

Artificial Intelligence dalam Proses Industri Manufaktur

Imam Husni Al Amin

Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Stikubank Semarang
imam_husni@yahoo.co.id

Abstrak

Permasalahan sistim manufaktur dan perencanaan engineering (sistem pabrikasi dan masalah desing rancang-bangun) pada kenyataannya sangat kompleks dan sulit untuk diselesaikan melalui teknik konvensional. Dalam beberapa tahun terakhir ini teknik kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) atau disingkat AI mendapat perhatian dan mempunyai potensi sebagai teknik optimasi dalam industri manufaktur.

Kata kunci: Algorithm Genetic, Simulated Annealing, Tabu Search, Algorithm Immune

1. Pendahuluan

Optimasi memainkan peran penting dalam system manufaktur dan problem engineering design. Seperti diketahui bahwa optimasi berhubungan dengan sebuah persoalan yang dapat mempunyai nilai maksimum atau minimum dari sebuah fungsi dengan beberapa variable yang biasanya diikuti oleh pembatas kesamaan atau ketidaksamaan. Tujuannya memberikan penyelesaian yang efektif pada persoalan system manufaktur dengan utilisasi sumber yang efisien semuanya merupakan *priority* waktu.

Optimalisasi bertujuan untuk meminimalkan biaya, kelebihan bahan baku, memaksimalkan keuntungan dari operasi manufaktur. Teknik matematik dapat diadopsi untuk memberikan penyelesaian yang baik berpedoman pada biaya, keuntungan atau waktu. Teknik optimasi telah banyak memberikan pengaruh pada lingkungan manufaktur, jumlah dan jenis aplikasinya berkembang dengan cepat.

Langkah pertama adalah memahami dan mengidentifikasi apa yang harus dioptimasi. Dalam banyak kasus dimana analisa matematik menjadi persoalan optimal, maka fungsi tujuannya berbentuk persamaan matematik. Sekali persamaan tujuan telah didefinisikan maka beberapa urutan pembatas digunakan untuk mencapai tujuan tersebut, langkah selanjutnya adalah mengaplikasi urutan pembatas pada

persamaan tujuan. Pembatas utama didalam fasilitas manufaktur adalah waktu. Aplikasi pembatas dapat menjadikan penyelesaian yang optimal dimungkinkan berbeda dari penyelesaian secara naluri. Hal ini dilihat bahwa persoalan cenderung menjadi kompleks dan karenanya tinjauan selanjutnya optimasi tidak dapat memberikan penyelesaian terbaik. Prinsip utama yang dapat diikuti dalam penyelesaian persoalan optimasi adalah melalui fungsi tujuan dengan pembatas-pembatas system.

Dasar dari optimasi berlandaskan pada pengertian kebenaran sifat dasar dari system manufaktur yang dalam istilah umum terdapat input, proses, dan output. Oleh karenanya system manufaktur berpusat pada waktu, dimana performansinya dapat ditingkatkan dengan mengatur fungsi tujuan seperti minimasi waktu dan maksimasi keuntungan. Namun demikian banyak persoalan system manufaktur dan perencanaan rekayasa (manufacturing systems and engineering design problem) dalam realitasnya sangat kompleks dan sulit untuk diselesaikan dengan cara teknik konvensional. Dewasa ini teknik kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) atau biasa disingkat AI telah dipertimbangkan dan mendapatkan perhatian yang berpotensi sebagai teknik optimasi yang baik. Tipe dari teknik optimasi ini adalah *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, *Tabu Search* dan *Immunue Algotithm*.

Aplikasi AI dalam manufaktur telah menjadi perhatian penelitian yang intensif dalam dua decade ini. Gelombang aplikasi AI menurut Mazaine (2000) disebabkan meningkatnya kemampuan komputer. Pembahasan ini adalah contoh teknik kecerdasan buatan sebagai alat optimasi dalam system manufaktur.

