



**PAPER – OPEN ACCESS**

## Usulan Penjadwalan Job dengan Algoritma Campbell, Dudek and Smith (CDS) dan Algoritma Genetika untuk Meminimasi Makespan Proses Perakitan Pistol Mainan di PT. ABC

Author : Mentari Oktaria Gurusinga, dan Novika Zuya  
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1906  
Electronic ISSN : 2654-7031  
Print ISSN : 2654-7031

*Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



# Usulan Penjadwalan *Job* dengan Algoritma *Campbell, Dudek and Smith (CDS)* dan Algoritma Genetika untuk Meminimasi *Makespan* Proses Perakitan Pistol Mainan di PT. ABC

Mentari Oktaria Gurusinga, Novika Zuya\*

*Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Jln. Almamater Kampus USU, Medan 20155, Indonesia*

mentarigurusingaa@gmail.com, novikazuyaha@gmail.com

## Abstrak

Penjadwalan merupakan kegiatan penting dalam sebuah perusahaan sebagai tolak ukur produktivitas. PT. ABC merupakan sebuah perusahaan perakitan pistol mainan dengan 5 tipe produk pistol melalui 7 stasiun kerja. Permintaan terhadap pistol yang sangat beragam dan waktu perakitan yang berbeda-beda menjadi sebuah tantangan bagi PT. ABC membuat penjadwalan mesin se-efisien mungkin. Oleh karena itu pada penelitian ini perusahaan bertujuan untuk menganalisis metode penjadwalan yang tepat untuk mendapatkan nilai penyelesaian produk atau makespan tersingkat. Penelitian ini mengaplikasikan metode perhitungan makespan mengaplikasikan algoritma *Campbell Dudek and Smith (CDS)* dan Algoritma Genetika (GA). Algoritma CDS berkaitan dengan penggunaan banyak tahap aturan johnson terhadap masalah baru. Pada algoritma CDS setiap tugas diselesaikan harus melewati setiap mesin. Tujuan penjadwalan dengan algoritma CDS untuk mendapatkan nilai makespan terkecil dengan urutan pengerjaan tugas paling baik. GA bersifat adaptif dan fleksibel serta terbukti berhasil diterapkan pada beberapa masalah optimisasi. Salah satu kekuatan GA adalah mengaplikasikan informasi masa lalu untuk mengarahkan pencarian dengan asumsi peningkatan kinerja. Hasil penjadwalan menunjukkan GA lebih baik dalam memberikan alternatif urutan pengerjaan job dibandingkan dengan algoritma CDS dengan efisiensi sebesar 19.14 %. Urutan job yang menjadi solusi terbaik yakni ADCEB, AECDB, AEDCB, CADEB, CAEDB, CDAEB, CEADB, CEDAB, DCAEB, DCEAB, DECAB, EADCB, ECADB, dan EDCAB dengan nilai makespan 1394 jam.

Kata Kunci: Algoritma Genetika; *Campbell Dudek and Smith*; Penjadwalan

## Abstract

*Scheduling is an important activity in a company to measure the productivity planning. PT. ABC is a toy gun assembly company with 5 types of gun products through 7 work stations. The demand of toy guns very diverse and the difference of assembly times is a challenge for PT. ABC to making machine scheduling as efficient as possible. Therefore in this study the company aims to analyze the appropriate scheduling method to obtain the shortest product completion value or makespan. This study uses the makespan calculation method using the Campbell Dudek Smith (CDS) algorithm and the Genetic Algorithm (GA). The CDS algorithm deals with the use of many stages of Johnson's rule for new problems. In the CDS algorithm, job completed must pass through each machine. The purpose of scheduling with the CDS algorithm is to get the smallest makespan value with the best order of doing tasks. GA are adaptive and flexible and have proven to be successfully applied to several optimization problems. One of GA's strengths is using past information to direct searches assuming increased performance. The scheduling results show that the GA is better at providing alternative job sequences compared to the CDS algorithm with an efficiency of 19.14%. The job*

order that is the best solution is ADCEB, AECDB, AEDCB, CADEB, CAEDB, CDAEB, CEADB, CEDAB, DCAEB, DCEAB, DECAB, EADCB, ECADB, and EDCAB with a makespan value of 1394 hours.

*Keywords: Campbell Dudek and Smith; Genetic Algorithm; Scheduling*

## 1. Pendahuluan

Penjadwalan adalah proses untuk mengambil keputusan yang sangat penting di industri manufaktur. Penjadwalan yang tepat dapat mempengaruhi kecepatan perusahaan dalam menanggapi keinginan pelanggan, mencegah kemungkinan keterlambatan, meningkatkan utilitas sumber daya, mengurangi antrian serta membantu dalam pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik [1].

Pendekatan pengoptimalan memecahkan masalah penjadwalan produksi pada studi kasus *flow shop* hibrid mengaplikasikan algoritma genetika dengan tujuan meminimalkan waktu penyelesaian atau makespan. Penelitian terdahulu mengaplikasikan perangkat lunak *Matlab* untuk memprogram dan menyelesaikan masalah optimasi penjadwalan produksi mengaplikasikan algoritma genetika. Ukuran populasi awal digunakan sebanyak 40 urutan dan jumlah maksimum iterasi sebanyak 50 urutan. Algoritma genetika digunakan secara efektif untuk menemukan solusi penjadwalan yang optimal pada masalah *flow shop hibrid* dalam waktu yang singkat [2].

