

**Technology Acceptance Model for the Use of Learning Management System in Indonesia**  
Graha Prakarsa, Iman Sudirman, Azhar Affandi, Elly Komala, Ferry Santoso (pp:1–16)

**Analysis of Student Route Choice Model to University of Palangka Raya Using Multilogit Nomial Method**  
Neagel Banderas Zepanya Siahaan, Sutan Parasian Silitonga, Ina Elvina (pp: 17–25)

**Synthesis Oxalic Acid by Durian Skin with Alkali Smelting Method**  
Johannes Martua Hutagalung (pp: 26–33)

**Selection of CNC Tool Combination Through Genetic Algorithm Method Approach with Criteria of Miniizing Machining Time and Considering Minimum Maching Gap**  
Irwan Yulianto, Arida Murti Murtikasari (pp: 34–44)

**Analysis of the Financial and Technical Feasibility of Erection a Herbal Medicine Factory PT. Tugu Semar Production Using the Systematic Layout Planning Method**  
Muhammad Bisyrri Nada, Dedy Setyo Oetomo, Asep Hermawan (pp: 45–56)

**Factors That Motivate Students to Register for Private Tutoring Using The Factor Analysis Method**  
Ai Nurhayati (pp: 57–70)

**Re-Design Modern Industrial Workshop Table with Total Deformation Analysis and Stress Test**  
Dian Juwitasari, Fesa Putra Kristianto, Nuthqy Fariz (pp: 71–78)

**Extraction of Polyphenols in Green Tea Shoots as Antioxidant Substance**  
Rini Siskayanti, Riza Rizkiah Lia Muliati, Andini Nurilah, Deden Subagja, MI Fadil (pp: 79–87)

**Random Savings Algorithm for Solving Russian TSP Instances**  
Ekra Sanggala, Muhammad Ardhya Bisma (pp: 89–99)

**A Business Feasibility Study for Glassware Production at CV Angga Putra Sejahtera**  
Dini Yulianti, Amelia Agustina (pp: 100–109)

**The Effect of Ring Frame Thread Number and Winding Machine Counter on The Weight Of 69G Lot Cones on Winding Machine Number 8**  
Filly Pravitasari, Afriani Kusumadewi, Feny Nurherawati, Rino Sulstio (pp: 110–117)

**Social Normative Bounding and Brand Awareness of E- WOM Intensity in WhatsApp Group Online Community Mekar Arum PKK Group - Bojongsoang**  
Abdul Fatah Hassanudin, Ira Murwenie, Alam Avrianto, Dwirani Fauzi Lestari, Rahmina Puspa (pp:118–129)

**Downstream Analysis of Strategic Investment in Natural Gas Commodities in Increasing the Value of Indonesia Natural gas Product**  
Tombak Gapura Bhagya, Jati Arie Wibowo, Siti Latipah, Graha Prakarsa (pp: 130–137)

**Evaluation of the Lightning System in the Science Laboratory at School X in South Tangerang Based on SNI 6197: 2020**  
Reza Ruhbani Amarulloh, Tiara Nurhuda (pp: 138–146)

**Evaluation of Supplier Performance Using The Fuzzy AHP Approach to The CV. X Bandung Kite Glass Business**  
Hendry Anggraito (pp: 147–155)

**The Potential of Cynodon Dactylon and Lolium Perenne “Brightstar” as Phytoremediator Agents in Dealing with the Problem of Sea Water Intrusion in The North Coastal Area of Karawang**  
Riza Rizkiah, Roni Sewiko, Aris K Pranoto, Roberto P Pasaribu, Anthon A Djari, Abdul Rahman, R Moh Ismail Endy Handayani, Muhammad A Mulyana, Luciana (pp: 156–162)

## *Selection of CNC Tool Combination Through Genetic Algorithm Method Approach With Criteria of Minimizing Machining Time and Considering Minimum Machining Gap*

### **Pemilihan Kombinasi Pahat CNC Melalui Pendekatan Metode Algoritma Genetika Dengan Kriteria Meminimalkan Waktu Permesinan Dan Mempertimbangkan Celah Minimum Pemesinan**

Irwan Yulianto<sup>1)</sup>, Arida Murti Martikasari<sup>2\*)</sup>

<sup>1)</sup> Universitas Ma'soem, Jl. Cipacing No.22, Jatinangor

Email: [irwan.yulianto8791@gmail.com](mailto:irwan.yulianto8791@gmail.com)

<sup>2)</sup> Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung

Email: [aridamartikasari@gmail.com](mailto:aridamartikasari@gmail.com)

