

STUDI PENJADWALAN JOB SHOP UNTUK MEMINIMALKAN WAKTU KESELURUHAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN *ALGORITMA ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM*

Marni Astuti

Jurusan Teknik Industri
Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto
Jl. Janti Blok R Lanud Adisutjipto Yogyakarta
Stta_marni@yahoo.co.id

Abstrak

Penjadwalan didefinisikan sebagai suatu tahap dari pengawasan produksi yang menetapkan pekerjaan dalam urutan langkah-langkah yang sistematis sesuai prioritas serta perlengkapan rencana tersebut pada waktu yang tepat dan urutan yang benar. Tujuan penelitian pada kasus penjadwalan mesin produksi adalah untuk menentukan penjadwalan produksi PT. Aneka Adhilogam Karya dengan metode algoritma artificial immune system agar waktu penyelesaian produk minimal dan membandingkan hasil metode dari penelitian sebelumnya menggunakan Algoritma Active Schedule Generation dengan algoritma artificial immune system.

Metode Artificial Immune System adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan mesin pada suatu proses produksi. Metode ini dimulai dengan menentukan populasi antibody awal. Kemudian menentukan gen yang menyusun antibody tersebut. Nilai afinitas menjadi penentu untuk pemilihan Clone yang baik. Sehingga dapat digunakan untuk donor pada antibody yang memiliki rantai tipis (L). Artificial Immune System diakhiri dengan melakukan langkah diversifikasi antibody.

Algoritma Immune System dalam kasus ini dapat digunakan untuk penjadwalan job shop dan menghasilkan nilai mekspan sebesar 61,15 menit dengan rangkaian job 1 – 3 – 5 – 1 – 1 – 4 – 3 – 5 – 4 – 5 – 3 – 2 – 2 – 2. Dibandingkan dengan hasil dari penelitian terdahulu dengan menggunakan algoritma Active Schedule Generation makespan sebesar 62,14 menit dengan rangkaian job 1 – 2 – 5 – 1 – 4 – 1 – 5 – 4 – 5 – 2 – 3 – 2 – 3 – 3 – 3.

Kata Kunci : Penjadwalan, Artificial Immune System, Antibody, Makespan

1. Latar Belakang Masalah

Penjadwalan merupakan faktor penting pada lingkungan industri baik manufaktur maupun jasa. Penjadwalan merupakan pengaturan alokasi sumber daya untuk menyelesaikan tugas-tugas yang melibatkan pekerjaan, sumber daya dan waktu. Pekerjaan yang harus diselesaikan memiliki batas waktu yang mempengaruhi prioritas pekerjaan. Dengan adanya pengaturan proses atau penjadwalan akan mengurangi mesin-mesin yang mengganggu.

Penjadwalan pada proses produksi *job shop* salah satu ciri-cirinya adalah bentuk tata letak *job shop* biasanya digolongkan dari peralatan yang mempunyai fungsi yang mirip di suatu area [1]. Khususnya terdapat beberapa pemesanan yang berbeda untuk diproses dalam waktu dan tempat yang sama serta mempunyai aliran kerja yang hampir sama. Penjadwalan *job shop* merupakan proses pengurutan pekerjaan yang harus melewati beberapa mesin dan urutan proses yang ditempuh masing-masing pekerjaan atau berbeda.

Menyusun semua operasi dari semua *job* pada tiap mesin sehingga keseluruhan *job* dapat diproses menurut urutan pengerjaannya merupakan objek dari masalah penjadwalan *job shop*.

Pada penjadwalan produksi terdapat beberapa kriteria performansi, salah satunya adalah minimasi *makespan*. *Makespan* adalah total waktu terbesar antara jumlah waktu per *job* atau total waktu proses yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kumpulan tugas (*job*). Dengan adanya penjadwalan, semua jenis produk dapat diselesaikan sesuai dengan prioritasnya dan waktu pengerjaan dapat diminimalkan, sehingga *makespan* keseluruhan menjadi minimal. [6]