2. Tipe Teknik Optimasi AI

2.1. Algoritma Genetik

Genetic Algorithm mempunyai prosedur dengan mengadaptasi proses seleksi alam. Proses Algoritma Genetik diawali dengan sebuah penyelesaian dengan pembentukan populasi secara acak. Setiap individu dalam populasi disebut dengan kromosom, yang menggambarkan suatu penyelesaian. Sebuah kromosom biasanya digambarkan sebagai suatu simbol string yang biasanya berbentuk biner, namun tidak selalu demikian. Kromosom-kromosom ini melakukan regenerasi melalui urutan iterasi. Selama regenerasi kromosom dievaluasi menggunakan ukuran yang disebut dengan nilai kekuatan (*fitness value*) (Gen dan Cheng 1997). Untuk membentuk generasi selanjutnya kromosom baru disebut anak kromosom (*offspring*) diperoleh dengan cara mengawinkan dua kromosom dengan persilangan (*Crossover*) atau memodifikasi melalui operator mutasi. Generasi baru yang terbentuk dipilih mengikuti nilai kekuatan atau tetap mempertahankan populasi. Kromosom disebut layak untuk diterima menjadi penyelesaian optimal jika kromosom tersebut kuat dan memiliki peluang tinggi. Setelah beberapa generasi maka algoritma terpusat pada kromosom terbaik, yang dapat menyelesaikan suatu penyelesaian yang optimal. Aspek penting dari GA adalah inisialisasi populasi, representasi kromosom, persilangan, mutasi, seleksi, terminasi dan fungsi evaluasi. GA telah membuktikan sebagai optimalisasi yang efektif yang dapat memberikan penyelesaian terbaik atau mendekati optimal.

2.2. Simulated Annealing

Simulated Annealing (SA) adalah penyelesaian secara heuristic untuk mencari penyelesaian optimal dari sebuah persoalan dengan beberapa kali melakukan pencarian lokal optimal, dan secara dinamis melakukan

penggantian secara probabilitas penyelesaian yang telah diterima namun lebih lemah dari penyelesaian yang lebih kuat.

Teknik SA pertama kali diperkenalkan oleh Kirkpatrick (1982). Ide ini berdasarkan pada algoritma metropolis (Metropolis, 1953). Teknik SA melakukan proses simulasi pendinginan dari bahan padat dan keras yang dikenal dengan istilah *Annealing*. Walau demikian analogi ini dibatasi dengan gerak fisik dari molekul tanpa melibatkan kompleksitas system thermo dinamik. SA telah mendapatkan perhatian karena dapat diaplikasikan pada lingkup yang luas suatu persoalan optimasi diskrit dan kontinyu.

SA merupakan salah satu algoritma untuk optimisasi yang bersifat generik. Berbasiskan probabilitas dan mekanika statistik, algoritma ini dapat digunakan untuk mencari pendekatan terhadap solusi optimum global dari suatu permasalahan. Masalah yang membutuhkan pendekatan SA adalah masalah-masalah optimisasi kombinatorial, di mana ruang pencarian solusi yang ada terlalu besar, sehingga hampir tidak mungkin ditemukan solusi eksak terhadap permasalahan itu. Publikasi tentang pendekatan ini pertama kali dilakukan oleh S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt dan M. P. Vecchi, diaplikasikan pada desain optimal hardware komputer, dan juga pada salah satu masalah klasik ilmu komputer yaitu *Traveling Salesman Problem*.

Annealing adalah satu teknik yang dikenal dalam bidang metalurgi, digunakan dalam mempelajari proses pembentukan kristal dalam suatu materi. Agar dapat terbentuk susunan kristal yang sempurna, diperlukan pemanasan sampai suatu tingkat tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang perlahan-lahan dan terkendali dari materi tersebut. Pemanasan materi di awal proses annealing, memberikan kesempatan pada atom-atom dalam materi itu untuk bergerak secara bebas, mengingat tingkat energi dalam kondisi panas ini cukup tinggi. Proses pendinginan yang perlahan-lahan memungkinkan atom-atom yang tadinya bergerak bebas itu, pada akhirnya menemukan tempat yang optimum, di mana energi internal yang dibutuhkan atom itu untuk mempertahankan posisinya adalah minimum.

Simulated Annealing berjalan berdasarkan analogi dengan proses annealing yang telah dijelaskan diatas. Pada awal proses SA, dipilih suatu solusi awal, yang merepresentasikan kondisi materi sebelum proses dimulai. Gerakan bebas dari atom-atom pada materi, direpresentasikan dalam bentuk modifikasi terhadap solusi awal/solusi sementara. Pada awal proses SA, saat parameter suhu (T) diatur tinggi, solusi sementara yang sudah ada diperbolehkan untuk mengalami modifikasi secara bebas.

