

ANALISIS PENJADWALAN PRODUKSI PRODUK OXYGEN SENSOR DENGAN METODE HEURISTIC GUPTA DAN *CAMPBELL, DUDEK, AND SMITH* DI PT. DENSO INDONESIA

Luviana Firlyanti Darmawan¹, Diah Pramestari²
Program Studi Teknik Industri, Universitas Persada Indonesia Y.A.I Jakarta
Email: Luvianafirlyanti@gmail.com , mesta_dp@yahoo.com

ABSTRAK

PT. DENSO INDONESIA merupakan perusahaan *joint venture* antara DENSO CORPORATION dan PT. Astra International di dalam grup PT Astra Otoparts Tbk., yang bergerak dibidang manufaktur komponen otomotif, dengan produknya yang akan di teliti yaitu proses produksi *oxygen sensor*.

PT. DENSO INDONESIA dalam menghadapi permintaan pada periode Januari-Desember 2017 sering mengalami *overtime* yang disebabkan oleh kurang maksimalnya penjadwalan mesin yang diterapkan.

Tujuan penyelesaian permasalahan ini adalah meminimasi *makespan* dengan metode Algoritma Gupta dan CDS. Dari penelitian penjadwalan produksi terjadi perbedaan yang signifikan yang diperoleh hasil penggunaan metode CDS yang paling baik, karena memiliki waktu penyelesaian paling terkecil dibandingkan dengan metode Gupta.

Kata kunci: *Penjadwalan Produksi, FCFS, Gupta, CDS*

ABSTRACT

PT DENSO is a joint venture company between DENSO CORPORATION and PT Astra International in the group PT Astra Otoparts Tbk., which runs in the automotive component manufacturing, with the product that is going to be examined is the production process of oxygen sensor.

PT. DENSO Indonesian in facing demand in the period from January to December 2017 frequently overtime caused by the lack of the maximum scheduling of a machine that being applied.

The purpose of this issue resolution is to minimize the makespan using algorithm Gupta and CDS methods. From the research of production scheduling occurred a significant difference resulted from the use of methods CDS the most good, because it has the smallest time solution comparing to gupta method.

keywords : *Scheduling The production, FCFS, Gupta, CDS.*

1. PENDAHULUAN

PT.DENSO

INDONESIA merupakan perusahaan *joint venture* antara DENSO CORPORATION dan PT Astra International di dalam grup PT Astra Otoparts Tbk., yang bergerak dibidang manufaktur komponen otomotif, dengan produknya seperti Spark Plug, Car/Bus/Truck AC, Radiator, Filter, Magneto, *Oxygen Sensor* dan lain-lain. Pada sistem produksi oxygen

sensor perusahaan menggunakan sistem produksi *flowshop* yang permintaannya bersifat *make to order* (dibuat sesuai dengan pemesanan). Sebagai perusahaan yang memproduksi sesuai dengan pemesanan, perusahaan menyadari bahwa ketepatan waktu penyelesaian pesanan sangat berpengaruh terhadap kepuasan konsumen. Pada saat ini perusahaan menggunakan peraturan *First Come First Serve* (Pemesanan pertama yang terlebih dahulu dilayani). Dengan peraturan ini perusahaan tidak

mempersoalkan singkat atau lamanya waktu proses. Pada peraturan ini sering tidak menguntungkan pesanan yang membutuhkan waktu proses singkat karena pesanan tersebut akan mengalami antrian panjang yang mengakibatkan waktu menganggur yang lama sebelum akhirnya diproses dimesin produksi.

Beberapa masalah penjadwalan produksi yang tidak tepat masih ditemukan dalam perusahaan. Hal ini diakibatkan oleh besarnya *makespan* (waktu penyelesaian) yang terdapat di rantai produksi. Perusahaan menyadari kekurangan ini dapat mengakibatkan menurunnya kepercayaan konsumen terhadap kemampuan ketepatan penyelesaian pesanan perusahaan jika tidak segera di perbaiki.

Ada beberapa metode untuk dapat menyelesaikan masalah yang terjadi di penjadwalan, yaitu **Algoritma Campbell Dudek and Smith (CDS)** dan Algoritma Gupta. Metode **Algoritma Campbell Dudek and Smith (CDS)** merupakan pengembangan aturan Johnson untuk membuat $m-1$ jadwal yang mungkin dan memilih jadwal terbaik yang akan digunakan. Sedangkan Algoritma Gupta merupakan pengurutan keempat *job* dengan aturan *increasing index value* (urutan nilai index menaik), dan ditentukannya nilai *makespan*. **Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS)** dan Algoritma Gupta merupakan metode yang baik digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan. Oleh karena itu, **Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS)** dan Algoritma Gupta dipilih sebagai metode yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan yang terjadi dalam perusahaan.

2. TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai *makespan* menggunakan metode **Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS)** dan Algoritma Gupta.
2. Untuk mengetahui metode mana yang memiliki efisiensi penjadwalan yang terbaik.
3. Untuk menentukan urutan *job* yang optimal.

3. LANDASAN TEORI

Definisi Penjadwalan

Penjadwalan merupakan suatu proses dalam perencanaan dan pengendalian produksi yang merencanakan produksi serta mengalokasikan sumber daya pada suatu waktu dengan memperhatikan sumber yang ada.

Terdapat beberapa pengertian penjadwalan menurut berbagai para ahli, menurut Kennet R. Baker penjadwalan didefinisikan sebagai pengalokasian sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Definisi ini dapat dijabarkan dalam dua arti yang berbeda, yaitu:

- Penjadwalan menurut sebuah fungsi pengambilan keputusan dalam menentukan jadwal yang paling tepat.
- Penjadwalan merupakan teori yang berisi kumpulan prinsip, model, teknik, dan konklusi logis dalam proses pengambilan keputusan.

