

PERANCANGAN PENJADWALAN PROSES PENGEMASAN PRODUK AMDK UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN DENGAN METODE CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS) PADA CV. TIRTAKALIMAYA

DESIGN OF PACKAGING PROCESS SCHEDULING BOTTLED DRINKING WATER PRODUCTS TO MINIMIZE MAKESPANS USING THE CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS) METHOD IN CV. TIRTAKALIMAYA

Citra Puspaningrum¹, Sri Widaningrum², Wiyono³

^{1,2,3}Program Studi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹citrapuspa@student.telkomuniversity.ac.id, ²swidaningrum@telkomuniversity.ac.id, ³wiyono@telkomuniversity.ac.id

CV. Tirtakalimaya adalah sebuah perusahaan yang bergerak dibidang industri air minum dalam kemasan. Selama perjalanannya yang baru menginjak 3 tahun, CV. Tirtakalimaya melakukan produksi make to stock. Hal ini dilakukan dalam upaya mengenalkan produk kepada pasar potensial. Namun dengan usia yang masih relatif muda, perusahaan belum mempunyai SDM yang mumpuni. Jumlah pegawai yang bisa dikatakan relatif sedikit, menyebabkan adanya beberapa fungsi-fungsi management yang tidak terpenuhi. Hal ini oleh penulis temukan saat penulis melakukan penelitian langsung di kantor CV. Tirtakalimaya, yang sekaligus menjadi tempat produksi. Belum adanya bagian/orang yang bertanggung jawab dalam perancangan target dan penjadwalan produksi, membuat perusahaan ini belum efisien dalam pengoptimalan semua sumber daya. Berdasarkan data history perusahaan, angka target mempunyai trend positif dengan kenaikan nilai target cukup konstan, yaitu bertambah 1000 liter setiap bulannya. Sementara realisasi dari bulan ke bulan relatif konstan dengan variasi yang tidak terlalu besar.

Sampai saat ini, perusahaan belum mempunyai penjadwalan produksi. Oleh karena itu, perlu dibuat suatu sistem penjadwalan produksi yang baik. Kondisi eksisting produksi saat ini adalah n jobs dan m mesin. Jobs routing mempunyai sequence yang relatif sama. Dengan melihat karakteristik produksi seperti ini, metode penjadwalan yang tepat untuk perusahaan adalah Metode CDS (Campbell, Dudek, and Smith). Berdasarkan langkah-langkah dari metode CDS, akan didapat makespan minimum, atau produksi dapat diselesaikan dalam waktu tercepat.

Untuk mengetahui efisiensi penerapan Metode CDS ini, dilakukan analisis perbandingan antara makespan realisasi history dengan makespan menggunakan Metode CDS. Terbukti bahwa dengan menerapkan Metode CDS didapatkan penjadwalan yang optimal, dengan urutan job berturut turut yaitu P2-P3-P1-P4-P5 dan penyelesaian produksi seluruh pekerjaan menjadi lebih cepat.

Hasil dari penjadwalan menggunakan Metode CDS, didapatkan efisiensi waktu terhadap makespan history yang terjadi pada bulan Januari sebesar 54%, Februari sebesar 44%, Maret sebesar 47%, April sebesar 42%, Mei sebesar 42%, Juni sebesar 40%, Juli sebesar 39%, Agustus sebesar 35%, September sebesar 29%, Oktober sebesar 26%, November sebesar 22%, dan Desember sebesar 19%. Keuntungan lain dengan menerapkan Metode CDS, adalah dapat diprediksinya kapan seluruh proses produksi bisa diselesaikan. Hal ini bisa dimanfaatkan pihak manajemen dalam pengambilan keputusan.

Kata Kunci: Penjadwalan Produksi, Makespan, Algoritma CDS (Campbell, Dudek, and Smith),

CV. Tirtakalimaya is a company engaged in the bottled drinking water industry. During his journey, which was only 3 years old, CV. Tirtakalimaya does make to stock production. This is done in an effort to introduce the product to a potential market. However, at a relatively young age, the company does not yet have qualified human resources. The number of employees that can be said is relatively small, resulting in several management functions that are not fulfilled. This is by the authors found when the author conducted direct research at the office of CV. Tirtakalimaya, which is also a production site. The absence of a section / person responsible for the design of targets and production scheduling, makes this company inefficient in optimizing all resources. Based on the company's historical data, the target number has a positive trend with the increase in the target value being fairly constant, namely increasing by 1000 liters every month. Meanwhile, the realization from month to month was relatively constant with not too large a variation.

Until now, the company does not have a production schedule. Therefore, it is necessary to make a good production scheduling system. The current condition of existing production is n jobs and m machines. Routing jobs have a relatively similar sequence. By looking at production characteristics like this, the appropriate scheduling method for the company is the CDS method (Campbell, Dudek, and Smith). Based on the steps of the CDS method, the minimum makespan will be obtained, or the production can be completed in the fastest time.

