

PENJADWALAN PERAWATAN DENGAN METODE CAMPBELL DUDEL SMITH (CDS) UNTUK MENINGKATKAN PRODUKSI MESIN RECYCLE WASTE TEMBAKAU

Teuku Anggara
Mahasiswa
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
teukuanggara@gmail.com

Pratikto
Guru Besar
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
prawotopratikto@gmail.com

Achmad As'ad Sonief
Tenaga Pengajar (Dosen)
Universitas Brawijaya
Jurusan Teknik Mesin
sonief@ub.ac.id

The Campbell Dudek Smith (CDS) method is commonly used by large companies to help them make Flowshop schedules. The purpose of this study is to design a more effective maintenance scheduling sequence in order to increase the amount of production with the most efficient use of time without having to stop production and be able to calculate the productivity of the machine it self. Partial Productivity (PP) analysis is used to determine the level of machine productivity by proving Partial Productivity (PP) after is better than Partial Productivity (PP) before. This research was conducted at PT. X, one of the leading national companies in producing cigarette products such as SKT cigarettes, SKM and SPM. As a result, this study has performed calculations using the Campbell Dudek Smith (CDS) algorithm and calculates the productivity of each iteration using Partial Productivity (PP). The recommended improvement of the engine maintenance scheduling sequence is by applying the scheduling sequence to the 5th iteration, J2-J4-J3-J1-J5.

Keywords : Maintenance, Schedule, Campbell Dudek Smith (CDS), Partial Productivity (PP)

1. PENDAHULUAN

Pesatnya perkembangan industri mengakibatkan perlunya perhatian lebih pada aspek pemantauan, perawatan, pengendalian mutu dan pengurangan biaya produksi [1]. Semakin meningkatnya kemajuan teknologi dan proses manufaktur mengakibatkan terjadinya pergeseran proses produksi dengan mesin atau peralatan produksi lainnya yang memerlukan [2]. *Solanaceae* (Tembakau) adalah salah satu tanaman yang paling besar populasinya di dunia.[3] Sekitar 40% dari total tembakau dunia diproduksi dan dikonsumsi di Cina, produksi tembakau dan perkebunannya menghasilkan lebih dari 200 juta ton limbah tembakau setiap tahunnya. [4] Pemanfaatan limbah tembakau dapat membantu meningkatkan efek ekonomi produksi dari tembakau dan mengurangi pencemaran lingkungan, dengan demikian merupakan hal yang penting untuk para peneliti dan industri tembakau saat ini [5].

Pada PT. X limbah/waste (debu) rajangan tembakau akan diproses kembali (daur ulang) dengan menggunakan mesin khusus yaitu mesin *Recycle Waste*. Tujuan dari pengoprasian mesin recycle waste adalah untuk dijadikan bahan campuran pada tembakau campur (*cut rag*). Penggunaan mesin *recycle waste* ini sendiri sangat tinggi yang dioperasikan selama 24 jam. Maka dari itu perlu diperhatikan bahwa waktu pemeliharaan termasuk dalam total waktu operasi saat ini pada tiap *shift*-nya. [6]

Penjadwalan perawatan mesin *recycle waste* dengan waktu yang tepat akan berdampak positif pada proses produksi yang tidak terinterupsi, dengan tetap memperhatikan kuantitas *output* proses produksi. [7, 8] Penelitian ini merencanakan penjadwalan perawatan mesin *recycle waste* dengan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) yang bertujuan agar dapat menentukan jadwal yang tepat kapan akan dilakukan perawatan. Agar dapat meningkatkan produksi pada mesin *recycle waste* di saat yang bersamaan sedang berlangsungnya jadwal produksi dengan memanfaatkan metode *Partial Productivity* (PP) terhadap mesin *recycle waste* dapat mengetahui lebih detail tingkat produktivitasnya. [9] Dengan menggabungkan kedua metode ini didapatkan

waktu penjadwalan perawatan yang efektif agar meningkatnya kapasitas produksi pada mesin *recycle waste* tersebut. [10]

2. METODE DAN BAHAN

Menjawab permasalahan yang dijelaskan dalam pendahuluan penelitian ini akan dibagi menjadi 3 (tiga) tahapan. Pertama adalah tahapan pendahuluan studi literatur dan pengumpulan data. Kedua adalah tahapan pengolahan data yang terdiri dari algoritma *Campbell Dudek Smith* (CDS) dan analisis *Partial Productivity* (PP) untuk membandingkan peningkatan produksi. Tahapan yang terakhir adalah penarikan kesimpulan yaitu menyusun rekomendasi perbaikan urutan penjadwalan perawatan mesin adalah dengan menerapkan jadwal penjadwalan, serta memberikan saran untuk penelitian selanjutnya. Berikut adalah tahapan-tahapan dari penelitian ini.

2.1 Tahapan Pendahuluan

Tahapan pendahuluan terdiri dari studi literatur dan pengumpulan data. Pada studi literatur akan diidentifikasi indikator-indikator yang akan digunakan untuk algoritma *Campbell Dudek Smith* (CDS) dan analisis *Partial Productivity* (PP) dalam upaya peningkatan produksi.

