok perusahaan yaitu membuat produk berdasarkan pesanan (*make-to-order*). Produk yang dipesan bisa berupa produk jadi atau berupa *part* dari mesin-mesin yang digunakan oleh konsumen.

Adapun produk yang dihasilkan CV. Vigano Inti antara lain adalah:

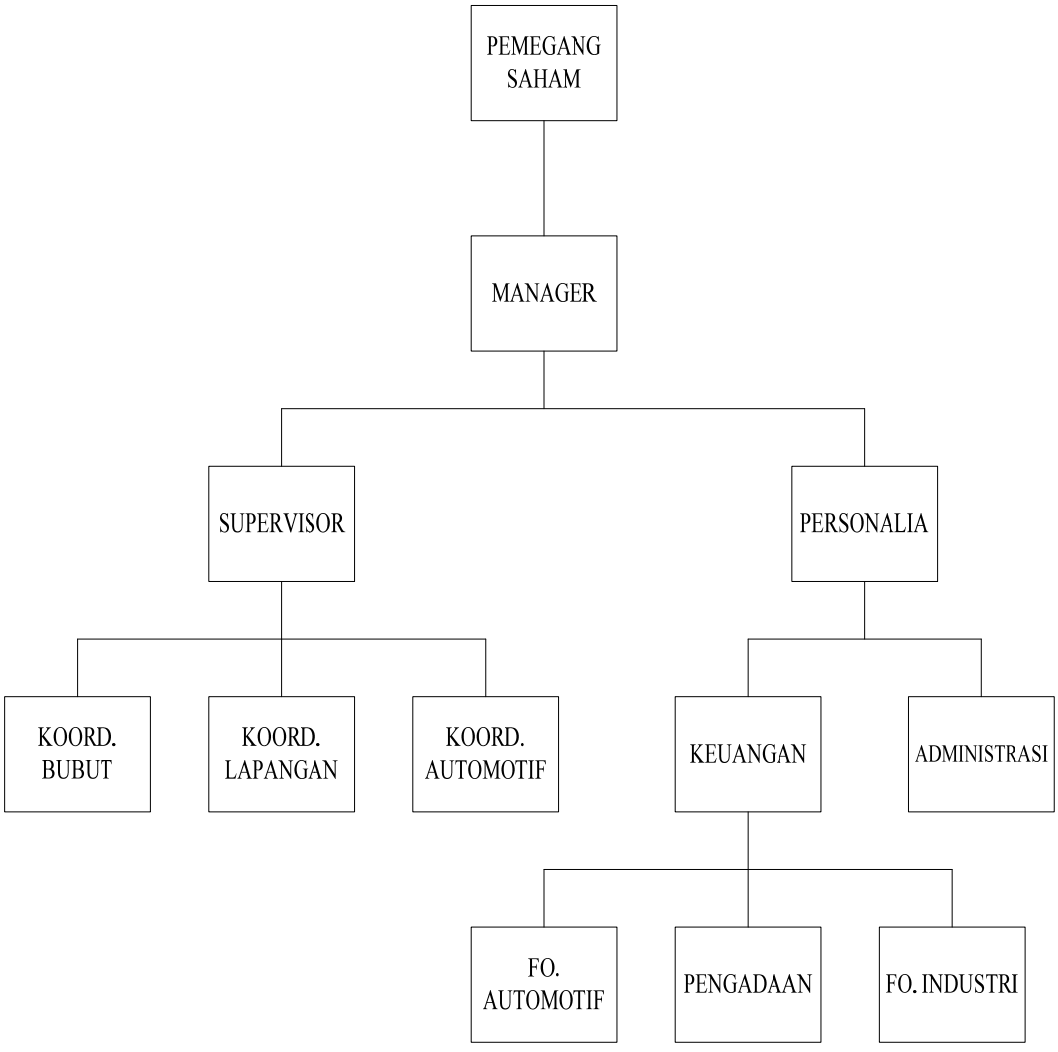
1. Macam-macam roda gigi
2. Baut
3. Mur
4. As ulir
5. Kopling kerucut, dan lain-lain.

Sampai saat ini CV. Vigano Inti telah mengembangkan perusahaannya dan memperoleh keahlian dan performansi dibidangnya. Konsumen CV. Vigano Inti tidak hanya berada di Bandung saja tetapi sudah mencapai luar Bandung. Selain perusahaan pemerintah CV. Vigano Inti juga mendapatkan *order* dari perusahaan swasta maupun perorangan.

4.1.2. Struktur Organisasi Perusahaan

Struktur organisasi perusahaan merupakan gambaran dari sistem pembagian tugas untuk melaksanakan kegiatan atau aktivitas kerja sesuai dengan fungsi dan kedudukannya pada perusahaan agar tujuan yang dikehendaki dapat tercapai untuk kepentingan bersama.

Adapun bagan dari struktur organisasi CV. Vigano Inti dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Struktur organisasi

Penjelasan dari struktur organisasi perusahaan di atas:

1. Pemegang saham ialah seseorang yang menjadi kepala seluruh kegiatan perusahaan dengan bentuk-bentuk usaha dari pendayagunaan modal perusahaan dan merupakan unsur utama penanggungjawab dari semua permasalahan yang ada di perusahaan.
2. Manager sebagai pimpinan kegiatan perusahaan dalam pengambilan keputusan harga dab pengadaan mesin-mesin serta laporan-laporan kegiatan pada pemegang saham.
3. Supervisor sebagai pengawas karyawan bengkel dan menentukan produk yang akan dijual.
4. Personalia yaitu orang yang mengatur hubungan tentang kepegawaian dan staf-staf kantor serta menyiapkan data-data kantor serta pertanggungjawaban pihak eksternal atau internal.
5. Keuangan yaitu orang yang bertanggung jawab dalam pengendalian dan pengaturan keuangan.
6. Administrasi adalah orang yang bertanggung jawab dalam menyimpan data-data perusahaan.
7. *Front Office* Automotif adalah orang yang bertanggung jawab atas mesin-mesin automotif, perawatan dan pemeliharaannya.
8. Pengadaab Bahan bertugas menyiapkan jenis bahan atau material sesuai dengan produk yang akan dibuat.
9. *Front Office* Industri bertanggung jawab atas-mesin-mesin industri, perawatan dan pemeliharaannya.
10. Koordinator Lapangan bertugas memberikan pengarahan dan instruksi langkah-langkah pembuatan produk.
11. Koordinator Bubut bertugas memberikan pengarahan dan instruksi langkah-langkah pembubutan di bengkel.
12. Koordinator Automotif bertugas memberikan pengarahan dan instruksi langkah-langkah pembuatan produk pada mesin automotif.

4.2. Pengumpulan Data

4.2.1. Data Produk

Penjadwalan yang akan dibuat adalah penjadwalan produk yang masuk tanggal 22-29 Juni 2009 di divisi industri. *Order* yang masuk keperusahaan berbeda-beda jenisnya sesuai dengan keinginan konsumen dan jumlah setiap *order* dapat dilihat pada tabel 4.1. Produk dengan jumlah lebih dari satu diberi nomor *job* yang berbeda dan dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.1 Data *order* beserta jumlahnya

No.	*Order*	Jumlah (pcs)
1	Tutup hidrolik	1
2	Gigi payung Z20	2
3	Gigi payung Z20	2
4	*Shaft* ø40, p262 mm	2
5	*Flanges* dudukan *bearing*	2
6	*Shaft gear* helix Z33	1
7	Roda gigi helix Z17	1
8	Roda gigi helix Z55	1
9	As gigi helix Z10	1
10	Roda gigi susun Z28	1
11	Roda gigi susun Z11	1

Tabel 4.2 Data *job*

No. *Job*	*Order*
Job 1	Tutup hidrolik
Job 2	Gigi payung Z20
Job 3	Gigi payung Z20
Job 4	Gigi payung Z20
Job 5	Gigi payung Z20
Job 6	*Shaft* ø40, p262 mm
Job 7	*Shaft* ø40, p262 mm
Job 8	*Flanges* dudukan *bearing*
Job 9	*Flanges* dudukan *bearing*
Job 10	*Shaft gear* helix Z33
Job 11	Roda gigi helix Z17
Job 12	Roda gigi helix Z55
Job 13	As gigi helix Z10
Job 14	Roda gigi susun Z28
Job 15	Roda gigi susun Z11

4.2.2. Data Saat Kedatangan dan *Due Date*

Penjadwalan awal yang akan dibuat adalah order yang masuk pada tanggal 22 Juni 2009 di divisi industri. Selanjutnya *order* tersebut dijadikan sebagai *order* pertama yang masuk dengan saat kedatangan $t = 0$ yaitu *job* 1, *job* 2 dan *job* 3. Penentuan *due date* ditentukan oleh perusahaan dan dikonfirmasikan kepada konsumen, sehingga *due date* untuk setiap *job* berbeda-beda dan dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Data saat kedatangan dan *due date* setiap *job*

No. *Job*	*Order*	Saat kedatangan (jam ke-)	*Due date* (jam ke-)
Job 1	Tutup hidrolik	0	8
Job 2	Gigi payung Z20	0	20
Job 3	Gigi payung Z20	0	20
Job 4	Gigi payung Z20	8	28
Job 5	Gigi payung Z20	8	28
Job 6	*Shaft* ø40, p262 mm	19	31
Job 7	*Shaft* ø40, p262 mm	19	31
Job 8	*Flanges* dudukan *bearing*	22	32
Job 9	*Flanges* dudukan *bearing*	22	32
Job 10	*Shaft gear* helix Z33	30	36
Job 11	Roda gigi helix Z17	30	38
Job 12	Roda gigi helix Z55	34	52
Job 13	As gigi helix Z10	37	53
Job 14	Roda gigi susun Z28	46	60
Job 15	Roda gigi susun Z11	52	68