Melaksanakan aktivitas yang diperlukan agar menghasilkan output yang diinginkan dan memenuhi waktu serta kendala yang ada.

Penjadwalan juga dapat diartikan sebagai rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber baik berupa waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus dilaksanakan.

Input pertama permasalahan penjadwalan adalah kepentingan untuk mengambil keputusan mengenai pengalokasian tugas kedalam sumber daya yang dimiliki. Yang mana pada pengalokasiannya terdapat bermacam kompleksitas masalah, terutama bila terdapat beberapa pekerjaan yang harus diproses pada sumber daya yang jumlahnya terbatas.

Beberapa hal yang dapat menjadi input data bagi penyusunan suatu sistem metode penjadwalan, adalah:

- Jumlah dan jenis pekerjaan (*job*) yang harus diselesaikan pada suatu periode.
- Batas waktu (*due-date*) dari pekerjaan tersebut.
- Urutan proses produksi.
- Waktu proses untuk setiap operasi.

Keputusan yang dibuat dalam membuat penjadwalan menghasilkan

pekerjaan pesanan (*sequencing*), waktu mulai dan selesai pekerjaan.

Masukan dari suatu penjadwalan mencakup jenis dan jumlah pekerjaan yang akan dikerjakan, urutan antar operasi kerja, waktu proses untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi.

Algoritma Gupta

Metode Gupta adalah menentukan nilai *index* untuk setiap *job*, kemudian mengurutkan keempat *job* tersebut dengan aturan *increasing index value* (urutan nilai *index* menaik), dan ditentukannya nilai *Cmax*. (Ginting, 2009)

Berikut adalah langkah-langkah penjadwalan mesin dengan metode algoritma gupta :

1. Menentukan nilai *index* untuk tiap *job*, dengan menggunakan rumus :

$$F_{(i)} = \min \left(\frac{A}{t_{im} - t_{im+1}} \right)$$

Keterangan :

$F_{(i)}$ = Nilai Index pada *job* ke -i

A = index, Apabila waktu mesin i *job* ke i > mesin i *job* ke i+1 = 1

Apabila waktu mesin i *job* ke i < mesin i *job* ke i+1 = -1

t_{im} = Waktu mesin i pada *job* ke i

t_{im+1} = Waktu mesin i pada *job* ke i+1

Maka, didapatkan nilai *index* untuk tiap *job*.

2. Mengurutkan nilai *index* dari tiap-tiap *job* dengan aturan *increasing index value* (mengurutkan nilai *index* dari nilai *index* terendah ke nilai *index* tertinggi).

Menentukan nilai *Cmax* (*Makespan*)

Algoritma Campbell, Dudek, dan Smith

Metode ini dikembangkan oleh HG. Campbell, R.A. Dudek dan M.L. Smith yang didasarkan atas algoritma Johnson. Metode ini pada dasarnya memecahkan persoalan n *job* pada mesin 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 banyak m-1 alternatif

urutan *job*, kemudian dipilih urutan dengan *makespan* terkecil.

Setiap pekerjaan atau *job* yang akan diselesaikan harus melewati proses pada masing-masing mesin. Pada penjadwalan ini diusakan untuk mendapatkan harga *makespan* yang terkecil dari (m-1) kemungkinan penjadwalan, penjadwalan dengan harga *makespan* terkecil merupakan urutan pengerjaan *job* yang paling baik.

Untuk penjadwalan n *job* terhadap m mesin, dilakukan algoritma Johnson sebagai berikut:

1. Ambil penjadwalan pertama (k = 1). Untuk urutan *job* yang ada, carilah harga $t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}^*$ yang minimum yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dan kedua, dimana $t_{i,1}^* - t_{i,1}$ dan $t_{i,2}^* = t_{i,2}$.
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama, (misal $t_{i,1}$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada awal deretan penjadwalan dan bila waktu minimum didapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}$), tugas tersebut ditempatkan pada posisi terakhir dari deret penjadwalan.
3. Pindahkanlah tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret penjadwalan. Jika masih ada *job* yang tersisah ulangi kembari langkah a, sebaliknya jika tidak ada lagi *job* yang tersisa, berarti penjadwalan telah selesai. Dengan demikian, waktu proses dari kedua mesin yaitu mesin pertama ($t_{i,1}^*$) dan mesin ($t_{i,2}^*$) pada penjadwalan ke-k adalah:

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

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

Jika jadwal ke-k = (m - 1) sudah tercapai berarti penjadwalan *job* sudah selesai. (Ginting, 2009)

Kerangka Pemecahan Masalah

Untuk mencapai penyelesaian yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka diperlukan tahapan-tahapan yang jelas dan tepat serta sistematis sehingga penelitian yang dilakukan dapat terarah dengan baik. Adapun uraian mengenai tahapan tersebut adalah:

1. Studi pendahuluan merupakan tahap awal dalam melakukan penelitian. Penelitian pendahuluan ini dilakukan dengan cara melakukan studi pustaka dan studi lapangan.
2. Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh teori-teori yang telah berkembang dalam bidang ilmu yang terkait, dimana teori-teori tersebut dapat mendukung pemecahan masalah yang dihadapi. Untuk memperoleh metode yang tepat, peneliti harus dapat membandingkan system yang berjalan dengan metode algoritma *Gupta* dan algoritma *Campbell Dudek Smith*.
3. Studi lapangan ini penelitian dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi perusahaan dan melakukan wawancara langsung kepada operator yang bertugas maupun staf ahli produksi, dari tahap awal sampai tahap akhir siklus produksi.
4. Setelah melakukan observasi, langkah yang selanjutnya adalah melakukan identifikasi masalah. Hasil dari observasi yang telah dilakukan sebelumnya dapat membantu peneliti dalam melakukan identifikasi masalah. Pada tahap observasi ini terlihat bahwa permasalahan yang terjadi adalah sering terjadinya mesin mengganggu dan peningkatan biaya produksi, yang diakibatkan oleh permintaan produk yang beragam sesuai dengan kebutuhan konsumen sehingga waktu penyelesaian produk *oxygen sensor* tidak mencapai target yang diinginkan, sehingga akan mengakibatkan keterlambatan dalam pengiriman barang atas pesanan-pesanan. Hal ini dapat diidentifikasi dengan melihat tenggang waktu antara waktu pesanan dengan *due datenya*. Karena kurang tepatnya system

penjadwalan yang ada pada perusahaan, kegiatan proses produksi yang ada di perusahaan akan terganggu juga.