**Abstract:** *The demand for products that require high precision is increasing. Therefore the production process with CNC machines is highly crucial. In the milling machining process, the roughing process takes the most time. The suitable selection of tools combination for the machining area will reduce the machining time. Roughing process sometimes cannot process the machining area with the minimum gap size. The research is to develop tools combination selection algorithm with the criteria of reducing machining time by considering the minimum gap in the workpiece machining area. The first stage is the preprocessing stage, which aims to initiate the tool size that can be used in the workpiece machining process and tools size grouping for the smallest gap machining process. The second stage is genetic algorithm (GA) stage, which aims to find the best tools combination according to the objective function. The sequence in the GA stage is determining initial solution, parents selection, crossover, mutation, regeneration, and determining the best solution. The developed algorithm has been tested on four workpieces. Characteristics of the features were tested on two closed pocket workpieces with island, each open pocket with island, and close pocket without island. Development of tools combination selection algorithm can assist in determining the best tools size to minimize the machining time.*  
**Keywords :** *machining time, roughing process, minimum gap, preprocessing, genetic algorithm*

**Abstrak:** Permintaan produk yang membutuhkan kepresisian tinggi semakin banyak, sehingga proses produksi dengan mesin CNC sangat krusial. Proses pemesinan milling yang memakan waktu pemesinan terbanyak adalah proses pemesinan kasar. Pemilihan kombinasi pahat yang sesuai dengan area pemesinan akan membuat waktu pemesinan semakin kecil. Proses pemesinan kasar kadang tidak dapat memproses area pemesinan yang memiliki ukuran celah minimum. Penelitian yang dilakukan adalah mengembangkan algoritma pemilihan kombinasi pahat dengan kriteria meminimalkan waktu pemesinan dengan mempertimbangkan celah minimum pada area pemesinan benda kerja. Tahapan pertama adalah tahapan preprocessing, bertujuan untuk menginisiasi ukuran pahat yang dapat digunakan dalam proses pemesinan benda kerja dan pengelompokan ukuran pahat untuk proses pemesinan celah terkecil. Tahapan kedua adalah tahapan genetic algorithm (GA), bertujuan untuk mencari kombinasi pahat yang terbaik sesuai dengan fungsi tujuan. Urutan pada tahapan GA adalah penentuan solusi awal, penentuan *parents*, crossover, mutasi, regenerasi, dan penentuan solusi terbaik. Algoritma yang dikembangkan telah dilakukan pengujian terhadap empat benda kerja. Karakteristik fitur yang dilakukan pengujian yaitu dua benda kerja closed pocket dengan island, masing-masing open pocket dengan island, dan closed pocket tanpa island. Pengembangan algoritma pemilihan kombinasi pahat dapat membantu dalam penentuan pahat ukuran pahat terbaik untuk meminimasi waktu pemesinan terbaik.

Kata Kunci: waktu pemesinan, pemesinan kasar, celah minimum, preprocessing, genetic algorithm

DOI: <http://dx.doi.org/10.37577/sainteks.v%vi%i.644>

Received: 01, 2024. Accepted: 03, 2024.

Published: 03, 2024

## **PENDAHULUAN**

Proses pemesinan computer numerical control (selanjutnya disingkat CNC) banyak digunakan pada pembuatan produk yang membutuhkan detail bentuk yang presisi. Mesin CNC akan melakukan proses pemotongan berbagai bentuk sesuai dengan desain produk. Beberapa fitur dasar dalam proses pemesinan CNC adalah fitur pocket, slot, dan hole. Terdapat juga fitur kompleks yang merupakan gabungan dari beberapa fitur standar. Fitur-fitur tersebut sering diadopsi untuk suku cadang mekanik, mold dan lain-lain. Operasi pemesinan pada milling biasanya dibagi menjadi dua kategori, dibedakan berdasarkan tujuan dan kondisi pemotongan yaitu, pemotongan kasar (roughing) dan pemotongan akhir (finishing). Pemotongan kasar digunakan untuk menghilangkan material dalam jumlah besar dari bagian kerja awal secepat mungkin (Groover, 2010). Proses pemotongan kasar menghasilkan bentuk yang mendekati bentuk yang diinginkan, tetapi menyisakan beberapa material pada potongan untuk operasi penyelesaian selanjutnya. Proses pemotongan kasar sering diperlukan kombinasi beberapa pahat yang memiliki diameter berbeda-beda. Sebagian besar proses pada mesin CNC adalah proses pemesinan kasar. Operasi rough milling umumnya dihasilkan dengan cara 2.5 axis, di mana pemesinan dilakukan pada bidang X - Y (horizontal) dan gerakan sumbu Z (vertikal) digunakan secara eksklusif untuk memposisikan pahat sesuai dengan kedalaman pemotongan (Jacso dkk, 2018).