To determine the efficiency of the application of the CDS method, a comparative analysis was carried out between the makespan of the realization of history and the makespan using the CDS method. It is proven that by applying the CDS method, the optimal scheduling is obtained, with successive job sequences, namely P2-P3-P1-P4-P5 and the completion of all work production becomes faster.

The results of the scheduling using the CDS method show that the time efficiency of the makespan history that occurs in January is 54%, February is 44%, March is 47%, April is 42%, May is 42%, June is 40%, July is 39 %, August by 35%, September by 29%, October by 26%, November by 22%, and December by 19%. Another advantage of applying the CDS method is that it can be predicted when the entire production process can be completed. This can be used by management in making decisions.

Keywords: *Production Scheduling, Makespan, CDS Algorithm (Campbell, Dudek, and Smith),*

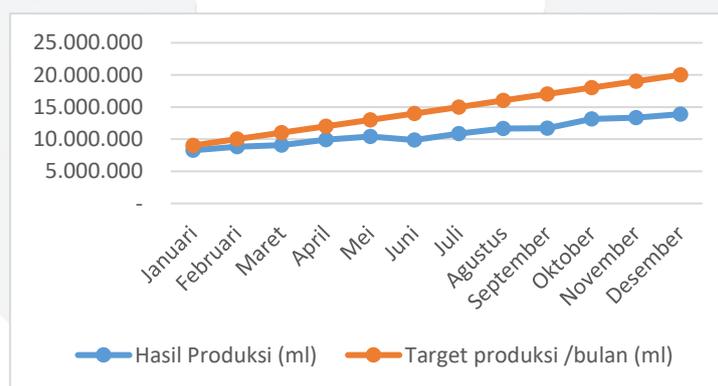
1. Pendahuluan

Saat ini industri air minum dalam kemasan (AMDK) di Indonesia memiliki peluang bisnis yang baik, dikarenakan tingkat konsumsi masyarakat akan air mineral terus mengalami peningkatan. Menurut Asosiasi Perusahaan Air Minum dalam Kemasan Indonesia (Aspadin) (www.Aspadin.com, 28 Juli 2019). Industri AMDK di dalam negeri berjumlah sekitar 700 perusahaan yang sebagian besar merupakan sektor industri kecil dan menengah (IKM). Secara volume, konsumsi AMDK menyumbang sekitar 85 persen dari total konsumsi minuman ringan di Indonesia. Salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri air minum dalam kemasan (AMDK) yang memanfaatkan pangsa pasar tersebut adalah CV. Tirtakalimaya yang baru mulai beroperasi pada awal tahun 2018. Perusahaan ini berlokasi di Bandung, Jawa Barat. Produk air minum pada perusahaan ini terbagi menjadi lima jenis kemasan yaitu 240 ml, 330 ml, 600 ml, 1500 ml dan 19000 ml. Berikut merupakan produk yang dihasilkan oleh CV. Tirtakalimaya yang dapat dilihat pada (Gambar 1).



Gambar 1 Produk AMDK CV. Tirtakalimaya

Dalam memproduksi produknya Proses produksi terbagi menjadi dua bagian yaitu pengolahan air dan pengemasan produk. CV. Tirtakalimaya menerapkan proses pengemasan dengan flow shop mesin serial karena kelima jenis kemasan dilakukan pada satu aliran proses produksi dimana hampir semua jenis memiliki urutan proses pengemasan yang sama. Aliran proses pengemasan yang terjadi di pabrik untuk setiap produk yaitu melalui proses penyucian botol, filling, pemasangan tutup botol, sealing cup, pemasangan segel, pemasangan stiker dan proses terakhir yaitu pengemasan produk ke dalam dus. Perusahaan menggunakan sistem made-to-stock, dimana produksinya dilakukan berdasarkan target produksi yang telah ditentukan perusahaan. Berikut ditampilkan grafik data target dan data realisasi selama 12 bulan tahun 2019 yang diperoleh dari data history perusahaan.



Gambar 2 Grafik target dan hasil produksi tahun 2019

Pada gambar 1.2 di atas, memperlihatkan dua buah garis nilai. Garis pertama di sebelah atas, adalah nilai target, dan garis di bawahnya adalah nilai realisasi. Nilai target cenderung naik dari setiap bulannya. Sedangkan garis realisasi ada kenaikan yang fluktuatif.

Dari hasil observasi dan wawancara dengan pihak perusahaan, penerapan target sesuai dengan strategi perusahaan, yaitu penentuan target untuk produksi make to stock. Sedangkan kegiatan produksi, belum menggunakan metode penjadwalan apapun.

Belum adanya kegiatan penjadwalan, dikarenakan perusahaan yang masih dalam masa bertumbuh. Dalam kondisi seperti ini, jumlah pekerja masih terbatas. Belum adanya orang/bagian yang melakukan penjadwalan menjadi masalah utama dalam kegiatan produksi. Saat ini jumlah pekerja hanya 4 orang, dengan tugas menyiapkan bahan baku,

meyiapkan kemasan dari gudang ke lantai produksi, mengawasi mesin dan memastikan mesin bekerja dengan baik, sampai dengan menempatkan produk jadi pada tempatnya.