Penelitian sebelumnya mengaplikasikan algoritma genetik dua fase (CTGA) dengan menyesuaikan penerapannya pada masalah *generalized flexible flowshop* (GFFS) penjadwalan produksi pada industri pembuatan pasta. Formulasi multi-objective *mixed-integer programming* (MIP) diperkenalkan untuk GFFS, menginspirasi pengkodean CTGA pada algoritma genetik. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan kelayakan dan efektivitas CTGA, menunjukkan kemampuan konvergensi algoritma biaya pembuatan meningkat sebesar 8,50%, biaya energi 5,24%, dan biaya tenaga kerja 6,02% dalam berbagai kandidat yang dievaluasi di ruang objektif [3].

Algoritma genetika hibrid juga digunakan dalam penjadwalan *job shop* fleksibel dengan waktu penyiapan bergantung urutan dan waktu jeda pekerjaan. Penelitian terdahulu mengaplikasikan kemampuan diversifikasi global algoritma genetika dan kemampuan peningkatan lokal *tabu search*. Hasil penelitian menunjukkan algoritma genetika mengungguli algoritma heuristik lainnya dan menemukan batas atas yang lebih baik dengan menyarankan optimasi multi-objektif yang diperlukan pada lingkungan penjadwalan praktis dengan tujuan tidak hanya mencakup rentang waktu tetapi keterlambatan dan keseimbangan beban mesin. Selain itu, berbagai kendala praktis seperti jadwal kerja dan keterbatasan sumber daya dapat menjadi perhatian [4].

Pada penelitian ini metode yang digunakan dalam penjadwalan mesin perakitan pistol mainan adalah mengaplikasikan metode Campbell Dudek and Smith (CDS) dan Algoritma Genetika. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan metode Algoritma Genetik lebih efisien dibandingkan metode CDS. Usulan penjadwalan produksi metode CDS memberikan nilai makespan lebih besar dibandingkan algoritma genetika [5].

### *Campbell Dudek and Smith (CDS)*

Algoritma Campbell, Dudek, and Smith (CDS) merupakan suatu pengembangan dari aturan Johnson yang digunakan dalam mengurangi makespan pada masalah penjadwalan dua mesin yang disusun secara seri. Algoritma CDS memiliki peranan yang penting dalam perkembangan teori penjadwalan saat ini. Metode ini melibatkan penggunaan serangkaian tahapan aturan Johnson pada masalah baru yang dihadapi. Dalam algoritma CDS, setiap tugas atau pekerjaan harus melewati setiap mesin yang ada. Setiap mesin beroperasi sesuai dengan jadwal urutan proses produksi yang telah ditentukan sebelumnya. Tujuan utama dari penjadwalan dengan menggunakan algoritma CDS adalah untuk mencapai makespan terkecil dengan mengoptimalkan urutan pengerjaan tugas yang optimal [6].

Perhitungan algoritma CDS dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

- Langkah pertama adalah mengambil urutan pertama ( $k = 1$ ). Untuk setiap tugas yang ada, cari waktu proses minimum  $t_{k i,1}$  dan  $t_{k i,2}$ , yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dan kedua.
- Jika waktu pengerjaan terkecil ditemukan pada mesin pertama (misalnya  $t_{i,1}$ ), letakkan tugas tersebut di posisi awal urutan penjadwalan. Namun, jika waktu pengerjaan terkecil ditemukan pada mesin kedua (misalnya  $t_{i,2}$ ), letakkan tugas tersebut di posisi akhir urutan penjadwalan.
- Pindahkan tugas yang telah diproses dari daftar dan lakukan pengurutan. Jika masih ada tugas yang tersisa, ulangi langkah 1. Jika tidak ada tugas yang tersisa, proses pengurutan dianggap selesai.

### *Algoritma Genetika*

Algoritma genetika dirancang oleh Holland pada tahun 1975. Karena algoritma genetika bersifat adaptif dan fleksibel, algoritma genetika terbukti berhasil diterapkan pada beberapa masalah optimisasi. Misalnya, mereka telah diterapkan pada perutean, penjadwalan, kontrol adaptif, permainan game, pemodelan kognitif, masalah transportasi, masalah penjual keliling, masalah kontrol optimal, pengoptimalan kueri basis data, dll. Algoritma genetika adalah teknik pencarian stokastik yang algoritma pencariannya mensimulasikan fenomena alam (evolusi biologis). Ide dasar dari algoritma genetika adalah bahwa yang kuat cenderung beradaptasi dan bertahan sedangkan yang lemah cenderung mati. Salah satu kekuatan GA adalah mereka mengaplikasikan informasi masa lalu untuk mengarahkan pencarian dengan asumsi peningkatan kinerja [7]. Parameter algoritma genetik terdiri dari Ukuran populasi (popsize), probabilitas crossover (pc), dan probabilitas mutasi (pm) digunakan dalam penelitian ini. Selama eksperimen, prestasi terbaik individu dipantau pada setiap generasi. Oleh karena itu, parameter yang digunakan dalam penjadwalan ini adalah sebagai berikut: ukuran populasi (popsize) = 80, probabilitas crossover (pc) = 0,45, dan probabilitas mutasi (pm) = 0,01 [8].