Penelitian yang dilakukan oleh Suharni Lumban Gaol [10] menyimpulkan bahwa penjadwalan kondisi aktual perusahaan menghasilkan waktu penyelesaian keseluruhan produk sebesar 63.84 menit. Penjadwalan menggunakan algoritma *Active Schedule Generation* adalah sebesar 36.05 menit, *Non Delay Schedule Generation* adalah sebesar 36.05 menit, dan algoritma *Heuristic Schedule Generation* adalah sebesar 38.85 menit. Penjadwalan algoritma yang mempunyai waktu penyelesaian paling minimum/optimal adalah penjadwalan Algoritma *Active Schedule Generation* dan Algoritma *Non Delay Schedule Generation*. Dengan penjadwalan Mesin 1 : Job 1 operasi 1 (1,1,1), job 3 operasi 1(3,1,1), dan job 2 operasi 2 (2,1,1). Mesin 2 : Job 2 operasi 1 (2,1,2), job 1 operasi 2 (1,2,2). Mesin 3 : Job 3 operasi 2 (3,2,3), job 1 operasi 3 (1,3,3), dan job 2 operasi 3 (2,3,3).

Rosnani Ginting & T.U. Hidayat S. Ginting [8] melakukan Studi Aplikasi Metode *Artificial Immune System* Dalam Penjadwalan *Flow Shop*. Perhitungan *makespan* untuk order 2 Mei 2005 dengan *due date* 30 Mei 2005 (order pertama) adalah 6801,22 menit atau pada tanggal 26 Mei 2005 dan perhitungan *makespan* untuk order 16 Mei 2005 dengan *due date* 4 Juni 2005 (order kedua) adalah 4870,99 atau pada tanggal 31 Mei 2005. Disimpulkan seluruh *job* dapat diselesaikan pada tanggal 31 Mei 2005 atau pada 9180 menit.

Satriyo Adhy dan Kushartantya [9] melakukan perhitungan dan pengkajian penggunaan algoritma genetika pada sebuah proses produksi yang terdiri dari 3 pekerjaan dan 3 mesin. Dengan menggunakan kromosom bilangan bulat, *makespan*, nilai fitness, probabilitas fitness dan probabilitas kumulatif, dihasilkan jadwal sebagai berikut : 3 – 3 – 4 – 1 – 2 – 3 - 2 – 3 – 2 – 2 – 4 – 1 – 4 – 1 – 1 – 4 dengan *makespan* 138 menit. Solusi yang didapatkan dalam penyelesaian JSP dengan algoritma genetika belum tentu merupakan hasil yang paling optimal. Hal ini dikarenakan algoritma genetika menggunakan bilangan random yang berperan dalam pencarian sehingga dengan nilai parameter yang sama dapat menghasilkan solusi yang berbeda pada waktu yang berbeda.

Penelitian ini dilakukan pada PT. Aneka Adhilogam Karya. Dari penelitian terdahulu yang telah dilakukan, objek penelitian dikembangkan lagi berdasarkan jumlah dari pekerjaan (*job*), desain produk, penggunaan mesin dan metode penjadwalan. Penelitian terdahulu menggunakan metode penjadwalan Algoritma *Active Schedule Generation* sedangkan pada penelitian ini penjadwalan menggunakan metode algoritma *artificial immune system* yang merupakan salah satu algoritma pencarian terstruktur yang didasarkan pada analogi mekanisme imun tubuh manusia, di mana antibodi ditugaskan untuk menyerang benda asing yang masuk (*antigen*) [2]. Sistem imun dilakukan dengan cara antibodi berevolusi memperbaiki diri (*innate*) yang dilakukan oleh sel dan antibodi belajar dari cara melawan antigen (*acquired*). Antibodi pada dua sub populasi ini mengalami persilangan, mutasi, hipermutasi dan penentuan nilai kesesuaian untuk tiap pola antibodi pada proses berikutnya. Set solusi yang memiliki fungsi tujuan yang rendah

akan dihapus dan diganti oleh set solusi yang baru. Set solusi yang baru tersebut dibentuk berdasarkan set solusi sebelumnya yang memiliki fungsi suaian yang tinggi.

Oleh karena itu, tujuan penelitian pada penjadwalan mesin produksi adalah menentukan penjadwalan produksi PT. Aneka Adhilogam Karya dengan metode algoritma *artificial immune system* guna penentuan makespan minimal dan membandingkan hasil metode dari penelitian sebelumnya menggunakan Algoritma *Active Schedule Generation*

2. Metodologi Penelitian

Penjadwalan mesin dan *job* pada penelitian sebelumnya, menjadi pembandingan dengan menggunakan *Algoritma Immune System*.

