**PENERAPAN ALGORITMA ANT COLONY OPTIMIZATION
(ACO)
PADA JOB SHOP SCHEDULING PROBLEM (JSSP)
DI PT. SIEMENS INDONESIA (CILEGON FACTORY)**

Widyawati
Universitas Banten Jaya
Serang, Banten
widyawati@unbaja.ac.id

ABSTRACT

Fabrication process is often disrupted by non-deterministic job, this create a problem in the Pre-Fabrication department schedule because often the manufacture of raw material for non-deterministic job should given priority. This problem also affected by the existing system which is not yet fully developed to solve the problem of optimize rescheduling master line (seen from total makespan time). Ant Colony Optimization (ACO) variant Ant System (AS) was proposed to solve Job Shop Scheduling Problem (JSSP) with the objective to propose the best schedule that give shortest makespan. The algorithm tested to perform scheduling of 5 projects (consist of 10 parts) as the initial job, and another 2 projects (consist of 4 parts) as the non-deterministic job. For the initial job, makespan was 287 days and after the arrival of non-deterministic job, makespan was 362 days compare with the actual manufacturing time (7 project consist of 14 parts) which is $\pm$ 511 days.

Keywords: Ant Colony Optimization (ACO), Job Shop Scheduling Problem (JSSP), Makespan Time, Non – Deterministic, Scheduling, Re – Scheduling

PENDAHULUAN

PT. Siemens Indonesia Cilegon Factory (PTSI-CF) merupakan perusahaan yang bergerak dibidang fabrikasi komponen turbin dan produk industri logam presisi tinggi. Perusahaan tersebut berjalan berdasarkan konsep *job by order* (produk yang diproduksi atas surat pesanan pelanggan). Kendala yang seringkali dihadapi adalah adanya pekerjaan yang tidak bisa diramalkan (*non-deterministic*) sehingga membuat jadwal produksi yang telah direncanakan perlu dilakukan perubahan. Dan *non deterministic* menyebabkan waktu penyelesaian (*makespan time*) lebih panjang.

Ada tiga pendekatan untuk penjadwalan ulang, yaitu: dengan menjadwalkan kembali dari awal, melakukan perubahan terhadap jadwal saat perubahan terjadi, atau menunda beberapa operasi yang telah dikerjakan pada jadwal lama dan melakukan

penjadwalan ulang terhadap sisa operasi yang belum dikerjakan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari penjadwalan dengan *makespan time* yang paling minimum menggunakan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berjenis *Ant System* (AS).

Metode

Metode penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahap seperti studi literatur, pengumpulan data, pengolahan data, dan analisis hasil.

Diagram Alir, berikut ini merupakan tahapan yang dilakukan dalam penelitian:

Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan Data

Sumber data yang digunakan didalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari sumber yang sudah ada yaitu berupa dokumen perusahaan. Data yang digunakan adalah data sekunder, yaitu berupa data jumlah project pada tahun 2015, rute *project*, dan waktu proses setiap *project*.

Pengolahan Data

Adapun teknik pengolahan data yang dilakukan yaitu dengan menerapkan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) berjenis *Ant System* (AS). Berikut ini merupakan tahapan secara umum dalam melakukan proses pengolahan data:

Gambar 2 Tahapan Pengolahan Data

Metode Ant Colony Optimization

Algoritma semut atau Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma pencarian berdasarkan probabilitas, di mana probabilitas yang digunakan merupakan probabilitas dengan bobot sehingga butir pencarian dengan bobot yang lebih besar akan berakibat memiliki kemungkinan terpilih lebih besar pula (Anamisa & Djunaidy, 2014).

Model yang digunakan untuk menotasikan masalah penjadwalan jobshop pada n-job dan m-mesin adalah (Zukhri & Alhakim, 2004):

$$n/m/G/C \max \quad (1)$$

Yang mana n mendefinisikan banyaknya job yang akan diproses, m menunjukkan banyaknya mesin yang dimiliki, $C_{\max}$ merupakan minimum *makespantime* dari suatu produksi dan G berisikan aturan urutan proses mesin untuk setiap job dan waktu prosesnya. Proses mesin dimodelkan dalam bentuk matrik T , semisal untuk T dengan $n=2$ dan $m=3$ adalah sebagai berikut:

$$T = \begin{bmatrix} M1 & M2 & M3 \\ M4 & M5 & M6 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sedangkan untuk merepresentasikan waktu proses setiap operasi dimodelkan dengan matrik P :

$$P = \begin{bmatrix} t(O_{11}) & \dots & t(O_{1m}) \\ t(O_{21}) & \dots & t(O_{2m}) \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ t(O_{n1}) & \dots & t(O_{nm}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Untuk merepresentasikan permasalahan *jobshop* pada algoritma semut digunakan *graph* sebagai model yang akan mempermudah dalam pencarian minimum waktu penyelesaian. Model *graph* dari 2/3/G/Cmax *job shop* dapat digambarkan pada **gambar 3** dibawah ini:

Gambar 3 Representasi 2/3/G/Cmax *job shop* pada *graph*

Setiap node dalam *graph* merupakan representasi dari job operasi pada matrik T , jumlah node dirumuskan dengan:

$$Nodes = (n * m) + 1 \quad (4)$$

Sedangkan untuk banyaknya garis dinotasikan sebagai berikut:

$$Garis = |O| * (|O| - 1)2 + N \quad (5)$$

$$|O| = n * m \quad (6)$$

Dalam graph diatas setiap node memiliki batasan node yang dapat dikunjungi karena terdapat beberapa garis satu arah maka suatu node tidak memiliki hak untuk melalui jalur yang berlawanan arah dengan tanda arah panah tersebut. Dengan demikian setiap operasi penentuan mesin harus terlebih dahulu memeriksa batasan mesin yang boleh dilalui. Selain itu pemilihan node tujuan yang layak dilalui difilter dengan batasan operasi yang harus terurut. Misalkan jika job 1 operasi ke-2 hanya boleh dipilih sebagai node tujuan jika job 1 operasi ke-1 telah dipilih atau dilalui oleh semut.

Berikut ini merupakan *flowchart* penerapan algoritma ACO:

Gambar 4 Tahapan Pengolahan Data

Hasil dan Pembahasan

Penelitian yang dilakukan dalam penerapan algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) untuk penyelesaian *Job Shop Scheduling Problem*(JSSP) di PT. Siemens Indonesia menggunakan bantuan perangkat lunak Matlab. Data yang digunakan merupakan hasil pengolahan terhadap data *scheduling* produk PT. Siemens Indonesia. Data ini menjelaskan mengenai *Schedule* bahan baku suatu *project/job* mulai masuk dan diproses di suatu mesin hingga selesai pada mesin tertentu di departemen *Pre-Fabrication* (PF). *Schedule* tersebut diolah dari yang awalnya berbentuk *monitoring board* dirubah kedalam bentuk *matriks* sehingga mudah dalam proses penerapan *re-schedule* menggunakan algoritma ACO dengan bantuan Matlab. Dari hasil pengolahan data didapatkan total waktu penyelesaian (*makespan time*) yang paling minimum.

Seleksi Data

Tahap awal dari perancangan penelitian ini adalah tahap seleksi data, yaitu pemilihan atribut yang nantinya dilakukan proses transformasi data dari data mentah kedalam bentuk tabel matriks untuk diolah ke tahap selanjutnya.

No.	Project Name	Type Project	Komponen (Job)	Status PO	Planning	Flame Cutting (CNC+Sawing+Manual Cutting)	Rolling (Internal & Eksternal)	Machining Small Part	Assy Single Part (Welding+NDT)	Assy Sub Assy (Welding+NDT)
1	LPIC 1	TYPE E	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	23-Feb-15	3-Nov-14	13-Nov-14	14-Nov-14	26-Nov-14	6-Dec-14
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			13-Nov-14	25-Nov-14	26-Nov-14	6-Dec-14	17-Dec-14
2	LPIC 2	TYPE F	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	16-Mar-15	25-Nov-14	4-Dec-14	5-Dec-14	17-Dec-14	1-Jan-15
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			4-Dec-14	16-Dec-14	17-Dec-14	1-Jan-15	10-Jan-15
3	LPIC 3	TYPE A	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	7-Apr-15	16-Dec-14	30-Dec-14	31-Dec-14	10-Jan-15	22-Jan-15
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			30-Dec-14	9-Jan-15	10-Jan-15	22-Jan-15	31-Jan-15
4	LPIC 4	TYPE F	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO NOT RELEASE	28-Apr-15	9-Jan-15	20-Jan-15	21-Jan-15	31-Jan-15	12-Feb-15
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			20-Jan-15	30-Jan-15	31-Jan-15	12-Feb-15	21-Feb-15
5	LPIC 5	TYPE E	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	21-May-15	29-Jan-15	10-Feb-15	11-Feb-15	21-Feb-15	5-Mar-15
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			10-Feb-15	20-Feb-15	21-Feb-15	5-Mar-15	14-Mar-15
6	LPIC 6	TYPE E	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	11-Jun-15	19-Feb-15	3-Mar-15	4-Mar-15	14-Mar-15	26-Mar-15
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			3-Mar-15	13-Mar-15	14-Mar-15	26-Mar-15	7-Apr-15