Kebebasan ini secara relatif diukur berdasarkan nilai fungsi tertentu yang mengevaluasi seberapa optimal solusi sementara yang telah diperoleh. Bila nilai fungsi evaluasi hasil modifikasi ini membaik (dalam masalah optimisasi yang berusaha mencari minimum berarti nilainya lebih kecil/downhill) solusi hasil modifikasi ini akan digunakan sebagai solusi selanjutnya. Bila nilai fungsi evaluasi hasil modifikasi ini memburuk, pada saat temperatur annealing masih tinggi, solusi yang lebih buruk (uphill) ini masih mungkin diterima. Dalam tahapan selanjutnya saat temperatur sedikit demi sedikit dikurangi, maka kemungkinan untuk menerima langkah modifikasi yang tidak memperbaiki nilai fungsi evaluasi semakin berkurang. Sehingga kebebasan untuk memodifikasi solusi semakin menyempit, sampai akhirnya diharapkan diperoleh solusi yang mendekati solusi optimal.

2.3. Tabu Search

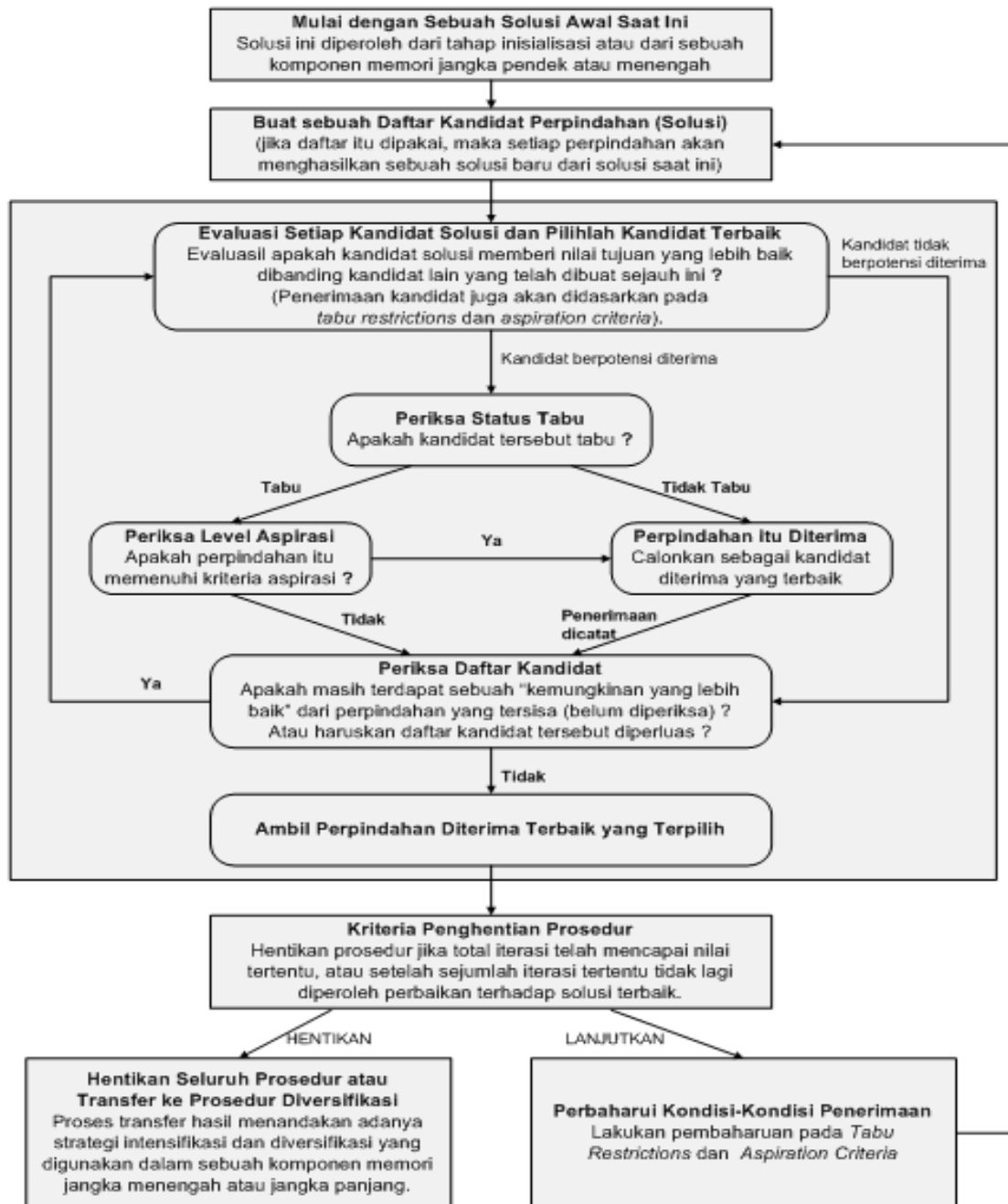
Tabu Search (TS) adalah teknik yang menggunakan petunjuk metal heuristic pencarian local untuk mengeksplorasi ruang penyelesaian yang dilakukan secara berulang. Seperti halnya SA maka TS sanggup melakukan pencarian berulang (pencarian local). TS sebagai teknik intelligent pencarian yang berhubungan dengan beberapa pembatas sebagai petunjuk proses pencarian. Semula TS tidak banyak dikenal dibanding dengan AG dan SA, namun pada saat ini TS telah sukses diaplikasikan pada sejumlah persoalan dan mulai banyak dipakai, Aplikasi pemakaian TS telah dipublikasikan mulai tahun 1990.

