

PERBANDINGAN METODE *CAMPBELL DUDEK AND SMITH* (CDS) DAN *PALMER* DALAM MEMINIMASI TOTAL WAKTU PENYELESAIAN Studi Kasus : Astra Konveksi Pontianak

Risa, Helmi, Marisi Aritonang

INTISARI

Metode Campbell Dudek and Smith (CDS) dan Palmer merupakan teknik penjadwalan flow shop. Tujuan penjadwalan flow shop yaitu untuk mengetahui total waktu penyelesaian job minimal. Penelitian yang dilakukan di Astra konveksi Pontianak sebanyak 5 job yang diantaranya, kaos olahraga SMPN 2 Dedai Sintang, kaos olahraga SMA Immanuel Sintang, kaos olahraga SMA Nusantara Indah Sintang, kaos pembina MTS Nurul Fallah dan kaos santri taman pendidikan Qur'an masjid Alqudsy kayong Utara. Masing-masing job harus melewati setiap mesin secara berurutan. Mesin yang digunakan yaitu mesin pola dan potong, mesin sablon, mesin obras, mesin jahit dan mesin overdeck. Penelitian diawali dengan menghitung waktu proses masing-masing job disetiap mesin. Penjadwalan CDS didasarkan pada urutan job yang memiliki waktu proses minimal sedangkan penjadwalan Palmer didasarkan pada urutan job yang memiliki waktu proses maksimal dikerjakan terlebih dahulu. Berdasarkan urutan job yang dihasilkan, total waktu penyelesaian metode CDS selama 6 hari 1 jam dan metode Palmer selama 7 hari 8 menit. Metode CDS lebih cocok diterapkan pada Astra konveksi Pontianak karena memiliki waktu proses minimal dalam memproduksi kaos.

Kata Kunci: *Johnson rule, Slope indeks, Completion time.*

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan industri yang semakin maju, riset operasi semakin banyak diterapkan diberbagai bidang ilmu. Perusahaan harus memiliki strategi yang tepat untuk dapat bersaing dengan para pesaingnya. Strategi tersebut dapat berupa kualitas produk yang dihasilkan atau ketepatan waktu proses penyelesaian. Sering kali terjadi antrian yang panjang dikarenakan tidak tepat dalam menyelesaikan suatu pekerjaan (*job*). Akibatnya *job* menumpuk sehingga tidak sanggup menerima pesanan yang baru masuk. Agar tidak terjadi antrian yang menumpuk dalam proses produksi, diperlukan suatu sistem yang dapat meminimasi total waktu penyelesaian. Sistem produksi yang sering digunakan dalam penjadwalan yaitu pola alir searah (*flow shop*).

Penjadwalan *flow shop* adalah penjadwalan *job* dengan urutan mesin yang sama tanpa adanya perulangan. Operasi suatu *job* hanya bergerak satu arah, yaitu dari proses awal pada mesin pertama sampai proses akhir pada mesin terakhir [1]. Upaya untuk meminimasi total waktu penyelesaian pada metode *Campbell Dudek and Smith* (CDS) menggunakan *Johnson Rule*. Meminimasi total waktu penyelesaian pada metode *Palmer* menggunakan *slope indeks*. Urutan *job* yang dihasilkan metode CDS diperoleh dari perhitungan berdasarkan waktu proses minimal. Urutan *job* yang dihasilkan metode *Palmer* diperoleh dari perhitungan berdasarkan waktu proses maksimal [2].

Tujuan penelitian ini adalah membandingkan total waktu penyelesaian antara metode CDS dan *Palmer*. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diamati langsung pada Astra konveksi Pontianak. Data yang diambil yaitu data order lima *job* yang diselesaikan melalui lima mesin. *Job* yang dikerjakan yaitu kaos olahraga SMPN 2 Dedai Sintang, kaos olahraga SMA Immanuel Sintang, kaos olahraga SMA Nusantara Indah Sintang, kaos pembina MTS Nurul Fallah dan kaos santri taman pendidikan Qur'an masjid Alqudsy kayong Utara. Masing-masing *job* harus melewati setiap mesin secara berurutan. Mesin yang digunakan yaitu mesin pola dan potong, mesin sablon, mesin obras, mesin jahit dan mesin overdeck.