Langkah ini merupakan langkah pertama dari *Algoritma Immune System* yang disebut inialisasi acak dari populasi *antibody*.

Langkah kedua adalah representasi antibodi dan klasifikasi gen. Pada langkah ini untuk j pekerjaan dan m mesin, suatu antibodi berisi $j \times m$ gen. Setiap pekerjaan j tampil di dalam antibodi tersebut m kali dan masing-masing pengulangan gen (bilangan integer) tidak mengindikasikan suatu operasi yang kongkrit dari suatu pekerjaan, tetapi mengacu kepada suatu operasi yang unik.

Langkah ketiga adalah pengembangbiakan *clone*. Pada tahap ini, gen-gen rantai tipis dilakukan pengembangbiakan *clone* yang mengambil mutasi bilangan acak dimana *job* pada bilangan baru memiliki *job* yang sama tapi berupa rantai tebal untuk mendapatkan rentang waktu yang lebih minimum. Nilai *affinity* dari masing-masing jadwal dihitung sesuai dengan fungsi *affinity*. Doyen, dkk (2003) merumuskan fungsi *affinity* sebagai berikut :

$$\text{Affinity}(z) = 1/\text{makespan}(z)$$

Dimana z adalah antibodi yang akan dihitung

Langkah keempat adalah seleksi untuk antibodi-antibodi donor. Antibodi donor diambil dari beberapa sampel yang dirasa dapat menggantikan gen rantai tipis yang ada pada *job* sebelumnya.

Langkah kelima adalah konstruksi *germ-line*. Merupakan pembentukan garis yang dianggap memenuhi asumsi dari perhitungan *job* yang ada.

Langkah keenam adalah pengaturan ulang fragmen gen, dimana pada langkah ini dilakukan berdasarkan pengaturan yang berbasiskan mesin.

Langkah ketujuh adalah diversifikasi antibodi. Pada bagian ini hanya beberapa mekanisme yang dapat diterapkan berdasarkan urutan pekerjaan terhadap mesin yang digunakan. Mekanisme yang dilakukan antara lain dalam upaya meminimasi makespan:

- a. Mutasi titik somatis
Dengan asumsi mesin yang memiliki proses terpanjang dilakukan belakangan
- b. Rekombinasi somatis
Merupakan proses pemilihan 1 atau lebih fragmen gen rantai tebal dengan panjang yang sama untuk dilakukan pertukaran yang parsial di antara dua fragmen tersebut.

3. Hasil dan Pembahasan

PT. Aneka Karya adalah perusahaan yang melaksanakan usaha dalam bidang industri pengecoran logam, dengan produksi utama berupa *cast iron pipe fittings* atau sambungan pipa dari besi tuang kelabu. Data dan jumlah mesin produksi pada PT. Aneka Adhilogam Karya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Jenis dan Jumlah Mesin Produksi PT. Aneka Adhilogam Karya

No	Jenis mesin	Jumlah mesin	Simbol jenis mesin
1	Bubut	14	1
2	Bor	5	2
3	Gerinda Tangan	5	3

Produk-produk yang dibuat adalah Collar, Flange Socket, Flange Spegod, Giboult Joint, dan Clamp Saddle. Untuk selanjutnya kelima produk tersebut dianggap sebagai *job-job* dengan rincian sebagai berikut :

Job 1 = Collar

Job 2 = Flange Socket

Job 3 = Flange Spegod

Job 4 = Giboult Joint

Job 5 = Clamp Saddle

Setiap job dalam prosesnya melalui beberapa tahapan atau operasi, dan setiap operasi pada setiap job melalui mesin yang berbeda-beda tergantung proses yang akan dilakukan. Berikut urutan operasi tiap-tiap job.