Penelitian Chen dan Fu (2011) dan Wang dkk. (2018) merupakan penentuan kombinasi pahat dengan fungsi tujuan memaksimalkan area pemakanan pahat benda kerja dalam proses pemotongan kasar. Fungsi tujuan pada penelitian tersebut menghasilkan kombinasi pahat yang sering tidak efisien dalam pemakanan area pemesinan kasar pada masing-masing pahatnya. Kejadian yang sering terjadi terlalu banyak menggunakan variasi diameter pahat yang tidak efisien pada proses pemesinan area benda kerja, sehingga berpengaruh terhadap waktu pemesinan menjadi lebih lama. Semakin cepat waktu pembuatan suatu produk sangat mempengaruhi penentuan kapasitas produksi. Fungsi tujuan hanya meminimalkan waktu pemesinan dalam proses pemesinan kasar mengakibatkan kombinasi pahat yang dipilih merupakan pahat dengan diameter besar. Penentuan kombinasi pahat dengan diameter besar menyebabkan tidak terprosesnya area pemesinan yang memiliki ukuran celah terkecil. Hal tersebut mempengaruhi proses pemesinan akhir yang harus bekerja lebih ekstra. Dari kedua variabel keputusan tersebut dapat mempengaruhi biaya produksi, penjadwalan produksi, dan keputusan dalam pengambil permintaan dari konsumen.

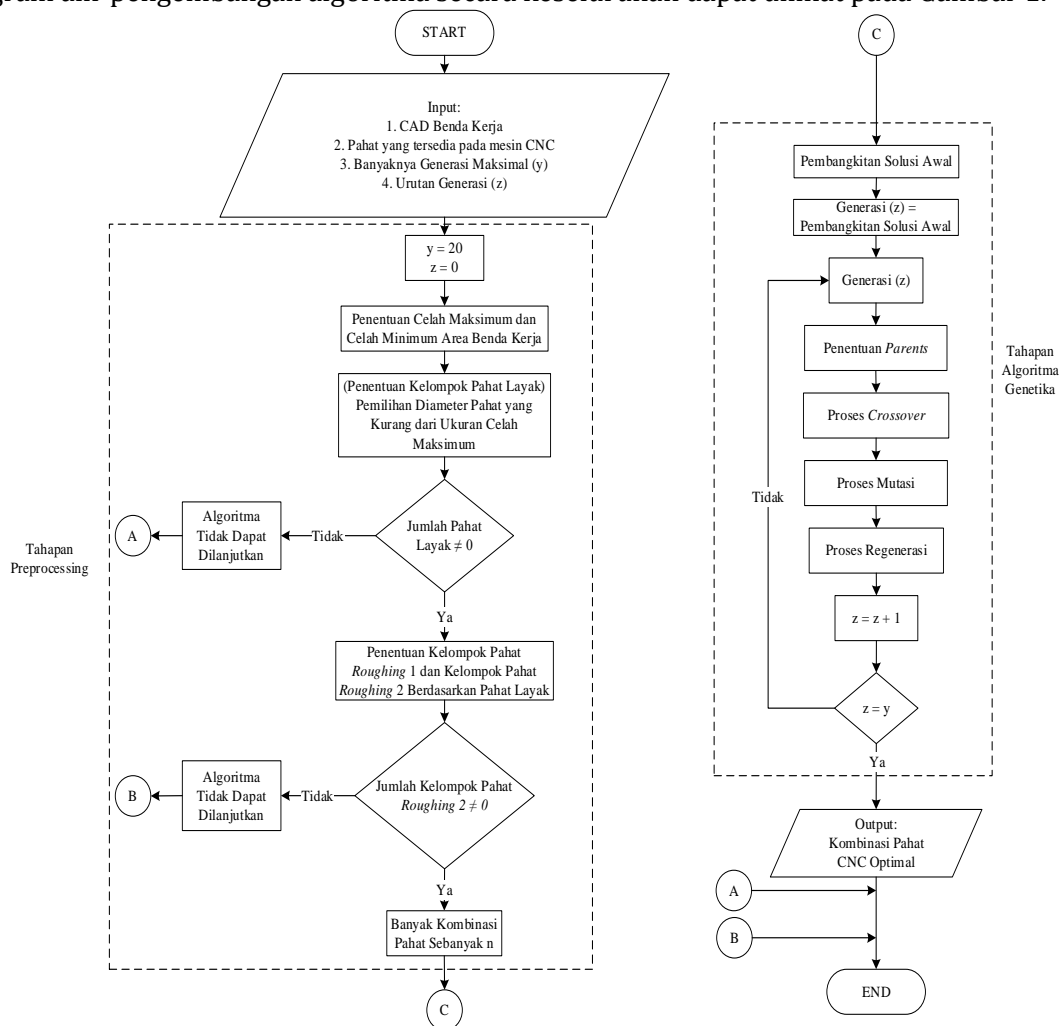
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan algoritma pemilihan kombinasi pahat CNC 2.5-axis yang akan meminimalkan waktu pemesinan dengan menjamin bahwa seluruh area pemesinan kasar terproses. Algoritma yang diusulkan akan diujicoba pada beberapa kasus pemotongan dengan fitur *pocket* untuk mengevaluasi kelebihan dan kekurangan algoritma yang diusulkan. Pencarian solusi dari kombinasi pahat hanya proses pemesinan kasar yang diproses per satu lapisan dengan menerapkan 2.5 axis. Benda kerja memiliki fitur pocket mill sehingga memiliki celah yang akan diproses dalam fitur pemesinan. Kombinasi pahat terdiri dari 1 pahat hingga 5 pahat, bertujuan agar bisa membandingkan antar varian jumlah pahat yang berbeda secara langsung dalam program.