Perhitungan metode CDS dimulai dengan menyusun daftar waktu proses *job i* pada mesin ke *j*. Iterasi ditentukan berdasarkan jumlah urutan penjadwalan (*p*) dengan aturan $p = m - 1$. Penjadwalan

dapat dimulai dengan urut mulai dari iterasi 1 sampai $k = m - 1$. Langkah selanjutnya menghitung waktu proses minimal dengan *Johnson Rule* n job 2 grup mesin dengan grup pertama yaitu menentukan waktu proses mesin pertama dan waktu proses mesin terakhir. Setelah penetapan waktu proses, dilanjutkan dengan mengurutkan *job* yang diproses. Langkah terakhir hitung total waktu penyelesaian dari setiap iterasi dalam proses pengerjaan *job* dan memilih *job* dengan total waktu penyelesaian minimal. Perhitungan metode *Palmer* dimulai dengan menyusun daftar waktu proses *job* i pada mesin ke j . Proses selanjutnya menghitung *slope indeks* *job* i dengan cara mensubstitusikan data waktu proses ke dalam rumus *slope indeks*. Urutkan nilai *slope indeks* mulai dari nilai maksimal hingga nilai minimal, *job* dengan *slope indeks* maksimal mendapat urutan pengerjaan pertama dalam jadwal dan diakhiri dengan *job* yang memiliki *slope indeks* minimal. Langkah terakhir hitung total waktu penyelesaian dari urutan *job* yang diperoleh berdasarkan pengurutan *slope indeks*.

METODE CDS DAN PALMER

Metode yang dikemukakan oleh *Campbell, Dudek and Smith* pada tahun 1965 adalah pengembangan dari *Johnson Rule*. Setiap *job* yang diproses harus melalui proses masing-masing mesin. *Johnson Rule* digunakan untuk mencari urutan *job* yang melibatkan 2 grup mesin sebagai alat proses dari pekerjaan yang datang. *Job* yang diproses harus melalui dua grup mesin yaitu mesin $M1'$ dan dilanjutkan pada mesin $M2'$ sampai selesai. Langkah pertama dalam aturan *Johnson Rule* yaitu memilih waktu proses $(t_{i,M1'}, t_{i,M2'})$ minimal, dengan $t_{i,M1'}$ adalah waktu proses *job* i pada mesin 1 dan $t_{i,M2'}$ adalah waktu proses *job* i pada mesin 2. Langkah kedua tempatkan *job* pada posisi terawal dalam urutan jika waktu proses minimal terdapat pada mesin pertama ($t_{i,M1'}$). Tempatkan *job* pada posisi terakhir dalam urutan jika waktu proses minimal terdapat pada mesin kedua ($t_{i,M2'}$). Langkah terakhir hilangkan *job* yang sudah dijadwalkan dari daftar *job*. Ulangi langkah 2 dan 3 hingga seluruh *job* telah terjadwalkan [2].

Iterasi pertama Metode CDS yaitu menetapkan waktu proses mesin pertama dan mesin kedua:

$$t_{i,M1'} = t_{i,1} \text{ dan } t_{i,M2'} = t_{i,m} ; i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Iterasi kedua sampai iterasi n , waktu proses ditetapkan dengan rumus sebagai berikut [2]:

$$t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j} \text{ dan } t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j} ; i = 1, 2, \dots, n ; j = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

Keterangan:

- i : *Job* yang diproses ($i = 1, 2, 3, 4, 5$)
- j : Mesin yang digunakan untuk proses *job* i ($j = 1, 2, 3, 4, 5$)
- t_i : Waktu proses *job* i (menit)
- $M1'$: Mesin pertama pada perhitungan *Johnson Rule*
- $M2'$: Mesin kedua pada perhitungan *Johnson Rule*
- n : Jumlah *job* (kaos)
- m : Jumlah mesin (unit)
- k : Iterasi

Metode yang dikemukakan oleh *Palmer* merupakan teknik penjadwalan *slope indeks*. *Slope indeks* digunakan untuk mengurutkan *job* agar menghasilkan total waktu penyelesaian minimal. Prosedur pengurutan *slope indeks* memberikan prioritas pada *job* dengan waktu proses maksimal diproses terlebih dahulu. *Slope indeks* untuk *job* i yaitu [3]:

$$Si = \sum_{j=1}^m (2j - m - 1)t_{i,j} ; i = 1, 2, \dots, n \text{ dan } j = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

Keterangan :

S_i : Slope indeks job i

$t_{i,j}$: Waktu proses job i pada mesin ke j (menit)

PENGUKURAN WAKTU KERJA

Uji kecukupan data berfungsi sebagai indikator banyaknya data yang harus dikumpulkan dan agar data yang terkumpul cukup secara objektif [4]. Pengujian kecukupan data berpedoman pada konsep statistik yaitu tingkat ketelitian dan keyakinan. Jika dalam uji kecukupan data ternyata belum mencukupi, maka perlu dilakukan penambahan waktu dengan mengukur kembali waktu yang diperlukan. Penelitian dilakukan sebanyak 29 kali ($N = 29$) dengan asumsi tingkat keyakinan 95% dan derajat ketelitian 10%.

$$N'_{i,j} = \left(\frac{\frac{K}{s} \sqrt{N \sum X_{i,j}^2 - (\sum X_{i,j})^2}}{\sum X_{i,j}} \right)^2 ; i, j = 1, 2, 3, 4, 5$$

Keterangan:

$N'_{i,j}$: Jumlah data teoritis job i pada mesin ke j

N : Jumlah data pengamatan

$X_{i,j}$: waktu pengamatan job i pada mesin ke j (detik)