## **2. Metodologi**

Penelitian ini adalah jenis penelitian *case study* kualitatif. Menurut Yin, penelitian *case study* adalah desain penelitian untuk mengembangkan analisis mendalam terhadap suatu kasus dengan mengumpulkan informasi terperinci mengaplikasikan berbagai prosedur pengumpulan data selama periode waktu yang berkelanjutan. Langkah awal yang dilakukan mengukur waktu perakitan produk masing-masing elemen kerja. Pengukuran waktu perakitan dilakukan sebanyak 10 kali simulasi sehingga dibutuhkan uji keseragaman dan kecukupan data untuk mengetahui apakah data pengukuran layak untuk digunakan. Langkah selanjutnya adalah menentukan waktu baku berdasarkan nilai rating factor dan allowance yang ditoleransi selama perakitan komponen pistol berlangsung. Waktu baku selanjutnya digunakan dalam menentukan waktu penyelesaian dalam setiap stasiun kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penjadwalan produksi pada PT ABC dengan meminimalkan waktu penyelesaian menggunakan metode *Campbell Dudek and Smith* (CDS) dan Algoritma Genetika yang diimplementasikan menggunakan *Microsoft Excel*. Metode pertama, yaitu CDS, melibatkan beberapa langkah. Langkah pertama adalah menentukan jumlah iterasi, kemudian mengambil penjadwalan awal. Selanjutnya, dilakukan penerapan aturan Johnson dan pengaturan ulang urutan tugas dalam bentuk penjadwalan deret. Setelah itu, nilai makespan dievaluasi dengan menggunakan gantt chart dan mempertimbangkan waktu tunggu (idle time) serta urutan parsial dengan makespan terkecil sebagai urutan final [9]. Metode kedua, yaitu Algoritma Genetika, juga melibatkan beberapa langkah. Langkah pertama adalah menginisialisasi populasi kromosom biner atau non-biner, kemudian melakukan evaluasi fungsi fitness untuk setiap kromosom dalam populasi. Selanjutnya, dilakukan pemilihan kromosom untuk reproduksi dan menerapkan operator genetik (crossover dan mutasi) pada kromosom terpilih. Kromosom yang dihasilkan ditempatkan dalam populasi sementara, dan jika populasi sementara sudah penuh, populasi saat ini diganti dengan populasi sementara. Proses ini berlanjut sampai kriteria terminasi terpenuhi, dan

kromosom terbaik dijadikan solusi dari masalah. Dengan menerapkan kedua metode ini, diharapkan dapat mencapai penjadwalan produksi yang optimal pada PT ABC. [10]

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data bertujuan untuk mengevaluasi kekonsistenan hasil pengukuran waktu. Kekonsistenan data dapat diidentifikasi berdasarkan pengamatan apakah data berada dalam rentang batas kontrol yang telah ditetapkan sebelumnya. Jika data berada di luar rentang batas kontrol tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa data tersebut tidak konsisten. Dalam penelitian ini, digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95% dan tingkat kesalahan sebesar 5%. Data dianggap konsisten apabila nilainya berada di antara Batas Kontrol Atas dan Batas Kontrol Bawah [11].

1. Menghitung nilai rata-rata waktu siklus Stasiun Kerja 1.

$$X \text{ bar} = \frac{\sum X_i}{n}$$

$$X \text{ bar} = \frac{515+492+482+418+428+513+508+426+451+461}{10}$$

$$X \text{ bar} = \frac{4694}{10} = 469.4$$

2. Menghitung nilai standar deviasi waktu Stasiun Kerja 1.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - X_{\text{bar}})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{(515-469.4)^2 + \dots + (461-469.4)^2}{10-1}} = 37.70$$

3. Menghitung BKA dan BKB

$$BKA = X \text{ bar} + 2 \sigma = 469.4 + (2 \times 37.70) = 544.79$$

$$BKB = X \text{ bar} - 2 \sigma = 469.4 - (2 \times 37.70) = 394.01$$

Berdasarkan hasil perhitungan semua data yang digunakan pada penelitian ini seragam.

#### 3.2. Uji Kecukupan Data

Pada uji kecukupan data, dilakukan evaluasi untuk menentukan apakah jumlah data yang terkumpul sudah memadai untuk digunakan dalam pengolahan data selanjutnya. Perhitungan uji kecukupan data dilakukan dengan menggunakan rumus:

$$N' = \left( \frac{40 \sqrt{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}}{(\sum X)} \right)^2$$

Karena  $N' < N$  (10) maka data cukup sehingga tidak perlu dilakukan pengukuran tambahan. Hasil pengujian setiap stasiun kerja setiap jenis produk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Uji Kecukupan Data

Produk	SK 1	SK 2	SK 3	SK 4	SK 5	SK 6	SK 7	Keterangan
Pistol Mainan Tipe 1	3.05	2.76	2.83	2.55	3.26	2.19	2.89	Cukup
Pistol Mainan Tipe 2	3.39	2.98	2.44	2.71	2.53	2.23	2.92	Cukup
Pistol Mainan Tipe 3	2.64	3.28	2.58	2.33	2.21	2.64	2.75	Cukup
Pistol Mainan Tipe 4	2.65	2.81	2.31	1.93	3.04	2.72	3.08	Cukup
Pistol Mainan Tipe 5	2.72	2.64	1.54	2.81	3.25	1.97	2.16	Cukup

### 3.3. Perhitungan Waktu Penyelesaian

Waktu standar untuk setiap elemen kerja diperoleh dengan mengalikan waktu rata-rata dari data waktu proses dengan nilai faktor penilaian dan toleransi. Berikut adalah contoh perhitungan waktu standar untuk Stasiun Kerja 1 pada produk Pistol Mainan Tipe 1:

Waktu Siklus = 469,4 detik

Rating Factor = 1.14

Allowance = 19 %, maka

Waktu Normal (Wn) = Waktu Siklus x rating factor = 469.4 detik x 1.14 = 536 detik