## **METODOLOGI**

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan algoritma penentuan kombinasi pahat CNC (Computer Numerical Control) 2.5-axis yang akan meminimalkan waktu pemesinan dengan menjamin bahwa seluruh area pemesinan kasar terproses seluruhnya. Algoritma acuan yang digunakan dalam penelitian ini adalah dari studi literatur Chen dan Fu (2011) dan Wang dkk. (2018).

Tahapan pengembangan algoritma dimulai dengan memasukkan input yang berupa gambar CAD benda kerja dan pahat yang tersedia pada mesin CNC (tool library). Tahapan preprosesing bertujuan untuk menerjemahkan alternatif kombinasi pahat yang dapat digunakan untuk memotong benda kerja. Pada tahap ini terjadi proses pembangkitan alternatif

kombinasi pahat untuk roughing 1 dan roughing 2 dengan cara menentukan celah maksimum dan celah minimum dalam algoritma genetika (GA). Pemakaian algoritma genetika sudah banyak digunakan di sektor lain seperti transportasi (Bhagya, 2021), kesehatan (Buani, 2021) dan lainnya. Pencarian alternatif kombinasi pahat dengan waktu minimum menggunakan operasi crossover dan mutasi pada algoritma GA. Pemilihan algoritma genetika (GA) pada penentuan solusi terbaik karena alternatif kombinasi pahat dapat berjumlah banyak. Penelitian ini hanya dibatasi jumlah kombinasi terbanyak hanya 5 kombinasi. Permasalahan dapat direpresentasikan dalam bentuk kromosom dalam algoritma GA. Algoritma GA dijalankan dengan menetapkan jumlah kromosom sebanyak 4 pada setiap generasi dan jumlah generasi ( $y$ ) sebanyak 20 yang akan dijalankan pada algoritma. Pada generasi terakhir kromosom dengan kombinasi pahat dengan waktu terkecil akan menjadi solusi terpilih. Diagram alir pengembangan algoritma secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Diagram Alir Pengembangan Algoritma**

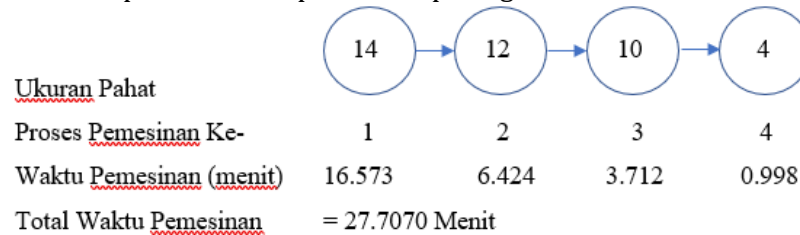
Proses algoritma genetika (GA) dimulai dari pembangkitan solusi awal. Pada pembangkitan solusi awal struktur kromosom terdiri dari 5 gen. Gen ke-1 sampai dengan 4 berisikan kombinasi pahat roughing 1. Gen ke-5 berisikan kombinasi pahat untuk roughing 2. Pemilihan pahat pada setiap gen roughing 1 dengan memilih secara acak diameter antara celah maksimum dengan celah minimum. Pemilihan pahat roughing 2 dengan memilih secara acak diameter pahat dengan ukuran lebih kecil dari celah minimum. Struktur kromosom dalam penelitian dapat dilihat pada gambar 2.



Pahat *Roughing* 1      Pahat *Roughing* 2

**Gambar 2. Struktur Kromosom Dalam Penelitian**

Setelah didapatkan struktur kromosom pahat lalu dicari waktu pemesinannya secara keseluruhan. Total waktu pemesinan dapat dilihat pada gambar 3.



**Gambar 3. Total Waktu Pemesinan**

Setelah didapatkan total waktu pemesinan pada kromosom 1 lalu dibangkitkan lagi kromosom baru sehingga terdapat 4 kromosom awal. Selanjutnya tahap penentuan *parents*, penentuan *parents* menggunakan metode *elitism selection*. Misalkan didapatkan hasil pembangkitan awal untuk 4 kromosom seperti yang diperlihatkan tabel 1.