2.1.1 Studi Literatur

- **Penjadwalan Perawatan Mesin**

Mendefinisikan penjadwalan sebagai pengambilan keputusan tentang penyesuaian aktivitas dan sumber daya dalam rangka menyelesaikan sekumpulan kegiatan agar tepat pada waktunya dan mempunyai kualitas seperti yang diinginkan. Keputusan yang dibuat dalam penjadwalan [11,12] meliputi:

1. Pengurutan kegiatan (*sequencing*),
2. Waktu mulai dan selesai kegiatan (*timing*), dan
3. Urutan operasi untuk suatu kegiatan (*routing*).

Persoalan penjadwalan timbul apabila terdapat beberapa kegiatan yang harus diproses secara bersamaan, sedangkan jumlah mesin dan peralatan yang dimiliki terbatas. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki diperlukan adanya penjadwalan sumber-sumber daya tersebut secara efisien [13].

Penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber daya yang ada untuk menjalankan sekumpulan kegiatan dalam jangka waktu tertentu. Definisi lain penjadwalan adalah proses pengurutan pembuatan produk secara menyeluruh pada sejumlah mesin tertentu dan pengurutan didefinisikan sebagai tahapan proses pembuatan produk pada satu mesin dalam jangka waktu tertentu [14]. Input untuk suatu penjadwalan mencakup urutan keterkaitan antar operasi, waktu proses untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi [15].

Proses penjadwalan perawatan mesin memiliki beberapa tujuan hasil penjadwalan akan mendapatkan nilai yang lebih baik sesuai dengan yang diharapkan. Beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan [16,17] sebagai berikut:

1. Meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggu sehingga total waktu proses dapat berkurang dan produktivitasnya dapat meningkat,
2. Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah kegiatan yang menunggu dalam antrian ketika sumber daya yang ada masih mengerjakan kegiatan yang lain,
3. Mengurangi beberapa keterlambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi biaya denda (*penalty*),
4. Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas produksi dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya dapat dihindarkan.

- ***Campbell Dudek Smith* (CDS)**

Metode heuristik penting untuk mengatasi problem *makespan* adalah metode *Campbell, Dudek and Smith* (CDS). Metode *Campbell, Dudek and Smith* (CDS) [18] ini menyangkut dua hal, yaitu:

1. Pemakaian aturan Johnson dalam sebuah cara *heuristic*,
2. Biasanya menghasilkan beberapa jadwal yang dapat dipilih sebagai yang terbaik.

Algoritma Johnson merupakan suatu algoritma yang digunakan untuk mendapatkan *optimal sequence* (pengurutan penjadwalan yang optimal) untuk jenis *flowshop*. Adapun tahapan-tahapan dari algoritma Johnson adalah sebagai berikut [19,20,21].

1. Buatlah daftar waktu proses untuk seluruh pekerjaan-pekerjaan tersebut, baik pada mesin pertama (M-1) dan mesin terakhir (M-2).
2. Carilah seluruh waktu proses (*t_{ij}*) untuk seluruh pekerjaan. Tentukan waktu proses yang minimal.
3. Jika waktu proses minimal berada pada mesin pertama (M-1), tempatkan pekerjaan tersebut paling awal yang mungkin dalam urutan. Jika terletak pada mesin kedua (M-2), tempatkan pekerjaan-pekerjaan tersebut paling akhir yang mungkin dalam urutan.
4. Hilangkan pekerjaan yang telah ditugaskan (telah ditempatkan dalam urutan dan sebagai hasil dari langkah 3) dan ulangi langkah 2 dan langkah 3 sehingga seluruh pekerjaan telah diurutkan.

• **Partial Productivity (PP)**

Adalah *output* keseluruhan dengan satu jenis *input*, contohnya produktivitas dari beberapa mesin yang saling berkaitan yaitu rasio antara *output* dengan *input* mesin 1 s/d mesin terakhir, produktivitas pada beberapa mesin yang berkaitan dalam satu produksi yaitu rasio antara *output* dan *input* mesin itu sendiri. Formulasi lainnya dari *Partial Productivity* (PP) [22, 23] adalah seperti pada Persamaan 1 berikut:

$$Productivity = \frac{Output}{WaktuInput} \tag{1}$$

Keterangan :

WaktuInput : Waktu yang dibutuhkan dalam melakukan suatu aktivitas

Output : Keluaran yang dihasilkan, dapat berupa produk atau produk setengah jadi (unit). Dapat pula berupa pemasukan atau penghematan waktu, jumlah *output* dan bahkan rupiah.

Keunggulan dari produktivitas parsial antara lain adalah:

- 1) Mudah dimengerti.
- 2) Data mudah diperoleh.
- 3) Indeks produktivitas mudah dihitung.
- 4) Beberapa produktivitas parsial menunjukkan keseluruhan data yang ada di perusahaan.

Kekurangan dari produktivitas parsial adalah:

- 1) Tidak dapat menjelaskan terjadinya kenaikan biaya total perusahaan.
- 2) Mempunyai kecenderungan untuk menyalahkan suatu area yang menjadi kontrol manajemen.