4.2.3. Data Mesin

Data-data mesin yang digunakan dalam pembuatan *job-job* dan jumlah mesin yang digunakan dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Data mesin

No. Mesin	Mesin	Jumlah Mesin	Jumlah Mesin yg Digunakan
M1	Bubut Kecil (SK 360B)	6	3
M2	*Drilling*	1	1
M3	*Hobing*	1	1
M4	*Milling* Gigi	1	1
M5	Kerja Bangku	1	1
M6	*Slot*	1	1
M7	*Grinder*	1	1
M8	*Freis*	2	1
M9	*Heat Treatment*	1	1

4.2.4. Data Urutan Proses dan Waktu Proses

Setiap *job* mempunyai urutan proses dan waktu proses yang berbeda-beda. Data urutan proses beserta waktu proses untuk setiap *job* dapat dilihat pada tabel 4.5 dan tabel 4.6

Tabel 4.5 Matriks urutan proses setiap *job*

No. *Job*	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
Job 1	M1	M2	M5			
Job 2	M1	M4	M6	M2	M5	
Job 3	M1	M4	M6	M2	M5	
Job 4	M1	M4	M6	M2	M5	
Job 5	M1	M4	M6	M2	M5	
Job 6	M1	M2	M5			
Job 7	M1	M2	M5			
Job 8	M1	M2	M8			
Job 9	M1	M2	M8			
Job 10	M1	M4				
Job 11	M1	M3	M6	M5		
Job 12	M1	M3	M6	M9		
Job 13	M1	M4	M2	M5	M9	M7
Job 14	M1	M3	M9			
Job 15	M1	M6	M9			

Tabel 4.6 Matriks waktu proses setiap *job*

No. *Job*	Waktu Proses (jam)					
	1	2	3	4	5	6
Job 1	2	1	1,5			
Job 2	4	1,67	1,5	0,2	0,5	
Job 3	4	1,67	1,5	0,2	0,5	
Job 4	4	1,67	1,5	0,2	0,5	
Job 5	4	1,67	1,5	0,2	0,5	
Job 6	6,5	1,5	0,5			
Job 7	6,5	1,5	0,5			
Job 8	2	1	0,5			
Job 9	2	1	0,5			
Job 10	2	2,75				
Job 11	2	0,5	1	0,5		
Job 12	4,5	1,5	2	8		
Job 13	3,5	1,67	0,5	0,5	8	1,5
Job 14	3,5	1	8			
Job 15	3,5	2,34	8			

4.2.5. Ongkos *Earliness* dan *Tardiness*

Ongkos-ongkos yang diperhatikan pada penjadwalan ini meliputi:

- Ongkos *Earliness*

  Ongkos yang harus ditanggung perusahaan akibat waktu penyelesaian yang terlalu cepat, hal ini akan mengakibatkan pemborosan yaitu munculnya ongkos penyimpanan hingga mencapai *due date*nya. Pendekatan yang dilakukan untuk menghitung ongkos *earliness* adalah didasarkan atas besarnya nilai produk yang disimpan di gudang (harga produk) dan variabel suku bungan yang berlaku. Pada saat penelitian ini suku bunga bank sebesar 10%/tahun.

  W_i = [HJ x (I/12)] / [jam produksi / bulan]

  HJ = Harga jual produk per unit

  Contoh :

  Job 6 (*Shaft* ø40, p262 mm); W_i = [(650.000)(10%/12)]/200 jam
  = Rp. 27,08/jam

  Ongkos *earliness* setiap *job* dapat dilihat pada tabel 4.7.

- Ongkos *Tardiness*

  Ongkos yang dibebankan kepada perusahaan akibat penyelesaian suatu pekerjaan lebih lama dari *due date*nya. Ongkos tardiness yang terjadi di CV. Vigano Inti merupakan ketentuan yang dihasilkan antara CV. Vigano Inti dan konsumen. Ongkos *tardiness* besarnya 1% dari harga produk per hari. Ongkos *tardiness* setiap *job* dapat dilihat pada tabel 4.7.

  Contoh:

  Jam kerja satu hari = 8 jam

  Job 6 (*Shaft* ø40, p262 mm);

  ongkos tardiness = 1% x (650.000)
  = Rp. 6500/hari
  = Rp. 6500/8 jam = Rp.812,5/jam

Tabel 4.7 Ongkos *earliness* dan *tardiness* setiap *job*

No. *Job*	*Order*	Harga jual/unit (Rp)	Ongkos *earliness* (Rp/jam)	Ongkos *tardiness* (Rp/jam)
Job 1	Tutup hidrolik	90.000	3,75	112,5
Job 2	Gigi payung Z20	150.000	6,25	187,5
Job 3	Gigi payung Z20	150.000	6,25	187,5
Job 4	Gigi payung Z20	150.000	6,25	187,5
Job 5	Gigi payung Z20	150.000	6,25	187,5
Job 6	*Shaft* ø40, p262 mm	650.000	27,08	812,5
Job 7	*Shaft* ø40, p262 mm	650.000	27,08	812,5
Job 8	*Flanges* dudukan *bearing*	225.000	9,38	281,25
Job 9	*Flanges* dudukan *bearing*	225.000	9,38	281,25
Job 10	*Shaft gear* helix Z33	350.000	14,58	437,5
Job 11	Roda gigi helix Z17	460.000	19,17	575
Job 12	Roda gigi helix Z55	640.000	26,67	800
Job 13	As gigi helix Z10	500.000	20,83	625
Job 14	Roda gigi susun Z28	175.000	7,29	218,75
Job 15	Roda gigi susun Z11	100.000	4,17	125

4.3. Pengolahan Data

Penjadwalan yang terjadi di CV. Vigano Inti pada saat penelitian ini dilakukan adalah menggunakan *first come first serve* (FCFS) dengan metode *forward*. Algoritma ini menjadwalkan *job* dengan ketentuan *job* yang pertama kali datang langsung dijadwalkan pada mesin yang tersedia.

4.3.1. Penjadwalan *Forward*

Langkah awal dari penjadwalan *forward* adalah menjadwalkan *job* yang pertama datang. Pada kasus ini, *job* 1, *job* 2 dan *job* 3 memiliki saat kedatangan yang sama dan merupakan *job* yang datang paling awal (dapat dilihat pada tabel 4.3), sehingga *job* 1, 2 dan 3 dijadwalkan pertama kali dengan menggunakan algoritma *forward*. Untuk *job* selanjutnya mengikuti dari jadwal yang sudah ada.

Tabel 4.8 Data mesin yang digunakan untuk penjadwalan *forward*

No. Mesin	Mesin	Jumlah Mesin yg Digunakan
M1	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M2	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M3	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M4	*Drilling*	1
M5	*Hobing*	1

Tabel 4.8 Data mesin yang digunakan untuk penjadwalan *forward* (lanjutan)

M6	*Milling* Gigi	1
M7	Kerja Bangku	1
M8	*Slot*	1
M9	*Grinder*	1
M10	*Freis*	1
M11	*Heat Treatment*	1

Berdasarkan data maka diperoleh matriks *routing job* berdasarkan penugasan pekerjaan pada mesin paralel, yang dapat dilihat pada tabel 4.9.

Tabel 4.9 Matriks urutan proses setiap *job* untuk penjadwalan *forward*

No. *Job*	**Operasi**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Job 1	M1	M4	M7			
Job 2	M2	M6	M8	M4	M7	
Job 3	M3	M6	M8	M4	M7	
Job 4	M1	M6	M8	M4	M7	
Job 5	M2	M6	M8	M4	M7	
Job 6	M3	M4	M7			
Job 7	M1	M4	M7			
Job 8	M2	M4	M10			
Job 9	M2	M4	M10			
Job 10	M1	M6				
Job 11	M2	M5	M8	M7		
Job 12	M3	M5	M8	M11		
Job 13	M1	M6	M4	M7	M11	M9
Job 14	M2	M5	M11			
Job 15	M3	M8	M11			

Setelah diperoleh matriks *routing job* maka dilakukan penjadwalan *forward*, hasil dari penjadwalan *forward* dan Gantt *chart* dapat dilihat pada tabel 4.10 dan gambar 4.2.

Tabel 4.10 Penjadwalan *forward*

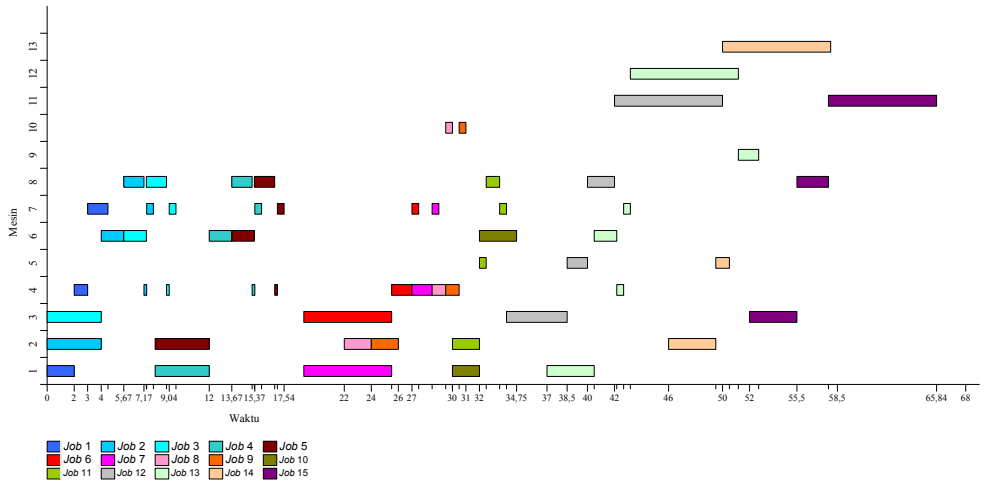
No. *Job*	**Mesin**	**Jam Kedatangan**	**Waktu Proses**	**Waktu awal**	**Waktu akhir**
1-1	1	0	2,00	0,00	2,00
1-2	4		1,00	2,00	3,00
1-3	7		1,50	3,00	4,50
2-1	2	0	4,00	0,00	4,00
2-2	6		1,67	4,00	5,67
2-3	8		1,50	5,67	7,17
2-4	4		0,20	7,17	7,37
2-5	7		0,50	7,37	7,87