**Tabel 1. Kromosom Awal**

<u>Kromosom 1</u>	<u>Kromosom 2</u>	<u>Kromosom 3</u>	<u>Kromosom 4</u>
14   12   10   0   4	20   0   0   0   1	25   16   0   0   1	18   11   0   0   1
fitness: 27.7070	fitness: 227.3720	fitness: 159.2830	fitness: 112.6350

Didapatkan dua nilai waktu minimum pada kromosom 1 sebesar 27.7070 menit dan dan kromosom 4 sebesar 112.635 menit. Sehingga dipilih *parent* 1 adalah kromosom 1 dan *parent* 2 adalah kromosom 4. Proses selanjutnya melakukan *ceosrossover*, penyilangan gen antara *parent* 1 dan *parent* 2. Proses *crossover* ini hanya dilakukan pada pahat *roughing* 1 saja dan menggunakan metode *single-point crossover*. Pada pengembangan algoritma ini penentuan berapa gen yang akan di *crossover* adalah banyaknya gen per kromosom dibagi 2. Dua gen awal pada *parent* 1 ditukar dengan dua gen awal pada *parent* 2, hasil dari persilangan antar *parent* tersebut menghasilkan *child* 1 dan *child* 2. Proses *crossover* dapat dilihat pada table 2.

**Tabel 2. Proses Crossover**

	<i>Parent</i> 1	<i>Parent</i> 2
<u>Sebelum Crossover</u>	14   12   10   0   4	18   11   0   0   1
	<i>Child</i> 1	<i>Child</i> 2
<u>Sesudah Crossover</u>	18   11   10   0   4	14   12   0   0   1

Setelah proses *crossover* dilakukan kemudian setiap *child* dilakukan proses mutasi. Proses mutasi ini setiap gen dalam *child* baik pahat *roughing* 1 dan pahat *roughing* 2 akan diberikan bilangan random dari 0 sampai dengan 1. Gen diberikan bilangan random didapatkan nilai lebih kecil dari laju mutasi maka gen tersebut akan bermutasi. Gen yang bermutasi akan digantikan dengan pahat baru berdasarkan kelompok pahatnya dengan cara pemilihan acak. Pahat pilihan bila terjadi mutasi untuk gen 1 sampai dengan gen 4 berdasarkan dengan kelompok pahat *roughing* 1. Pahat pilihan bila terjadi mutasi untuk gen 5 berdasarkan dengan kelompok pahat *roughing* 2. Bilangan random lebih besar dari laju mutasi maka gen akan tetap (tidak

bermutasi). Pada Tabel 3 terdapat proses mutasi *Child 1*. Hasil kromosom pada proses mutasi dinamakan dengan *mutant*. Pada pengembangan algoritma ini akan dilakukan 2 kali proses mutasi sehingga didapatkan mutant 1 dan mutant 2.

Misalkan, Pada hasil *mutant 1* didapatkan kombinasi pahat 25, 11, 25, 8 yang memiliki nilai gen 1 dengan gen 3 sama sehingga perlu dilakukan eliminasi pada salah satu gen, sehingga gen 3 dihilangkan. Sehingga hasil mutasi *mutant 1* dapat dilihat pada table 4. Pada tabel 3 dan tabel 4 menjelaskan proses mutasi yang menghasilkan nilai diameter pahat yang sama antara gen satu dengan gen yang lain, sehingga perlu dilakukan eliminasi pada nilai diameter yang sama agar menjadi 1 pahat saja dengan nilai diameter tersebut pada satu kromosom.

**Tabel 3. Proses Mutasi**

Kromosom	Gen 1	Gen 2	Gen 3	Gen 4	Gen 5
<i>Child 1</i>	18	11	10	0	4
Nilai Random	0.2512	0.7890	0.5982	0.9012	0.3789
Laju Mutasi	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Terjadi Mutasi?	Ya	Tidak	Ya	Tidak	Ya
<i>Mutant 1</i>	25	11	25	0	8

**Tabel 4. Hasil Akhir Mutasi Yang Sudah Dihilangkan Pahat yang sama**

<i>Mutant 1</i>				
25	11	0	0	8
fitness: 16.744 menit				

Proses regenerasi adalah proses dimana pergantian 2 kromosom pada populasi awal dengan waktu pemesinan atau nilai fitness terbesar dengan mutant. Misalkan, didapatkan kromosom 4 populasi awal pada Tabel 1 dan 2 mutant dari hasil mutasi pada Tabel 5.