5. Pada tahapan pengumpulan data, peneliti menggunakan data-data perusahaan yang digunakan dalam penelitian, data-data tersebut yaitu, primer dan sekunder.
6. Pada tahapan pengolahan data, peneliti melakukan pengolahan yang terdiri dari:
 - Menentukan waktu proses tiap pesanan
Waktu proses ini merupakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan *job-job (order)* yang masuk ke perusahaan. Setiap job akan melalui sebuah urutan proses produksi, setelah melalui tahapan-tahapan tersebut maka akan didapat total waktu produksi setiap job. Waktu proses sangat tergantung juga dengan banyaknya jumlah order yang masuk.
 - Penjadwalan dengan metode *algoritma Gupta*
Metode *algoritma Gupta* ini digunakan untuk mendapatkan harga *makespan* yang terkecil yang merupakan urutan pengerjaan tugas yang paling baik.
 - Penjadwalan dengan *Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS)*
Metode ini digunakan untuk mendapatkan harga *makespan* yang terkecil yang merupakan urutan pengerjaan tugas yang paling baik.
 - Menentukan makespan
Berdasarkan urutan-urutan pekerjaan dari beberapa alternatif kombinasi *job* yang dihasilkan dengan metode *Gupta* dan *CDS* dapat dihitung *makespan* dari setiap alternative kombinasi *job-job* yang ada. Setelah *makespan* yang ada telah dihitung, maka tahap selanjutnya adalah menentukan *makespan* yang

paling terkecil dari setiap kombinasi tersebut.

7. Pada tahap analisis yang dilakukan berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan. Tahap ini membandingkan antara teori dengan hasil-hasil penelitian yang sudah diolah. Setelah menentukan makespan yang paling terkecil dan didapatkan urutan *job* yang optimal dengan metode Gupta dan CDS, selanjutnya adalah membandingkan kedua metode tersebut dengan penjadwalan produksi yang diterapkan dalam perusahaan. Hasil perbandingan tersebut akan dijadikan analisa sebagai pertimbangan apakah perusahaan sebaiknya menggunakan metode Gupta atau CDS atau tetap menggunakan metode yang ada pada perusahaan tersebut.
8. Pembahasan dilakukan pada hasil keseluruhan pada pengolahan data dengan menggunakan metode Gupta dan CDS, sehingga dipilih penjadwalan yang paling baik menggunakan metode Gupta karena tidak ada keterlambatan didalam prosesnya, dalam hal ini direkomendasikan langkah-langkah yang perlu diambil perusahaan dalam menerapkan metode yang telah dipilih.
9. Setelah dilakukan analisis dan pembahasan, selanjutnya dilakukan penarikan kesimpulan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil yang telah didapat sebelumnya yaitu hasil dari pengolahan data. Penarikan kesimpulan ini berguna sebagai rangkuman hasil penelitian, setelah itu berisikan tentang saran yang dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan.

Pengumpulan data

- Sejarah umum perusahaan **PT.DENSO INDONESIA** merupakan perusahaan *joint venture* antara **DENSO CORPORATION** dan **PT Astra International** di dalam grup **PT Astra Otoparts Tbk.**,

yang bergerak dibidang manufaktur komponen otomotif, dengan produknya seperti *Spark Plug, Car/Bus/Truck AC, Radiator, Filter, Magneto*, dan lain-lain. Berdiri tahun 1975 di Sunter, Jakarta Utara, kini sudah berkembang menjadi sebuah *Group Company* yang dinamai **DENSO INDONESIA GROUP**

- Pengumpulan data
Merupakan kegiatan mengolah data yang telah dikumpulkan. Data yang dikumpulkan antara lain: data banyaknya pesanan, dan data waktu proses permesin
- Data penjadwalan produksi
Berikut data penjadwalan produksi pada periode Januari 2017 di PT. DENSO INDONESIA (*Sunter Factory*)

Tabel 1 Data Pemesanan Oxygen Sensor Periode Januari 2017

NO.	NAMA PRODUK	QUANTITY
1	OXYGEN SENSOR TYPE 2710	91500
2	OXYGEN SENSOR TYPE 2680	90800
3	OXYGEN SENSOR TYPE 1187	108500
4	OXYGEN SENSOR TYPE 1760	116780
5	OXYGEN SENSOR TYPE 1250	99980
6	OXYGEN SENSOR TYPE 2540	147900
7	OXYGEN SENSOR TYPE 2790	98750
8	OXYGEN SENSOR TYPE 2050	138650
9	OXYGEN SENSOR TYPE 2460	139760

(Sumber:PT. Denso Indonesia)