Tabel 4.10 Penjadwalan *forward* (lanjutan)

3-1	3	0	4,00	0,00	4,00
3-2	6		1,67	5,67	7,34
3-3	8		1,50	7,34	8,84
3-4	4		0,20	8,84	9,04
3-5	7		0,50	9,04	9,54
4-1	1	8	4,00	8,00	12,00
4-2	6		1,67	12,00	13,67
4-3	8		1,50	13,67	15,17
4-4	4		0,20	15,17	15,37
4-5	7		0,50	15,37	15,87
5-1	2	8	4,00	8,00	12,00
5-2	6		1,67	13,67	15,34
5-3	8		1,50	15,34	16,84
5-4	4		0,20	16,84	17,04
5-5	7		0,50	17,04	17,54
6-1	3	19	6,50	19,00	25,50
6-2	4		1,50	25,50	27,00
6-3	7		0,50	27,00	27,50
7-1	1	19	6,50	19,00	25,50
7-2	4		1,50	27,00	28,50
7-3	7		0,50	28,50	29,00
8-1	2	22	2,00	22,00	24,00
8-2	4		1,00	28,50	29,50
8-3	10		0,50	29,50	30,00
9-1	2	22	2,00	24,00	26,00
9-2	4		1,00	29,50	30,50
9-3	10		0,50	30,50	31,00
10-1	1	30	2,00	30,00	32,00
10-2	6		2,75	32,00	34,75
11-1	2	30	2,00	30,00	32,00
11-2	5		0,50	32,00	32,50
11-3	8		1,00	32,50	33,50
11-4	7		0,50	33,50	34,00
12-1	3	34	4,50	34,00	38,50
12-2	5		1,50	38,50	40,00
12-3	8		2,00	40,00	42,00
12-4	12		8,00	42,00	50,00
13-1	1	37	3,50	37,00	40,50
13-2	6		1,67	40,50	42,17
13-3	4		0,50	42,17	42,67
13-4	7		0,50	42,67	43,17
13-5	11		8,00	43,17	51,17
13-6	9		1,50	51,17	52,67

Tabel 4.10 Penjadwalan *forward* (lanjutan)

14-1	2	46	3,50	46,00	49,50
14-2	5		1,00	49,50	50,50
14-3	11		8,00	50,50	58,50
15-1	3	52	3,50	52,00	55,50
15-2	8		2,34	55,50	57,84
15-3	11		8,00	57,84	65,84



Gambar 4.2 Gantt *chart* penjadwalan *forward*

Mesin 12 dan 13 sebenarnya adalah sama dengan mesin 11. Penggunaan mesin 12 dan 13 dimaksudkan untuk memperlihatkan bahwa proses pada mesin ini dapat melakukan operasi untuk beberapa *job*.

Contoh penjadwalan *forward*:

Waktu kedatangan *job* 1, 2 dan 3 adalah saat $t = 0$. Maka langsung dijadwalkan kepada mesin yang tersedia. Dalam hal ini mesin bubut (SK 360B) 1, 2 dan 3.

Job 1 operasi 1 dimulai dari 0 (nol) pada mesin 1

Job 1 operasi 2 dimulai dari jam ke-2 pada saat *job* 1 operasi 1 selesai dilakukan

Job 1 operasi 3 dimulai dari jam ke-3 pada saat *job* 1 operasi 2 selesai dilakukan

Job 2 operasi 1 dimulai dari 0 (nol) pada mesin 2, dst

Job 3 operasi 1 dimulai dari 0 (nol) pada mesin 3, dst

Job 3 operasi 2 dimulai dari jam ke-5,67 pada mesin 6, bukan dari jam ke-4 pada saat jam selesainya *job* 3 operasi 1. Hal ini dikarenakan mesin yang akan digunakan yaitu mesin 6 sedang dalam operasi, dst

Job 9 operasi 1 dimulai dari jam ke-24 pada mesin 2, bukan dari jam ke-22 pada saat jam kedatangan. Hal ini dikarenakan mesin yang tersedia yaitu mesin 1, 2 dan

3 sedang dalam operasi dan waktu selesai operasi tercepat dari ketiga mesin tersebut adalah mesin 2 pada jam ke-24, dst

Setelah hasil penjadwalan telah didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah menghitung total ongkos *earliness* dan *tardiness*.

Tabel 4.11 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* untuk penjadwalan *forward*

No. *Job*	Ongkos *earliness*	Ongkos *tardiness*	*Qi* (*Fi*)	*Qi* (*Ti-Fi*)	Total
1	3,75	112,5	73,125	-18,75	54,375
2	6,25	187,5	575,8125	-151,3125	424,5
3	6,25	187,5	565,375	-182,625	382,75
4	6,25	187,5	775,8125	-351,3125	424,5
5	6,25	187,5	765,375	-382,625	382,75
6	27,08	812,5	1773,958	-1421,875	352,0833
7	27,08	812,5	1733,333	-1462,5	270,8333
8	9,38	281,25	618,75	-501,5625	117,1875
9	9,38	281,25	609,375	-529,6875	79,6875
10	14,58	437,5	543,2292	-466,6667	76,5625
11	19,17	575	2261,667	-1878,333	383,3333
12	26,67	800	4213,333	-3213,333	1000
13	20,83	625	5527,708	-4576,667	951,0417
14	7,29	218,75	885,9375	-729,1667	156,7708
15	4,17	125	575,6667	-472,25	103,4167
				Total	**5159,792**

Perhitungan ongkos *earliness* dan *tardiness* adalah sebagai berikut:

a. Untuk $\forall_i, j \in F_i$

Untuk $x_{25} < 20$:

$Q_{25}(x_{25})$ = (6,25+6,25+6,25+6,25) (20) + (6,25) (20 – 7,87)

= 575,8125

b. Untuk $\forall_i$, ($j \in T_i - F_i$)

$Q_{13}(x_{13})$ = – ((3,75 x 2)+(3,75 x 3)) = – 18,75

4.3.2. Penugasan Mesin Paralel

Tahap pengolahan data untuk algoritma *backward non-delay* dimulai dengan melakukan pembebanan pada mesin bubut kecil (SK 360B) dengan menggunakan aturan *longest processing time* (LPT). Setelah dilakukan pembebanan, kemudian membuat penjadwalan awal dengan menggunakan algoritma *backward non-delay*.

Untuk mengatasi lingkungan sistem produksi yang dinamis maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang.

Dari tabel 4.4. terdapat jenis mesin yang jumlahnya lebih dari satu (mesin paralel), yaitu mesin bubut kecil (SK 360B) sehingga untuk menentukan *job* yang akan dikerjakan di setiap mesinnya dilakukan pembebanan. Data mesin bubut kecil (SK 360B) diberi nomor mesin yang berbeda sehingga diperoleh data mesin yang dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Data mesin yang digunakan untuk penjadwalan *backward non-delay*

No. Mesin	**Mesin**	**Jumlah Mesin yg Digunakan**
M1	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M2	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M3	Bubut Kecil (SK 360B)	1
M4	*Drilling*	1
M5	*Hobing*	1
M6	*Milling* Gigi	1
M7	Kerja Bangku	1
M8	*Slot*	1
M9	*Grinder*	1
M10	*Freis*	1
M11	*Heat Treatment*	1

Kemudian dilakukan pembebanan mesin paralel dengan menggunakan metode *largest processing time* (LPT). Berikut ini hasil dari metode LPT yang digunakan untuk mengetahui pekerjaan yang dilakukan pada mesin paralel.

- Mesin bubut kecil (SK 360B)

  Job yang dijadwalkan di mesin bubut kecil dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 *Job* yang dijadwalkan di mesin bubut SK 360B

Job	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15
t_i	2	4	4	4	4	6,5	6,5	2	2	2	2	4,5	3,5	3,5	3,5

LPT; $J_{1\text{-}6}$, $J_{1\text{-}7}$, $J_{1\text{-}12}$, $J_{1\text{-}2}$, $J_{1\text{-}3}$, $J_{1\text{-}4}$, $J_{1\text{-}5}$, $J_{1\text{-}13}$, $J_{1\text{-}14}$, $J_{1\text{-}15}$, $J_{1\text{-}1}$, $J_{1\text{-}8}$, $J_{1\text{-}9}$, $J_{1\text{-}10}$, $J_{1\text{-}11}$

Penjadwalan mesin paralel untuk mesin bubut kecil (SK 360B) dapat dilihat pada tabel 4.14.

Tabel 4.14 Penjadwalan mesin paralel untuk mesin bubut SK 360B

Job	1-6	1-7	1-12	1-2	1-3	1-4	1-5	1-13	1-14	1-15	1-1	1-8	1-9	1-10	1-11	$\sum$
t_i	6,5	6,5	4,5	4	4	4	4	3,5	3,5	3,5	2	2	2	2	2	
M1	6,5			4				3,5			2			2		18
M2		6,5			4				3,5			2			2	18
M3			4,5			4	4			3,5			2			18

Berdasarkan perhitungan maka diperoleh matriks *routing job* berdasarkan penugasan pekerjaan pada mesin paralel, yang dapat dilihat pada tabel 4.15.