**Tabel 5. Hasil Mutasi**

<i>Mutant 1</i>					<i>Mutant 2</i>				
20	14	11	0	5	25	20	11	0	8
fitness: 21.0130					fitness: 24.0850				

Pada populasi awal didapatkan dua nilai fitness maksimum yaitu pada kromosom 2 dengan 227.3720 menit dan kromosom 3 dengan 159.2830 menit. Maka kromosom 2 dan kromosom 3 dihilangkan dan digantikan dengan mutant 1 dan mutant 2. Terjadi perubahan urutan kromosom menjadi, kromosom 1 tetap, kromosom 4 menggantikan kromosom 2, sedangkan mutant 1 dan mutant 2 menjadi kromosom 3 dan kromosom 4 pada populasi baru. Populasi baru yang dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Populasi Baru**

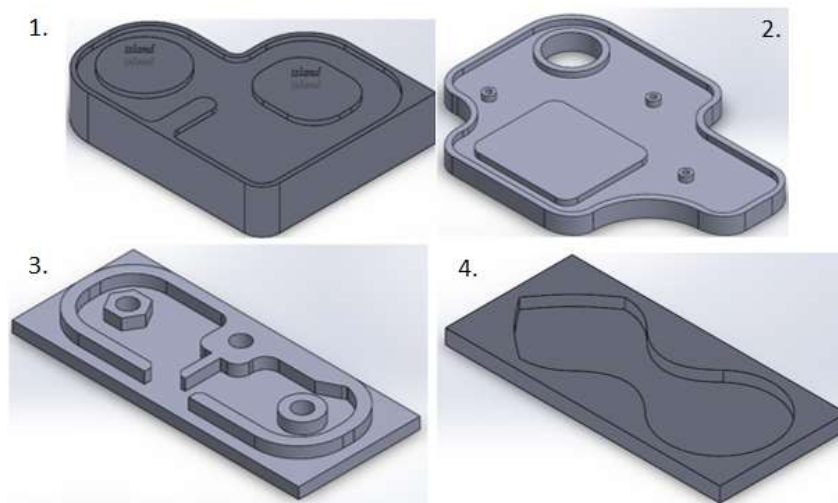
Kromosom 1					Kromosom 2					Kromosom 3					Kromosom 4				
1	1	1	0	4	1	1	0	0	1	2	1	1	0	5	2	2	1	0	8
4	2	0			8	1				0	4	1			5	0	1		
fitness: 27.7070					fitness: 112.6350					fitness: 21.0130					fitness: 24.0850				

Populasi baru ini menjadi generasi baru dan akan digunakan dalam generasi berikutnya. Terjadi pengulangan proses pada penentuan parents hingga proses regenerasi

kembali dengan menggunakan populasi baru. Algoritma pemilihan pahat yang diusulkan akan berhenti hingga mencapai generasi ke 20.

**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

Pengujian algoritma pengembangan dilakukan dengan 4 buah benda kerja yang memiliki karakteristik fitur berbeda yaitu 2 benda kerja memiliki closed pocket dengan island dengan fitur yang berbeda, open pocket dengan island, dan closed pocket tanpa memiliki island. Keempat benda kerja dapat dilihat pada Gambar 2. Setiap benda kerja akan dilakukan percobaan sebanyak 2 kali dengan setiap percobaan akan dilakukan 20 kali iterasi generasi. Pada pengujian ini pahat yang tersedia pada mesin CNC adalah 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 16, 18, 20, 25 masing-masing dalam satuan milimeter (mm).

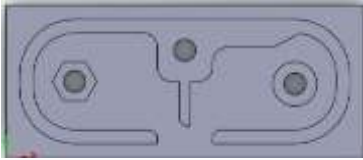
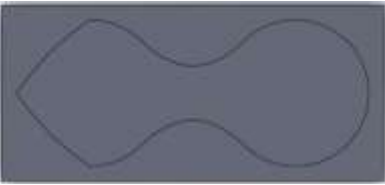


**Gambar 2. Benda Kerja 1 Sampai Dengan 4**

Luas benda kerja 1 sampai dengan 4 dapat dilihat sebagai berikut:

**Tabel 7 Luas Benda Kerja 1 Sampai Dengan 4**



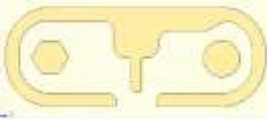
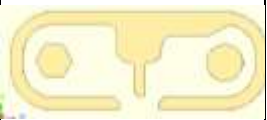

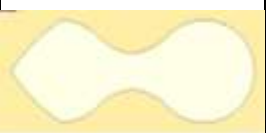
	Fitur Benda Kerja (Tampak Atas)	Luas Area Pemesinan
Benda Kerja 1		23,959.91 mm <sup>2</sup>
Benda Kerja 2		20,339.33 mm <sup>2</sup>

	Fitur Benda Kerja (Tampak Atas)	Luas Area Pemesinan
Benda Kerja 3		1,233.19 mm <sup>2</sup>
Benda Kerja 4		4,126.33 mm <sup>2</sup>

Seluruh benda kerja diuji berdasarkan algoritma yang dikembangkan pada penelitian ini. Setiap masing-benda kerja dilakukan 20 kali iterasi dengan algoritma pengembangan sehingga didapatkan hasil kombinasi pahat yang optimal berdasarkan fungsi tujuan sebagai berikut.