Perbaiki produktivitas hanya pada bagian yang diukur

2.1.2 Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data waktu *maintenance*, data kapasitas mesin *recycle waste* dan data waktu proses pengerjaan perbaikan.

1) Data Waktu Maintenance

Data waktu *maintenance* yang digunakan sebagai dasar perhitungan untuk menentukan jadwal perawatan yang lebih efektif untuk peningkatan produksi. Berdasarkan kerangka konsep yang ada pada bab 3, terdapat 7 indikator *part machine* yang menjadi fokus utama. Untuk 7 indikator *part machine* sebagai berikut,

Tabel 1: *Schedule Maintenance*

No	Process	Part Machine	Maintenance Process	CDS	Maintenance Process Time (Min)
1	Mixing	Mixing Drum	Cleaning	J1	15
		Claw	Cleaning	J1	15
		Bearing	Lubrication	J2	15
			Replacement	J3	180
2	Press	Hydraulic	Cleaning	J1	15
			Adjust	J4	15
		Press Tread	Oil Replacement	J5	30
			Cleaning	J1	15
3	Rolling Press	Rolling Cylinder	Adjust	J4	15
			Cleaning	J1	15
		Bearing	Replacement	J3	180

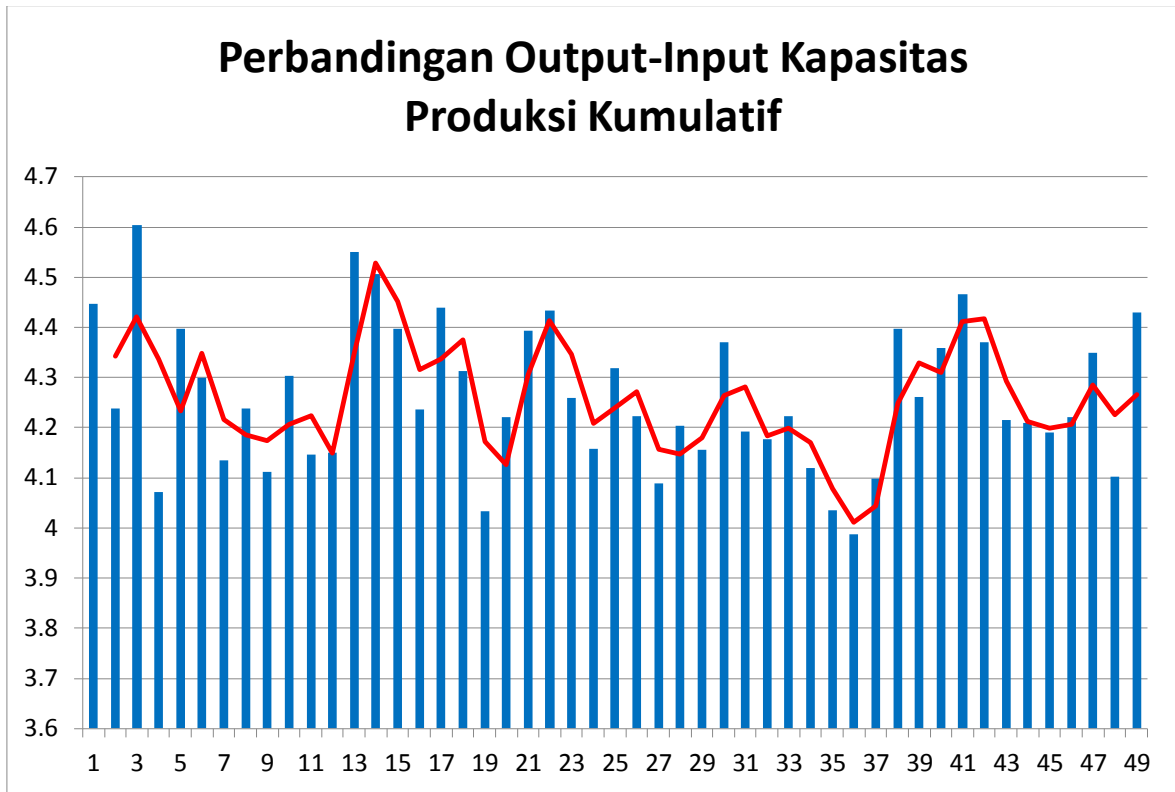
1) Data Kapasitas Produksi Pada Mesin *Recycle Waste*

Data kapasitas produksi pada mesin *recycle waste* ini menunjukkan mesin ini bekerja 24 jam *non stop* dan terdapat 3 *shift* setiap harinya dengan kemampuan memproduksi 6 *batch/shift*. *Input* yang diproduksi juga bervariasi dengan rata-rata 151 kg menghasilkan *output* dengan waktu rata-rata 112 menit dengan kondisi mesin dalam keadaan baik dan nilai teoritis dari mesin *recycle waste* 0,8.