Waktu Baku = Wn x (1/(1 - allowance)) = 536 detik x (1/(1-0.19)) = 637 detik

Perhitungan waktu penyelesaian dikalikan dengan mengaplikasikan rumus berikut:

Waktu Penyelesaian  $t(i,j) = \text{Waktu Setup} + (\text{Waktu Baku} \times \frac{\text{Jumlah Permintaan}}{\text{Kapasitas}})$

$t(1,1) = 60 + (637 \times \frac{1078}{1}) = 577.868 \text{ detik} \approx 191 \text{ jam}$

Rekapitulasi hasil perhitungan Waktu Penyelesaian Stasiun Kerja dirangkum pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Waktu Baku Stasiun Kerja

Produk	Stasiun Kerja	Waktu Siklus Operator	Rating Factor	Waktu Normal (detik)	Allowance	Waktu Baku (detik)	Waktu Set Up	Permintaan	Waktu Penyelesaian (Jam)
Pistol Mainan Tipe 1	SK 1	469.4	1.14	536	19	637	60	1078	191
	SK 2	22.9	1.14	27	19	32	60	1078	10
	SK 3	108.1	1.14	124	19	147	60	1078	45
	SK 4	54.4	1.14	63	19	74	60	1078	23
	SK 5	52.8	1.14	61	19	72	60	1078	22
	SK 6	681.7	1.14	778	19	925	60	1078	278
	SK 7	140.4	1.14	161	19	191	60	1078	58
Pistol Mainan Tipe 2	SK 1	461.3	1.14	526	19	626	60	1085	189
	SK 2	22.6	1.14	26	19	31	60	1085	10
	SK 3	110	1.14	126	19	150	60	1085	46
	SK 4	53.7	1.14	62	19	73	60	1085	23
	SK 5	53	1.14	61	19	72	60	1085	22
	SK 6	658.7	1.14	751	19	894	60	1085	270
	SK 7	142.3	1.14	163	19	194	60	1085	59
Pistol Mainan Tipe 3	SK 1	475.6	1.14	543	19	646	60	1093	197
	SK 2	22.1	1.14	26	19	30	60	1093	10
	SK 3	110.2	1.14	126	19	150	60	1093	46
	SK 4	55.3	1.14	64	19	76	60	1093	24
	SK 5	54.5	1.14	63	19	74	60	1093	23
	SK 6	671	1.14	765	19	911	60	1093	277
	SK 7	145.7	1.14	167	19	198	60	1093	61
Pistol Mainan Tipe 4	SK 1	460.7	1.14	526	19	625	60	1100	191
	SK 2	22.8	1.14	26	19	31	60	1100	10
	SK 3	106.2	1.14	122	19	145	60	1100	45
	SK 4	56.1	1.14	64	19	77	60	1100	24

Produk	Stasiun Kerja	Waktu Siklus Operator	Rating Factor	Waktu Normal (detik)	Allowance	Waktu Baku (detik)	Waktu Set Up	Permintaan	Waktu Penyelesaian (Jam)
Pistol Mainan Tipe 5	SK 5	54.8	1.14	63	19	75	60	1100	23
	SK 6	660.4	1.14	753	19	896	60	1100	274
	SK 7	144.9	1.14	166	19	197	60	1100	61
	SK 1	468.7	1.14	535	19	636	60	1108	196
	SK 2	22.9	1.14	27	19	32	60	1108	10
	SK 3	108.7	1.14	124	19	148	60	1108	46
	SK 4	53.3	1.14	61	19	73	60	1108	23
	SK 5	54.2	1.14	62	19	74	60	1108	23
	SK 6	658.1	1.14	751	19	893	60	1108	275
	SK 7	139.1	1.14	159	19	189	60	1108	59

### 3.4. Penjadwalan dengan Algoritma Campbell Dudek and Smith (CDS)

Metode Campbell Dudek and Smith (CDS) digunakan dalam penjadwalan atau penugasan kerja dengan memprioritaskan waktu kerja terkecil dalam proses produksi. Tujuannya adalah mengurangi waktu menganggur pada mesin akibat pengaturan yang tidak efisien. Perhitungan ini dilakukan secara berkelanjutan dengan menggunakan variabel  $k$ , yang dimulai dari 1 hingga  $(m-1)$ , di mana  $m$  merupakan jumlah mesin yang tersedia. Setiap nilai  $k$  memiliki tabel konstruksi sendiri yang berisi urutan job yang spesifik. Berikut merupakan langkah-langkah dalam penyelesaian penjadwalan dengan metode CDS:

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

Campbell Dudek dan Smith melakukan eksperimen dan menguji kinerja algoritma mereka pada beberapa masalah, dan mereka menemukan bahwa algoritma Campbell Dudek and Smith umumnya lebih efektif, baik untuk masalah skala kecil maupun besar [12]. Hasil perhitungan makespan dengan metode CDS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan dengan Penyisipan Idle Time

Job	Waktu Penyelesaian									
	SK1	SK2	Idle 2	New Time	SK3	Idle 3	New Time	SK4	Idle 4	New Time
A	191	10	191	201	45	201	246	23	246	269
B	189	10	179	189	46	144	190	23	167	190
C	197	10	187	197	46	151	197	24	174	198
D	191	10	181	191	45	145	190	24	166	190
E	196	10	186	196	46	151	197	23	173	196