Tabel 4.15 Matriks urutan proses setiap *job* untuk penjadwalan *backward non-delay*

No. *Job*	**Operasi**					
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Job 1	M1	M4	M7			
Job 2	M1	M6	M8	M4	M7	
Job 3	M2	M6	M8	M4	M7	
Job 4	M3	M6	M8	M4	M7	
Job 5	M3	M6	M8	M4	M7	
Job 6	M1	M4	M7			
Job 7	M2	M4	M7			
Job 8	M2	M4	M10			
Job 9	M3	M4	M10			
Job 10	M1	M6				
Job 11	M2	M5	M8	M7		
Job 12	M3	M5	M8	M11		
Job 13	M1	M6	M4	M7	M11	M9
Job 14	M2	M5	M11			
Job 15	M3	M8	M11			

4.3.3. Penjadwalan *Backward Non-Delay* dan Penjadwalan Ulang

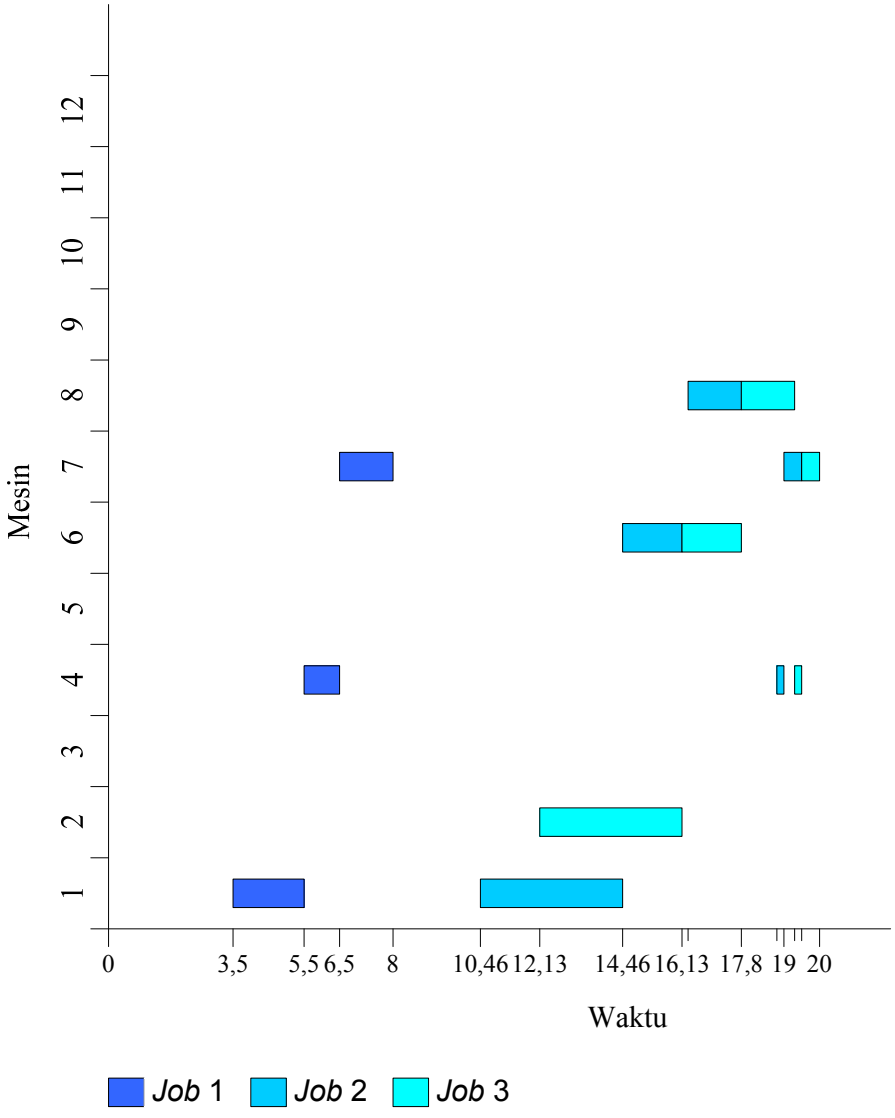
Pada kasus ini, *job* 1, *job* 2 dan *job* 3 memiliki saat kedatangan yang sama dan merupakan *job* yang datang paling awal (dapat dilihat pada tabel 4.3), sehingga *job* 1, 2 dan 3 dijadwalkan pertama kali dengan menggunakan algoritma *backward non-delay*. Proses pengolahan data dilakukan dengan perhitungan manual. Hasil penjadwalan *backward non-delay* dan Gantt *chart* hasil penjadwalan *backward non-delay* dapat dilihat pada tabel 4.16 dan gambar 4.3.

Tabel 4.16 Hasil penjadwalan *backward non-delay* pada $t = 0$

No. *Job*	**No. Proses**	**No. Mesin**	**Waktu Proses**	**Mulai**	**Selesai**
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00

Tabel 4.16 Hasil penjadwalan *backward non-delay* pada $t = 0$ (lanjutan)

2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00



Gambar 4.3 Gantt *chart* hasil penjadwalan *backward non-delay* pada $t = 0$

Langkah-langkah penyelesaian permasalahan tersebut sebagai berikut:

Langkah 0 : Tahap inisiasi

- Identifikasi jumlah dan *routing job*

Langkah 1 : Urutkan *due date*

20 8
h=1 h=2

Langkah 2 : Interval antar dua *due date*

h	1	2
H_h	(20-8)=12	(8-0)=8

Langkah 3 : *Due date* masing-masing operasi

- $d_{13} = 8$; $d_{12} = 8 - 1{,}5 = 6{,}5$; $d_{11} = 6{,}5 - 1 = 5{,}5$
- $d_{25} = 20$; $d_{24} = 20 - 0{,}5 = 19{,}5$; $d_{23} = 19{,}5 - 0{,}2 = 19{,}3$
  $d_{22} = 19{,}3 - 1{,}5 = 17{,}8$; $d_{21} = 17{,}8 - 1{,}67 = 16{,}13$
- $d_{35} = 20$; $d_{34} = 20 - 0{,}5 = 19{,}5$; $d_{33} = 19{,}5 - 0{,}2 = 19{,}3$
  $d_{32} = 19{,}3 - 1{,}5 = 17{,}8$; $d_{31} = 17{,}8 - 1{,}67 = 16{,}13$

Langkah 4 : Set

$h = 1$, $t = 0$ $P_{st} \rightarrow P_{so}$; jadwalkan secara mundur

Langkah 5 : $\sigma^* = 20$

Langkah 6 : $2 > 1$

Ya → terdapat 2 *job* dengan mesin yang sama maka pilih salah satu *job* (nomor *job* terbesar) dan langsung jadwalkan. Lanjut ke langkah 7

Langkah 7 : Masukkan 257 dan 357 yang terpilih pada himpunan P_{st}

Langkah 8 : Hilangkan 357 yang telah dijadwalkan pada S_1

Langkah 9 : Perbaharui *available time* untuk setiap mesin

Mesin 1 = 20 ; Mesin 2 = 20 ; Mesin 3 = 20 ; Mesin 4 = 20
Mesin 5 = 19,5 ; Mesin 6 = 20 ; Mesin 7 = 20 ; Mesin 8 = 20
Mesin 9 = 20 ; Mesin 10 = 20 ; Mesin 11 = 20

Langkah 10 : Semua operasi untuk *job* 2 dan *job* 3 belum terjadwalkan. Lanjut ke langkah 11

Langkah 11 : $d_1 - \sigma_{357} + t_{357} < H_1$

$20 - 20 + 0{,}5 < 12$

Ya, kembali ke langkah 4

Ulangi langkah 4 sampai dengan langkah 10

Langkah 10 : semua operasi untuk *job* 2 dan *job* 3 sudah terjadwalkan. Lanjut ke langkah 13

Langkah 13 : Set $h = 2$

Langkah 14 : $2 > 2$

Tidak, reset iterasi

Perbaharui *available time* untuk setiap mesin

Mesin 1 = 8 ; Mesin 2 = 8 ; Mesin 3 = 8 ; Mesin 4 = 8

Mesin 5 = 8 ; Mesin 6 = 8 ; Mesin 7 = 8 ; Mesin 8 = 8

Mesin 9 = 8 ; Mesin 10 = 8 ; Mesin 11 = 8

Kemudian lanjutkan menuju langkah 4 dan ulangi sampai dengan langkah 10.

Langkah 10 : Semua operasi dari *job* 1 sudah terjadwalkan. Lanjut ke langkah 13.

Langkah 13 : $h = 3$

Langkah 14 : 3 > 2; Ya, proses penjadwalan telah selesai.

Setelah hasil jadwal *backward non-delay* diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.17.