Tabel 2: Data Kapasitas Produksi Pada Mesin *Recycle Waste*

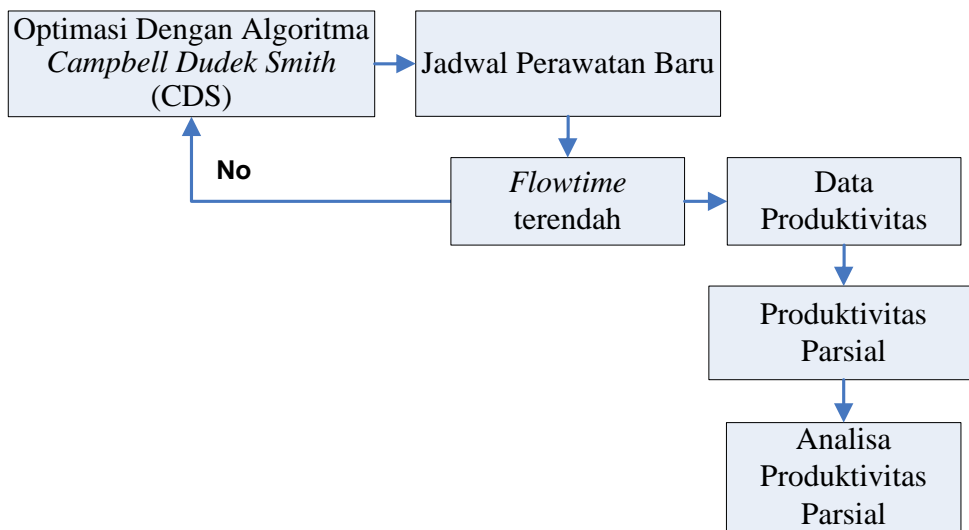
Date & Shift	No Batch	Input (kg)	Waktu Proses (min)	Output (kg)	Out/Input Aktual	Out/Input Teoritis	Selisih	
3/12/2018	1	135	67	104	0.7703704	0.8	-0.02962963	
	2	169	66	134.2	0.7940828	0.8	-0.00591716	
	3	121	67	84.8	0.7008264	0.8	-0.099173554	
	4	139	77	96.2	0.6920863	0.8	-0.107913669	
	5	193	51	134.4	0.6963731	0.8	-0.103626943	
	6	153	64	121.4	0.7934641	0.8	-0.006535948	
	I		910	392	675			
	7	195	59	144	0.7384615	0.8	-0.061538462	
	8	132	75	87.6	0.6636364	0.8	-0.136363636	
	9	128	51	97.4	0.7609375	0.8	-0.0390625	
	10	131	51	83.8	0.6396947	0.8	-0.160305344	
	11	173	80	132.4	0.7653179	0.8	-0.034682081	
II	12	154	58	103.2	0.6701299	0.8	-0.12987013	
		913	374	648.4				
	13	117	69	92.6	0.791453	0.8	-0.008547009	
	14	159	58	124.2	0.7811321	0.8	-0.018867925	
	15	134	54	90.2	0.6731343	0.8	-0.126865672	
	16	122	54	97.6	0.8	0.8	0	
	17	136	53	106.8	0.7852941	0.8	-0.014705882	
	18	187	59	144.6	0.773262	0.8	-0.026737968	
III		855	347	656				
...	dst...							
25/12/2018	289	151	79	116.8	0.7735099	0.8	-0.026490066	
	290	187	62	138.6	0.7411765	0.8	-0.058823529	
	291	177	69	140.6	0.7943503	0.8	-0.005649718	
	292	113	52	84.4	0.7469027	0.8	-0.053097345	
	293	136	50	100.8	0.7411765	0.8	-0.058823529	
	294	137	66	86.6	0.6321168	0.8	-0.167883212	
I		901	378	667.8				

Dapat dilihat pada gambar perbandingan *Output-Input* Kapasitas Produksi Kumulatif terjadi penurunan kinerja mesin yang dikumulatifkan dalam 1 (satu) hari terdapat 3 (tiga) *shift*.



Gambar 1 : Perbandingan Output-Input Kapasitas Produksi Kumulatif.

2.1.3 Integrasi Metode Yang Digunakan



Gambar 2 : Integrasi Metode *Dudek Smith* (CDS) dengan *Partial Productivity* (PP)

Integrasi metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) dengan *Partial Productivity* (PP) adalah untuk mengatur jadwal perawatan mesin *recycle waste* agar dapat meningkatkan produksi dari mesin *recycle waste* itu sendiri.

Penelitian ini dilakukan untuk perbaikan jadwal perawatan mesin *recycle waste* agar dapat meningkatkan *output* produksi yang berjalan selama ini. Kegiatan yang dilakukan adalah;

1. Melakukan perhitungan penghematan waktu perbaikan perawatan mesin *recycle waste* dengan melihat selisih waktu perbaikan perawatan mesin *recycle waste* sebelum dilakukan perhitungan dengan metode

Campbell Dudek Smith (CDS) dengan waktu sesudah dilakukan perhitungan dengan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) yang dikombinasikan dengan metode *Partial Productivity*(PP).