1. Collar
 - a. Operasi 1 pada mesin Bubut : Membubut dan membuat bentuk dan ukuran yang diinginkan.
 - b. Operasi 2 pada mesin Bor: Membuat lubang berdiameter 23 mm untuk baut.
 - c. Operasi 3 pada mesin Gerinda tangan: Menghaluskan benda kerja.
2. Flange Socked
 - a. Operasi 1 pada mesin Bor : Membuat lubang berdiameter 23 mm untuk baut.
 - b. Operasi 2 pada mesin Bubut : Membubut dan membuat ukuran sesuai yang diinginkan.
 - c. Operasi 3 pada mesin Gerinda tangan: Menghaluskan benda kerja.
3. Flange Spegod
 - a. Operasi 1 pada mesin Bor : Membuat lubang berdiameter 23 mm untuk baut.
 - b. Operasi 2 pada mesin Bubut : Membubut dan membuat ukuran sesuai yang diinginkan.
 - c. Operasi 3 pada mesin Gerinda tangan: Menghaluskan benda kerja.
4. Giboult Joint
 - a. Operasi 1 pada mesin Bubut : Membubut dan membuat bentuk dan ukuran yang diinginkan.
 - b. Operasi 2 pada mesin Gerinda tangan: Menghaluskan benda kerja.
5. Clamp Saddle
 - a. Operasi 1 pada mesin Bubut : Membubut dan membuat bentuk dan ukuran yang diinginkan.
 - b. Operasi 2 pada mesin Bor: Membuat lubang berdiameter 23 mm untuk baut.
 - c. Operasi 3 pada mesin Gerinda tangan: Menghaluskan benda kerja.

Pada proses produksinya setiap job terdiri dari beberapa operasi. Urutan proses produk-produk di atas dapat dilihat dalam matriks urutan proses berikut :

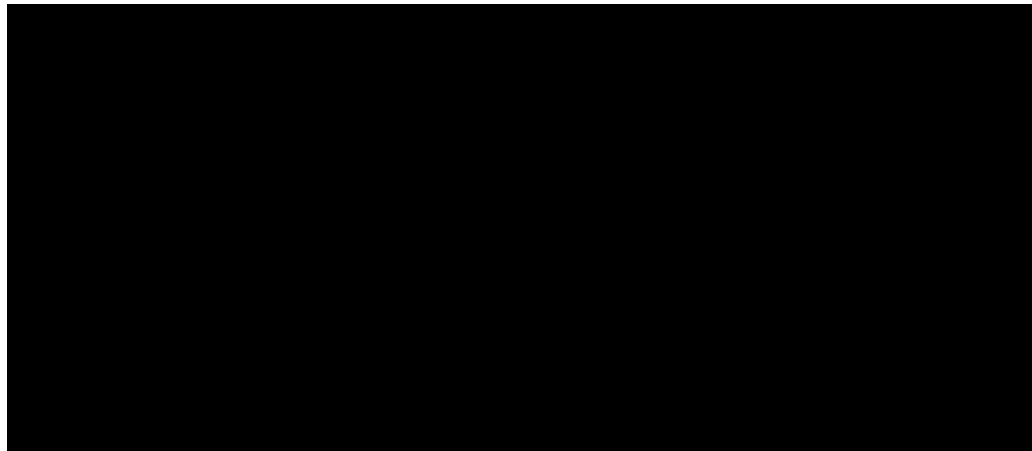
Tabel 2. Urutan Job/produk pada tiap mesin dan masing-masing operasi

No.	Job/produk	Operasi 1	Operasi 2	Operasi 3
1	Collar	(1) 6.95	(2) 7.00	(3) 3.89
2	Flange Socket	(2) 13.02	(1) 13.02	(3) 7.16
3	Flange Spegod	(2) 13.07	(1) 14.02	(3) 7.41
4	Giboult Joint	(1) 7.67	(3) 4.10	
5	Clamp Saddle	(1) 7.24	(2) 7,63	(3) 4,81

Dari tabel di atas, akan dilakukan perhitungan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dengan menggunakan Algoritma Artificial Immune System. Penggunaan sumber daya mesin yang sama untuk menyelesaikan pekerjaan (*job*) yang berbeda membutuhkan penjadwalan yang lebih baik, sehingga akan mencapai *makespan* yang lebih kecil. Dimana, *makespan* merupakan salah satu indikator keberhasilan pengukuran penjadwalan [1]