Sistem produksi yang diterapkan di perusahaan belum optimal. Pekerja melakukan produksi dengan cara mencoba melakukan produksi dengan urutan tanpa berdasarkan metode tertentu. Dapat dikatakan bahwa perusahaan belum menggunakan sumber dayanya dengan baik. Maka dengan adanya perancangan penjadwalan produksi diharapkan dapat meminimalisasi waktu total produksi. Veronika Nadia et. al. (2017) mengungkapkan bahwa dengan adanya penjadwalan dapat meningkatkan penggunaan sumber daya, atau mengurangi waktu tunggu (delay), sehingga total waktu proses dapat berkurang, dan produktivitas dapat meningkat. Sehingga hal ini dapat mengakibatkan tercapainya target produksi perusahaan.

Akibat dari tidak adanya penjadwalan pada bagian pengemasan produk, total waktu proses pengemasan perbulannya tidak efisien dan menyebabkan produk yang dihasilkan oleh CV. Tirtakalimaya pun tidak bisa mencapai target setiap bulannya. Target yang tidak terpenuhi atau terlambat akan menjadi suatu kerugian bagi perusahaan karena mengurangi kepercayaan konsumen serta kepuasan pelanggan terhadap perusahaan. Secara tidak langsung ketidakhadanya penjadwalan produksi pada perusahaan menjadi salah satu faktor yang akan menyebabkan perusahaan tertinggal dan tidak bisa bersaing dengan perusahaan sejenis (Ervil & Nurmayuni, 2018). Berdasarkan hal tersebut, perusahaan harus memiliki metode penjadwalan yang baik sehingga dibuat suatu model penjadwalan agar makespan yang ada menjadi minimum. Menurut (Ginting, 2009) penjadwalan n job m mesin yang bertujuan untuk meminimasi makespan pada mesin serial tepat disolusikan menggunakan metode Champbell Dudek and Smith (CDS). Metode CDS sangat cocok untuk karakter produksi yang menerapkan urutan mesin pada proses produksi. CDS menghasilkan beberapa iterasi yang memiliki nilai makespan, dari iterasi tersebut didapat nilai makespan yang paling minimum untuk menentukan urutan produk yang akan diproduksi (Chamdan Mashuri, 2019).

Dengan memperhatikan karakteristik perusahaan yang menerapkan flow shop menggunakan 7 jenis mesin, serta jobs yang sequence, maka pendekatan heuristik dengan menggunakan metode CDS dipilih untuk menyelesaikan masalah di CV. Tirtakalimaya. Dengan penghitungan menggunakan metode CDS, akan diketahui urutan jadwal terbaik, dan kegiatan produksi akan menghasilkan produk dengan waktu pengerjaan tercepat. Dampak positif dari penerapan metode ini diharapkan perusahaan akan mampu memenuhi target produksi yang pada akhirnya CV Tirtakalimaya akan meningkatkan persaingan pasar di bidang usaha AMDK.

2. Dasar Teori

2.1 Pengertian Penjadwalan

Penjadwalan adalah aktivitas perencanaan untuk menentukan kapan dan dimana setiap operasi sebagai bagian dari pekerjaan secara keseluruhan harus dilakukan pada sumber daya yang terbatas, serta pengalokasian sumber daya pada suatu waktu tertentu dengan memperhatikan kapasitas sumber daya yang ada. Penjadwalan dapat diartikan sebagai pengalokasian sejumlah sumber daya (resource) untuk melakukan sejumlah tugas atau operasi dalam jangka waktu tertentu dan merupakan proses pengambilan keputusan yang peranannya sangat penting dalam industri manufaktur dan jasa yaitu mengalokasikan sumber-sumber daya yang ada agar tujuan dan sasaran perusahaan lebih optimal (Baker & Trietsch, 2009).

2.2 Elemen Penjadwalan

Pada proses penjadwalan terdapat elemen-elemen dasar (Ginting 2009):

- 1) Job, Merupakan suatu aktivitas atau operasi dalam penjadwalan yang memiliki waktu proses dan dialokasikan ke sumber daya yang ada pada proses produksi.
- 2) Proses, Bagian dari job. Setiap proses memiliki waktu proses, waktu set-up, tempat dan alat pemrosesan.
- 3) Sumber Daya, Suatu tools yang digunakan pada suatu aktivitas atau operasi.

2.3 Klasifikasi Kondisi Penjadwalan

Penjadwalan produksi dapat diklasifikasikan dari perbedaan kondisi yang mendasarinya, klasifikasi penjadwalan yang sering terjadi dalam proses produksi adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan Product Positioning:
 - a) *Make to order*, jumlah dan jenis produk yang dibuat berdasarkan permintaan dari konsumen, biasanya salah satu tujuan kebijakan ini adalah mengurangi biaya simpan.
 - b) *Make to stock*, jumlah dan jenis produk terus menerus dibuat untuk disimpan dalam inventory
2. Berdasarkan pola kedatangan job:
 - a) Statik, pengurutan job terbatas pada pesan yang ada. Job yang baru tidak mempengaruhi pengurutan job yang sudah dibuat.
 - b) Dinamik, pengurutan job selalu diperbaharui jika ada job baru yang datang.
3. Berdasarkan waktu proses:
 - a) Deterministik, waktu proses yang diterima sudah diketahui dengan pasti.
 - b) Stokastik, waktu proses yang diterima belum pasti, oleh karena itu perlu diperkirakan dengan menggunakan distribusi probabilitas.