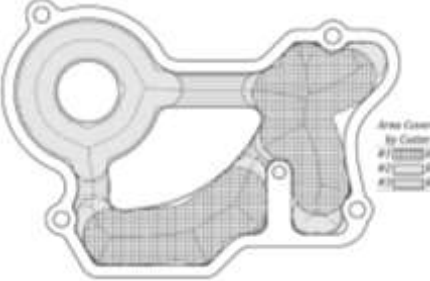
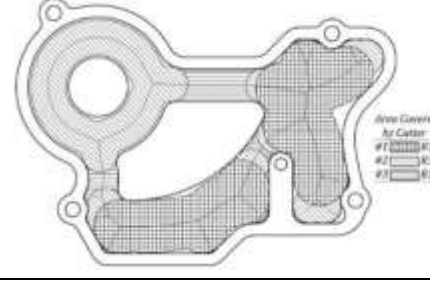
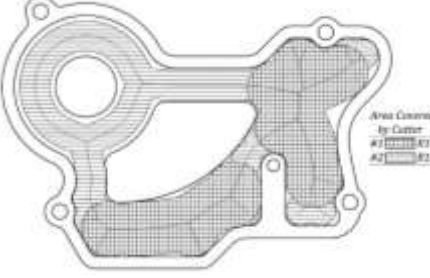
**Tabel 8 Hasil Kombinasi Pahat optimal Pada Percobaan Keempat Benda Kerja**

	Hasil Proses Permesinan Percobaan 1 (Tampak Atas)	Kombinasi Pahat Terbaik Percobaan 1 dan Luas Area Pemakanan	Hasil Proses Permesinan Percobaan 2 (Tampak Atas)	Kombinasi Pahat Terbaik Percobaan 2 dan Luas Area Pemakanan
Benda Kerja 1		Kobinasi Pahat: 25, 7  Luas Area Pemakana: 23,959.91 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 15.468 menit		Kobinasi Pahat: 25, 11, 7  Luas Area Pemakanan: 23,959.91 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 15.765 menit

	Hasil Proses Permesinan Percobaan 1 (Tampak Atas)	Kombinasi Pahat Terbaik Percobaan 1 dan Luas Area Pemakanan	Hasil Proses Permesinan Percobaan 2 (Tampak Atas)	Kombinasi Pahat Terbaik Percobaan 2 dan Luas Area Pemakanan
Benda Kerja 2		Kombinasi Pahat: 20, 11, 9, 5  Luas Area Pemakanan: 0,339.33 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 10.027 menit.		Kombinasi Pahat: 20, 16, 6  Luas Area Pemakanan: 20,339.33 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 9.2 menit
Benda Kerja 3		Kombinasi Pahat: 11, 9, 7, 3, 1  Luas Area Pemakanan: 233.19 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 10.027 menit		Kombinasi Pahat: 7, 2  Luas Area Pemakanan 1,233.19 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 9.2 menit
Benda Kerja 4		Kombinasi Pahat: 25, 12  Luas Area Pemakanan: 4,126.33 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 2.143 menit		Kombinasi Pahat: 25, 18, 5  Luas Area Pemakanan: 4,126.33 mm <sup>2</sup>  waktu pemesinan: 2.211 menit

Hasil yang didapatkan pada algoritma yang dikembangkan akan dibandingkan dengan hasil penelitian acuan yaitu penelitian Chen dan Fu (2011) dan Wang dkk. (2018). Berikut hasil Penelitian dari Chen dan Fu (2011):

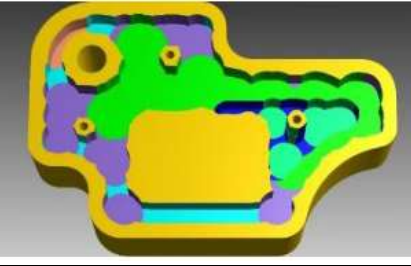
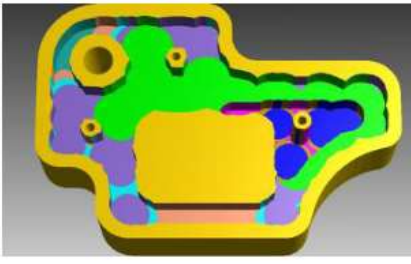
**Tabel 9 Hasil Penelitian Chen dan Fu (2011)**

Banyak Kombinasi	Kombinasi Pahat (mm)	Gambar Benda Kerja Setelah Proses Pemesinan	Luas Area Pemakanan
2	18, 10		18,821.39 mm <sup>2</sup>
3	18, 12, 10		20,059.06 mm <sup>2</sup>
4	20, 16, 12, 10		20,539.78 mm <sup>2</sup>

Berikut hasil Penelitian dari Wang dkk. (2018):