K : Tingkat keyakinan (99% ≈ 3 , 95% ≈ 2)

s : Derajat ketelitian

Jika terdapat $N'_{i,j} > N$ maka lakukan penambahan data. Jika untuk semua $N'_{i,j} < N$ maka data cukup.

$$\begin{array}{cccccc} N'_{1,1} = 8,31 & N'_{2,1} = 1,03 & N'_{3,1} = 4,47 & N'_{4,1} = 1,86 & N'_{5,1} = 15,41 \\ N'_{1,2} = 0,46 & N'_{2,2} = 2,38 & N'_{3,2} = 0,75 & N'_{4,2} = 3,45 & N'_{5,2} = 1,94 \\ N'_{1,3} = 1,68 & N'_{2,3} = 2,08 & N'_{3,3} = 19,43 & N'_{4,3} = 16,70 & N'_{5,3} = 1,46 \\ N'_{1,4} = 0,11 & N'_{2,4} = 0,81 & N'_{3,4} = 1,79 & N'_{4,4} = 2,37 & N'_{5,4} = 1,32 \\ N'_{1,5} = 1,95 & N'_{2,5} = 7,68 & N'_{3,5} = 4,18 & N'_{4,5} = 0,45 & N'_{5,5} = 1,43 \end{array}$$

Untuk semua $N'_{i,j} < N$, maka data dikatakan cukup.

Uji keseragaman data menggunakan persamaan (4) berfungsi untuk menyamakan asal data yang terkumpul dan memisahkan data yang memiliki karakteristik yang berbeda agar data seragam. Data yang tidak seragam dapat dipengaruhi oleh konsentrasi dan kebugaran seorang operator. Jika operator dalam kondisi yang tidak fit (mengantuk dan kelelahan) maka operator tersebut dikategorikan bekerja terlalu lambat. Akibatnya data yang terkumpul dapat berbeda dengan data yang sebelumnya [4]. Jika terdapat data diluar kontrol batas atas dan batas bawah maka data diluar kontrol dapat dibuang.

$$\begin{aligned} BKA_{i,j} &= \bar{X}_{i,j} + K\sigma_{i,j} \text{ dan } BKB_{i,j} = \bar{X}_{i,j} - K\sigma_{i,j} \\ \text{dengan } \sigma_{i,j} &= \sqrt{\frac{\sum (X_{i,j} - \bar{X}_{i,j})^2}{N-1}}; i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \end{aligned} \quad (4)$$

Keterangan :

$BKA_{i,j}$: Batas kontrol atas job i pada mesin ke j (data)

$BKB_{i,j}$: Batas kontrol bawah job i pada mesin ke j (data)

$\bar{X}_{i,j}$: Rata-rata waktu pengamatan job i pada mesin ke j (detik)

$\sigma_{i,j}$: Standar deviasi job i pada mesin ke j

Tabel 1. Batas Kontrol Atas dan Batas Kontrol Bawah (data)

Batas Kontrol	Job 1		Job 2		Job 3		Job 4		Job 5	
	BKA	BKB								
Mesin 1	23,52	12,85	22,32	18,15	22,68	14,64	22,18	16,77	47,98	20,59
Mesin 2	26,9	23,41	32,31	23,54	28,99	24,29	33,2	22,64	32,13	24,16
Mesin 3	511,32	392,26	185,56	138,09	242,66	92,38	375,98	155,11	299,13	233,65
Mesin 4	251,48	235,23	225,66	205,46	239,12	181,82	207,24	179,19	199,05	157,42
Mesin 5	33,68	25,31	29,52	19,89	24,96	16,37	26,48	23,09	29,13	22,81

Selama pengukuran berlangsung, kewajaran kerja seorang operator harus diperhatikan. Tidak wajar kerja seorang operator dapat mempengaruhi kecepatan kerja, baik terlalu cepat maupun terlalu lambat. Tidak selamanya operator bekerja dalam kondisi yang wajar. Artinya operator tidak selamanya bekerja tanpa melakukan kesalahan seperti keterampilan, usaha, kondisi dan konsistensi yang berbeda diantara masing-masing operator. Jika terdapat pekerjaan diluar kewajaran maka pengamat perlu menambahkan penyesuaian (*rating factor*) didalam pekerjaan seorang operator [4]. Berdasarkan tabel *westinghouse* [5] *rating factor*, jika operator bekerja diluar kondisi wajar ($RF = P + P_{tabel}$; $P = 1$) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 RF_{1,1} &= 1,21 & RF_{2,1} &= 1,21 & RF_{3,1} &= 1,21 & RF_{4,1} &= 1,21 & RF_{5,1} &= 1,26 \\
 RF_{1,2} &= 1,23 & RF_{2,2} &= 1,23 & RF_{3,2} &= 1,23 & RF_{4,2} &= 1,23 & RF_{5,2} &= 1,28 \\
 RF_{1,3} &= 1,16 & RF_{2,3} &= 1,07 & RF_{3,3} &= 1,07 & RF_{4,3} &= 1,10 & RF_{5,3} &= 1,15 \\
 RF_{1,4} &= 1,16 & RF_{2,4} &= 1,07 & RF_{3,4} &= 1,07 & RF_{4,4} &= 1,10 & RF_{5,4} &= 1,15 \\
 RF_{1,5} &= 1,16 & RF_{2,5} &= 1,07 & RF_{3,5} &= 1,07 & RF_{4,5} &= 1,10 & RF_{5,5} &= 1,15
 \end{aligned}$$