Tabel 4.17 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 0$

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
				Total	142,375

Langkah perhitungan ongkos :

Perhitungan ongkos *earliness* dan *tardiness* adalah sebagai berikut:

a. Untuk $\forall_i, j \in F_i$

Untuk $x_{25} < 20$:

$Q_{25}(x_{25})$ = (6,25+6,25+6,25+6,25) (20) + (6,25) (20 – 19,5)

= 503,125

untuk $x_{13} \geq 8$, $x_{35} \geq 20$:

$Q_{13}(x_{13})$ = (-112,5 x 8)+[((112,5+(3,75+3,75)) x 8]

= 60

$Q_{35}(x_{35})$ = (-187,5 x 8)+[((187,5+(6,25+6,25+6,25+6,25)) x 20] = 500

b. Untuk $\forall_i$, ($j \in T_i - F_i$)

$Q_{13}(x_{13})$ = – ((3,75 x 5,5)+(3,75 x 6,5)) = – 45

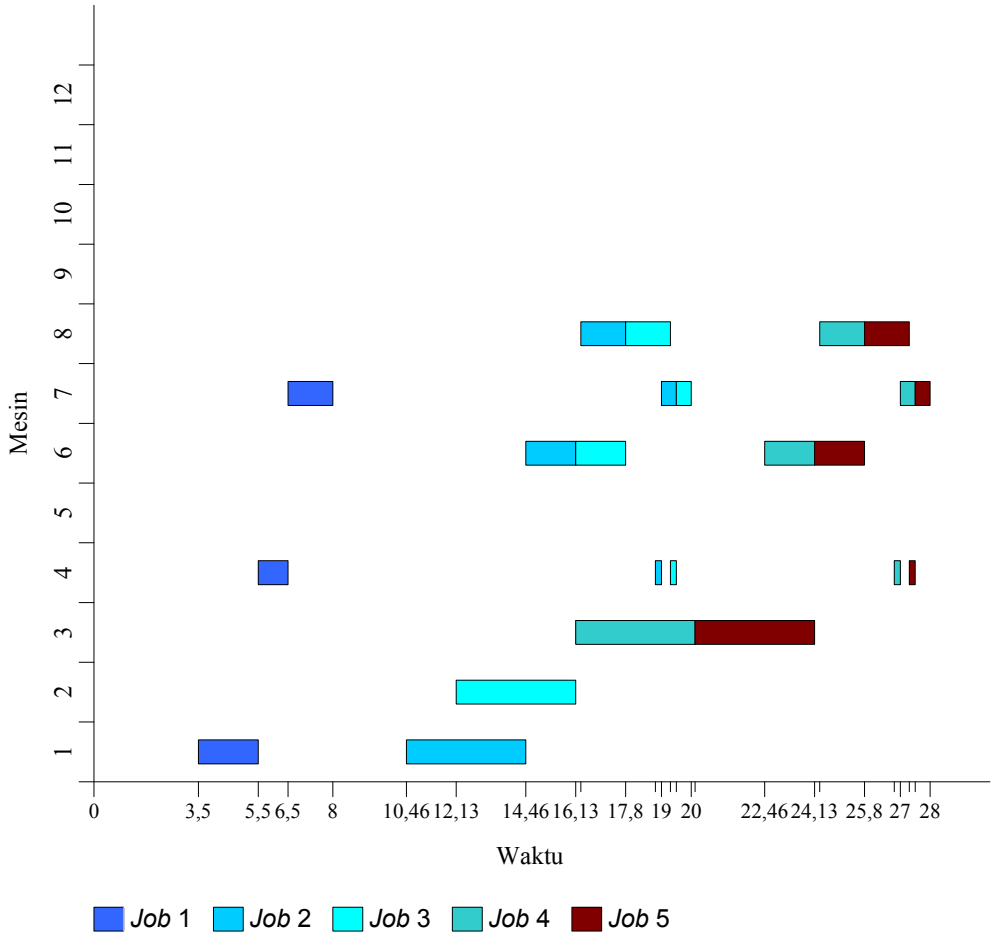
$Q_{25}(x_{25})$ = – ((6,25 x 14,46)+(6,25 x 16,13)+(6,25 x 17,8)+(6,25 x 19))
= – 421,1875

$Q_{35}(x_{35})$ = – ((6,25 x 16,13)+(6,25 x 17,8)+(6,25 x 19,3)+(6,25 x 19,5))
= – 454,5625

Pada saar t = 8 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru sebanyak 2 buah, yaitu *job* 4 dan *job* 5 dengan masing-masing 5 operasi dan *due date* 28. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.18 dan gambar 4.4.

Tabel 4.18 Hasil penjadwalan ulang pada t = 8

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00



Gambar 4.4 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada $t = 8$

Langkah 15 : Pada saat $t = 8$ mesin 5 telah menyelesaikan *job* 1 operasi 3

Langkah 16 : $T_1 = 8$; $T_2 = 8$; $T_3 = 8$; $T_4 = 8$; $T_5 = 8$; $T_6 = 8$;
$T_7 = 8$; $T_8 = 8$; $T_9 = 8$; $T_{10} = 8$; $T_{11} = 8$

Langkah 17 : Operasi 3 *job* 1, operasi 2 *job* 1, operasi 1 *job* 1 sudah selesai diproses sedangkan operasi 5 *job* 2, operasi 4 *job* 2, operasi 3 *job* 1, operasi 2 *job* 1, operasi 1 *job* 2, operasi 5 *job* 3, operasi 4 *job* 3, operasi 3 *job* 3, operasi 2 *job* 3 dan operasi 1 *job* 3 belum diproses.

Langkah 18 : Jadwalkan kembali operasi yang belum selesai dan operasi dari *job* yang baru, kembali ke langkah 1

Langkah 1 : Urutkan *due date*

28	20	8
h=1	h=2	h=3

Langkah 2 : Interval antar dua *due date*

h	1	2	3
H_h	(28-20)=8	(20-8)=12	(8-0)=8

Langkah 3 : *Due date* masing-masing operasi

- $d_{13} = 8$; $d_{12} = 8 - 1{,}5 = 6{,}5$; $d_{11} = 6{,}5 - 1 = 5{,}5$
- $d_{25} = 20$; $d_{24} = 20 - 0{,}5 = 19{,}5$; $d_{23} = 19{,}5 - 0{,}2 = 19{,}3$
  $d_{22} = 19{,}3 - 1{,}5 = 17{,}8$; $d_{21} = 17{,}8 - 1{,}67 = 16{,}13$
- $d_{35} = 20$; $d_{34} = 20 - 0{,}5 = 19{,}5$; $d_{33} = 19{,}5 - 0{,}2 = 19{,}3$
  $d_{32} = 19{,}3 - 1{,}5 = 17{,}8$; $d_{31} = 17{,}8 - 1{,}67 = 16{,}13$
- $d_{45} = 28$; $d_{44} = 28 - 0{,}5 = 27{,}5$; $d_{43} = 27{,}5 - 0{,}2 = 27{,}3$
  $d_{42} = 27{,}3 - 1{,}5 = 25{,}8$; $d_{41} = 25{,}8 - 1{,}67 = 24{,}13$
- $d_{55} = 28$; $d_{54} = 28 - 0{,}5 = 27{,}5$; $d_{53} = 27{,}5 - 0{,}2 = 27{,}3$
  $d_{52} = 27{,}3 - 1{,}5 = 25{,}8$; $d_{51} = 25{,}8 - 1{,}67 = 24{,}13$

Langkah 4 : Set

$h = 1$, $t = 0$ $P_{st} \rightarrow P_{so}$; jadwalkan secara mundur

Langkah 5 : $\sigma^* = 28$

Langkah 6 : $2 > 1$

Ya → terdapat 2 *job* dengan mesin yang sama maka pilih salah satu *job* (nomor *job* terbesar) dan langsung jadwalkan. Lanjut ke langkah 7

Langkah 7 : Masukkan 557 dan 457 yang terpilih pada himpunan P_{st}

Langkah 8 : Hilangkan 557 yang telah dijadwalkan pada S_1

Langkah 9 : Perbaharui *available time* untuk setiap mesin

Mesin 1 = 28 ; Mesin 2 = 28 ; Mesin 3 = 28 ; Mesin 4 = 28

Mesin 5 = 27,5 ; Mesin 6 = 28 ; Mesin 7 = 28 ; Mesin 8 = 28

Mesin 9 = 28 ; Mesin 10 = 28 ; Mesin 11 = 28

Langkah 10 : Semua operasi untuk *job* 5 dan *job* 4 belum terjadwalkan. Lanjut ke langkah 11

Langkah 11 : $d_1 - \sigma_{557} + t_{557} < H_1$

$28 - 28 + 0{,}5 < 8$

Ya, kembali ke langkah 4

Ulangi langkah 4 sampai dengan langkah 10

Langkah 10 : Semua operasi untuk *job* 5 dan *job* 4 sudah terjadwalkan. Lanjut ke langkah 13

Langkah 13 : Set $h = 2$

Langkah 14 : 2 > 2 ; Tidak, reset iterasi

Perbaharui *available time* untuk setiap mesin

Mesin 1 = 20 ; Mesin 2 = 20 ; Mesin 3 = 16,13 ; Mesin 4 = 20

Mesin 5 = 20 ; Mesin 6 = 20 ; Mesin 7 = 20 ; Mesin 8 = 20

Mesin 9 = 20 ; Mesin 10 = 20 ; Mesin 11 = 20

Kemudian lanjutkan menuju langkah 4 dan ulangi sampai dengan langkah 10.

Langkah 10 : Semua operasi untuk *job* 2 dan *job* 3 sudah terjadwalkan. Lanjut ke langkah 13.

Langkah 13 : $h = 3$

Langkah 14 : 3 > 3;

Tidak, reset iterasi

Perbaharui *available time* untuk setiap mesin

Mesin 1 = 8 ; Mesin 2 = 8 ; Mesin 3 = 8 ; Mesin 4 = 8 ;

Mesin 5 = 8 ; Mesin 6 = 8 ; Mesin 7 = 8 ; Mesin 8 = 8 ;

Mesin 9 = 8 ; Mesin 10 = 8 ; Mesin 11 = 8

Kemudian lanjutkan menuju langkah 4 dan ulangi sampai dengan langkah 10.

Langkah 10 : Semua operasi dari *job* 1 sudah terjadwalkan. Lanjut ke langkah 13.

Langkah 13 : $h = 4$

Langkah 14 : 4 > 3; Ya, proses penjadwalan telah selesai

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.19.