Gambar 5 Data Mentah *Schedule Planning*

Transformasi Data

Transformasi data merupakan tahapan yang akan dilakukan setelah persiapan dan seleksi data. Pada tahap ini data mentah akan disesuaikan kedalam format yang

diterima oleh perangkat lunak yang akan membantu melakukan pemrosesan data (Matlab). Ada dua tahapan yang akan dilakukan didalam tahapan ini, yaitu:

a. Transformasi Format Data

Pada tahap ini data mentah *schedule planning* tersebut dirubah pada bagian waktu proses dari setiap komponen pada masing-masing mesin kedalam bentuk satuan hari. Gambar 3.2 ini merupakan gambaran hasil transformasi tersebut secara umum.

No.	Project Name	Type Project	Komponen (Job)	Status PO	Planning	Flame Cutting (CNC+Sawing+ Manual Cutting)	Rolling (Internal & Eksternal)	Machining Small Part	Assy Single Part (Welding+ NDT)	Assy Sub Assy (Welding+ NDT)
1	LPIC1	TYPE D	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	23-Feb-15	10	1	12	21	10
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			12	1	10	21	12
			DIFFUSER TS			10	1	12	31	12
			DIFFUSER GS			12	1	10	21	12
2	LPIC2	TYPE E	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	16-Mar-15	10	1	12	21	14
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			12	1	14	21	13
			DIFFUSER TS			10	1	12	35	13
			DIFFUSER GS			12	1	10	25	13
3	LPIC 3	TYPE A	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	7-Apr-15	14	1	11	21	12
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			11	1	12	21	12
			DIFFUSER TS			10	1	12	36	12
			DIFFUSER GS			12	1	14	22	12
4	LPIC 4	TYPE E	LP INNER CASING WELDING-UPPER PART	PO RELEASE	28-Apr-15	12	1	10	21	12
			LP INNER CASING WELDING-LOWER PART			10	1	12	21	12
			DIFFUSER TS			14	1	11	33	12
			DIFFUSER GS			11	1	12	21	12

Gambar 6 Hasil Transformasi Format Data

b. Transformasi Data kedalam Matriks

Tahapan transformasi data kedalam bentuk matriks adalah merubah data satuan hari diatas kedalam bentuk matriks dan simbol dengan tujuan mempermudah dalam proses pengolahan data dan mempermudah ketika melakukan proses pengimputan data menggunakan perangkat lunak matlab tersebut.

Split Data

Tahapan *split data* merupakan tahapan dimana data yang berasal dari transformasi matriks tersebut dikelompokkan berdasarkan kelompok data yang akan diproses sesuai *Schedule planning* dan data yang memiliki sifat *non-deterministik* (tidak dapat diramalkan).

Sifat *non-deterministik* didalam set data ini diambil dari status *purchase order* (PO) *project* yang pada awalnya sudah ditetapkan terlebih dahulu *Schedule planningnya* oleh planner. Namun hingga waktu akan diproses status dari penetapan (*approval*) dari PO tersebut tidak berubah, oleh karena itu perlu dilakukan tindakan pengambilan keputusan mengutamakan *project* yang sudah memiliki status PO (*PO Release*) meskipun *project* yang memiliki status PO *not-release* merupakan *project* yang lebih dahulu direncanakan.