2.4 Penjadwalan Flowshop

Tipe penjadwalan flowshop yaitu pergerakan dari unit satu ke unit yang lain secara terus menerus dengan melewati workstation dan disusun berdasarkan produk yang di buat (Baker & Trietsch, 2009). Menurut Pinedo (2016), sistem produksi flowshop memiliki berbagai aturan yaitu:

1. Flowshop, dimana job yang belum dikerjakan karena menunggu proses dari job yang mendahului harus menunggu hingga job yang mendahului selesai diproses pada suatu mesin. Penjadwalan sistem produksi ini memiliki arus pekerjaan yang berlangsung terus-menerus. Pengerjaan produk menurut metode ini lazim pula disebut sebagai make to stock method, yaitu melakukan pengerjaan produk dengan maksud untuk memenuhi kebutuhan pasar. Ragam produk terbatas tetapi dalam jumlah banyak. Umumnya digunakan oleh produk-produk dengan desain yang stabil.
2. Flexible flowshop, dimana tipe flowshop ini memiliki routing yang berbeda yang memungkinkan job yang datang untuk langsung masuk kedalam stasiun kerja, kecuali bila tetap harus diproses pada routing yang sama.

2.5 Metode Campbell- Dudek-Smith (CDS)

Metode oleh H.G. Campbell, R.A. Dudek dan M.L. Smith yang didasarkan atas algoritma Johnson. Metode CDS memecahkan persoalan n job pada m mesin Flow Shop ke dalam $m-1$ set persoalan dua mesin Flow Shop dengan membagi m mesin ke dalam dua grup, kemudian pengurutan job pada kedua mesin tadi menggunakan algoritma Johnson. Setelah diperoleh $m-1$ alternatif urutan job, kemudian dipilih urutan dengan nilai makespan terkecil. Setiap pekerjaan atau job yang akan diselesaikan harus melewati proses pada masing-masing mesin. Pada penjadwalan ini diusahakan untuk mendapatkan nilai makespan yang terkecil dari $(m-1)$ probabilitas penjadwalan. Penjadwalan dengan makespan yang terkecil merupakan urutan pengerjaan job yang terbaik (Ginting, 2009).

Pada metode CDS mencakup algoritma Johnson. Algoritma Johnson digunakan untuk mencari urutan pekerjaan, tetapi hanya melibatkan 2 mesin saja. Untuk penjadwalan dengan algoritma Johnson, dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Cari nilai $\{t_{i1}, t_{i2}\}$ yang paling kecil, dengan:
 t_{i1} : waktu proses job- i di mesin 1;
 t_{i2} : waktu proses job- i di mesin 2.
2. Jika waktu proses minimum terdapat pada mesin 1 (t_{i1}), tempatkan pekerjaan tersebut pada posisi pertama yang masih tersedia dalam urutan penjadwalan, lalu lanjutkan ke langkah. Jika waktu proses minimum terdapat pada mesin 2 (t_{i2}), tempatkan pekerjaan tersebut pada posisi terakhir yang masih tersedia dalam urutan penjadwalan, lalu lanjutkan ke langkah
3. Hilangkan pekerjaan yang sudah dijadwalkan (job ke- i) dari daftar pekerjaan yang harus dikerjakan, lalu kembali ke langkah 1 hingga semua pekerjaan telah masuk semua dalam jadwal.

Dengan menggunakan algoritma CDS, dapat dihasilkan satu set penjadwalan dari urutan job dan banyak mesin dengan pendekatan hasil penjumlahan sesuai dengan perhitungan untuk 2 mesin (m_1 , dan m_2). Berikut prosedur algoritma CDS:

1. Menyusun matriks $n \times m$ dari t_{ij} dimana n = jumlah job, m = jumlah mesin, dan t_{ij} = waktu pengerjaan job i pada mesin ke j .
2. Menentukan jumlah urutan (k) untuk n job 2 mesin, dimana $K = (m-1)$
3. Memulai penjadwalan pertama ($K=1$). Hitunglah $t^{*i,1}$ dan $t^{*i,2}$ dengan persamaan-persamaan:

$$t^{*i,1} = \sum_{j=1}^k t_{i,j}$$

$$t^{*i,2} = \sum_{j=m-k+1}^m t_{i,j}$$

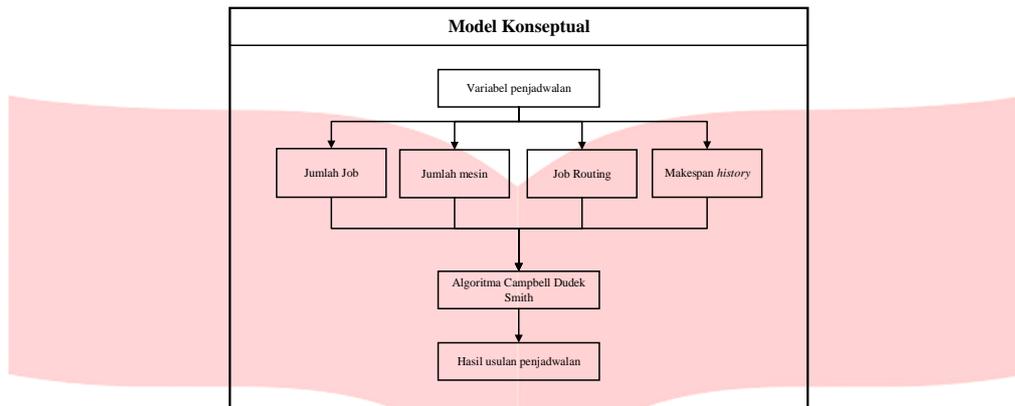
dengan keterangan:

$t^{*i,1}$: waktu proses job- i di mesin 1;
$t^{*i,2}$: waktu proses job- i di mesin 2;
$t(i,j) / t(i,m-k+1)$: waktu proses job- i di mesin; ke- k / di mesin $m-k+1$;
K	: jumlah kemungkinan urutan job, $k=1, 2, 3, \dots$;
i	: job ke- i , $i=1, 2, 3, \dots$;
m	: jumlah mesin

4. Gunakan algoritma Johnson untuk mengurutkan pekerjaan, dengan $t_{i,1} = t^{*i,1}$, dan $t_{i,2} = t^{*i,2}$, dengan nilai K dimulai dari 1, dan berhenti sampai nilai $K = (m-1)$, dengan m adalah jumlah mesin proses yang ada.
5. Kemudian hitunglah makespan untuk jadwal tersebut (total waktu pengerjaan produk terpanjang yang berada dalam suatu sistem).
6. Jika $K = (m-1)$, berhenti berarti penjadwalan job sudah selesai dan lanjutkan ke langkah 7. Jika tidak, maka $K = K+1$, dan ulangi perhitungan dengan kembali ke langkah 3.
7. Lalu pilih jadwal yang dapat menghasilkan makespan terkecil.

3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini berfokus pada perancangan penjadwalan proses pengemasan produksi di CV. Tirtakalimaya dengan menggunakan metode CDS. Berikut merupakan model konseptual dari penelitian yang dilakukan:



Gambar 3 Model Konseptual

Berdasarkan (Gambar 3.1) model konseptual merupakan kerangka berpikir untuk menjelaskan aliran proses dalam merancang penjadwalan proses pengemasan. Persyaratan data yang akan digunakan sebagai input dalam penelitian ini adalah jumlah mesin, jumlah pekerjaan dan urutan pekerjaan dimana di dalamnya terdapat data pokok yang diperlukan untuk penelitian ini yaitu data waktu proses pengemasan.

Data makespan history didapat dari data produksi realisasi setiap bulannya. Data ini akan digunakan sebagai data pembandingan, saat penghitungan makespan menggunakan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) telah didapatkan. Penjadwalan yang diusulkan diperoleh dengan menggunakan algoritma CDS untuk memungkinkan optimasi utilisasi sumber daya, sehingga diharapkan dapat mencapai target produksi.

4. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan lalu diolah yaitu meliputi data *history* produksi bulan Januari hingga Desember 2019. Berikut (Tabel 1) yang menjelaskan data lima jenis job yaitu 240 ml, 330 ml, 600 ml, 1500 ml dan 19000 ml yang diwakilkan berturut turut dengan notasi P1- P2- P3- P4- P5, data jenis mesin yang diwakilkan notasi F1-F2-F3- F4-F5-F6-F7 dan data waktu proses setiap job.

Tabel 1.1 Data waktu proses pengemasan

job	operation						
	cuci botol (detik)	Filling (detik)	pemasangan tutup (detik)	sealing cup (detik)	pemasangan segel (detik)	pemasangan stiker (detik)	pengemasan produk (detik)
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
p1	480	288	0	720	0	0	1548
p2	240	312	120	0	288	192	1210
p3	160	272	80	0	192	128	874
p4	90	477	45	0	117	63	820
p5	20	105	5	0	13	5	0

Kemudian didapatkan data jumlah produksi beserta makespan dalam satuan detik yang dihasilkan dari bulan Januari hingga Desember 2019 yang dapat dilihat pada (Tabel 2) dimana tabel ini akan digunakan pada pengolahan data dan analisis.