2. Melakukan perhitungan jumlah produksi dari mesin *recycle waste* dengan menggunakan metode *Partial Productivity*(PP);
 - a) Produksi sebelum
 - b) Produksi sesudah dilakukan perhitungan dengan metode *Partial Productivity* (PP) akan lebih menguntungkan dengan sebelumnya
3. Menentukan perawatan yang telah dihitung dengan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) untuk jadwal perawatan mesin *recycle waste*.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 *Campbell Dudek Smith* (CDS)

Sebelum metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) diterapkan PT. X melakukan perawatan mesin *recycle waste* masih berurutan sesuai dengan *flowshop* yang ada, dimulai dari *Mixing*, *Hydraulic Press* dan *Rolling Press* pada waktu mesin *recycle waste* berhenti, sehingga perawatan yang dilakukan sering menunggu dan mengakibatkan banyaknya waktu yang terbuang, dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ;

M1 s/d M7 = Part Mesin

J1 s/d J5 = Waktu yang dibutuhkan pada tiap proses perawatan

Job(kegiatan) = Iterasi *Campbell Dudek Smith* (CDS)

Tabel 3: *Schedule Maintenance Iterasi Campbell Dudek Smith* (CDS)

PART MACHINE	JOB				
	J1	J2	J3	J4	J5
M1	15	0	0	0	0
M2	15	0	0	0	0
M3	0	15	180	0	0
M4	15	0	0	15	30
M5	15	0	0	15	0
M6	15	0	0	15	0
M7	0	0	180	0	0

Pada saat menentukan iterasi perhitungan *Campbell Dudek Smith* (CDS) yang perlu diperhatikan adalah :

$$P(n) = n - 1$$

$$P(7) = 7 - 1 = 6$$

P = Jumlah *Part Machine*

Sehingga data pada perhitungan diatas terdapat 6 kali iterasi sebagai berikut;

Tabel 4: Urutan Perhitungan Iterasi Pada Mesin *Recycle Waste*

Iterasi	Urutan Mesin
1	M1, M7 (yang digunakan saat ini pada PT. X)
2	M1+M2, M6+M7
3	M1+M2+M3, M5+M6+M7
4	M1+M2+M3+M4, M4+M5+M6+M7
5	M1+M2+M3+M4+M5, M3+M4+M5+M6+M7
6	M1+M2+M3+M4+M5+M6, M2+M3+M4+M5+M6+M7

Sementara ini perusahaan PT. X hanya menjalankan iterasi 1 saja pada penjadwalan perawatan mesin *recycle waste* yaitu M1, M7.Mesin dengan urutan proses M1, M2, dan M3. Semua kegiatan mempunyai urutan pengerjaan yang sama. Waktu proses kegiatan 1 pada mesin j disimbolkan dengan t_{ij} . Algoritma Johnson untuk dua mesin dapat diaplikasikan pada *problem n* kegiatan tiga mesin bila memenuhi :

$$\text{Min } M1 > = \text{max } M2 \text{ atau}$$

$$\text{Min } M3 > = \text{max } M2$$

Dengan kata lain, minimal waktu proses pada semua kegiatan pada mesin 1 dan 3 harus lebih besar dari waktu proses terpanjang pada mesin 2. Untuk mengaplikasikan algoritma Johnson, waktu proses 3 mesin dirancang ulang menjadi 2 mesin (M-1', M-2') dengan aturan : waktu proses kegiatan pada iterasi 1 adalah $M-1' = M1$ dan waktu proses kegiatan pada $M-2' = M7$, kemudian algoritma Johnson diaplikasikan pada M-1' dan M-2'.

Iterasi 1

Tabel 5 : Iterasi 1 Urutan Penjadwalan

ITERASI 1	JOB				
	J1	J2	J3	J4	J5
M-1'	15	0	0	0	0
M-2'	0	0	180	0	0

Waktu perhitungan iterasi 1 adalah $M1-J1 = 15$ (lama waktu perawatan pada *part machine* 1 sesuai tabel 3 *Schedule Maintenance Iterasi Campbell Dudek Smith (CDS)*).

$$\begin{aligned} M2-J1 &= M1-J1+15 \text{ (part machine 2)} \\ &= 15+15=30 \\ &= \text{dst..} \end{aligned}$$

Dan perhitungan terus sampai mendapatkan nilai *makespan* 525 menit seperti tabel berikut;

Tabel 6 : Perhitungan Iterasi 1

PART MACHINE	JOB				
	J1	J2	J3	J4	J5
M1	15	75	90	450	495
M2	30	75	90	450	495
M3	30	90	270	450	495
M4	45	90	270	465	525
M5	60	90	270	480	525
M6	75	90	270	495	525
M7	75	90	450	495	525

Dari perhitungan iterasi 1 maka didapat kesimpulan sebagai berikut pada tabel dibawah;

Tabel 7 : Urutan penjadwalan, *Makespan* dan *Flowtime* Iterasi 1

Urutan Penjadwalan	J1-J2-J3-J4-J5
<i>Makespan</i>	525 Menit
Total <i>Flowtime</i>	1635 Menit