Pengolahan Data Training

Project (Job)		A										B									
Komponen		A1					A2					B1					B2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mesin	M1	10					12					10					12				
	M2		1					1					1					1			
	M3			12					10					12					14		
	M4				10					12					20					11	
	M5					10					12					14					13
Project (Job)		C										D									
Komponen		C1					C2					D1					D2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mesin	M1	14					11					12					10				
	M2		1					1					1					1			
	M3			11					12					10					12		
	M4				12					10					12					10	
	M5					12					12					12					12
Project (Job)		E										F									
Komponen		E1					E2					F1					F2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mesin	M1	12					10					12					10				
	M2		1					1					1					1			
	M3			10					12					10					12		
	M4				12					10					12					13	
	M5					12					12					12					13

Gambar 7 Data Training Project LPIC

Tabel 1 Parameter yang Ditetapkan

Paramater	Keterangan	Ketetapan	Nilai Ketetapan
α	<i>the relative importance of the trail</i>	$\alpha \geq 0$	{1, 2}
β	<i>the relative importance of the visibility</i>	$\beta \geq 0$	{2, 5}
ρ	<i>Trail persistence</i>	$0 \leq \rho < 1$	{0.5, 0.99}
Q	<i>a constant related to the quantity of trail laid by ants</i>		{100, 1000}

Hasil Pemrosesan Data

Adapun kombinasi yang akan dilakukan penelitian $\{\alpha, \beta, \rho, \text{ dan } Q\}$ adalah tertera pada tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2 Kombinasi Parameter

α	β	ρ	Q	Kombinasi
1	2	0.5	100	{1, 2, 0.5, 100}
			1000	{1, 2, 0.5, 1000}
		0.99	100	{1, 2, 0.99, 100}
			1000	{1, 2, 0.99, 1000}
	5	0.5	100	{1, 5, 0.5, 100}
			1000	{1, 5, 0.5, 1000}
		0.99	100	{1, 5, 0.99, 100}
			1000	{1, 5, 0.99, 1000}
2	2	0.5	100	{2, 2, 0.5, 100}
			1000	{2, 2, 0.5, 1000}
		0.99	100	{2, 2, 0.99, 100}
			1000	{2, 2, 0.99, 1000}
	5	0.5	100	{2, 5, 0.5, 100}
			1000	{2, 5, 0.5, 1000}
		0.99	100	{2, 5, 0.99, 100}
			1000	{2, 5, 0.99, 1000}

Gambar 8 Total Makespan Time

Gambar 9 Diagram Hubungan Waktu Dengan *Job* Sebelum dan Sesudah Penambahan *Job*

Gambar 10 Output Waktu Rata – Rata Proses

Tabel 3 Perbandingan Hasil Makespan Time dari Berbagai Paramater

No.	α	β	ρ	Q	Kombinasi	Result		Diferensiasi makespan (Hari)	Waktu Proses					Waktu Proses Rata-rata
						Makespantime Sebelum Penambahan Job (Hari)	Makespantime Setelah Penambahan Job (Hari)		Iterasi 1 (Detik)	Iterasi 2 (Detik)	Iterasi 3 (Detik)	Iterasi 4 (Detik)	Iterasi 5 (Detik)	
1	1	2	0.5	100	{1, 2, 0.5, 100}	207	295	88	0.185	0.163	0.167	0.164	0.165	0.169
2				1000	{1, 2, 0.5, 1000}	207	295	88	0.177	0.163	0.165	0.166	0.162	0.167
3			0.99	100	{1, 2, 0.99, 100}	207	295	88	0.180	0.163	0.163	0.164	0.169	0.168
4				1000	{1, 2, 0.99, 1000}	207	295	88	0.184	0.163	0.163	0.166	0.162	0.168
5		5	0.5	100	{1, 5, 0.5, 100}	207	295	88	0.180	0.162	0.165	0.174	0.167	0.170
6				1000	{1, 5, 0.5, 1000}	207	295	88	0.186	0.163	0.161	0.161	0.161	0.166
7			0.99	100	{1, 5, 0.99, 100}	207	295	88	0.182	0.164	0.164	0.166	0.168	0.169
8				1000	{1, 5, 0.99, 1000}	207	295	88	0.184	0.171	0.164	0.177	0.172	0.174
9	2	2	0.5	100	{2, 2, 0.5, 100}	207	295	88	0.175	0.163	0.162	0.163	0.167	0.166
10				1000	{2, 2, 0.5, 1000}	207	295	88	0.181	0.162	0.167	0.170	0.165	0.169
11			0.99	100	{2, 2, 0.99, 100}	207	295	88	0.177	0.162	0.162	0.163	0.162	0.165
12				1000	{2, 2, 0.99, 1000}	207	295	88	0.178	0.163	0.163	0.163	0.162	0.166
13		5	0.5	100	{2, 5, 0.5, 100}	207	295	88	0.183	0.167	0.164	0.163	0.163	0.168
14				1000	{2, 5, 0.5, 1000}	207	295	88	0.187	0.163	0.166	0.163	0.162	0.168
15			0.99	100	{2, 5, 0.99, 100}	207	295	88	0.179	0.168	0.164	0.164	0.165	0.168
16				1000	{2, 5, 0.99, 1000}	207	295	88	0.185	0.170	0.164	0.176	0.164	0.172