Tabel 2.2 Data relisasi produksi perusahaan tahun 2019

Bulan	Jenis produk					Makespan eksisting (detik)
	240	330	600	1500	19000	
Januari	72	45	91	186	195	864000
Februari	77	50	97	199	208	936000
Maret	79	50	100	205	214	936000
April	86	54	109	223	234	972000
Mei	91	57	114	234	246	900000
Juni	86	54	108	222	232	972000
Juli	95	60	119	245	256	972000
Agustus	102	64	128	262	274	900000
September	102	64	129	264	276	972000
Oktober	115	72	144	296	309	936000
November	117	73	147	301	314	936000
Desember	122	76	153	313	326	972000

5. Pembahasan

5.1 Perhitungan penjadwalan menggunakan CDS

Langkah selanjutnya yaitu mengolah data dengan menggunakan algoritma Campbell Dudek Smith (CDS). Seperti dikutip dari Ginting (2009) metode CDS berguna untuk mencari urutan prioritas terbaik dengan menggabungkan stasiun kerja yang ada menjadi dua kelompok mesin. Pada perhitungan penjadwalan untuk satu bulan dilakukan kedalam enam (6) tahapan iterasi, yakni : 1) $M1=F1$ dan $M2=F7$, 2) $M1=F1+F2$ dan $M2=F6+F7$, 3) $M1=F1+F2+F3$ dan $M2=F5+F6+F7$, 4) $M1=F1+F2+F3+F4$ dan $M2=F4+F5+F6+F7$, 5) $M1=F1+F2+F3+F4+F5$ dan $M2=F3+F4+F5+F6+F7$, 6) $M1=F1+F2+F3+F4+F5+F6$ dan $M2=F2+F3+F4+F5+F6+F7$, Setelah melalui perhitungan didapatkan hasil urutan penjadwalan dan makespan dari setiap iterasi.

Tabel 3 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Januari 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	124,94	76,40
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	124,94	73,13
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	124,94	73,13
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	124,94	73,13
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	124,94	73,13
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	124,94	73,13

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 124,94. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 73,13 jam atau 449800 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 4 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Februari 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	134,79	82,79
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	134,79	79,29
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	134,79	79,29
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	134,79	79,29
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	134,79	79,29
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	134,79	79,29

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 134,79. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 79,29 jam atau 485254 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Maret 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	137,748	84,34
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	137,748	80,71
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	137,748	80,71
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	137,748	80,71
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	137,748	80,71
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	137,748	80,71

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 137,748. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 80,71 jam atau 495892 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 6 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan April 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	149,67	91,56
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,67	87,62
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,67	87,62
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,67	87,62
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,67	87,62
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,67	87,62

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 149,67. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 87,62 jam atau 538802 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Mei 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	157,51	96,33
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	157,51	92,23
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	157,51	92,23
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	157,51	92,23
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	157,51	92,23
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	157,51	92,23

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 157,51. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 92,23 jam atau 567018 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 8 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Juni 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	149,20	91,26
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,20	87,36
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,20	87,36
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,20	87,36
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,20	87,36
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	149,20	87,36

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 149,20. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 87,36 jam atau 537108 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 9 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Juli 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	164,91	100,95
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	164,91	96,65
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	164,91	96,65
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	164,91	96,65
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	164,91	96,65
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	164,91	96,65

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 164,91. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 96,65 jam atau 593686 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 10 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Agustus 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	176,60	108,04
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	176,60	103,46
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	176,60	103,46
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	176,60	103,46
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	176,60	103,46
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	176,60	103,46

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 176,60. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 103,46 jam atau 635776 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 11 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan September 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job					Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2	P3	P4	P1	P5	177,30	108,46
2	1	P2	P3	P1	P4	P5	177,30	103,80
3	1	P2	P3	P1	P4	P5	177,30	103,80
4	1	P2	P3	P1	P4	P5	177,30	103,80
5	1	P2	P3	P1	P4	P5	177,30	103,80
6	1	P2	P3	P1	P4	P5	177,30	103,80

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 177,30. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 103,80 jam atau 638290 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 12 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Oktober 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job	Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2 P3 P4 P1 P5	199,07	121,73
2	1	P2 P3 P1 P4 P5	199,07	116,55
3	1	P2 P3 P1 P4 P5	199,07	116,55
4	1	P2 P3 P1 P4 P5	199,07	116,55
5	1	P2 P3 P1 P4 P5	199,07	116,55
6	1	P2 P3 P1 P4 P5	199,07	116,55

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 199,07. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 116,55 jam atau 716660 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 13 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan November 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job	Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2 P3 P4 P1 P5	202,46	123,76
2	1	P2 P3 P1 P4 P5	202,46	118,50
3	1	P2 P3 P1 P4 P5	202,46	118,50
4	1	P2 P3 P1 P4 P5	202,46	118,50
5	1	P2 P3 P1 P4 P5	202,46	118,50
6	1	P2 P3 P1 P4 P5	202,46	118,50

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 202,46. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 118,50 jam atau 728840 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

Tabel 14 Hasil Perhitungan Kedelapan Iterasi bulan Desember 2019

Iterasi	Alternatif	Urutan Job	Makespan	Mean Flowtime
1	1	P2 P3 P4 P1 P5	210,76	128,82
2	1	P2 P3 P1 P4 P5	210,76	123,37
3	1	P2 P3 P1 P4 P5	210,76	123,37
4	1	P2 P3 P1 P4 P5	210,76	123,37
5	1	P2 P3 P1 P4 P5	210,76	123,37
6	1	P2 P3 P1 P4 P5	210,76	123,37

Berdasarkan perhitungan tersebut didapat nilai makespan yang sama yaitu 210,76. Untuk memilih urutan yang terbaik, dilakukan pemilihan urutan berdasarkan nilai mean flowtime terkecil, yaitu dengan nilai terkecil bernilai 123,37 jam atau 758750 detik. Sehingga urutan terbaik yang dipilih adalah urutan penjadwalan P2, P3, P1, P4, P5.