Tabel 2 data waktu produksi/unit

NO.	NAMA PRODUK	(menit)				
		Mesin dry	Mesin Assenbing	Mesin Heater	Mesin Wekling	Mesin Packing
1	OXYGEN SENSOR TYPE 2710	0.5	0.3	20	0.8	1
2	OXYGEN SENSOR TYPE 2680	0.3	0.5	20	0.9	2
3	OXYGEN SENSOR TYPE 1187	0.4	0.2	20	0.9	1.7
4	OXYGEN SENSOR TYPE 1760	0.5	0.3	20	0.6	1.5
5	OXYGEN SENSOR TYPE 1250	0.3	0.6	20	0.5	1
6	OXYGEN SENSOR TYPE 2540	0.5	0.7	20	0.8	1.4
7	OXYGEN SENSOR TYPE 2790	0.4	0.2	20	0.6	1.2
8	OXYGEN SENSOR TYPE 2050	0.5	0.1	20	0.3	1
9	OXYGEN SENSOR TYPE 2460	0.3	0.2	20	0.6	1.3

(Sumber:PT. Denso Indonesia)

- Pengolahan data
Perhitungan Waktu Proses

Perhitungan waktu proses dilakukan dengan menyesuaikan berdasarkan karakteristik produk, jumlah mesin, dan kapasitas mesin yang ada. berikut adalah contoh perhitungan waktu proses dengan menggunakan *job OXYGEN SENSOR TYPE 2710* pada mesin dry di bulan Januari 2017 :

- ❖ Jumlah pesanan : 91.500 pcs
- ❖ Jumlah mesin : 20 mesin
- ❖ Kapasitas mesin : 1 pcs

- ❖ Waktu produksi/unit: 0,5 menit
- Maka, perhitungan waktu prosesnya adalah :

$$= \left(\frac{\text{jumlah pesanan}}{\text{jumlah mesin} \times \text{kapasitas mesin}} \right) \times \text{waktu produksi}$$

$$= \left(\frac{91.500}{20 \times 1} \right) \times 0,5 = 2.287,5 \text{ menit}$$

Jadi, waktu proses untuk job *OXYGEN SENSOR TYPE 2710* pada mesin dry di bula Januari 2017 sebesar 2.287,5 menit. Perhitungan ini sama dilakukan di setiap waktu proses dan pada setiap mesin.

Tabel 3 Waktu Proses Produksi Bulan Januari 2017

Job	Mesin 1	Mesin 2	Mesin 3	Mesin 4	Mesin 5
1	2287.5	1372.5	1830	3660	4575
2	1362	2270	1816	4086	9080
3	2170	1085	2170	4882.5	9222.5
4	2919.5	1751.7	2335.6	3503.4	8758.5
5	1499.7	2999.4	1999.6	2499.5	4999
6	3697.5	5176.5	2958	5916	10353
7	1975	987.5	1975	2962.5	5925
8	3466.25	693.25	2773	2079.75	6932.5
9	2096.4	1397.6	2795.2	4192.8	9084.4

Keterangan : Data Perhitungan Dalam satuan Menit

Due Date yang Ditetapan Oleh Perusahaan

Due Date Perusahaan dapat kita hitung dengan mengetahui jumlah hari kerja dikalikan dengan jam kerja dalam satu hari, perusahaan dalam satu hari memiliki waktu 23 Jam, dimana 1 jam digunakan untuk persiapan.

Tabel 4 Hasil perhitungan Due Date yang Ditetapan Perusahaan 2017

Periode	Jam kerja (Menit)	Hari Kerja	Due Date (Menit)
Januari	1380	27	37260
Februari	1380	27	37260
Maret	1380	29	40020
April	1380	30	41400
Mei	1380	29	40020
Juni	1380	26	35880
Juli	1380	30	41400
Agustus	1380	29	40020
Septembe	1380	28	38640
Oktober	1380	30	41400
Novembe	1380	29	40020
Desember	1380	28	38640

Penjadwalan Perusahaan Pada Saat Ini

Penjadwalan produksi yang pada saat ini digunakan oleh perusahaan adalah

dengan menggunakan metode FCFS (*First Come First Serve*) dimana job yang pertama kali datang akan diproses terlebih dahulu.

Tabel 5 Penjadwalan Perusahaan Saat ini dengan Metode FCFS Pada Bulan Januari 2017

No.	Nama Produk	M1		M2		M3		M4		M5	
		Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
1	OXYGEN SENSOR TYPE 2710	0	2287.5	2287.5	3660	3660	5490	5490	9150	9150	13725
2	OXYGEN SENSOR TYPE 2080	2287.5	3649.5	3660	5930	5930	7746	9150	13236	13725	22805
3	OXYGEN SENSOR TYPE 1187	3649.5	5819.5	5930	7015	7746	9916	13236	18118.5	22805	32027.5
4	OXYGEN SENSOR TYPE 1760	5819.5	8739	8739	10490.7	10490.7	13994.1	18118.5	21621.9	32027.5	40786
5	OXYGEN SENSOR TYPE 1250	8739	10238.7	10490.7	13490.1	13994.1	15993.7	21621.9	26620.9	40786	45785
6	OXYGEN SENSOR TYPE 2540	10238.7	13936.2	13936.2	19112.7	19112.7	22070.7	26620.9	36973.9	45785	56138
7	OXYGEN SENSOR TYPE 2790	13936.2	15911.2	19112.7	20100.2	22070.7	24045.7	36973.9	42898.9	56138	62063
8	OXYGEN SENSOR TYPE 2050	15911.2	19377.45	20100.2	20793.45	24045.7	26818.7	42898.9	49831.4	62063	68995.5
9	OXYGEN SENSOR TYPE 2460	19377.45	21473.85	21473.85	22871.45	26818.7	29613.9	49831.4	58915.6	68995.5	78079.9

Makespan = 78.079,9 menit

Penjadwalan Mesin Produk Oxygen Sensor dengan Metode Algoritma Gupta

Padi nilai index pada setiap job di bulan Januari 2017 adalah $F(1) = 1/1830$; $F(2) = 1/4994$; $F(3) = 1/4340$; $F(4) = 1/5255,1$; $F(5) = 1/2499$; $F(6) = 1/4437$; $F(7) = 1/2962,5$; $F(8) = 1/4852,75$;