Pada perhitungan diatas dapat dilihat urutan penjadwalan perawatan mesin *recycle waste* yang berjalan selama ini berurutan dengan urutan penjadwalan J1-J2-J3-J4-J5, dihasilkan nilai *flowtime* sebesar 1635 menit. Nilai *flowtime* saat ini yang dianggap masih kurang efektif dalam melakukan penjadwalan perawatan terhadap mesin *recycle waste*. Maka perlu adanya perhitungan yang lebih objektif untuk penjadwalan perawatan mesin *recycle waste*, sehingga pada penelitian ini menggunakan perhitungan dengan metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* karena metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* sesuai dengan sistematis yang dilakukan PT. X saat ini dengan melihat jumlah mesin yang lebih dari 2 unit pada satu *line* produksi. Jadwal baru dengan *flowtime* yang lebih kecil dilampirkan sebagai berikut dimulai dari iterasi tahap 1 sampai dengan iterasi tahap 6 dan terpilih iterasi 5 adalah yang paling tepat, karena iterasi 5 mendapatkan nilai *flowtime* yang paling rendah;

Iterasi 5

Waktu proses *job* pada iterasi 5 adalah $M-1' = M1+M2+M3+M4+M5$ dan waktu proses *job* pada $M-2' = M3+M4+M5+M6+M7$, kemudian algoritma Johnson diaplikasikan pada $M-1'$ dan $M-2'$ dengan urutan penjadwalan pada tabel dibawah.

Tabel 8 : Iterasi 5 Urutan Penjadwalan

ITERASI 5	JOB				
	J1	J2	J3	J4	J5
M-1'	60	15	180	30	30
M-2'	45	15	360	45	30

Waktu perhitungan iterasi 5 adalah $M1-J2$ s/d $M2-J2 = 0$ dan pada $M3-J2 = 15$ (lama waktu perawatan pada *part machine* sesuai tabel 5.3 *Schedule Maintenance* Iterasi *Campbell Dudek Smith* (CDS).

$$M4-J2 = M3-J2+15 \text{ (part machine 4)}$$

$$= 15+15=30$$

Dan perhitungan terus sampai mendapatkan nilai *makespan* 525 menit seperti tabel berikut;

Tabel 9 : Perhitungan Iterasi 5

PART MACHINE	JOB				
	J2	J4	J3	J1	J5
M1	0	15	60	435	495
M2	0	15	60	450	495
M3	15	15	240	450	495
M4	15	30	240	465	525
M5	15	45	240	480	525
M6	15	60	240	495	525
M7	15	60	420	495	525

Dari perhitungan iterasi 5 maka didapat kesimpulan sebagai berikut pada tabel dibawah;

Tabel 10 : Urutan penjadwalan, *Makespan* dan *Flowtime* Iterasi 5

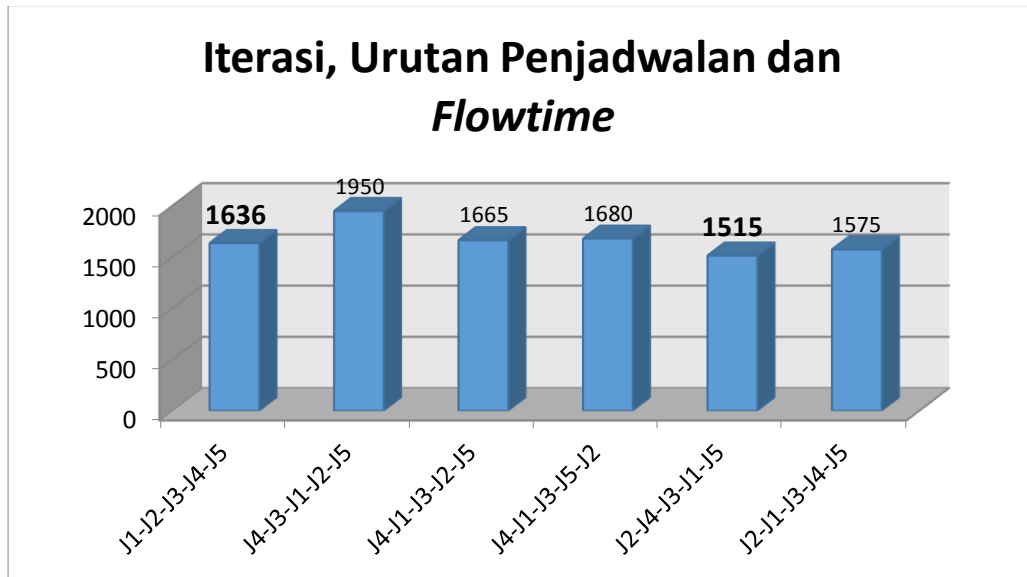
Urutan Penjadwalan	J2-J4-J3-J1-J5
<i>Makespan</i>	525 Menit
Total <i>Flowtime</i>	1515 Menit

Pada iterasi 5 urutan penjadwalan mesin *recycle waste* adalah J2-J4-J3-J1-J5 dengan nilai *makespan* tetap sama dari iterasi sebelumnya yaitu di 525 menit yang menghasilkan nilai total *flowtime* 1515 menit, ini tentunya angka yang lebih baik dari nilai iterasi 1 yaitu 1635 menit. Urutan penjadwalan pada iterasi 5 dianggap sangat sesuai karena nilai *flowtime*-nyadibawah nilai *flowtime* pada iterasi 1.