Job	Waktu Penyelesaian									
	SK5	Idle 5	New Time	SK6	Idle 6	New Time	SK7	Idle 7	New Time	
1	22	269	291	278	291	569	58	569	627	
2	22	168	190	270	-	270	59	212	271	
3	23	176	199	277	-	277	61	218	279	
4	23	167	190	274	-	274	61	213	274	
5	23	173	196	275	-	275	59	214	273	
<b>Total Makespan</b>										<b>1,724</b>

### 3.5. Penjadwalan dengan Algoritma Genetika

#### 3.5.1. Pembentukan Kromosom

Perancangan penjadwalan produksi dengan algoritma genetik memberikan solusi berbentuk kromosom yang merupakan urutan pengerjaan *job*. Kromosom dibentuk dari kumpulan gen. Gen dalam hal ini adalah masing-masing tipe produk pistol mainan yang disebut dengan *job* (A, B, C, D dan E). Gen dibentuk dari beberapa alela. Alela merupakan urutan pengerjaan pada tiap Stasiun Kerja.

### 3.5.2. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi dilakukan secara acak terkoordinir yang artinya kromosom atau individu yang dipilih tidak melebihi waktu yang tersedia. Kromosom yang terpilih dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kromosom yang Terpilih

Kromosom	Susunan Kromosom						
I1	ADCBE	I21	ABCED	I41	EBCDA	I61	CABDE
I2	ABECD	I22	ABEDC	I42	BAECD	I62	EADCB
I3	BAEDC	I23	CBADE	I43	DBECA	I63	BEDAC
I4	EBADC	I24	EABCD	I44	CDBEA	I64	CDAEB
I5	CEABD	I25	CADEB	I45	ACEBD	I65	DEABC
I6	ECBAD	I26	DCABE	I46	AECBD	I66	CBDAE
I7	DECAB	I27	BEADC	I47	DBCEA	I67	AECDB
I8	BEACD	I28	CEADB	I48	DECBA	I68	ECBDA
I9	DCEAB	I29	BDEAC	I49	ACBED	I69	BDECA
I10	BECD	I30	BEDCA	I50	DCBEA	I70	ACBDE
I11	CAEBD	I31	CDEAB	I51	ECADB	I71	BDCAE
I12	EABDC	I32	BADEC	I52	ADCEB	I72	DEBCA
I13	ADBCE	I33	BDACE	I53	ACDBE	I73	DCEBA
I14	ADBEC	I34	CEDAB	I54	DBAEC	I74	ECABD
I15	DEBAC	I35	EDBAC	I55	BACDE	I75	DABEC
I16	BDAEC	I36	DBEAC	I56	AEBDC	I76	EBDCA
I17	CAEDB	I37	EBDAC	I57	EDBCA	I77	DBC
I18	EDACB	I38	ECDBA	I58	DCAEB	I78	EBCAD
I19	DAEBC	I39	EDCAB	I59	EDABC	I79	CABED
I20	BADCE	I40	AEDCB	I60	EDCBA	I80	BECAD

### 3.5.3. Evaluasi

Evaluasi dilakukan dengan menghitung nilai makespan dan nilai *fitness* sebagai indeks fungsi tujuan global masing – masing individu atau kromosom.

- Makespan adalah total waktu pengerjaan job. Makespan setiap kromosom dinyatakan dalam satuan jam.
- Nilai *fitness* menunjukkan hasil bagi 1 dengan nilai *makespan* masing-masing job. Semakin tinggi nilai *fitness* maka semakin baik urutan job [13].

Perhitungan nilai *makespan* dan nilai *fitness* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Nilai Makespan dan Nilai Fitness Generasi I

Kromosom	Urutan	Makespan (Jam)	Nilai Fitness	Kromosom	Urutan	Makespan (Jam)	Nilai Fitness
I1	ADCBE	1400	0.000714	I41	EBCDA	1400	0.000714
I2	ABECD	1401	0.000714	I42	BAECD	1401	0.000714
I3	BAEDC	1405	0.000712	I43	DBECA	1400	0.000714
I4	EBADC	1405	0.000712	I44	CDBEA	1400	0.000714
I5	CEABD	1401	0.000714	I45	ACEBD	1401	0.000714
I6	ECBAD	1401	0.000714	I46	AECBD	1401	0.000714
I7	DECAB	1394	0.000717	I47	DBCEA	1400	0.000714
I8	BEACD	1401	0.000714	I48	DECBA	1400	0.000714
I9	DCEAB	1394	0.000717	I49	ACBED	1401	0.000714
I10	BECD	1400	0.000714	I50	DCBEA	1400	0.000714
I11	CAEBD	1401	0.000714	I51	ECADB	1394	0.000717
I12	EABDC	1405	0.000712	I52	ADCEB	1394	0.000717
I13	ADBCE	1400	0.000714	I53	ACDBE	1400	0.000714
I14	ADBEC	1405	0.000712	I54	DBAEC	1405	0.000712
I15	DEBAC	1405	0.000712	I55	BACDE	1400	0.000714
I16	BDAEC	1405	0.000712	I56	AEBDC	1405	0.000712
I17	CAEDB	1394	0.000717	I57	EDBCA	1400	0.000714
I18	EDACB	1394	0.000717	I58	DCAEB	1394	0.000717
I19	DAEBC	1405	0.000712	I59	EDABC	1405	0.000712