$F(9) = 1/4891,6$ Perhitungan ini sama dilakukan pada setiap periode dari Februari 2017-Desember 2017 Maka, berdasarkan aturan *increasing index value* diatas diperoleh urutan job sebagai berikut:

$$J4 - J2 - J9 - J8 - J6 - J3 - J7 - J5 - J1$$

Tabel 6 Penjadwalan Mesin dengan Metode Algoritma Gupta Pada Bulan Januari 2017

Job	Mesin 1		Mesin 2		Mesin 3		Mesin 4		Mesin 5	
	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish	Start	Finish
4	0	2919.5	2919.5	4671.2	4671.2	7006.8	7006.8	10510.2	10510.2	19268.7
2	2919.5	4281.5	4671.2	6941.2	7006.8	8822.8	10510.2	14596.2	19268.7	28348.7
9	4281.5	6377.9	6941.2	8338.8	8822.8	11618	14596.2	18789	28348.7	37433.1
8	6377.9	9844.15	8338.8	10537.4	11618	14391	18789	20868.75	37433.1	44365.6
6	9844.15	13541.65	13541.65	18718.15	18718.15	21676.15	21676.15	27592.15	44365.6	54718.6
3	13541.65	15711.65	18718.15	19803.15	21676.15	23846.15	27592.15	32474.65	54718.6	63941.1
7	15711.65	17686.65	19803.15	20790.65	23846.15	25821.15	32474.65	35437.15	63941.1	69866.1
5	17686.65	19186.35	20790.65	23790.05	25821.15	27820.75	35437.15	37936.65	69866.1	74865.1
1	19186.35	21473.85	23790.05	25162.55	27820.75	29650.75	37936.65	41596.65	74865.1	79440.1

Makespan = 79.440,1 menit

Mean Flow Time = 52.471, 9 menit

Metode Algoritma CDS (Campbell, Dudek, and Smith)

Metode yang akan digunakan adalah metode CDS. Metode CDS adalah pengembangan aturan Johnson untuk membuat m-1 jadwal yang

mungkin dan memilih jadwal terbaik yang akan digunakan.

Tabel 7 Combination Machine Periode Bulan Januari 2017

Job	Langkah 1		Langkah 2		Langkah 3		Langkah 4	
	1	5	1+2	4+5	1+2+3	3+4+5	1+2+3+4	2+3+4+5
1	2287.5	4575	3660	8235	5490	10065	9150	11437.5
2	1362	9080	3632	13166	5448	14982	9534	17252
3	2170	9222.5	3255	14105	5425	16275	10307.5	17360
4	2919.5	8758.5	4671.2	12261.9	7006.8	14597.5	10510.2	16349.2
5	1499.7	4999	4499.1	7498.5	6498.7	9498.1	8998.2	12497.5
6	3697.5	10353	8874	16269	11832	19227	17748	24403.5
7	1975	5925	2962.5	8887.5	4937.5	10862.5	7900	11850
8	3466.25	6932.5	4159.5	9012.25	6932.5	11785.25	9012.25	12478.5
9	2096.4	9084.4	3494	13277.2	6289.2	16072.4	10482	17470

Berikut adalah hasil urutan job berdasarkan langkah-langkah yang telah dilakukan :

1. Langkah 1 = J2 – J5 – J7 – J9 – J3 – J1 – J4 – J8 – J6
2. Langkah 2 = J7 – J3 – J9 – J2 – J1 – J8 – J5 – J4 – J6
3. Langkah 3 = J7 – J3 – J2 – J1 – J9 – J5 – J8 – J4 – J6
4. Langkah 4 = J7 – J5 – J8 – J1 – J2 – J3 – J9 – J4 – J6

Tabel 8 Rekapitulasi Metode CDS Periode Bulan Januari 2017

Langkah	Job	Makespan	Mean Flow Time
1	J2 – J5 – J7 – J9 – J3 – J1 – J4 – J8 – J6	78463.9	46489.49
2	J7 – J3 – J9 – J2 – J1 – J8 – J5 – J4 – J6	76829.9	45527.53
3	J7 – J3 – J2 – J1 – J9 – J5 – J8 – J4 – J6	76829.9	44811.17
4	J7 – J5 – J8 – J1 – J2 – J3 – J9 – J4 – J6	76829.9	41978.63

Maka, pada periode Januari 2017 dimulai dari J7 – J5 – J8 – J1 – J2 – J3 – J9 – J4 – J6.

Rekapitulasi Perhitungan Metode Gupta dan Metode CDS

Berikut hasil rekapitulasi makespan penjadwalan mesin dengan menggunakan metode FCFS, Algoritma Gupta, dan CDS pada keseluruhan periode di PT. Denso Indonesia :

Tabel 9 Rekapitulasi Makespan Metode FCFS, Algoritma Gupta, dan CDS Pada Seluruh Periode Tahun 2017

Periode	Due date (menit)	FCFS (menit)	Gupta (menit)	CDS (menit)
Januari	37260	78079.9	79440.1	76829.9
Februari	37260	76944.35	74461.85	70131.35
Maret	40020	88400.9	95231.9	85190.5
April	41400	109104.4	112598.15	100137.95
Mei	40020	97292.85	99283.85	87671.6
Juni	35880	97131.9	99133.4	88383.9
Juli	41400	58269.1	60556.35	55985.4
Agustus	40020	104448.1	101451.6	92413.1
September	38640	83866.6	80726.6	75327.5
Oktober	41400	101001.35	99905.1	89618.85
November	40020	114122.5	110697.5	95170
Desember	38640	94276.75	101419.25	88779

Oleh karena itu, peneliti disini akan memberikan usulan penambahan jumlah mesin yang mungkin dapat diterapkan oleh perusahaan agar dapat menurunkan *makespan* di bawah *duedate* yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Adapun usulan yang diberikan adalah :

1. Menambah jumlah mesin heater sebanyak 15 mesin, sehingga total mesin heater menjadi 25 mesin.
2. Menambah jumlah mesin welding sebanyak 40 mesin, sehingga total mesin menjadi 60 mesin.
3. Menambah jumlah mesin packing sebanyak 45 mesin, sehingga total mesin menjadi 65 mesin.