Selain penyesuaian banyak faktor yang mempengaruhi ketidakwajaran kerja seorang operator diantaranya kebutuhan pribadi seperti mengobrol dengan rekan kerjanya, ke toilet, menghilangkan kelelahan dan lain sebagainya. Kegiatan tersebut bersifat alamiah dan manusiawi. Kebutuhan pribadi juga disebut dengan kelonggaran (*allowance factor*). Kelonggaran diberikan untuk menghilangkan kelelahan yang terjadi. Kelelahan yang terjadi terus menerus berakibat kepada hasil, baik dalam hal jumlah maupun kualitas produksi. Berdasarkan tabel *allowance factor*, pemberian faktor kelonggaran berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya yaitu [5]:

Tabel 2. Allowance Factor

Faktor yang Mempengaruhi Kelonggaran (<i>Allowance Factor</i>)	Job 1	Job 2	Job 3	Job 4	Job 5
	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4	Mesin 5
Tenaga yang Dikeluarkan	25	25	18	16	18
Sikap Kerja	2	2,5	1	1	1
Gerakan Kerja	3	5	0	0	0
Kelelahan mata	19	25	6	6	6
Keadaan Temperature Tempat Kerja	35	5	5	5	5
Keadaan Atmosfer	6	5	5	5	5
Keadaan Lingkungan yang Baik	7	1	1	1	1
Kebutuhan Pribadi (Pria*, Wanita**)	0,5*	0*	2,5**	2,5**	2,5**
<i>Allowance Total</i>	97,5	68,5	38,5	36,5	38,5

Waktu siklus merupakan serangkaian waktu penyelesaian produksi yang telah lulus uji kecukupan dan keseragaman data, namun belum memperhatikan kewajaran kerja suatu operator [4]. Waktu siklus dihitung berdasarkan keseragaman data pada persamaan (4).

$$\bar{W}_{s_{i,j}} = \frac{\sum_{i,j=1}^n X_{i,j}}{N}; i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \tag{4}$$

Waktu baku digunakan untuk menyelesaikan suatu siklus (persamaan 4) pekerjaan berdasarkan metode pengukuran kerja dengan memperhatikan *rating factor* dan *allowance factor* dengan tingkat kecepatan kerja normal [4].

$$W_{B_{i,j}} = \bar{W}_{s_{i,j}} \times RF_{i,j} \times \frac{100}{100 - All_{i,j}}; i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \tag{5}$$

Keterangan :

$W_{B_{i,j}}$: Waktu baku *job i* pada mesin ke *j* (detik)

$\bar{W}_{s_{i,j}}$: Rata-rata waktu siklus *job i* pada mesin ke *j* (detik)

$RF_{i,j}$: *Rating factor job i* pada mesin ke *j*

$All_{i,j}$: *Allowance Factor job i* pada mesin ke *j*

$W_{B_{1,1}} = 902,66$	$W_{B_{2,1}} = 972,73$	$W_{B_{3,1}} = 909,21$	$W_{B_{4,1}} = 947,78$	$W_{B_{5,1}} = 1711,23$
$W_{B_{1,2}} = 98,35$	$W_{B_{2,2}} = 107,49$	$W_{B_{3,2}} = 103,56$	$W_{B_{4,2}} = 108,13$	$W_{B_{5,2}} = 114,61$
$W_{B_{1,3}} = 858,35$	$W_{B_{2,3}} = 282,30$	$W_{B_{3,3}} = 276,77$	$W_{B_{4,3}} = 456,38$	$W_{B_{5,3}} = 496,31$
$W_{B_{1,4}} = 444,04$	$W_{B_{2,4}} = 361,10$	$W_{B_{3,4}} = 354,28$	$W_{B_{4,4}} = 319,26$	$W_{B_{5,4}} = 321,81$
$W_{B_{1,5}} = 55,42$	$W_{B_{2,5}} = 42,37$	$W_{B_{3,5}} = 35,13$	$W_{B_{4,5}} = 44,20$	$W_{B_{5,5}} = 48,21$

Waktu proses merupakan waktu yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pesanan yang masuk pada Astra konveksi. Besarnya waktu proses berkaitan dengan jumlah permintaan, jumlah mesin dan kapasitas produksi permesin [6]. Persamaan (6) merupakan waktu proses *job i* pada mesin ke *j*.

$$t_{i,j} = \frac{W_{B_{i,j}} \times Q_i}{M_j \times C'_j}; i, j = 1, 2, 3, 4, 5 \tag{6}$$