5.2 Usulan penjadwalan terpilih

Berikut merupakan kesimpulan perhitungan 12 bulan penjadwalan menggunakan metode Campbell, Dudek and Smith. Dari penjadwalan 12 bulan pada CV. Tirtakalimaya dengan menggunakan algoritma CDS didapatkan bermacam alternatif, untuk mendapatkan hasil yang terbaik, dipilih makespan terkecil dari setiap alternatif yang ada. Berikut merupakan rangkuman hasil perhitungan penjadwalan dengan CDS selama 12 bulan

Tabel 15 Summary nilai makespan dari usulan penjadwalan terpilih

Bulan	Urutan job	Makespan
Januari	P2-P3-P1-P4-P5	449800
Februari		485254
Maret		495892
April		538802
Mei		567018
Juni		537108
Juli		593686
Agustus		635776
September		638290
Oktober		716660
November		728840
Desember		758750

Pada hasil kesimpulan diketahui bahwa urutan penjadwalan yang paling optimal yaitu dengan mengurutkan job P2, P3, P1, P4 dan P5 secara berurutan pada seluruh mesin yang ada pada proses pengemasan produk. Dimana makespan pada tabel tersebut mengartikan penyelesaian seluruh job sesuai produksi eksisting perbulan yang dicatat dalam satuan detik.

5.3 Analisis efek penerapan Metode CDS

Setelah mendapatkan hasil usulan penjadwalan target produksi perusahaan menggunakan CDS dengan urutan penjadwalan untuk 12 bulan yaitu P2-P3-P1-P4-P5. Maka selanjutnya akan dilakukan analisis yang berguna untuk membuktikan perbedaan makespan eksisting produksi dengan makespan usulan penjadwalan menggunakan metode CDS dalam satuan detik.

Tabel 16 Analisis perbandingan makespan usulan penjadwalan dengan makespan eksisting

Bulan	Makespan eksisting	Keterangan	Makespan usulan (cfs)
Januari	972000	>	449800
Februari	864000	>	485254
Maret	936000	>	495892
April	936000	>	538802
Mei	972000	>	567018
Juni	900000	>	537108
Juli	972000	>	593686
Agustus	972000	>	635776
September	900000	>	638290
Oktober	972000	>	716660
November	936000	>	728840
Desember	936000	>	758750

Berdasarkan (Tabel 15) dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode CDS didapatkan makespan yang lebih kecil dibandingkan makespan eksisting yang terdapat pada perusahaan sebelumnya. Sehingga untuk menjalani produksi produksinya masih adanya waktu yang tersisa di setiap bulannya, dari bulan Januari hingga Desember.

Tabel 16 Efisiensi Makespan penjadwalan CDS terhadap makespan eksisting

Bulan	Makespan eksisting	Makespan cds	Efisiensi
Januari	972000	449800	54%
Februari	864000	485254	44%
Maret	936000	495892	47%
April	936000	538802	42%
Mei	972000	567018	42%
Juni	900000	537108	40%
Juli	972000	593686	39%
Agustus	972000	635776	35%
September	900000	638290	29%
Oktober	972000	716660	26%
November	936000	728840	22%
Desember	936000	758750	19%

Pada (Tabel 16) makespan eksisting setiap bulan dapat dibandingkan dengan makespan usulan yang didapat dengan menggunakan CDS, maka diperoleh efisiensi waktu dalam memproduksi seluruh produk CV. Tirtakalimaya. Dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan penjadwalan metode CDS efisiensi waktu berkurang sebanyak 54% pada bulan Januari atau telah meminimasi sekitar 522200 detik, pada bulan Februari terjadi efisiensi waktu produksi sebanyak 44% atau 378746 detik, pada bulan Maret efisiensi waktu terjadi sebanyak 47% atau 440108 detik, pada bulan April pengurangan waktu terjadi senilai 42% atau berkisar 397198 detik, pada bulan Mei terjadi efisiensi waktu sebanyak 42% atau 404982 detik, pada bulan Juni terjadi efisiensi sebesar 40% atau sebesar 362892 detik, pada bulan Juli efisiensi terjadi sebesar 39% atau 378314 detik, di bulan Agustus waktu yang berkurang sebanyak 35% atau 336224 detik, di bulan September terjadi pengurangan waktu produksi sebesar 29% atau 261710 detik, pada bulan Oktober efisiensi waktu terjadi sebanyak 26% atau 255340 detik, efisiensi yang terjadi pada bulan November yaitu sebesar 22% atau 207160 detik dan terjadi efisiensi waktu produksi sebesar 19% atau 177250 detik pada bulan Desember.