Berdasarkan penelitian, metode algoritma CDS yang dapat menurunkan jumlah *makespan* pada seluruh periode jika dibandingkan dengan penjadwalan yang ada pada perusahaan saat ini. Oleh karena itu, disini peneliti mencoba untuk memberikan usulan penjadwalan dengan metode algoritma CDS dengan jumlah mesin yang sudah diusulkan.

Berikut adalah penjadwalan dengan metode algoritma CDS dengan jumlah mesin yang diusulkan :

Tabel 10 Usulan Combination Machine Periode Bulan Januari 2017

Job	Langkah 1		Langkah 2		Langkah 3			Langkah 4
	1	5	1+2	4+5	1+2+3	3+4+5	1+2+3+4	2+3+4+
1	2287.5	1407.69	3660	2.627.692	8750.4	3.359.692	5612	4.732.11
2	1362	2793.85	3632	4.155.846	8481.4	4.882.246	5720.4	7.152.2
3	2170	2837.69	3255	4.465.192	9728.44	5.333.192	5750.5	6.418.11
4	2919.5	2694.92	4671.2	3.862.723	10904.38	4.796.963	6773.24	6.548.6
5	1499.7	1538.15	4499.1	2.371.321	15356.14	3.171.161	6.132.107	6.170.5
6	3697.5	3185.54	8874	5.157.538	13809.7	6.340.738	12029.2	11517.2
7	1975	1823.08	2962.5	2.810.577	9021.2	3.600.577	4740	4.588.0
8	3466.25	2133.08	4159.5	2.826.327	9880.78	3.935.527	5961.95	4.628.7
9	2096.4	2795.20	3494	4192.8	4612.08	5310.88	6009.68	6708.4

Berikut adalah hasil urutan job berdasarkan langkah-langkah yang telah dilakukan :

- Langkah 1 = J2 – J5 – J9 – J3 – J6 – J4 – J8 – J7 – J1
- Langkah 2 = J3 – J9 – J2 – J6 – J4 – J8 – J7 – J1 – J5
- Langkah 3 = J9 – J6 – J3 – J2 – J4 – J8 – J7 – J1 – J5
- Langkah 4 = J2 – J3 – J9 – J5 – J6 – J4 – J1 – J8 – J7

Berikut hasil rekapitulasi usulan penjadwalan dengan metode CDS pada bulan Januari 2017 :

Tabel 11 Rekapitulasi Usulan Metode CDS Periode Bulan Januari 2017

Langkah	Job	Makespan	Mean Flow Time
1	J2 – J5 – J9 – J3 – J6 – J4 – J8 – J7 – J1	31.615,15	20.899,86
2	J3 – J9 – J2 – J6 – J4 – J8 – J7 – J1 – J5	30.440,60	21.226,37
3	J9 – J6 – J3 – J2 – J4 – J8 – J7 – J1 – J5	32.539,60	23.972
4	J2 – J3 – J9 – J5 – J6 – J4 – J1 – J8 – J7	30.401,61	20.278,31

Maka, pada usulan penjadwalan periode Januari 2017 dimulai dari J2 – J3 – J9 – J5 – J6 – J4 – J1 – J8 – J7. Dengan *makespan* sebesar 30.401,61 menit di bawah dari *duedate* yang ditetapkan perusahaan sebesar 37.260 menit

Berikut hasil rekapitulasi makespan usulan penjadwalan mesin dengan menggunakan metode algoritma CDS :

Tabel 12 Rekapitulasi Makespan Usulan Penjadwalan Mesin Metode CDS

Periode	CDS (menit)	Due date (Menit)
Januari	30.401,61	37.260
Februari	26.207,60	37.260
Maret	31.168	40.020
April	40.784,47	41.400
Mei	33.648,25	40.020
Juni	34.576,14	35.880
Juli	20.783,83	41.400
Agustus	34.332,65	40.020
September	30.958,48	38.640
Oktober	35.063,80	41.400
November	38.999,10	40.020
Desember	38.590	38.640

4. ANALISIS

Analisis Waktu Proses

Dalam melakukan perhitungan waktu proses setiap mesin dapat dilakukan dengan cara menyesuaikan karakteristik produk, jumlah mesin, dan kapasitas mesin yang ada. Pada BAB IV peneliti telah memberikan contoh perhitungan waktu proses dari mesin dry dengan menggunakan job *OXYGEN SENSOR TYPE 2710* di bulan Januari 2017. Diketahui jumlah permintaan produk *OXYGEN SENSOR TYPE 2710* pada bulan Januari sebanyak 91.500 pcs, dengan menggunakan 20 mesin, dimana setiap mesin dapat memproses 1 pcs *OXYGEN SENSOR TYPE 2710*, dan waktu untuk memproses 1 pcs *OXYGEN SENSOR TYPE 2710* selama 0,5 menit. Maka, didapatkan waktu produksi untuk menyelesaikan permintaan produk *OXYGEN SENSOR TYPE 2710* pada bulan Januari selama 2.287,5 menit. Perhitungan ini sama dilakukan pada seluruh produk dan pada setiap mesinnya.