Tabel 4.19 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 8$

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5

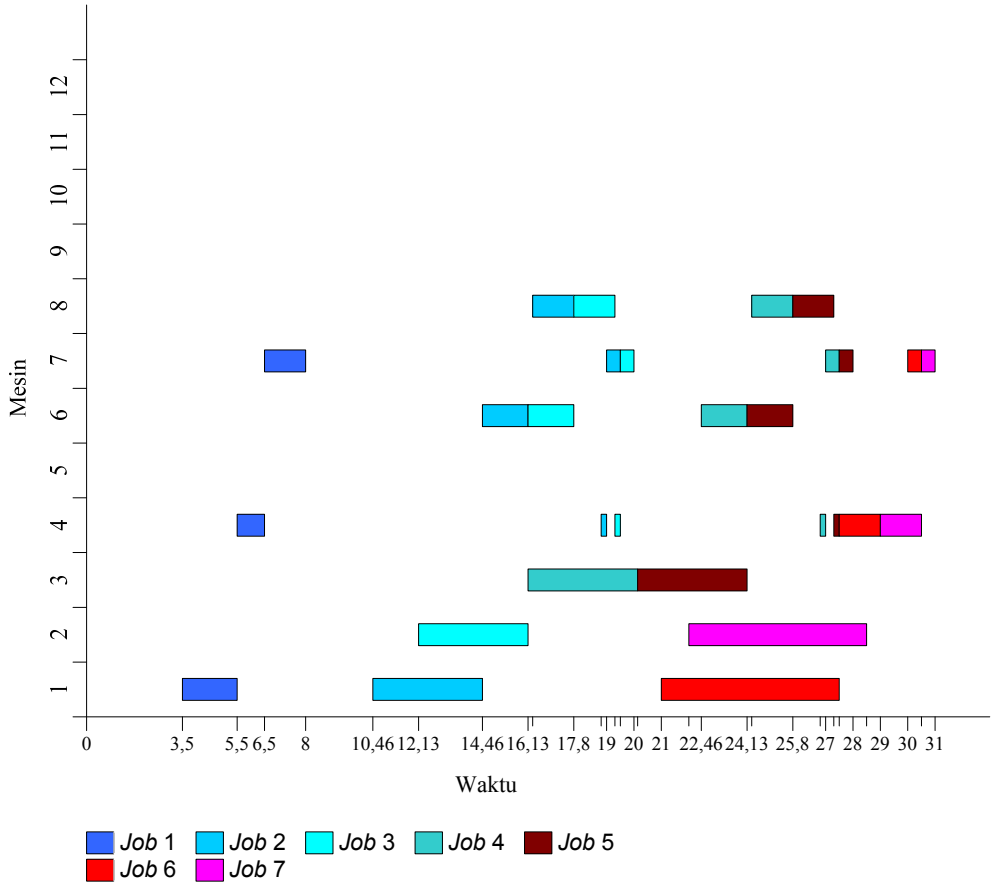
Tabel 4.19 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 8 (lanjutan)

5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
				Total	284,3125

Pada saat t = 19 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru sebanyak 2 buah, yaitu *job* 6 dan *job* 7 dengan masing-masing 3 operasi dan *due date* 31. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.20 dan gambar 4.5.

Tabel 4.20 Hasil penjadwalan ulang pada t = 19

No. *Job*	**No. Proses**	**No. Mesin**	**Waktu Proses**	**Mulai**	**Selesai**
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,50	29,00
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00



Gambar 4.5 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada t = 19

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.21.

Tabel 4.21 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 19

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
				Total	514,5208

Pada saat t = 22 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru sebanyak 2 buah, yaitu *job* 8 dan *job* 9 dengan masing-masing 3 operasi dan *due date* 32. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.22.

Tabel 4.22 Hasil penjadwalan ulang pada t = 22

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	21,46	23,13
4	3	8	1,50	23,30	24,80
4	4	4	0,20	26,10	26,30
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	23,13	24,80
5	3	8	1,50	24,80	26,30
5	4	4	0,20	26,30	26,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	26,50	28,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	21,00	27,50
7	2	4	1,50	28,00	29,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	27,50	29,50
8	2	4	1,00	29,50	30,50
8	3	10	0,50	31,00	31,50
9	1	3	2,00	28,50	30,50
9	2	4	1,00	30,50	31,50
9	3	10	0,50	31,50	32,00

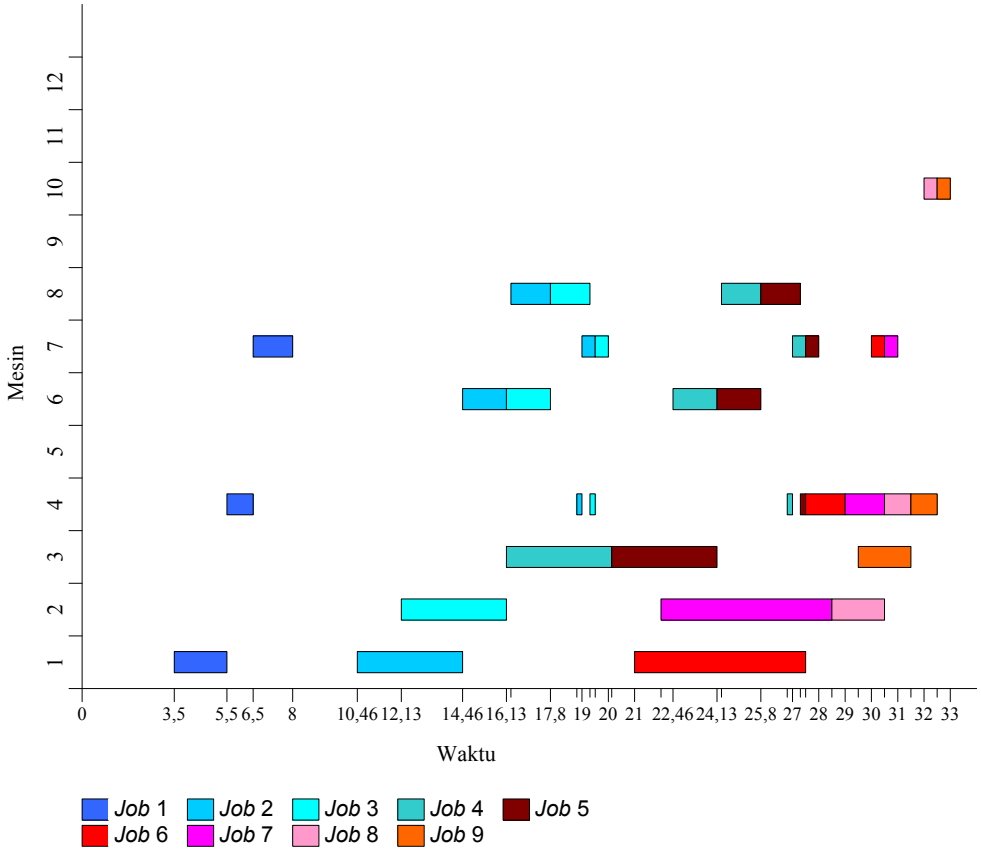
Jadwal yang dihasilkan tidak fisibel karena terdapat operasi yang dimulai sebelum saat sekarang yaitu operasi 1 *job* 7, operasi 2 *job* 6 dan operasi 2 *job* 5. Selanjutnya dilakukan konfirmasi ulang dengan konsumen untuk memperbaiki *due date* yang sudah ada. Konfirmasi ulang tersebut menghasilkan *due date* untuk masing-masing *job* (*job* 8 dan *job* 9) adalah 33. Kemudian lakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil konfirmasi ulang tersebut menghasilkan jadwal yang fisibel. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.23 dan gambar 4.6.

Tabel 4.23 Hasil penjadwalan ulang pada t = 22 dengan *due date* = 33

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50

Tabel 4.23 Hasil penjadwalan ulang pada t = 22 dengan *due date* = 33 (lanjutan)

9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00



Gambar 4.6 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada t = 22 dengan *due date* = 33

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.24.

Tabel 4.24 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 22 dengan *due date* = 33

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5

Tabel 4.24 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 22 dengan *due date* = 33 (lanjutan)

5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
				Total	575,4583

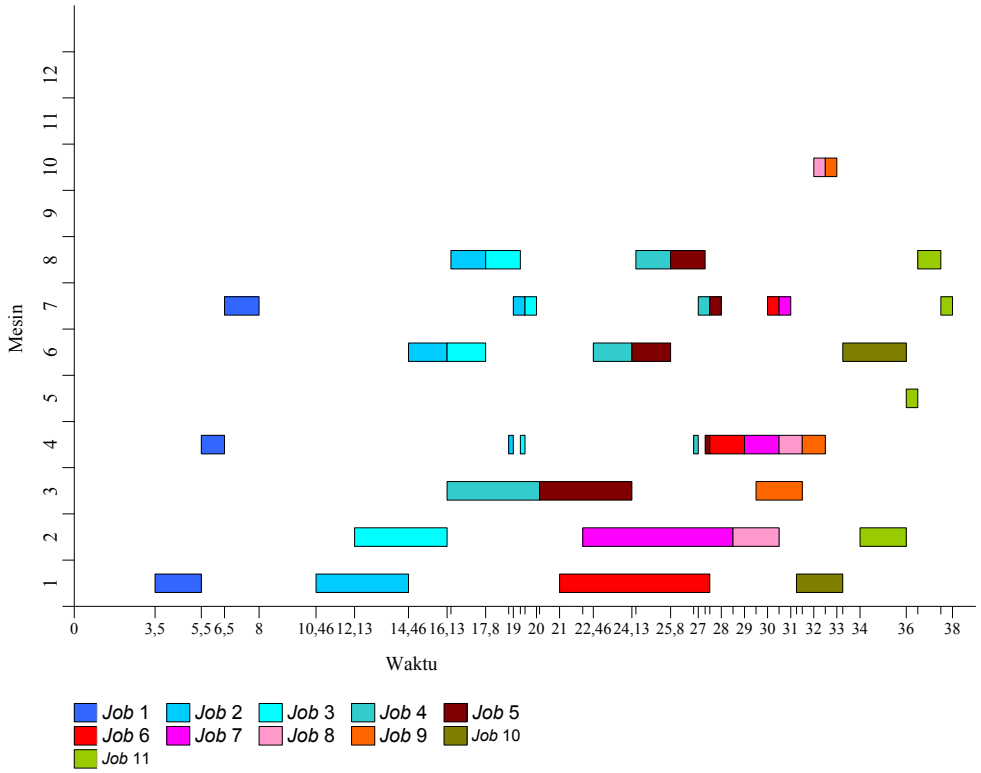
Pada saat t = 30 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru sebanyak 2 buah, yaitu *job* 10 dan *job* 11 dengan masing-masing 2 operasi dan 4 operasi dengan masing-masing *due date* 36 dan 38. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.25 dan gambar 4.7.