1. Initalisasi acak dari populasi antibodi

Rangkaian integer awal yang menyandikan populasi antibodi dihasilkan secara acak yang melambangkan job dengan proses awal sesuai jadwal yang dihasilkan oleh metode sebelumnya yaitu Active Schedule Generation dengan makespan sebesar 62,14 menit dan rangkaian mesin sebagai berikut : 1 – 2 – 5 – 1 – 4 – 1 – 5 – 4 – 5 – 2 – 3 – 2 – 3 – 3



Gambar 1. Gantt Chart Rangkaian Awal Penjadwalan dengan Metode Algoritma Schedule Generation

2. Representasi antibodi dan klasifikasi gen

Untuk n pekerjaan dan m mesin, suatu antibodi berisi $m \times n$ gen. Setiap pekerjaan muncul berulang pada antibodi tersebut. Dan setiap pengulangan gen (bilangan integer) memiliki operasi yang unik dan merupakan karakteristik yang berbeda pada masing-masing operasi. Setiap pekerjaan yang dilakukan pada masing-masing mesin memiliki waktu pengerjaan yang berbeda-beda, tergantung dari bentuk dan lama waktu setiap operasi. Elemen waktu merupakan nilai yang akan menunjukkan total waktu pengerjaan dari semua *job*. Untuk penentuan rantai dilakukan dengan melihat proporsi gen rantai ringan terhadap gen rantai berat. Rantai ringan (*Light Chains*) ditunjukkan oleh mesin yang berada pada akhir suatu pekerjaan. Mesin 3 mendominasi rantai ringan pada rangkaian awal penjadwalan *job shop*. Ringkasan pekerjaan dan mesin berdasarkan jenis rantai ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3. Urutan Pekerjaan, Mesin dan Jenis Rantai

Antibody i	Daftar Mesin	Daftar Waktu (Menit)	Jenis Rantai	Antibody i	Daftar Mesin	Daftar Waktu (Menit)	Jenis Rantai
1	1	6,95	H	4	3	4,10	L
2	2	13,02	H	5	3	4,81	L
5	1	7,24	H	2	1	13,02	H
1	2	7,00	H	3	2	13,07	H
4	1	7,67	H	2	3	7,16	L
1	3	3,89	L	3	1	14,02	H
5	2	7,63	H	3	3	7,41	L

3. Pengembangbiakan *clone*

Pengembangbiakan *clone* terjadi pada rantai ringan (L). Pada tahap ini dilakukan penyusunan jadwal mesin ulang berdasarkan populasi awal. Pengembangbiakan *clone* dilakukan dengan mendonor rantai ringan sehingga menjadi rantai berat. Rantai ringan berada pada akhir penggunaan mesin dari suatu pekerjaan (*job*). Selain itu, pengembangbiakan *clone* untuk mencari ruang yang lebih luas dengan pertukaran waktu yang dibutuhkan. Hal ini dilakukan secara acak, sehingga menemukan makespan untuk masing-masing jadwal mesin yang baru berdasarkan gen rantai tipisnya.

Donor	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5
Mesin	1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	3	1	2	3
	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	H	H	L

Gambar 2. Donor Terpilih

Pemilihan rangkaian urutan mesin dilakukan dengan mengurutkan semua pekerjaan pada mesin-mesin .

4. Seleksi untuk antibodi-antibodi donor.

Antibodi donor diambil dari beberapa sampel yang dirasa dapat menggantikan gen rantai tipis yang ada pada job sebelumnya. Semakin banyak daftar pengerjaan suatu job pada mesin maka akan semakin banyak donor yang bisa didapat.

Benih	1	2	5	1	4	1	5	4	5	2	3	2	3	3
Mesin	1	2	1	2	1	3	2	3	3	1	2	3	1	3
Donor	1	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5
Mesin	1	2	3	2	1	3	2	1	3	1	3	1	2	3
	H	H	L	H	H	L	H	H	L	H	L	H	H	L
Antibodi	1	2	5	1	4	1	5	3	2	2	3	5	3	4
Mesin	1	2	1	2	1	3	2	3	3	1	2	3	1	3
Jenis Rantai	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

Gambar 3. Pencarian Antibodi untuk Perbaikan Mesin 3

Dari benih yang ada didapat donor dari bilangan acak yang menghasilkan rangkaian baru yang mengandung makespan lebih kecil. Penambahan donor gen rantai tipis (L) terdapat pada mesin 3 tiap job agar gen rantai tipis menjadi gen rantai tebal (H). Hal ini untuk memungkinkan diverkasi gen yang hanya bisa dilakukan pada gen rantai tebal (H). Mesin 3 merupakan satu-satunya mesin yang paling banyak digunakan pada *job* dan berada pada akhir tiap *job*. Didapat rangkaian yang seluruhnya memiliki rantai tebal (H).