Gambar 11 Grafik Waktu Proses Rata-rata

Dari hasil menunjukan bahwa *makespan time* terkecil sebelum *job* baru datang adalah 207 hari satuan waktu, sedangkan *makespan time* terkecil setelah *job* baru datang adalah 295 hari satuan waktu untuk data dengan menggunakan nilai ketetapan $\{\alpha, \beta, \rho, \text{ dan } Q\} = \{1, 2, 0.5, 100\}$. Dengan ini menjelaskan bahwa untuk menyelesaikan 4 *job* (8 komponen) dengan jumlah mesin sebanyak 5 mesin maka *makespan time* terkecil yang dibutuhkan adalah selama 207 hari. Namun apabila kedatangan *job* yang sifatnya *non-deterministic* maka akan melakukan proses *re-schedull* penjadwalan yang sudah diramalkan, oleh karena itu akan muncul perubahan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan semua *job* termasuk *jobnon-deterministic* tersebut sebesar 295 hari (2 *job non – deterministic*).

Pengolahan Data Testing

Project (Job)		O										P									
Komponen		O1					O2					P1					P2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mein	M1	10					14					12					14				
	M2		1					1					1					1			
	M3			14					12					14					10		
	M4				12					13					20					11	
	M5					11					10					11					10

Project (Job)		Q										R									
Komponen		Q1					Q2					R1					R2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mein	M1	12					12					12					12				
	M2		1					1					1					1			
	M3			12					10					12					10		
	M4				10					11					10					14	
	M5					11					10					11					10

Project (Job)		S									
Komponen		S1					S2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mein	M1	12					15				
	M2		1					1			
	M3			15					13		
	M4				13					9	
	M5					11					10

Project (Job)		T										U									
Komponen		T1					T2					U1					U2				
Operasi		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Mein	M1	13					10					12					13				
	M2		1					1					1					1			
	M3			10					12					13					12		
	M4				12					12					12					12	
	M5					11					10					11					10

Gambar 12 Data Testing Project LPIC

Tabel 4 Parameter Testing yang Ditetapkan

Paramater	Keterangan	Ketetapan	Nilai Ketetapan
α	<i>the relative importance of the trail</i>	$\alpha \geq 0$	{2}
β	the relative importance of the visibility	$\beta \geq 0$	{2}
ρ	<i>Trail persistence</i>	$0 \leq \rho < 1$	{0.99}
Q	<i>a constant related to the quantity of trail laid by ants</i>		{100}

Gambar 13 Output Pengolahan Data Testing

Gambar 14 Diagram Hubungan Waktu Dengan Job Sebelum Dan Sesudah Penambahan Job

Gambar 15 Output Waktu Rata – Rata Proses

Dari hasil menunjukan bahwa *makespan time* terkecil untuk pengolahan data *testing* sebelum *job* baru datang adalah 287 hari satuan waktu, sedangkan *makespan time* terkecil setelah *job* baru datang adalah 362 hari satuan waktu untuk data dengan menggunakan nilai ketetapan $\{\alpha, \beta, \rho, \text{ dan } Q\} = \{2, 2, 0.99, 100\}$. Dengan ini menjelaskan bahwa untuk menyelesaikan 5 *job* (10 Komponen) dengan jumlah mesin sebanyak 5 mesin maka *makespan time* terkecil yang dibutuhkan adalah selama 287 hari. Namun apabila kedatangan *job* yang sifatnya *non-deterministic* (2 *job*) maka akan melakukan proses *re-schedull* penjadwalan yang sudah diramalkan, oleh karena itu akan muncul perubahan waktu yang lebih lama untuk menyelesaikan semua *job* termasuk *jobnon-deterministic* tersebut sebesar 362 hari.