Keterangan:

Q_j : Jumlah permintaan sekali order pada *job i* (unit)

M_j : Jumlah mesin di stasiun kerja *j* (unit)

C'_j : Kapasitas produksi per mesin *j* (unit)

$t_{1,1} = 363,57$	$t_{2,1} = 270,20$	$t_{3,1} = 505,12$	$t_{4,1} = 223,78$	$t_{5,1} = 713,01$
$t_{1,2} = 79,23$	$t_{2,2} = 59,71$	$t_{3,2} = 115,07$	$t_{4,2} = 51,06$	$t_{5,2} = 95,51$
$t_{1,3} = 691,45$	$t_{2,3} = 156,83$	$t_{3,3} = 307,52$	$t_{4,3} = 215,99$	$t_{5,3} = 413,59$
$t_{1,4} = 357,70$	$t_{2,4} = 200,61$	$t_{3,4} = 393,64$	$t_{4,4} = 150,76$	$t_{5,4} = 268,17$
$t_{1,5} = 133,94$	$t_{2,5} = 70,61$	$t_{3,5} = 117,09$	$t_{4,5} = 62,62$	$t_{5,5} = 120,53$

MEMINIMASI TOTAL WAKTU PENYELESAIAN DENGAN METODE CDS

Tentukan jumlah urutan proses penjadwalan (*p*) metode CDS; *m* adalah jumlah mesin dengan $p = m - 1$. Jumlah urutan proses penjadwalan (*p*) yaitu:

$$\begin{aligned} p &= m - 1 \\ &= 5 - 1 \\ &= 4 \text{ urutan penjadwalan} \end{aligned}$$

Iterasi dimulai dengan menghitung waktu proses pada mesin pertama ($M1'$) dan waktu proses pada

mesin kedua ($M2'$). Setiap iterasi (k) yang dimulai dari iterasi $1, 2, \dots, m-1$ dapat diperoleh urutan *job* yang digunakan dalam menghitung total waktu penyelesaian minimal. Berdasarkan waktu proses pada persamaan (6). Table 3 adalah waktu proses pada mesin pertama ($M1'$) dan waktu proses pada mesin kedua ($M2'$) untuk iterasi $k=1$ sampai iterasi $k=4$.

Tabel 3. Waktu Proses Mesin Pertama dan Kedua Pada Masing Masing Iterasi

Iterasi	Mesin Pertama ($M1'$)	Mesin Kedua ($M2'$)
Iterasi 1 ($k=1$):	Untuk $i=1$ $t_{i,M1'} = t_{i,1}$ $= t_{1,1}$ $= 363,57$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M1'} = t_{i,1}$ $= t_{5,1}$ $= 713,01$ menit	Untuk $i=1$ $t_{i,M2'} = t_{i,m}$ $= t_{1,5}$ $= 133,94$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M2'} = t_{i,m}$ $= t_{5,5}$ $= 120,53$ menit
Iterasi 2 ($k=2$):	Untuk $i=1$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,1} + t_{1,2}$ $= 363,57 + 79,23$ $= 442,80$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,1} + t_{5,2}$ $= 713,01 + 95,51$ $= 808,52$ menit	Untuk $i=1$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,5} + t_{1,4}$ $= 133,94 + 357,70$ $= 491,64$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,5} + t_{5,4}$ $= 120,53 + 268,17$ $= 388,70$ menit
Iterasi 3 ($k=3$):	Untuk $i=1$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3}$ $= 363,57 + 79,23 + 691,45$ $= 1134,25$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,1} + t_{5,2} + t_{5,3}$ $= 713,01 + 95,51 + 413,59$	Untuk $i=1$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,5} + t_{1,4} + t_{1,3}$ $= 133,94 + 357,70 + 691,45$ $= 1183,09$ menit \vdots Untuk $i=5$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,5} + t_{5,4} + t_{5,3}$ $= 120,53 + 268,17 + 413,59$

Lanjutan tabel 3.

Iterasi	Mesin Pertama ($M1'$)	Mesin Kedua ($M2'$)
	= 1222,11 menit	= 802,29 menit
Iterasi 4 ($k = 4$):	Untuk $i = 1$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,1} + t_{1,2} + t_{1,3} + t_{1,4}$ $= 1491,95 \text{ menit}$ \vdots Untuk $i = 5$ $t_{i,M1'} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,1} + t_{5,2} + t_{5,3} + t_{5,4}$ $= 713,01 + 95,51 + 413,59 + 268,17$ $= 1490,28 \text{ menit}$	Untuk $i = 1$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{1,5} + t_{1,4} + t_{1,3} + t_{1,2}$ $= 1262,32 \text{ menit}$ \vdots Untuk $i = 5$ $t_{i,M2'} = \sum_{j=m-k+1}^k t_{i,j}$ $= t_{5,5} + t_{5,4} + t_{5,3} + t_{5,2}$ $= 120,53 + 268,17 + 413,59 + 95,51$ $= 897,80 \text{ menit}$

Rekapitulasi waktu proses pada mesin pertama ($M1'$) dan waktu proses pada mesin kedua ($M2'$) untuk iterasi $k = 1$ sampai iterasi $k = 4$ terdapat pada table 4.