5. Konstruksi *germ-line*.

Merupakan pembentukan garis yang dianggap memenuhi asumsi dari perhitungan *job* yang ada. Sebagai asumsi diambil perbaikan pada *job* yang mengalami penggunaan mesin terbanyak. Sehingga rangkaian yang didapat adalah pembentukan antibodi baru berdasarkan donor yang diujikan. Dari pengembangan *clone* dan seleksi diperoleh rangkaian baru sebagai berikut:

Antibodi	1	2	5	1	4	1	5	3	2	2	3	5	3	4
Mesin	1	2	1	2	1	3	2	3	3	1	2	3	1	3
Jenis Rantai	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

Gambar 4. Konstruksi *Germ-Line* yang Baru

Rangkaian germ-line yang baru memiliki makespan yang lebih besar dari rangkaian awal. Dari hasil Gantt Chart diperoleh makespan sebesar 62,15 yang ditunjukkan pada gambar..... Artinya, bahwa bilangan acak yang diambil belum dapat mewakili dari rangkaian yang dapat memperbaiki nilai makespan. Dengan demikian akan dilakukan pengaturan ulang pada penjadwalan yang berbasis mesin.

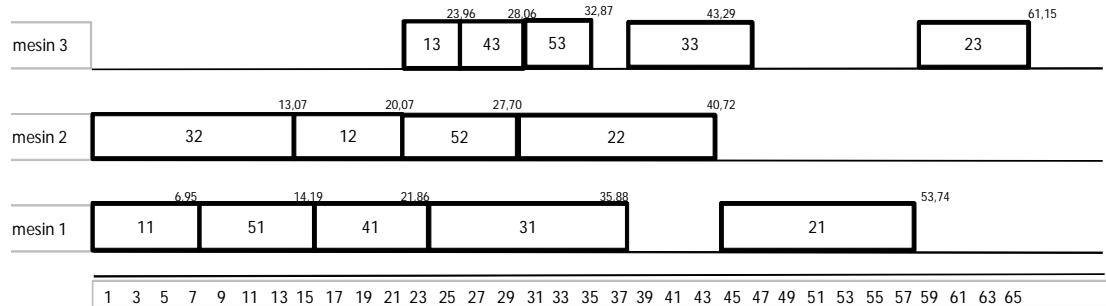
6. Pengaturan ulang fragmen gen

Dimana pada langkah ini dilakukan berdasarkan pengaturan yang berbasis mesin. Dari pengaturan rangkaian awal dengan melihat Gantt Chart, masih terdapat jarak waktu yang lama pada pengerjaan *job* 3 dan diletakkan pada akhir proses. Pada mesin 3 juga terdapat waktu menganggur sebesar 10,97 menit. Dari kondisi tersebut, pengaturan ulang penjadwalan dilakukan pada *job* 3 di tiap-tiap mesin dan pengaturan ulang penggunaan mesin 3 untuk semua *job*. Pengaturan juga dilakukan secara acak, sehingga menghasilkan makespan yang lebih kecil. Pengerjaan dilakukan dengan menempatkan pengerjaan *job* yang memiliki waktu total paling lama di awal rangkaian. Dengan bantuan Gantt Chart yang ditunjukkan pada gambar, pengaturan ulang dihasilkan rangkaian baru sebagai berikut :

Donor	3	1	5	1	1	4	3	5	4	5	3	2	2	2
Mesin	2	1	1	2	3	1	1	2	3	3	3	2	1	3
	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H