**Tabel 10 Hasil Penelitian Wang dkk. (2018)**

Banyak Kombinasi	Kombinasi Pahat (mm)	Gambar Benda Kerja Setelah Proses Pemesinan	Luas Area Pemakanan
2	25, 12		52,522.48 mm <sup>2</sup>
3	28, 20, 12		55,891.75 mm <sup>2</sup>

Banyak Kombinasi	Kombinasi Pahat (mm)	Gambar Benda Kerja Setelah Proses Pemesinan	Luas Area Pemakanan
4	28, 20, 12, 8		56,933.25 mm <sup>2</sup>
5	28, 20, 16, 12, 10		57,824.25mm <sup>2</sup>

Penelitian Chen dan Fu (2011) dan Wang dkk (2018) pencarian solusi terbatas pada varian jumlah kombinasi pahat tertentu. Misalkan apabila sedang mencari solusi terbaik dengan jumlah kombinasi pahat 4, solusi yang dihasilkan akan terus memiliki jumlah pahat 4 sampai menemukan solusi terbaik. Pada pengembangan algoritma pemilihan pahat solusi yang dihasilkan memiliki varian jumlah kombinasi pahat yang berbeda-beda. Misalkan solusi pertama didapatkan kombinasi pahat dengan jumlah pahat 4, solusi selanjutnya bisa menjadi varian antara 1 sampai 5 jumlah kombinasi pahat. Proses tersebut dapat membandingkan antara varian jumlah pahat yang berbeda, sehingga diharapkan dapat menghasilkan solusi waktu pemesinan terbaik mendekati solusi optimal global.

Hasil kombinasi pahat dari program pengembangan algoritma penentuan pahat dapat menghasilkan kombinasi pahat dengan jumlah bervariasi. Pemilihan kombinasi pahat terbaik tidak terbatas pada kromosom dengan jumlah pahat yang sama. Program menghasilkan kelompok jumlah pahat yang bervariasi memberikan perbandingan hasil solusi waktu antar jumlah pahat yang berbeda. Perbandingan jumlah pahat yang bervariasi bertujuan agar menghasilkan kombinasi pahat yang memiliki waktu pemesinan terbaik mendekati solusi optimal global secara langsung dalam program.

## **SIMPULAN**

Pada penelitian mengenai pengembangan algoritma pemilihan pahat ini didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Penelitian menghasilkan algoritma pemilihan kombinasi pahat CNC 2.5 axis dengan fungsi tujuan meminimalkan waktu pemesinan dan menjamin bahwa seluruh area pemesinan kasar terproses.
2. Algoritma pada penelitian mengimplementasikan pendekatan algoritma genetika (GA), di mana banyaknya gen dalam kromosom merupakan maksimum alternatif pahat dan nilai gen merupakan diameter pahat yg digunakan.
3. Berdasarkan hasil uji coba pada beberapa contoh benda kerja, algoritma yang diusulkan dapat menghasilkan kombinasi pahat dengan waktu proses terkecil dan menjamin seluruh area pemesinan kasar terpotong.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Bhagya, T. G. (2021). Algoritma Genetik Pada Penjadwalan Transportasi Kapal Laut (Studi Kasus PT. Pelni). *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 81-92.
- Buani, D. P. (2021). Penerapan Algoritma Naive Bayes dengan Seleksi Fitur Algoritma Genetika untuk Prediksi Gagal Jantung. *Evolusi; Jurnal Sains dan Manajemen*, 43-48.
- Chen, Z. C. dan Fu, Q. (2011): An optimal approach to multiple tool selection and their numerical control path generation for aggressive rough machining of pockets with free-form boundarie, *Computer-Aided Design Volume 43 issue 6*, 651–663
- Dong, Z., Li, H., dan Vickers (1993): Optimal Rough Machining of Sculptured Parts on a CNC Milling Machine, *Journal of Engineering for Industry Volume 115 issue 4*, 424-431
- Groover, M.P. (2010): *Fundamentals of Modern Manufacturing*, 4nd ed., Prentice Hall.
- Holland, J.H. (1992): *Genetic Algorithms*, *Scientific American*, Vol. 267, No. 1 (July 1992), pp. 66-73,
- Jacso, A., Szalay, T., Jauregui, J.C., dan Resendiz, J. R., (2018): A discrete simulation-based algorithm for the technological investigation of 2.5D milling operations, *Journal Mechanical Engineering Science 2019*, Vol. 233(1) 78–90
- Wang J., Luo M., Hafeez H.M., dan Zhang D. (2018): Image Skeleton and GA Based Tool Selection for 2 1/2-Axis Rough Milling, *Laboratory of Contemporary Design and Integrated Manufacturing Technology, Ministry of Education, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China*
- Wang Y., Ma H.J., Gao C.H., Xu H.G. dan Zhou X.H. (2005): A computer aided tool selection system for 3D die/mould-cavity NC machining using both a heuristic and analytical approach”, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing Volume 18 issue 8*, 686 – 701