Tabel 4. Waktu Proses Mesin Pertama Mesin Kedua (Menit)

Iterasi	Mesin	Job 1	Job 2	Job 3	Job 4	Job 5
$k = 1$	$M1'$	363,57	270,20	505,12	223,78	713,01
	$M2'$	133,94	70,61	117,09	62,62	120,53
$k = 2$	$M1'$	442,80	329,91	620,19	274,84	808,52
	$M2'$	491,64	271,22	510,73	213,38	388,70
$k = 3$	$M1'$	1134,25	486,74	927,71	490,83	1222,11
	$M2'$	1183,09	428,05	818,25	429,37	802,29
$k = 4$	$M1'$	1491,95	687,35	1321,35	641,59	1490,28
	$M2'$	1262,32	487,76	933,32	480,43	897,80

Tentukan urutan *job* menggunakan *Johnson Rule*. Jika waktu minimal terdapat pada $M1'$ maka letakkan *job* tersebut pada urutan pertama. Jika waktu minimal terdapat pada $M2'$, maka letakkan *job* tersebut pada urutan terakhir. Hilangkan *job* yang telah dijadwalkan dari daftar *job* yang tersisa.

Berdasarkan tabel 4, waktu minimal pertama terletak pada *job* 4 yaitu 62,62 menit di mesin $M2'$ maka *job* 4 diletakkan pada urutan terakhir dalam jadwal. Hilangkan *job* 4 dari daftar *job* yang belum dijadwalkan. Waktu minimal kedua terletak pada *job* 2 yaitu 70,61 menit di mesin $M2'$ maka *job* 2 diletakkan pada urutan keempat dalam jadwal. Hilangkan *job* 2 dari daftar *job* yang belum dijadwalkan. Waktu minimal ketiga terletak pada *job* 3 yaitu 117,09 menit di mesin $M2'$ maka *job* 3 diletakkan pada urutan ketiga dalam jadwal. Hilangkan *job* 3 dari daftar *job* yang belum dijadwalkan. Waktu minimal keempat terletak pada *job* 5 yaitu 120,53 menit di mesin $M2'$ maka *job* 5 diletakkan pada urutan kedua dalam jadwal. Hilangkan *job* 5 dari daftar *job* yang belum dijadwalkan. Waktu minimal terakhir terletak pada *job* 1 yaitu 133,94 menit di mesin $M2'$ maka *job* 1 diletakkan pada urutan pertama dalam jadwal.

Urutan *job* berdasarkan *Johnson Rule* untuk iterasi 1 ($k = 1$) yaitu *Job* 1 – *Job* 5 – *Job* 3 – *Job* 2 – *Job* 4. Hasil pengurutan *job* iterasi 1,2,3,4 dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Urutan *job* berdasarkan *Johnson Rule*

Iterasi	Urutan <i>Job</i>
$k = 1$	<i>Job 1 – Job 5 – Job 3 – Job 2 – Job 4</i>
$k = 2$	<i>Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 2 – Job 4</i>
$k = 3$	<i>Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 4 – Job 2</i>
$k = 4$	<i>Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 2 – Job 4</i>

Hitung total waktu penyelesaian (*completion time*) C_{\max} minimal. Berikut langkah dalam menghitung total waktu penyelesaian. Waktu proses pertama ditentukan berdasarkan urutan *job* yang di hasilkan dari *Johnson Rule* yaitu *Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 2 – Job 4*. Waktu proses kedua ditambahkan dengan hasil pada waktu proses pertama dan seterusnya.

Job 1, C Mesin 1:

$$\text{Job 1, Mesin 1} = 363,57 \text{ menit}$$

Job 1, C Mesin 2:

$$\text{Job 1, C Mesin 1} + \text{Job 1, Mesin 2} = 363,57 + 79,23 = 442,80 \text{ menit}$$

Job 1, C Mesin 3:

$$\text{Job 1, C Mesin 2} + \text{Job 1, Mesin 3} = 442,80 + 691,45 = 1134,25 \text{ menit}$$

Job 1, C Mesin 4:

$$\text{Job 1, C Mesin 3} + \text{Job 1, Mesin 4} = 1134,25 + 357,70 = 1491,95 \text{ menit}$$

Job 1, C Mesin 5:

$$\text{Job 1, C Mesin 4} + \text{Job 1, Mesin 5} = 1491,95 + 133,94 = 1625,89 \text{ menit}$$

Waktu proses selanjutnya hanya bisa diproses jika proses sebelumnya selesai dan tidak boleh ada proses yang bertabrakan.