I20	BADCE	1400	0.000714	I60	EDCBA	1400	0.000714
I21	ABCED	1401	0.000714	I61	CABDE	1400	0.000714
I22	ABEDC	1405	0.000712	I62	EADCB	1394	0.000717
I23	CBADE	1400	0.000714	I63	BEDAC	1405	0.000712
I24	EABCD	1401	0.000714	I64	CDAEB	1394	0.000717
I25	CADEB	1394	0.000717	I65	DEABC	1405	0.000712
I26	DCABE	1400	0.000714	I66	CBDAE	1400	0.000714
I27	BEADC	1405	0.000712	I67	AECDB	1394	0.000717
I28	CEADB	1394	0.000717	I68	ECBDA	1400	0.000714
I29	BDEAC	1405	0.000712	I69	BDECA	1400	0.000714
I30	BEDCA	1400	0.000714	I70	ACBDE	1400	0.000714
I31	CDEAB	1394	0.000717	I71	BDCAE	1400	0.000714
I32	BADEC	1405	0.000712	I72	DEBCA	1400	0.000714
I33	BDACE	1400	0.000714	I73	DCEBA	1400	0.000714
I34	CEDAB	1394	0.000717	I74	ECABD	1401	0.000714
I35	EDBAC	1405	0.000712	I75	DABEC	1405	0.000712
I36	DBEAC	1405	0.000712	I76	EBDCA	1400	0.000714
I37	EBDAC	1405	0.000712	I77	DBC AE	1400	0.000714
I38	ECDBA	1400	0.000714	I78	EBCAD	1401	0.000714
I39	EDCAB	1394	0.000717	I79	CABED	1401	0.000714
I40	AEDCB	1394	0.000717	I80	BECAD	1401	0.000714

### 3.5.4. Evaluasi

Langkah – langkah iterasi generasi pertama pada algoritma genetika adalah sebagai berikut.

#### 1). Seleksi Kromosom

Proses seleksi menggunakan metode Roulette Wheel melibatkan pemilihan populasi baru dengan mempertimbangkan distribusi probabilitas yang berdasarkan nilai fitness [14] dengan prosedur:

- a. Perhitung nilai *fitness relative* setiap kromosom. Nilai *fitness relative* ( $p_i$ ) masing- masing kromosom dapat diperoleh dari:

$$p_i = \frac{\text{Nilai Fitness } i}{\text{Total Fitness}}$$

- b. Perhitungan nilai *fitness* kumulatif ( $q_i$ ). Nilai *fitness* kumulatif dapat dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned} q_1 &= p_1 \\ q_2 &= p_1 + p_2 \\ q_3 &= p_2 + p_3, \text{ dan seterusnya.} \end{aligned}$$

- c. Bangkitkan bilangan random sebanyak  $\text{popsize} = 80$  di *Microsoft Excel* dengan rumus *Rand* ().

Proses seleksi dilakukan dengan mengurutkan kromosom berdasarkan nilai fitness kumulatif masing-masing dan membandingkannya dengan bilangan acak yang telah dihasilkan sebelumnya. Jika nilai fitness kromosom ke- $k$  ( $q_k$ ) kurang dari atau sama dengan bilangan acak ( $r$ ), dan nilai fitness kromosom ke- $(k+1)$  ( $q_{k+1}$ ) lebih besar dari bilangan acak tersebut, maka kromosom ke- $(k+1)$  dipilih sebagai kandidat induk.

#### 2). Crossover

Prosedur yang dilakukan dalam proses *crossover* yaitu:

1. Membangkitkan serangkaian bilangan acak antara 0 dan 1 sebanyak populasi, yang berjumlah 80 kromosom.
2. Memilih bilangan acak yang lebih kecil dari nilai peluang *crossover* ( $p_c$ ), di mana  $p_c = 0.45$ . Bilangan acak yang lebih besar dari  $p_c$  akan dianggap tidak memenuhi syarat untuk melakukan *crossover*.
3. Melakukan proses persilangan (*crossover*) pada kromosom yang terpilih menggunakan metode *Partial Mapped Crossover* (PMX). Berikut adalah prosedur dalam PMX:
  - a. Acak dua posisi pada kromosom sebagai batas daerah pemetaan.

$$I5' \quad \boxed{B} \quad \boxed{D} \quad \boxed{A} \quad \boxed{C} \quad \boxed{E}$$

I7' 

B	E	C	A	D
---	---	---	---	---

b. Menentukan dua substring dari kromosom orang tua untuk menghasilkan *proto-child*.

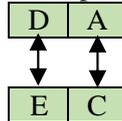
Proto – child 1 

B	D	A	C	E
---	---	---	---	---

  
 Proto – child 2 

B	E	C	A	D
---	---	---	---	---

c. Menentukan hubungan pemetaan antara dua daerah pemetaan.



d. Membentuk kromosom anak dengan menggabungkan bagian yang tidak terdapat dalam daerah pemetaan dan mengacu pada hubungan pemetaan yang telah ditentukan.