Tabel 4.25 Hasil penjadwalan ulang pada t = 30

No. *Job*	**No. Proses**	**No. Mesin**	**Waktu Proses**	**Mulai**	**Selesai**
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50

Tabel 4.25 Hasil penjadwalan ulang pada t = 30 (lanjutan)

6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50
9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00
10	1	1	2,00	31,25	33,25
10	2	6	2,75	33,25	36,00
11	1	2	2,00	34,00	36,00
11	2	5	0,50	36,00	36,50
11	3	8	1,00	36,50	37,50
11	4	7	0,50	37,50	38,00



Gambar 4.7 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada t = 30

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.26.

Tabel 4.26 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 30$

No. *Job*	Ongkos *earliness*	Ongkos *tardiness*	*Qi* (*Fi*)	*Qi* (*Ti-Fi*)	Total
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
10	14,58	437,5	525	-484,8958	40,1042
11	19,17	575	2185	-2108,333	76,6667
				Total	692,2292

Pada saat $t = 34$ terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru yaitu *job* 12 dengan 4 operasi dan *due date* 52. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.27.

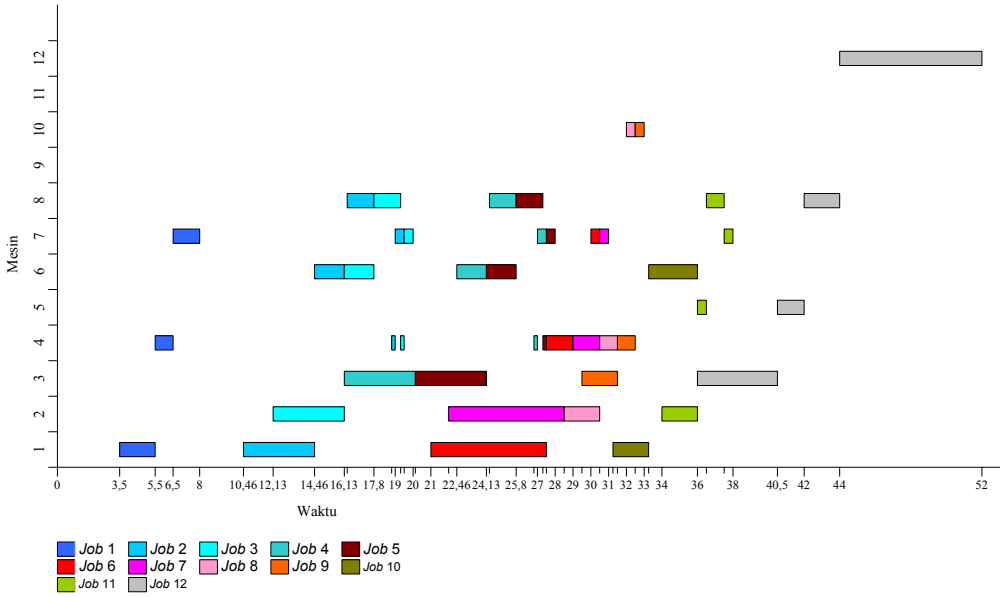
Tabel 4.27 Hasil penjadwalan ulang pada $t = 34$

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13

Tabel 4.27 Hasil Penjadwalan ulang pada t = 34 (lanjutan)

4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50
9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00
10	1	1	2,00	31,25	33,25
10	2	6	2,75	33,25	36,00
11	1	2	2,00	34,00	36,00
11	2	5	0,50	36,00	36,50
11	3	8	1,00	36,50	37,50
11	4	7	0,50	37,50	38,00
12	1	3	4,50	36,00	40,50
12	2	5	1,50	40,50	42,00
12	3	8	2,00	42,00	44,00
12	4	12	8,00	44,00	52,00

Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada gambar 4.8. Pada gambar 4.8 terdapat mesin 12 yaitu mesin *heat treatment*. Penggunaan mesin 12 bertujuan untuk memperlihatkan bahwa proses pada mesin ini dapat melakukan operasi untuk beberapa *job* (lebih dari satu). Dengan kata lain pada waktu yang sama dapat melakukan pekerjaan lebih dari 1 *job*. Mesin 12 digunakan untuk *job* 12 operasi 4.



Gambar 4.8 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada $t = 34$

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.28.

Tabel 4.28 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 34$

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
10	14,58	437,5	525	-484,8958	40,1042
11	19,17	575	2185	-2108,333	76,6667
12	26,67	800	4160	-3373,333	786,6667
				Total	1478,896

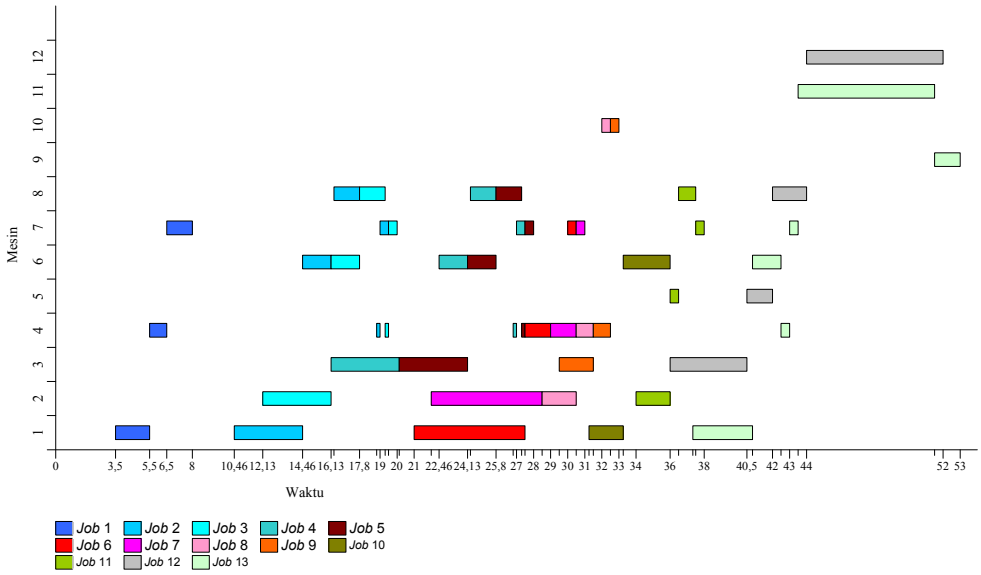
Pada saat t = 37 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru yaitu *job* 13 dengan 6 operasi dan *due date* 53. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.29 dan gambar 4.9.

Tabel 4.29 Hasil penjadwalan ulang pada t = 37

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50
9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00
10	1	1	2,00	31,25	33,25

Tabel 4.29 Hasil penjadwalan ulang pada t = 37 (lanjutan)

10	2	6	2,75	33,25	36,00
11	1	2	2,00	34,00	36,00
11	2	5	0,50	36,00	36,50
11	3	8	1,00	36,50	37,50
11	4	7	0,50	37,50	38,00
12	1	3	4,50	36,00	40,50
12	2	5	1,50	40,50	42,00
12	3	8	2,00	42,00	44,00
12	4	12	8,00	44,00	52,00
13	1	1	3,50	37,33	40,83
13	2	6	1,67	40,83	42,50
13	3	4	0,50	42,50	43,00
13	4	7	0,50	43,00	43,50
13	5	11	8,00	43,50	51,50
13	6	9	1,50	51,50	53,00



Gambar 4.9 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada t = 37

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.30 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 37

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375

Tabel 4.30 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada t = 37 (lanjutan)

3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
10	14,58	437,5	525	-484,8958	40,1042
11	19,17	575	2185	-2108,333	76,6667
12	26,67	800	4160	-3373,333	786,6667
13	20,83	625	5520,833	-4611,042	909,7917
				Total	2388,688

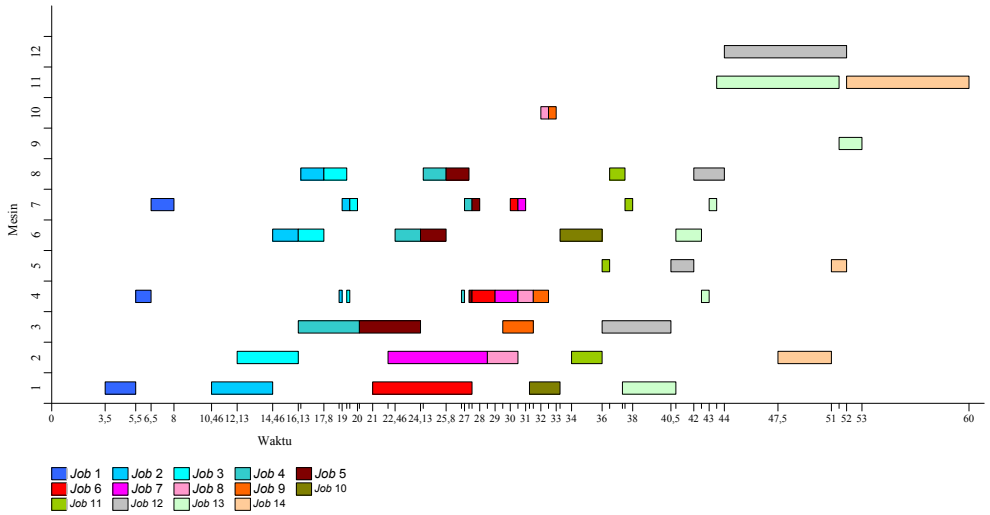
Pada saat t = 46 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru yaitu *job* 14 dengan 3 operasi dan *due date* 60. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.31 dan gambar 4.10.