Job 3, C Mesin 1:

$$\text{Job 1, C Mesin 1} + \text{Job 3, Mesin 1} = 363,57 + 505,12 = 868,69 \text{ menit}$$

Job 5, C Mesin 1:

$$\text{Job 3, C Mesin 1} + \text{Job 5, Mesin 1} = 868,69 + 713,01 = 1581,70 \text{ menit}$$

Job 2, C Mesin 1:

$$\text{Job 5, C Mesin 1} + \text{Job 2, Mesin 1} = 1581,70 + 270,20 = 1851,90 \text{ menit}$$

Job 4, C Mesin 1:

$$\text{Job 2, C Mesin 1} + \text{Job 4, Mesin 1} = 1851,90 + 223,78 = 2075,68 \text{ menit}$$

Diperoleh hasil perhitungan total waktu penyelesaian minimal metode CDS yaitu:

Tabel 6. Total Waktu Penyelesaian Metode CDS (Menit)

<i>Completion Time (C), Mesin</i>	<i>Job 1</i>	<i>Job 3</i>	<i>Job 5</i>	<i>Job 2</i>	<i>Job 4</i>
C Mesin 1	363,57	868,69	1581,70	1851,90	2075,68
C Mesin 2	442,80	983,76	1677,21	1911,61	2126,74
C Mesin 3	1134,25	1441,77	2090,80	2247,63	2463,62
C Mesin 4	1491,95	1885,59	2358,97	2559,58	2710,34
C Mesin 5	1625,89	2002,68	2479,50	2630,19	2772,96

Total waktu penyelesaian (C_{\max}) = 2772,96 Menit

Perhitungan metode *Palmer* dihitung berdasarkan urutan *job* pada *slope indeks*. Prosedur pengurutan

slope indeks memberikan prioritas pada *job* dengan waktu proses maksimal diproses terlebih dahulu. *Slope indeks* bernilai positif untuk waktu proses pada mesin selanjutnya dan bernilai negatif untuk waktu proses pada mesin sebelumnya. *Slope indeks* (S_i) berdasarkan persamaan (3) dengan i dan $j = 1, 2, 3, 4, 5$ yaitu:

$$\begin{aligned}
 S1 &= (((2 \times 1) - 5 - 1)363,57) + (((2 \times 2) - 5 - 1)79,23) + (((2 \times 3) - 5 - 1)691,45) + \\
 &\quad (((2 \times 4) - 5 - 1)357,70) + (((2 \times 5) - 5 - 1)133,94) = -361,58 \\
 S2 &= (((2 \times 1) - 5 - 1)270,20) + (((2 \times 2) - 5 - 1)59,71) + (((2 \times 3) - 5 - 1)156,83) + \\
 &\quad (((2 \times 4) - 5 - 1)200,61) + (((2 \times 5) - 5 - 1)70,61) = -516,56 \\
 S3 &= (((2 \times 1) - 5 - 1)505,12) + (((2 \times 2) - 5 - 1)115,07) + (((2 \times 3) - 5 - 1)307,52) + \\
 &\quad (((2 \times 4) - 5 - 1)393,64) + (((2 \times 5) - 5 - 1)117,09) = -994,98 \\
 S4 &= (((2 \times 1) - 5 - 1)223,78) + (((2 \times 2) - 5 - 1)51,06) + (((2 \times 3) - 5 - 1)215,99) + \\
 &\quad (((2 \times 4) - 5 - 1)150,76) + (((2 \times 5) - 5 - 1)62,62) = -445,24 \\
 S5 &= (((2 \times 1) - 5 - 1)713,01) + (((2 \times 2) - 5 - 1)95,51) + (((2 \times 3) - 5 - 1)413,59) + \\
 &\quad (((2 \times 4) - 5 - 1)268,17) + (((2 \times 5) - 5 - 1)120,53) = -2024,60
 \end{aligned}$$

Hitung total waktu penyelesaian C_{\max} minimal. Berikut langkah dalam menghitung total waktu penyelesaian. Waktu proses pertama ditentukan berdasarkan urutan *job* yang di hasilkan dari *slope indek* yaitu *Job 1 – Job 4 – Job 2 – Job 3 – Job 5*. Waktu proses kedua ditambahkan dengan hasil pada waktu proses pertama dan seterusnya.

Job 1, C Mesin 1:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 1 = 363,57\ \text{menit}$$

Job 1, C Mesin 2:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 1 + Job\ 1,\ \text{Mesin}\ 2 = 363,57 + 79,23 = 442,80\ \text{menit}$$

Job 1, C Mesin 3:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 2 + Job\ 1,\ \text{Mesin}\ 3 = 442,80 + 691,45 = 1134,25\ \text{menit}$$

Job 1, C Mesin 4:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 3 + Job\ 1,\ \text{Mesin}\ 4 = 1134,25 + 357,70 = 1491,95\ \text{menit}$$

Job 1, C Mesin 5:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 4 + Job\ 1,\ \text{Mesin}\ 5 = 1491,95 + 133,94 = 1625,89\ \text{menit}$$

Waktu proses selanjutnya hanya bisa diproses jika proses sebelumnya selesai dan tidak boleh ada proses yang bertabrakan.