Berdasarkan perhitungan 6 iterasi alur yang efisien dimana pekerjaan tidak berdasarkan mesin akan tetapi kegiatanperawatan dari mesin *recycle waste* tersebut, maka dapat dilihat iterasi 5 dengan nilai *flowtime* sebesar 1515 menit adalah yang paling efisien yaitu urutan penjadwalan; J2-J4-J3-J1-J5. Waktu proses kegiatan pada iterasi 5 adalah $M-1' = M1+M2+M3+M4+M5$ dan waktu proses *job* pada $M-2' = M3+M4+M5+M6+M7$, kemudian algoritma Johnson diaplikasikan pada $M-1'$ dan $M-2'$

3.2 Analisa Perbaikan

Dengan demikian perawatan mesin *recycle waste* sebelum yaitu iterasi 1 dan sesudah menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) untuk mencari nilai *flowtime* terbaik pada perhitungan iterasi 5, dapat dilihat pada gambar 3 Iterasi, Urutan penjadwalan dan *flowtime*;



Gambar 3: Iterasi, Urutan Penjadwalan dan *Flowtime*

3.3 Perbandingan perhitungan Produktifitas (*Partial Productivity*)

Berdasarkan tabel diatas dapat dihitung nilai produktivitas mesin *recycle waste* sebelum dan sesudah dilakukan perbaikan perawatan dengan metode *Campbell Dudek Smith* (CDS). Perhitungan produktivitas sebelum dan sesudah perbaikan perawatan mesin *recycle waste* menggunakan metode *Partial Productivity*(PP).

Perhitungan *Partial Productivity*(PP) pada penelitian ini sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \text{Iterasi 1} - \text{Iterasi 5} &= \text{Menit} \\ 1635 \text{ menit} - 1515 \text{ menit} &= 120 \text{ menit} \\ 120 \text{ menit} &= 2 \text{ jam} \end{aligned}$$

Dengan perhitungan iterasi 1 = 1635 menit karyawan PT. X harus *overtime* tiap harinya sebesar

$$\frac{1635}{60} = 27,25 \text{ menit}$$

Sedangkan dengan perhitungan iterasi 5 = 1515 menit karyawan PT. X harus *overtime* tiap harinya sebesar $\frac{1515}{60} = 25,25 \text{ menit}$

$$\begin{aligned} &= 27,25 - 25,25 = 2 \text{ menit} \\ &= 2 \text{ menit} \times 60 = 120 \text{ menit} \end{aligned}$$

Dengan didapatnya penghematan 2 jam waktu lembur maka waktu tersebut dapat dialihkan menjadi waktu baru untuk produksi dengan perhitungan sebagai berikut;

$$\begin{aligned} \text{Batch 1} &= \frac{\text{Output Produksi}}{\text{Waktuproses}} \\ &= \frac{104 \text{ kg}}{67 \text{ min}} = 1,55 \text{ kg/min} \end{aligned}$$

Skema peningkatan produksi yang dapat dihasilkan dalam tiap *shift* kerja yaitu;

$$\begin{aligned} &= 120 \text{ min} \times 1,55 \text{ kg} \\ &= 186 \text{ kg/shift} \end{aligned}$$

Jika dalam 1 hari sesuai dengan jadwal produksi yaitu 3 *shift* kerja dalam tiap harinya maka = 186 kg/*shift* x 3 *shift* = 558 kg/hari. Maka dapat dibandingkan produktivitas dengan menggunakan metode *Partial Productivity*(PP) pada tabel dibawah ;

Tabel 11 : Perbandingan *Partial Productivity* (PP)

PP	SEBELUM	SESUDAH	PERBAIKAN
<i>Output</i>	675 kg/ <i>shift</i>	861 kg/ <i>shift</i>	> 186 kg/ <i>shift</i>
Jam Lembur	120 menit	0 menit	< 120 menit
Upah Lembur/Jam x 2jam x 21 Karyawan	Rp 30.000,-/jam	Rp 0,-	Rp 1.260.000,-/ <i>shift</i>

Pada tabel 10 diatas menjelaskan bahwa *output* mengalami peningkatan 186 kg/*shift* dengan waktu lembur sebelum 120 menit menjadi tidak ada waktu lembur yang berdampak penghematan biaya/upah lembur pada karyawan sebesar Rp 30.000,-/jam untuk 1 orang karyawan operator mesin yang mana jumlah karyawan pada mesin *recycle waste* 21 orang = Rp 30.000,- x 2 jam = Rp 60.000,- x 21 karyawan = Rp 1.260.000,-/*shift*