I5'' 

B	E	C	A	D
---	---	---	---	---

  
 I7'' 

B	D	A	C	E
---	---	---	---	---

Seluruh kromosom hasil *crossover* mengalami penyilangan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kromosom Hasil Crossover / Generasi II

Kromosom	Urutan	Kromosom	Urutan	Kromosom	Urutan	Kromosom	Urutan
I5''	BECAD	I17''	EDCBA	I38''	EADCB	I56''	ADCEB
I7''	BDACE	I20''	DCEAB	I39''	EABCD	I60''	BACDE
I8''	DBCAE	I21''	ECABD	I40''	AECDB	I64''	BDACE
I9''	BDEAC	I23''	BEADC	I41''	CABDE	I67''	EADCB
I11''	EDBAC	I24''	CEADB	I42''	DBAEC	I70''	ADBEC
I12''	CADEB	I28''	BDCAE	I50''	BEDAC	I73''	DEBAC
I13''	EBCAD	I30''	AECBD	I52''	CBADE	I75''	BEACD
I14''	BEDCA	I32''	DEABC	I53''	EDBCA	I76''	ADBCE
I15''	BADEC	I34''	ECBDA	I54''	ACBED	I77''	EABDC
I16''	EBDCA	I37''	BDECA	I55''	AEBDC	I78''	ECBAD

3). Mutasi

Berikut merupakan prosedur dalam proses mutase:

- Menghitung jumlah total bit dalam populasi, yaitu popsize (ukuran populasi) dikali dengan jumlah gen, sehingga didapatkan jumlah bit sebanyak 400 ( $80 \times 5 = 400$ ).
- Membangkitkan sebanyak 400 bilangan acak antara 0 dan 1.
- Memilih bilangan acak yang memiliki nilai lebih kecil dari peluang mutasi ( $pm$ ) = 0.01.

Kromosom-kromosom dengan bit yang memiliki bilangan acak lebih kecil dari nilai  $pm$  akan mengalami mutasi, sementara kromosom-kromosom dengan bit bilangan acak yang lebih besar dari nilai  $pm$  tidak akan mengalami mutasi. Tabel dari kromosom yang mengalami mutasi dan posisinya dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Kromosom dan Posisinya yang Terkena Mutasi / Generasi III

Kromosom	Job ke-	Urutan	Kromosom Mutasi	Urutan
I4'	4	CDEAB	I4*	CDAEB
I5''	2	BECAD	I5*	EBCAD
I13''	4	EBCAD	I13*	EBCDA
I17''	4	EDCBA	I17*	EDCAB
I28''	1	BDCAE	I28*	EDCAB
I48'	1	DECBA	I48*	AECBD
I54''	5	ACBED	I54*	DCBEA
I65'	3	BECD A	I65*	BCEDA

4). *Replacement* dan Terminasi

Dari hasil algoritma setiap generasi dapat dilihat bahwa setelah pada tiga generasi nilai *fitness* terbaik dari individu yang diperoleh tidak berubah. Oleh karena itu telah terpenuhi kriteria berhenti dengan nilai *fitness* terbaik 0.00071736 dengan urutan sesuai dengan kromosom pada Tabel 3.8.

Tabel 8. Rekap Nilai Fitness terbaik Hasil Algoritma Setiap Generasi

Generasi	Kromosom	Urutan	Makespan	Nilai Fitness
1	I22'	CEDAB	1394	0.00071736
1	I33'	CDAEB	1394	0.00071736
1	I43'	AEDCB	1394	0.00071736
1	I46'	DCAEB	1394	0.00071736
1	I59'	ECADB	1394	0.00071736
1	I63'	CAEDB	1394	0.00071736
1	I69'	DECAB	1394	0.00071736
1	I72'	DCEAB	1394	0.00071736
2	I12"	CADEB	1394	0.00071736
2	I20"	DCEAB	1394	0.00071736
2	I24"	CEADB	1394	0.00071736
2	I38"	EADCB	1394	0.00071736
2	I40"	AECDB	1394	0.00071736
2	I56"	ADCEB	1394	0.00071736
2	I67"	EADCB	1394	0.00071736
3	I4*	CDAEB	1394	0.00071736
3	I17*	EDCAB	1394	0.00071736
3	I28*	EDCAB	1394	0.00071736

### 3.6. Efisiensi Indeks

Dalam rangka menentukan metode yang lebih baik, dilakukan pendekatan dengan mengukur nilai efisiensi untuk membandingkan perbedaan makespan yang dihasilkan oleh kedua metode. Penggunaan efisiensi sebagai parameter bertujuan untuk menilai sejauh mana kinerja masing-masing metode dalam mencapai hasil penjadwalan yang optimal. Dengan membandingkan nilai efisiensi antara metode pertama dan metode kedua, dapat diidentifikasi metode mana yang lebih efektif dalam mengurangi makespan atau waktu penyelesaian. Pengukuran efisiensi ini memberikan pemahaman yang lebih jelas tentang keunggulan dan kelemahan masing-masing metode serta memberikan landasan untuk memilih metode terbaik dalam mengoptimalkan penjadwalan produksi. [16].

$$\text{Efisiensi Indeks} = \frac{\text{Makespan CDS} - \text{Makespan Algoritma Genetika}}{\text{Makespan CDS}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Indeks} = \frac{1724 - 1394}{1724} \times 100\% = 19.14\%$$

Dari hasil perhitungan efisiensi, ditemukan bahwa efisiensi mencapai 19,14%. Hal ini mengindikasikan bahwa metode algoritma genetika memiliki kinerja yang lebih efisien dalam hal mengurangi makespan dibandingkan dengan metode algoritma CDS. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode algoritma genetika lebih disarankan dalam konteks penyelesaian penjadwalan produksi, karena mampu memberikan hasil yang lebih optimal dalam mengurangi waktu penyelesaian.