Analisis Sistem Berjalan

PT. DENSO INDONESIA (Sunter Factory) dalam melakukan penjadwalan produksinya menggunakan metode FCFS (*first come first serve*). Penjadwalan dilaksanakan untuk satu bulan produksi, pesanan yang pertamakali datang dikerjakan lebih dahulu. Penjadwalan yang dilakukan perusahaan diharapkan tidak melewati batas waktu pemesanan atau *due date*, karena apabila melebihi batas *due date* tersebut maka produksi akan mengalami keterlambatan pengiriman pesanan. Perusahaan beroperasi selama 24 jam setiap harinya, namun untuk lamanya proses produksi perusahaan menetapkan 23 jam

dengan mempertimbangkan 1 jam untuk persiapan pekerja.

Metode FCFS yang dilakukan perusahaan selama periode tahun 2017 yang diamati peneliti seluruhnya mengalami *overtime* atau melebihi batas *makespan* yang telah ditentukan perusahaan. Oleh karena itu peneliti melakukan penjadwalan kembali pada seluruh periode tersebut guna menurunkan total waktu produksi dan menghilangkan nilai *overtime*.

Analisis Terhadap Metode Algoritma Gupta

Periode Januari 2017

Urutan job pada periode ini dengan metode gupta menghasilkan nilai *makespan* 79.440,1 menit, sedangkan *makespan* yang diperoleh dari perusahaan memiliki nilai *makespan* 78.079,9 menit. Perusahaan beroperasi selama 23 jam selama 27 hari, maka waktu yang dimiliki perusahaan adalah 23 jam x 60 menit x 27 hari = 37.260 menit. Dengan demikian apabila perusahaan menerapkan penjadwalan dengan metode ini masih mengalami *overtime* sebesar 42.180,1 menit karena *makespan* dengan metode gupta masih melebihi *due date* dan *makespan* yang digunakan oleh perusahaan.

Analisis Terhadap Metode Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS)

Periode bulan Januari 2017

Berdasarkan perhitungan hasil CDS pada periode Januari 2017 dari 4 langkah tersebut yang memiliki nilai *makespan* terkecil adalah langkah ke 4 dengan nilai *makespan* sebesar 76.829,9 menit. Sedangkan *makespan* yang berjalan pada perusahaan saat ini sebesar 78.079,9 menit. Hal ini berarti bahwa metode CDS dapat menurunkan *makespan* yang perusahaan jalankan saat ini. Akan tetapi perusahaan pada periode Januari 2017 beroperasi 23 jam sehari selama 27 hari, maka waktu yang dimiliki perusahaan adalah 23 jam x 60 menit x 27 hari = 37.260 menit. Karena *makespan* yang dihasilkan oleh metode CDS masih di atas *duedate* yang ditetapkan perusahaan, maka metode ini masih mengalami *overtime* sebesar 39.569,9 menit.

5. PEMBAHASAN

Setelah didapatkan hasil perhitungan dari algoritma gupta dan algoritma CDS, disini peneliti akan membandingkan hasil perhitungan metode tersebut dengan

perhitungan penjadwalan perusahaan pada saat ini.

Berdasarkan penelitian, dapat kita lihat pada tabel 4.131 bahwa metode algoritma Gupta menurunkan *makespan* terhadap *makespan* perusahaan saat ini pada beberapa periode. Yaitu, bulan Februari, Agustus, September, Oktober, dan November. Karena metode gupta hanya berhasil menurunkan beberapa periode saja, maka metode gupta masih belum bisa mengoptimalkan penjadwalan mesin yang dibutuhkan oleh PT. Denso Indonesia (*Sunter Factory*)

Berdasarkan penelitian, dapat kita lihat pada tabel 4.131 bahwa metode algoritma CDS dapat menurunkan *makespan* terhadap *makespan* perusahaan saat ini pada seluruh periode. Akan tetapi, walaupun mengalami penurunan, *makespan* yang dihasilkan oleh metode algoritma CDS masih di atas *duedate* yang ditetapkan oleh perusahaan. Maka, pada penelitian ini terpilih metode CDS yang merupakan metode penjadwalan yang dapat menurunkan *makespan*.

Pembahasan Metode Terpilih

Pada pengolahan data didapatkan bahwa metode CDS merupakan metode yang baik dan dapat menurunkan nilai *makespan* pada perusahaan saat ini. Akan tetapi, walaupun mengalami penurunan, *makespan* yang dihasilkan oleh metode algoritma CDS masih di atas *duedate* yang ditetapkan oleh perusahaan sehingga terjadinya *overtime* dan menyebabkan tidak terpenuhinya permintaan. Dalam menghadapi terjadinya *overtime*, perusahaan biasanya akan menambah kapasitas produksi dengan cara melakukan proses produksi tambahan di pabrik Bekasi agar semua permintaan terpenuhi. Oleh karena itu, peneliti melakukan simulasi perhitungan sampai didapatkan perhitungan yang ideal yaitu nilai *makespan* untuk seluruh periode telah lebih kecil dari nilai *due date* yang dimiliki perusahaan. Untuk itu peneliti melakukan pertimbangan penambahan mesin terhadap tiga mesin yaitu mesin *heater* sebanyak 15 mesin, mesin *welding* sebanyak 40 mesin, dan mesin *packing* sebanyak 45 mesin agar semua proses produksi dapat di selesaikan di pabrik Sunter. Maka, didapatkan *makespan* usulan penjadwalan dengan metode CDS pada bulan Januari – Desember 2017, yaitu Januari 30.401,61 menit, Februari 26.207,6 menit, Maret 31.168 menit, April 40.784,47 menit, Mei 33.648,25 menit, Juni 34.576,14 menit, Juli 20.783,83 menit, Agustus 34.332,65 menit,

September 30.958,48 menit, Oktober 35.063,8 menit, November 38.999,1 menit, Desember 38.590 menit. Dengan *duedate* yang ditetapkan perusahaan pada bulan Januari – Desember 2017, yaitu Januari 37.260 menit, Februari 37.260 menit, Maret 40.020 menit, April 41.400 menit, Mei 40.020 menit, Juni 35.880 menit, Juli 41.400 menit, Agustus 40.020 menit, September 38.640 menit, Oktober 41.400 menit, November 40.020 menit, Desember 38.640 menit. Dari rekapitulasi diatas, seluruh periode *makespan* yang dihasilkan oleh metode CDS dibawah *duedate* yang diterapkan oleh perusahaan. Maka, didapatkan hasil bahwa dengan menambah mesin dapat memecahkan masalah *overtime* pada perusahaan.