4. KESIMPULAN

Integrasi metode CDS dengan PP secara simultan dapat meningkatkan efisiensi produksi dan mengurangi waste tembakau yang dihasilkan pada proses *recycle* tembakau pada PT.X yang berdampak pada penghematan biaya produksi dan biaya operasional.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] KUSUMA, HENDRA. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta : ANDI. 2002
- [2] R.P. JAYANI RAJAPATHIRANA, YAN HUI, "Relationship between innovation capability, innovation type, and firm performance" *Journal of Innovation and Knowledge*, <https://doi.org/10.1016/j.jik.2017.06.002>. v. 3. No. 1. pp. 44–55. Januari-April 2018.
- [3] NOVITA SARI BR. BARUS, SONY, SALMAN, MAHMUDI, RITA SUNARTATY. "Uji Toksisitas Subakut Ekstrak Daun Tembakau (*Nicotiana Tabacum L.*) Yang Difermentasi Terhadap Gambaran Histologi Organ Vital Mencit (*Mus Musculus*)" *Jurnal Stikna*, e-ISSN: 2579-7603, v. 02. No. 02. Pp. 33-40. November 2018.
- [4] LIU, Y., DONG, J., LIU, G., YANG, H., LIU, W., WANG, L., KONG, C., ZHENG, D., YANG, J., DENG, L., AND WANG, S. "Co-Digestion of Tobacco Waste with Different Biocultural Biomass Feedstocks and The Inhibition of Tobacco Viruses by Anaerobic Digestion" *Bioresour Technol.* 189, 210-216. 2015.
- [5] Yu Wang, Wenbo Gu, "Study on Supercritical Fluid Extraction of Solanesol from Industrial Tobacco Waste", *Journal of Supercritical Fluids*. doi.org/10.1016/j.supflu.2018.05.001. v.138, pp. 228-237. Agustus. 2018.
- [6] LEI XIAO, SANLING SONG, XIAOHUI CHEN, DAVID W. COIT, "Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance" *Reliability Engineering & System Safety*. doi.org/10.1016/j.ress.2015.10.013. v. 146. pp. 68-78. February 2016.
- [7] VISHNU C. R., REGIKUMAR V, "Reliability Based Maintenance Strategy Selection in Process Plants: A Case Study". *Procedia Technology*. doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.211. v. 25. pp. 1080 – 1087. 2016.
- [8] ANDRIY GONCHARENKO, "A Hybrid Approach To The Optimal Aeronautical Engineering Maintenance Periodicity Determination". *Proceedings of the National Aviation University*, [doi: 10.18372/2306-1472.72.11980](https://doi.org/10.18372/2306-1472.72.11980), ISSN 2306-1472, N3(72): 42–47, 2017.
- [9] MURAT YILDIRIM, XU ANDY SUN, NAGI Z. GEBRAEEL, "Sensor-Driven Condition-Based Generator Maintenance Scheduling Part 1: Maintenance Problem" *IEEE Transactions on Power Systems*, [Doi : 10.1109/Tpwr.2015.2506600](https://doi.org/10.1109/Tpwr.2015.2506600) , v. 31, issue 6, pp. 4253-4262, 2016.
- [10] YOO JEAWOOK, IK SUN LEE. "Parallel machine scheduling with maintenance activities" *Journal of Elsevier*, doi.org/10.1016/j.cie.2016.09.020, v. 101, p. 361-371, November 2016.
- [11] MORTON. C.THOMAS, PENTICO AND DAVID, W., "Heuristic Scheduling System. With Application to Production System and Project Management", John Wiley & Son, Inc, New York.1993.

- [12] KURNIAWAN, F. *Manajemen Perawatan Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu. 2013.
- [13] T.C.E. CHENG., “A scheduling model for the refurbishing process in recycling management”, *Journal of Production Research*, v. 51, pp. 23–24, August 2013.
- [14] CONWAY, RICHARD W., MAXWELL, WILLIAM L., MILLER, LOUIS W. *Theory of Scheduling*. America : Addison-Wesley Publishing Company.2001.
- [15] BAKER, KENNETH R., TRIETSCH. *Principles of Sequencing and Scheduling*. America : John Wiley & Sons, Inc. 2009
- [16] BEDWORTH, DAVID D. & CAO, JING. *Flow Shop Scheduling in Serial Multi - Product Processes With Transfer and set-up Times*. USA: Department of Industrial Engineering, Arizona State University.2002
- [17] YUGOWATI PRAHARSI., “Perancangan Penjadwalan Preventive Maintenance Pada PT. Artha Prima Sukses Makmur”, *Journal of ISSN 1412-6869*, v. 14, N.1, pp59–65, Mei. 2015.
- [18] ARYETTA, RIZKY. *Penjadwalan Mesin Dengan Metode CDS (Campbell, Dudek & Smith) dan Metode Palmer pada Bagian Casing Shop di PT Indonesia Asahan Aluminium (INALUM)*, Karya Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara.2007.
- [19] PAMUNGKAS, CATUR SABDA. *Penjadwalan Produksi dengan Menggunakan Metode Campbell Dudek and Smith untuk Meminimasi Waktu Produksi*. Tugas Akhir. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.2008.
- [20] WEI LI., “The Relationship between Maximum Completion Time and Total Completion Time in Flowshop Production”, *Journal of Procedia Manufacturing*, v. 1, pp 146–156, 2015.
- [21] DANANG SETIAWAN., “Production Scheduling to Minimize Makespan using Sequencing Total Work (TWK) Method and Campbell Dudek Smith (CDS) Algorithm”, *Journal of Annual Conference on Industrial and System Engineering (ACISE)*, doi:10.1088/1757-899X/598/1/012066,2019.
- [22] RABENDRA SINGH., “Partial and Total Productivity Measurement Model for Cement Manufacturing Firm”, *Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562*, v. 14, n. 3, pp776–779, 2019.
- [23] SUMANTH, DAVID J. *Productivity Engineering and Management*. Mc Graw Hill Book Company.1985.