Job 4, C Mesin 1:

$$Job\ 1,\ C\ Mesin\ 1 + Job\ 4,\ \text{Mesin}\ 1 = 363,57 + 223,78 = 587,35\ \text{menit}$$

Job 2, C Mesin 1:

$$Job\ 4,\ C\ Mesin\ 1 + Job\ 2,\ \text{Mesin}\ 1 = 587,35 + 270,20 = 857,55\ \text{menit}$$

Job 3, C Mesin 1:

$$Job\ 2,\ C\ Mesin\ 1 + Job\ 3,\ \text{Mesin}\ 1 = 857,55 + 505,12 = 1362,67\ \text{menit}$$

Job 5, C Mesin 1:

$$Job\ 3,\ C\ Mesin\ 1 + Job\ 5,\ \text{Mesin}\ 1 = 1362,67 + 713,01 = 2075,68\ \text{menit}$$

Diperoleh hasil perhitungan total waktu penyelesaian minimal metode *Palmer* yaitu:

Tabel 7. Total Waktu Penyelesaian Metode *Palmer* (Menit)

<i>Completion Time (C), Mesin</i>	<i>Job 1</i>	<i>Job 4</i>	<i>Job 2</i>	<i>Job 3</i>	<i>Job 5</i>
C Mesin 1	363,57	587,35	857,55	1362,67	2075,68
C Mesin 2	442,80	638,41	917,26	1477,74	2171,19
C Mesin 3	1134,25	1350,24	1507,07	1814,59	2584,78
C Mesin 4	1491,95	1642,71	1843,32	2236,96	2852,95
C Mesin 5	1625,89	1705,33	1913,93	2354,05	2973,48

Total waktu penyelesaian (C_{\max}) = 2973,48 Menit

Terdapat tiga urutan *job* yang dihasilkan berdasarkan pengurutan *Johnson Rule* pada metode CDS dengan total waktu penyelesaian yang berbeda disetiap urutannya. Terdapat satu urutan *job* yang dihasilkan metode *Palmer* berdasarkan pengurutan *slope indeks* yaitu:

Tabel 8. Total waktu penyelesaian metode CDS dan *palmer*

Metode	Urutan <i>Job</i>	Total waktu penyelesaian (menit)
CDS	<i>Job 1 – Job 5 – Job 3 – Job 2 – Job 4</i>	2811,92
	<i>Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 2 – Job 4</i>	2772,96
	<i>Job 1 – Job 3 – Job 5 – Job 4 – Job 2</i>	2780,95
<i>Palmer</i>	<i>Job 1 – Job 4 – Job 2 – Job 3 – Job 5</i>	2973,48
Selisih Minimal CDS – <i>Palmer</i>		200,52

Metode CDS memproduksi kaos selama 2772,96 menit. Metode *Palmer* memproduksi kaos selama 2973,48 menit Terdapat selisih waktu proses pembuatan kaos metode CDS dan *Palmer* sebesar 200,52 menit. Berdasarkan selisih waktu, metode CDS lebih cocok diterapkan pada Astra konveksi Pontianak.

PENUTUP

Jika satu hari diasumsikan bekerja selama 7 jam maka metode CDS memproduksi kaos selama 6 hari 1 jam. Metode *Palmer* memproduksi kaos selama 7 hari 8 menit. Selisih total waktu penyelesaian minimal sebesar 1 hari 52 menit. Karena iterasi masing-masing metode sebanyak jumlah urutannya yaitu $m-1$ untuk metode CDS dan m untuk metode *Palmer*, maka metode CDS lebih minimal dibandingkan metode *Palmer*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Buffa SE, Sarin KR. *Manajemen Operasi dan Produksi Modern* [alih bahasa]. Tangerang: Binapura Aksara; 2006.
- [2]. Baroto T. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia; 2002.
- [3]. Modrak V, Pandian RS. Flow Shop Scheduling Algorithm to Minimize Completion Time for n Job m Machines Problem. *Technical Gazette*. 2010; 17(3):273-278.
- [4]. Purnomo H. *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2004.
- [5]. Rachman T. Penggunaan Metode Work Sampling untuk Menghitung Waktu Baku dan Kapasitas Produksi Karungan Soap Chip di PT SA. *Jurnal Inovisi*TM. 2013; 9(1):48-60.
- [6]. Sulaksmi A, Garside A, Hadziqah F. Penjadwalan Produksi dengan Algoritma Heuristik Pour. *Jurnal Teknik Industri*. 2014; (15)1:35-44.

RISA : FMIPA UNTAN, Pontianak, risa.untan.ptk@gmail.com

HELMI : FMIPA UNTAN, Pontianak, helmi132205@yahoo.com

MARISI ARITONANG : FAPERTA UNTAN, Pontianak, Marisi_Hetty@yahoo.com