Tabel 4.31 Hasil penjadwalan ulang pada t = 46

No. *Job*	**No. Proses**	**No. Mesin**	**Waktu Proses**	**Mulai**	**Selesai**
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00

Tabel 4.31 Hasil penjadwalan ulang pada t = 46 (lanjutan)

4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50
9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00
10	1	1	2,00	31,25	33,25
10	2	6	2,75	33,25	36,00
11	1	2	2,00	34,00	36,00
11	2	5	0,50	36,00	36,50
11	3	8	1,00	36,50	37,50
11	4	7	0,50	37,50	38,00
12	1	3	4,50	36,00	40,50
12	2	5	1,50	40,50	42,00
12	3	8	2,00	42,00	44,00
12	4	12	8,00	44,00	52,00
13	1	1	3,50	37,33	40,83
13	2	6	1,67	40,83	42,50
13	3	4	0,50	42,50	43,00
13	4	7	0,50	43,00	43,50
13	5	11	8,00	43,50	51,50
13	6	9	1,50	51,50	53,00
14	1	2	3,50	47,50	51,00
14	2	5	1,00	51,00	52,00
14	3	11	8,00	52,00	60,00



Gambar 4.10 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada $t = 46$

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.32.

Tabel 4.32 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 46$

No. *Job*	**Ongkos *earliness***	**Ongkos *tardiness***	***Qi* (*Fi*)**	***Qi* (*Ti-Fi*)**	**Total**
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
10	14,58	437,5	525	-484,8958	40,1042
11	19,17	575	2185	-2108,333	76,6667
12	26,67	800	4160	-3373,333	786,6667
13	20,83	625	5520,833	-4611,042	909,7917
14	7,29	218,75	772,9167	-751,0417	21,875
				Total	2410,563

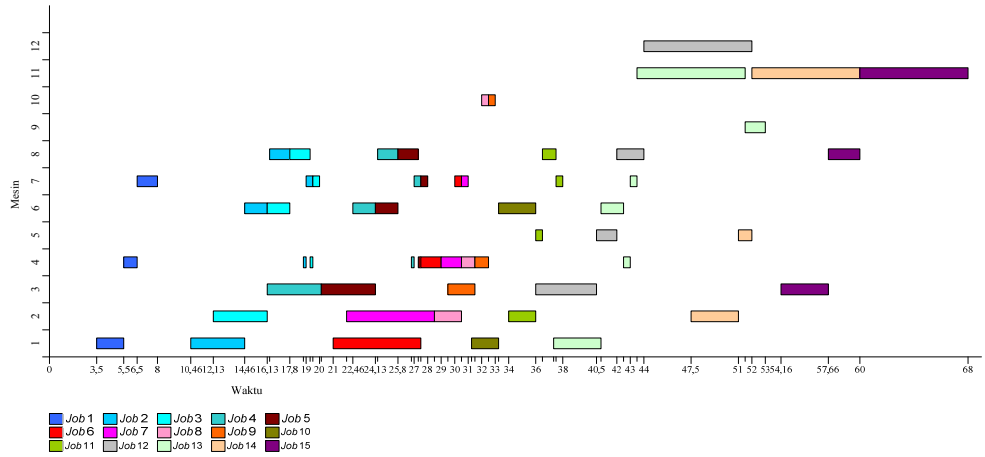
Pada saat t = 52 terdapat gangguan berupa kedatangan *job* baru yaitu *job* 15 dengan 3 operasi dan *due date* 68. Untuk menjawab kedatangan *job* baru tersebut maka dilakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma penjadwalan ulang. Hasil penjadwalan ulang dan Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang dapat dilihat pada tabel 4.33 dan gambar 4.11.

Tabel 4.33 Hasil penjadwalan ulang pada t = 52

No. *Job*	No. Proses	No. Mesin	Waktu Proses	Mulai	Selesai
1	1	1	2,00	3,50	5,50
1	2	4	1,00	5,50	6,50
1	3	7	1,50	6,50	8,00
2	1	1	4,00	10,46	14,46
2	2	6	1,67	14,46	16,13
2	3	8	1,50	16,30	17,80
2	4	4	0,20	18,80	19,00
2	5	7	0,50	19,00	19,50
3	1	2	4,00	12,13	16,13
3	2	6	1,67	16,13	17,80
3	3	8	1,50	17,80	19,30
3	4	4	0,20	19,30	19,50
3	5	7	0,50	19,50	20,00
4	1	3	4,00	16,13	20,13
4	2	6	1,67	22,46	24,13
4	3	8	1,50	24,30	25,80
4	4	4	0,20	26,80	27,00
4	5	7	0,50	27,00	27,50
5	1	3	4,00	20,13	24,13
5	2	6	1,67	24,13	25,80
5	3	8	1,50	25,80	27,30
5	4	4	0,20	27,30	27,50
5	5	7	0,50	27,50	28,00
6	1	1	6,50	21,00	27,50
6	2	4	1,50	27,50	29,00
6	3	7	0,50	30,00	30,50
7	1	2	6,50	22,00	28,50
7	2	4	1,50	29,00	30,50
7	3	7	0,50	30,50	31,00
8	1	2	2,00	28,50	30,50
8	2	4	1,00	30,50	31,50
8	3	10	0,50	32,00	32,50
9	1	3	2,00	29,50	31,50
9	2	4	1,00	31,50	32,50
9	3	10	0,50	32,50	33,00
10	1	1	2,00	31,25	33,25

Tabel 4.33 Hasil penjadwalan ulang pada t = 52 (lanjutan)

10	2	6	2,75	33,25	36,00
11	1	2	2,00	34,00	36,00
11	2	5	0,50	36,00	36,50
11	3	8	1,00	36,50	37,50
11	4	7	0,50	37,50	38,00
12	1	3	4,50	36,00	40,50
12	2	5	1,50	40,50	42,00
12	3	8	2,00	42,00	44,00
12	4	12	8,00	44,00	52,00
13	1	1	3,50	37,33	40,83
13	2	6	1,67	40,83	42,50
13	3	4	0,50	42,50	43,00
13	4	7	0,50	43,00	43,50
13	5	11	8,00	43,50	51,50
13	6	9	1,50	51,50	53,00
14	1	2	3,50	47,50	51,00
14	2	5	1,00	51,00	52,00
14	3	11	8,00	52,00	60,00
15	1	3	3,50	54,16	57,66
15	2	8	2,34	57,66	60,00
15	3	11	8,00	60,00	68,00



Gambar 4.11 Gantt *chart* hasil penjadwalan ulang pada t = 52

Setelah hasil penjadwalan ulang diperoleh, selanjutnya dihitung total ongkos *earliness* dan *tardiness* dapat dilihat pada tabel 4.30.

Tabel 4.34 Total ongkos *earliness* dan *tardiness* pada $t = 52$

No. *Job*	Ongkos *earliness*	Ongkos *tardiness*	*Qi* (*Fi*)	*Qi* (*Ti-Fi*)	Total
1	3,75	112,5	60	-45	15
2	6,25	187,5	503,125	-421,1875	81,9375
3	6,25	187,5	500	-454,5625	45,4375
4	6,25	187,5	703,125	-606,625	96,5
5	6,25	187,5	700	-654,5625	45,4375
6	27,08	812,5	1692,708	-1530,208	162,5
7	27,08	812,5	1679,167	-1611,458	67,7083
8	9,38	281,25	623,4375	-581,26	42,1875
9	9,38	281,25	618,75	-600	18,75
10	14,58	437,5	525	-484,8958	40,1042
11	19,17	575	2185	-2108,333	76,6667
12	26,67	800	4160	-3373,333	786,6667
13	20,83	625	5520,833	-4611,042	909,7917
14	7,29	218,75	875	-751,0417	123,9583
15	4,17	125	566,6667	-490,25	76,4167
				Total	2589,063

4.4. *Summary*

Dari pengolahan data terdapat 2 algoritma yang digunakan, yaitu:

1. Algoritma *forward*. Dengan menggunakan algoritma ini, *job* yang dijadwalkan tidak dapat mencapai *due date* tepat waktu, hal ini dikarenakan waktu proses dengan interval dari mulai dikerjakan *job* sampai *due date* tidak sama sehingga mengakibatkan ongkos *earliness* menjadi besar karena *job* lebih cepat selesai sebelumnya *due date*nya.
2. Algoritma *backward non-delay* dengan algoritma penjadwalan ulang. Dengan menggunakan algoritma ini, *due date* setiap *job* dapat dipenuhi, hal ini dikarenakan penjadwalan dimulai dari *due date* mundur ke waktu sekarang.

Untuk mempermudah perbandingan total ongkos *earliness* dan *tardiness* maka rekapitulasi total ongkos dari masing-masing algoritma dapat dilihat pada tabel 4.35.

Tabel 4.35 Perbandingan total ongkos

Algoritma	**Total ongkos**
Forward	**Rp. 5159,792**
Backward non-delay dan Penjadwalan Ulang	**Rp. 2589,063**

Penjadwalan *backward non-delay* dengan algoritma penjadwalan ulang dapat meminimasi total ongkos *earliness* dan *tardiness*. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan total ongkos yang terjadi. Untuk algoritma *forward* total ongkos yang terjadi adalah sebesar Rp. 5159,792. Sedangkan untuk algoritma *backward non-delay* total ongkos yang terjadi adalah Rp. 2589,063.