Gambar 5. Pengaturan Ulang Rangkaian Berbasis Mesin

7. Diversifikasi antibodi. Pada bagian ini hanya beberapa mekanisme yang dapat diterapkan berdasarkan urutan pekerjaan terhadap mesin yang digunakan. Hal ini karena adanya *job-job* yang tidak dapat dilakukan mekanisme antibodi tanpa melihat urutan pengerjaan seharusnya dari pekerjaan yang telah ditetapkan. Sehingga diperlukan perhatian pada saat menerapkan mekanisme-mekanisme untuk mendapatkan jadwal yang diinginkan. Mekanisme yang dilakukan antara lain dalam upaya meminimasi makespan adalah dengan mutasi titik somasi. Mekanisme ini dilakukan dengan asumsi mesin yang memiliki proses terpanjang dilakukan paling akhir dari proses produksi. Didapatkan dari pengamatan, *job* 3 memiliki waktu proses terlama. Tetapi, mekanisme dengan menempatkan *job* 3 pada akhir proses produksi menghasilkan makespan yang lebih besar dari rangkaian awal. Oleh karena itu, waktu proses kedua yang paling lama adalah *job* 2. Dengan mekanisme menempatkan *job* 2 pada akhir proses produksi menghasilkan makespan lebih kecil sebesar 61,15 menit dibandingkan dengan makespan rangkaian awal sebesar 62,14 menit. Dan didapatkan rangkaian baru dengan urutan pekerjaan : 1 – 2 – 1 – 2 – 3 – 1 – 1 – 2 – 3 – 3 – 3 – 2 – 1 – 3



Gambar 6. Gantt Chart Rangkaian Baru Berbasis Mesin

4. Kesimpulan

1. Algoritma Immune System dapat digunakan untuk penjadwalan job shop dan menghasilkan nilai makespan sebesar 61,15 menit.
2. Dari pengolahan data didapatkan hasil penjadwalan antara metode Algoritma Immune System dan Algoritma Active Schedule Generation sebagai berikut:
 1 – 3 – 5 – 1 – 1 – 4 – 3 – 5 – 4 – 5 – 3 – 2 – 2 – 2 makespan 61,15 menit
 1 – 2 – 5 – 1 – 4 – 1 – 5 – 4 – 5 – 2 – 3 – 2 – 3 – 3 makespan 62,14 menit

Daftar Pustaka

- [1] Badworth David D, *Integrated Production Control System*, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1987
- [2] De Castro, L. N. dan F. J. Von Zuben, *Artificial Immune System Part I Basic Theory and Application*, Technical Report, TR-DCA 01/99, 1999
- [3] Doyen, dkk., *A New Artificial Immune System Approach to Solve Permutation Flow Shop Scheduling Problems*, IJCI Proceeding of Intl. Vol. 1, No. 1, 2003
- [4] Eko Sutrisno, *Analisis Kombinasi Produk Guna Mengoptimalkan Sumber Daya Dengan Menggunakan Program Linear*, Skripsi, Teknik Industri STTA, Yogyakarta, 2010
- [5] Intan Berlianty & Miftahol Arifin, *Teknik-teknik Optimasi Heuristik*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2008
- [6] Nasution Hakim Arman, *Perencanaan & Pengendalian Produksi*, Edisi Pertama, Penerbit Guna Widya, Surabaya, 2003.
- [7] Panji Asmoro, *Analisa Penjadwalan Job Shop Dengan Metode Heuristic*, skripsi, Teknik Industri AKPRIN, 2005
- [8] Rosnani Ginting & T.U. Hidayat S. Ginting, *Studi Aplikasi Metode Artificial Immune System Dalam Penjadwalan Flow Shop*, Jurnal Sistem Teknik Industri, Sumatra Utara, 2006
- [9] Satriyo Adhy dan Kushartantya, *Penyelesaian Masalah Job Shop Menggunakan Algoritma Genetika*, Jurnal Masyarakat Informatika, Volume 1, Nomor 1, ISSN 2086-4930
- [10] Suharni Lumban Gaol, *Analisa Penjadwalan Job Shop Untuk Meminimalkan Waktu Keseluruhan Menggunakan Pendekatan Heuristic Dispatching Rule*, Skripsi, Teknik Industri STTA, 2010

- [11] Taillard, E, Benchmarks Basic Scheduling Problems, ORWP89/21 Dec, 1989