## 4. Kesimpulan

Dari hasil penjadwalan mengaplikasikan algoritma CDS dan algoritma genetika untuk fungsi tujuan menurunkan makespan dapat disimpulkan bahwa:

- Algoritma genetik memberikan solusi urutan job lebih baik dengan nilai makespan 1394 jam yakni lebih rendah dibandingkan dengan algoritma CDS dengan nilai makespan 1724 jam.
- Efisiensi Indeks metode 19.14 %

- Penjadwalan terhadap inialisasi solusi dilakukan dengan mengaplikasikan algoritma genetika untuk mendapatkan penjadwalan yang mendekati optimal.
- Hasil iterasi algoritma genetika menunjukkan Nilai fitness terbaik yang diperoleh dari hasil iterasi generasi pertama hingga ketiga adalah 0.00071736 dengan nilai makespan terbaik adalah 1394 jam. Urutan pengerjaan job dengan nilai makespan terbaik adalah ADCEB, AECDB, AEDCB, CADEB, CAEDB, CDAEB, CEADB, CEDAB, DCAEB, DCEAB, DECAB, EADCB, ECADB, dan EDCAB.

## Referensi

- [1] R. Ginting, "PENJADWALAN MESIN. Sistem, Algoritma, Pemecahan Masalah dan Penerapan,". USU Press: 2022.
- [2] W. Xu, H. Y. Sun, A. L. Awaga, Y. Yan, and Y. J. Cui, 2022. "Optimization approaches for solving production scheduling problem: A brief overview and a case study for hybrid flow shop using genetic algorithms," *Adv. Prod. Eng. Manag.*, vol. 17, no. 1, pp. 45–56, 2022, doi: 10.14743/apem2022.1.420.
- [3] K. Shen, T. De Pessemerier, L. Martens, and W. Joseph, 2021. "A parallel genetic algorithm for multi-objective flexible flowshop scheduling in pasta manufacturing," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 161, no. August, p. 107659, 2021, doi: 10.1016/j.cie.2021.107659.
- [4] Y. Wang and Q. Zhu, 2021. "A Hybrid Genetic Algorithm for Flexible Job Shop Scheduling Problem with Sequence-Dependent Setup Times and Job Lag Times," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 104864–104873, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3096007.
- [5] L. Bayani, L. Herlina, E. Febianti, and J. Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, "Usulan Penjadwalan Produksi Pada Aliran Flow Shop dengan Algoritma Genetika untuk Meminimasi Makespan."
- [6] C. Mashuri, A. H. Mujianto, H. Sucipto, and R. Y. Arsam, "Penerapan Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS) untuk Optimasi Waktu Produksi Pada Penjadwalan Produksi," *J. Sist. Inf. BISNIS*, vol. 10, no. 2, pp. 131–136, Nov. 2020, doi: 10.21456/vol10iss2pp131-136.
- [7] I. M. Al-Harkan, "Algorithms for Sequencing and Scheduling," *merging Seq. Sched. theory with Genet. algorithms to solve Stoch. job shops*, p. 438, 2010.
- [8] E. H. SARTONO, "Optimasi Penjadwalan Flexible Flow Shop dengan Algoritma Genetika pada Insustri Pembuatan Silicon Polished Wafer," *Univ. Indones.*, 2008.
- [9] M. Hidayat, R. Ekawati, and P. Ferro Ferdinant, "Minimasi Makespan Penjadwalan Flowshop Mengaplikasikan Metode Algoritma Campbell Dudek Smith (CDS) Dan Metode Algoritma Nawaz Ensore Ham (NEH) Di PT Krakatau Wajatama."
- [10] A. Alfandianto, Y. A. Nugroho, and W. Setiafindari, "Penjadwalan Produksi Mengaplikasikan Pendekatan Algoritma Genetika di PT Pertani (Persero) Cabang D.I. Yogyakarta," *J. DISPROTEK*, vol. 8, no. 2, pp. 1–7, 2017.
- [11] T. Rachman, J. A. Utara, T. Tomang-Kebon, and J. Jakarta, "Penggunaan Metode Work Sampling untuk Menghitung Waktu Baku dan Kapasitas Produksi Karungan Soap Chip Di PT. SA," 2013.
- [12] N. Masruroh, "Analisa Penjadwalan Produksi dengan Mengaplikasikan Metode Ampbell Dudeck Smith, Palmer, dan Dannenbring di PT.Loka Refraktor Surabaya," pp. 158–171.
- [13] I. O. Suzanti and F. A. Mufarroha, "Implementasi Relevant Feedback Mengaplikasikan Algoritma Genetika pada Dokumen Bahasa Indonesia Implementation of Relevant Feedback Using Genetic Algorithm in Indonesian Documents." *Jurnal IPTEK-KOM (Jurnal Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Komunikasi)* Vol. 23 No. 2, Desember 2021: 125 - 139
- [14] S. Mauluddin, I. Ikbal, and A. Nursikuwagus, "Optimasi Aplikasi Penjadwalan Kuliah Mengaplikasikan Algoritma Genetik," vol. 2, no. 3, pp. 792–799, 2018, [Online]. Available: <http://jurnal.iaii.or.id>
- [15] I. Putri Yuli Utami, Cucu Suhery, 2014. "Aplikasi Pencarian Rute Terpendek Mengaplikasikan Algoritma Genetika (Studi Kasus: Pencarian Rute Terpendek untuk Pemadam Kebakaran di Wilayah Kota Pontianak). *Jurnal Coding Sistem Komputer Universitas Tanjungpura* Volume 02 No. 1 (2014), hal 19 – 25
- [16] H. Bashori, "Upaya Meminimasi Makespan dengan Penerapan Algoritma Cross Entropy pada Penjadwalan Flow Shop", *Widya Teknika* Vol.23 No.1; Maret 2015 ISSN 1411 – 0660: 10-14