Dengan adanya minimasi makespan dengan menggunakan CDS ini memberikan peluang kepada perusahaan pada bulan Januari hingga Desember untuk memenuhi target produksi yang tidak sempat di produksi pada waktu yang tersedia dalam setiap bulannya. Keberhasilan dari penerapan metode CDS adalah ketika metode ini dapat diimplementasikan pada perusahaan. Terbukti berdasarkan usulan penjadwalan yang telah diusulkan dengan menggunakan metode CDS dapat meminimasi makespan produksi lima jenis kemasan untuk bulan Januari hingga Desember dimana waktu produksi dapat selesai dari makespan produksi perbulannya.

Agar perusahaan terus dapat menghasilkan produknya dengan waktu yang optimal, perusahaan perlu menerapkan metode penjadwalan CDS dalam melakukan perencanaan produksinya. Maka dari itu perusahaan harus

melakukan sosialisasi kepada pekerja pada proses pengemasan untuk dapat membuat penjadwalan proses pengemasan, dengan melakukan penjadwalan pada awal bulan sebelum memulai proses produksi AMDK dengan memasukan data target produksi bulan yang sedang berjalan sebagai inputan penjadwalan metode CDS.

6. Kesimpulan dan Saran

6.1 Kesimpulan

Dari perhitungan yang telah dilakukan dengan menggunakan metode Campbel-Dudek-Smith (CDS), diperoleh 6 tahapan iterasi, dimana dari 6 tahapan tersebut diperoleh enam (6) alternatif urutan job, urutan job yang paling efisien adalah urutan job, dimana parameter efisien diambil berdasarkan nilai makespan terkecil dari perbandingan perhitungan setiap bulannya. Pada hasil perhitungan pada penelitian ini didapatkan hasil urutan job dan makespan yang paling optimal dengan urutan job P2-P3-P4-P1-P5 dengan hasil makespan yang dapat dilihat pada (Tabel 15).

Maka dapat disimpulkan bahwa hasil makespan usulan penjadwalan dari bulan Januari hingga Desember dapat terminimalisasi untuk diselesaikan dalam batas waktu produksi yang tersedia perbulannya. Berdasarkan data tersebut diketahui bahwa terjadi efisiensi waktu yang terjadi pada bulan Januari sebesar 54%, Februari sebesar 44%, Maret sebesar 47%, April sebesar 42%, Mei sebesar 42%, Juni sebesar 40%, Juli sebesar 39%, Agustus sebesar 35%, September sebesar 29%, Oktober sebesar 26%, November sebesar 22%, dan Desember sebesar 19%.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian terdapat saran yang ditujukan kepada CV. Tirtakalimaya yaitu perusahaan membuat jadwal penjadwalan pengemasan produk menggunakan CDS dengan input data target produksi, dimana kemudian perusahaan melakukan pelatihan untuk mensosialisasikan mengenai penjadwalan dengan menggunakan metode Campbell, Dudek and Smith pada proses pengemasan produk yang dilakukan setiap awal bulan.

Saran yang ditujukan untuk penelitian selanjutnya yaitu hasil dari algoritma CDS ini dapat dijadikan sebagai solusi awal yang kemudian dioptimalkan lebih lanjut dengan menggunakan metode heuristik atau meta heuristik lainnya. Kemudian disarankan untuk melakukan modifikasi CDS disaat ditengah penjadwalan ada order baru dengan deadline tertentu.

Daftar pustaka

Ginting, Rosnani, 2009, Penjadwalan Mesin, Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta

Baker, K.R. (2019). Introduction to Sequencing and Scheduling. New York: John Wiley and Sons.

Pinedo, M.L., 2016. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Fifth Edition. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-26580-3

Nasution, Arman Hakim. 2003. Perencanaan & Pengendalian Produksi, Edisi Pertama, Surabaya: Penerbit Guna Widya.

Anwar Hakim Nasution, 2006. Manajemen Industri, Edisi pertama, CV. Andy Offset, Yogyakarta.

Tannady, Hendy., Steven., Andrew Verrayo Limas. 2013. Solusi UrutanPengerjaann Job yang Tepat dengan Metode Campbell-Dudek-Smith (CDS).

Baker, K. R., & Trietsch, D. 2009. Principles of Sequencing and Scheduling. America: John Wiley & Sons, Inc

Pangestu Subagyo, Manajemen Operasi Edisi. I, BPFE, Yogyakarta, 2009,

Hendra Kusuma, Manajemen produksi Perencanaan & Pengendalian Produksi, CV, Andi Offset, Yogyakarta, 2009, hlm. 186-187

Heizer, Jay & Barry Render.2010. Manajemen Operasi. Edisi Ketujuh Buku 1. Jakarta: Salemba Empat