Penjadwalan Produksi Produk Oxygen Sensor Dari Metode Yang Terpilih

Dari hasil pengolahan pada bab sebelumnya, maka di dapatkan urutan jop yang optimal.

Januari 2017

Job yang pertama kali dikerjakan yaitu Job ke-2, setelah selesai pengerjaannya dilanjutkan ke job ke-3, selanjutnya job ke-9, selanjutnya job ke-5, selanjutnya job ke-6, selanjutnya job ke-4, selanjutnya job ke-1, selanjutnya job ke-8, dan yang terakhir dikerjakan adalah job ke-7.

6. KESIMPULAN

. Adapun kesimpulan dari peneliti ini adalah sebagai berikut:

1. Dalam pengolahan data penjadwalan dengan menggunakan metode CDS (*Campbell Dudek Smith*) dan metode Algoritma Gupta. Dengan menggunakan metode CDS didapat nilai makespan pada bulan Januari sebesar 76.829,9 menit, Febuari sebesar 70.131,35 menit, Maret sebesar 85.190,5 menit, April sebesar 100.137,95 menit, Mei sebesar 87.671,6 menit, Juni sebesar 88.383,9 menit, Juli sebesar 55.985,4 menit, Agustus sebesar 92.413,1 menit, September sebesar 75.327,5 menit, Oktober sebesar 89.618,85 menit, November sebesar 95.170 menit, Desember sebesar 88.779 menit. Pada metode Algoritma Gupta didapatkan hasil makespan pada bulan Januari sebesar 79.440,1 menit, Febuari sebesar 74.461,85 menit, Maret sebesar 95.231,9

menit, April sebesar 112.598,15 menit, Mei sebesar 99.283,85 menit, Juni sebesar 99.133,4 menit, Juli sebesar 60.556,35 menit, Agustus sebesar 101.451,6 menit, September sebesar 80.726,6 menit, Oktober sebesar 99.905,1 menit, November sebesar 110.697,5 menit, Desember sebesar 101.419,25 menit.

2. Dari hasil penelitian penjadwalan produksi produk *oxygen sensor* di PT. DENSO INDONESIA dengan menggunakan metode CDS dan Metode Algoritma Gupta, diperoleh hasil penggunaan metode CDS yang paling baik, karena memiliki *makespan* terkecil dari *makespan* yang sedang diterapkan perusahaan saat ini untuk pengerjaan produk *oxygen sensor* dan lebih kecil dari *makespan* yang diperoleh dari Algoritma Gupta.
3. Urutan job yang paling optimal pada metode CDS dikerjakan lebih dahulu pada bulan Januari yaitu J2 – J3 – J9 – J5 – J6 – J4 – J1 – J8 – J7, pada bulan Febuari yaitu J9 – J3 – J2 – J1 – J4 – J6 – J7 – J5 – J8, pada bulan Maret yaitu J2 – J9 – J3 – J4 – J6 – J1 – J7 – J8 – J5, pada bulan April yaitu J2 – J9 – J5 – J3 – J6 – J4 – J1 – J7 – J8, pada bulan Mei yaitu J9 – J3 – J7 – J2 – J1 – J5 – J6 – J4 – J8, pada bulan Juni yaitu J3 – J5 – J9 – J2 – J1 – J6 – J4 – J8 – J7, pada bulan Juli yaitu J5 – J9 – J2 – J3 – J6 – J4 – J7 – J1 – J8, pada bulan Agustus yaitu J5 – J2 – J9 – J3 – J1 – J6 – J8 – J4 – J7, pada bulan September yaitu J5 – J2 – J9 – J3 – J6 – J1 – J4 – J7 – J8, pada bulan Oktober yaitu J9 – J5 – J3 – J2 – J1 – J8 – J4 – J7 – J6, pada bulan November yaitu J9 – J5 – J3 – J2 – J1 – J7 – J6 – J4 – J8, pada bulan Desember yaitu J2 – J5 – J3 – J9 – J6 – J4 – J1 – J7 – J8.

Daftar Pustaka

- Agarwal, Kumar, Ajay. Garg, Rajan. 2013. *International Journal Of Innovative Research&Development Flow Shop*

- Scheduling Problem For 10-Job, 8-Machines With Makespan Criterion.*
- Baker, K. R. 2001. *Elements of Sequencing & Scheduling. Hanover: Tuck School of Business.*
- Pramestari, Diah, ST, MT. 2006. Modul Perkuliahan Sistem Produksi. Universitas Persada Indonesia Y.A.I Jakarta
- Ginting, Rosnani. 2009. *Penjadwalan Mesin, Edisi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta.*
- Pramestari, Diah, ST, MT. 2006. Modul Perkuliahan Sistem Produksi. Universitas Persada Indonesia Y.A.I Jakarta
- Tanndy, Hendy. Steven. 2012. *Jurnal Efisiensi Waktu Produksi Es Batu Sebagai Implikasi Urutan Penjadwalan Kedatangan Job Yang Tepat*