Tabu search (TS) pertama kali diperkenalkan oleh Glover sekitar tahun 1986. Glover menyatakan bahwa TS adalah salah satu

prosedur metaheuristik tingkat tinggi untuk penyelesaian permasalahan optimisasi kombinatorial. TS ini dirancang untuk mengarahkan metode-metode lain (atau komponen proses TS itu sendiri) untuk keluar atau menghindari dari masuk dalam solusi optimal yang bersifat lokal. Kemampuan TS dalam menghasilkan solusi yang mendekati optimal telah dimanfaatkan dalam beragam permasalahan klasik dan praktis dari berbagai bidang mulai bidang penjadwalan hingga bidang telekomunikasi .

Glover mengatakan bahwa prosedur TS ini dapat ditemukan dalam tiga pola (*scheme*) utama. Pola pertama adalah adanya penggunaan struktur memori berbasis atribut-atribut fleksibel yang dirancang untuk membolehkan sebuah kriteria evaluasi dan hasil pencarian di masa lalu dieksploitasi lebih mendalam. Pola ini menjadikan TS berbeda dengan aplikasi lain yang menggunakan struktur memori yang rigid (kaku) atau tanpa menggunakan struktur memori (seperti *simulated annealing*). Pola kedua adalah penggunaan mekanisme atau kondisi yang dapat membatasi atau membebaskan suatu proses pencarian yang sedang berlangsung. Pola kedua ini dikenal sebagai mekanisme *tabu restriction* dan *aspiration criteria*. Pola ketiga adalah pelibatan suatu fungsi memori dengan rentang waktu yang berbeda yakni berupa memori jangka pendek (*short term memory*) dan memori jangka panjang (*long term memory*) untuk menjalankan strategi intensifikasi dan diversifikasi dalam proses pencarian solusi. Strategi intensifikasi adalah strategi pencarian yang mengarahkan / memfokuskan pencarian pada suatu area tertentu, sedangkan strategi diversifikasi adalah strategi pencarian yang mengarahkan pencarian pada area baru.

Skema umum TS disajikan pada gambar di bawah ini. Pemilihan kandidat terbaik didasarkan nilai fungsi tujuan. Pemeriksaan nilai fungsi tujuan lebih didahulukan sebelum pemeriksaan status *tabu*. Apabila nilai fungsi tujuan sebuah kandidat lebih baik dari yang lain, maka kandidat tersebut berpotensi untuk diterima sehingga perlu diperiksa status tabunya. Urutan pemeriksaan nilai fungsi tujuan kemudian status *tabu* memberikan kemungkinan proses penyelesaian program yang lebih cepat.



Skema Tabu Search, Sumber: Glover (1990) dan Gendreau *et.al* (1998)

Pemilihan kandidat solusi terbaik yang dilakukan oleh TS menggunakan prinsip *global-best strategy* (GB) bukan *first-best strategy* (FB). GB adalah strategi dimana algoritma akan mengganti solusi terbaik saat ini dengan solusi terbaik yang ada pada *neighborhood*. Adapun FB adalah strategi dimana algoritma akan mengganti solusi terbaik saat ini secara langsung jika solusi yang lebih baik ditemukan.