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang didapatkan berdasarkan pengolahan data *testing* untuk penerapan *Ant Colony Optimization* (ACO) berjenis *Ant System* (AS) pada *Job Shop Scheduling Problem* (JSSP) di PT. Siemens Indonesia dengan menggunakan parameter terbaik $\{\alpha, \beta, \rho, \text{ dan } Q\} = \{2, 2, 0.99, 100\}$ adanya perbedaan antara waktu penyelesaian proses produksi *actual* yang ditetapkan oleh *planner* dengan waktu proses produksi yang menggunakan algoritma ACO. Waktu proses *actual* yang

dibutuhkan adalah 1 bulan atau +/- 37 hari untuk penyelesaian 1 komponen oleh karena itu jika mengerjakan 5 *project* (10 komponen) dibutuhkan waktu selama +/- 370 hari, sedangkan didalam data *testing* dengan jumlah 5 *project* (10 komponen) waktu yang dibutuhkan adalah selama 287 hari. Ketika kedatangan job yang bersifat *non – deterministic* sebanyak 2 *project/job* (4 komponen) dibutuhkan waktu selama 362 hari sedangkan secara *actual* dibutuhkan waktu untuk pengerjaan 7 *project/job* (14 komponen) adalah selama +/- 517 hari. Hal ini menunjukan bahwa dengan menerapkan Algoritma ACO didalam JSSP dapat menghemat waktu selama +/- 155 hari.

Daftar Pustaka

- Al Salami, N. M. (2009). Ant Colony Optimization Algorithm. *UbiCC Journal, Volume 4, Number 3*, 823-826.
- Anamisa, D. R., & Djunaidy, A. (2014). Penyelesaian Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Hibridisasi Algoritma Genetika dan Algoritma Koloni Semut. *JUTI, Volume 12, Nomor 1*, 15-20.
- Aprilius, W., Augustino, L., & M. H., O. Y. (2013). Implementasi Algoritma MAX-MIN Ant System pada Penjadwalan Mata Kuliah. *ULTIMATICS, Vol. V, No. 2, ISSN 2085-4552*, 48-53.
- Ariesta, Y. (2012). *Penerapan Ant Colony System Pada Vehicle Routing Problem Untuk Menentukan Rute Distribusi Terpendek*. Jakarta: Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti.
- Astuti, M. (2013). *Studi Penjadwalan Job Shop untuk Meminimalkan Waktu Keseluruhan Menggunakan Pendekatan Algoritma Artificial Immune System*. Yogyakarta: Volume V, Nomor 1.
- Çalis, B., & Bulkan, S. (2013). A research survey: review of AI solution strategies of job shop scheduling problem. *Journal of Intelligent Manufacturing (DOI 10.1007/s10845-013-0837-8)*.
- Dorigo, M. (1996). The Ant System: Optimization by a Colony Of Cooperating Agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics–Part B, Vol.26, No.1, 1996, pp.1-13*, 1-26.
- Dorigo, M., Di Caro, G., & Gambardella, L. (1999). *Ant Algorithms for Discrete Optimization*.
- Flórez, E., Gómez, W., & Bautista, M. (2013). An Ant Colony Optimization Algorithm For Job Shop Scheduling Problem. *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAIA), Vol. 4, No. 4*, 53-66.
- Jones, A., & Rabelo, L. (1998). Survey of Job Shop Scheduling Techniques.
- Laksono, A. (2009). *Algoritma Ant Colony Optimization (ACO) Untuk Menyelesaikan Traveling Salesman Problem (TSP)*. Semarang: Program Studi Matematika Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Diponegoro.

- Omkumar, M., & Shahabudeen, P. (n.d.). Ant Colony Optimization for Multilevel Assembly Job Shop Scheduling. *The International Journal of Applied Management and Technology*, Vol 6, Num 1 (IJAMT), 127-152.
- Rajendran, C., & Ziegler, H. (2004). Ant-colony algorithms for permutation flowshop scheduling to minimize makespan/total flowtime of jobs. *European Journal of Operational Research* 155 (2004), Elsevier, 426-438.
- Ventresca, M., & Ombuki, B. (2004). *Ant Colony Optimization for Job Shop Scheduling Problem*. St. Catharines, Ontario, Canada L2S 3A1: Brock University, Department of Computer Science.
- Zhang, S., Wong, T., Zhang, L., & Wan, S. (n.d.). A two-stage approach based on Ant Colony Optimization Algorithm for Integrated Process Planning and Scheduling. *Proceedings of the 41st International Conference on Computers & Industrial Engineering* (pp. 804-809). Pokfulam Road, Hong Kong: The University of Hong Kong.
- Zukhri, Z., & Alhakim, S. (2004). Algoritma Semut Pada Penjadwalan Produksi Job Shop. *Media Informatika*, Vol. 2, No. 2, ISSN: 0854-4743, 75-81.