Gendreau *et.al* (1998) menyatakan bahwa TS adalah pendekatan yang paling efektif untuk pemecahan masalah penentuan rute kendaraan. Kelebihan TS terletak pada struktur memori yang fleksibel. Struktur memori itu akan membolehkan pencarian terus dilakukan meskipun solusi yang diperoleh saat ini tidak ada yang lebih baik dari solusi terbaik yang telah diperoleh. Struktur memori tersebut juga mampu

menjaga agar proses pencarian tidak jatuh pada lokal optimal yang pernah muncul pada pencarian sebelumnya. Adanya struktur memori fleksibel ini yang membedakan TS dengan *branch and bound* yang menggunakan struktur memori kaku atau *simulated annealing* yang tidak menggunakan struktur memori (Glover, 1990)

TS umumnya tidak menggunakan pembentukan kandidat solusi secara acak sebagaimana *simulated annealing* dan *genetic algorithm*. Pemilihan kandidat solusi dalam TS juga tidak dilakukan secara probabilistik sebagaimana *ant colony system*, *simulated annealing* dan *genetic algorithm*. Karakteristik ini menjadikan solusi yang dihasilkan TS akan sama setiap kali dilakukan proses pencarian solusi terhadap suatu permasalahan. Karakteristik ini juga menjadi salah satu keunggulan TS dibanding *ant colony system*, *simulated annealing* dan *genetic algorithm*.

2.4. Algoritma Immune

Algoritma Immune adalah algoritma evolusi berdasarkan pada system psikologi immune. System psikologi immune mempunyai mekanisme yang mampu untuk mengeliminasi substansi asing yang masuk dalam tubuh. Mekanisme kerja system immune pertama adalah mengenal substansi asing sebagai antigen. Kemudian system immune membentuk sekumpulan antibodi untuk mengeliminasi antigen-antigen tersebut. Antibodi-antibodi berinteraksi dengan antigen untuk memproduksi hasil yang berbeda. Mekanisme demikian sanggup untuk mengenal antibodi yang lebih baik pada eliminasi antigen dan memproduksi variasi-variasi lebih banyak antibodi tersebut pada generasi berikutnya. Proses ini dibentuk secara rekursif sampai semua antigen tereliminasi. Untuk meningkatkan efisiensi dari proses eliminasi maka mekanisme tersebut sanggup untuk mengidentifikasi antibodi-antibodi yang terlalu dominan. Antibodi-antibodi tersebut mengekang pertumbuhan antibodi yang dominan sehingga terjadi perubahan tipe antibody yang dicoba untuk melawan antigen dalam pencarian eliminasi antigen.

Analogi antara sistem kekebalan tubuh dan masalah optimasi adalah sebagai berikut.

Respon dari sistem imune merepresentasikan solusi dan antigen merepresentasikan masalah yang harus diselesaikan. Lebih tepatnya, Sel B adalah sebagai agen-agen buatan yang menjelajahi dan mengeksplorasi lingkungan buatan. Patogen adalah sebagai masalah optimasi, dalam kasus ini, masalah optimasi digambarkan oleh antigen pada patogen. Mekanisme seleksi positif dan seleksi negatif digunakan untuk mengontrol perbanyakan agen dengan mengeliminasi solusi yang buruk atau tidak berguna. Jadi, aturan seleksi positif dan seleksi negatif dapat dipertimbangkan sebagai mekanisme yang tidak hanya memilih solusi yang tepat, tetapi juga mengatur jumlah populasi agen yang tumbuh pada proses kloning.

Tabel 1. Analogi Sistem Kekebalan Tubuh pada Masalah Optimasi

Sistem Kekebalan Tubuh	Masalah Optimasi
Patogen	Permasalahan
Respon Tubuh	Solusi
Sel-B	Agen pencari
<i>Clonal Selection</i>	Menciptakan agen pencari baru
Seleksi Positif dan Seleksi Negatif	Penyeleksian agen yang buruk/tidak berguna untuk membunuh dirinya sendiri (apoptosis)

Ingat bahwa pada sistem imune jumlah sel yang melawan *antigen* meningkat (melalui proses kloning / proliferasi) ketika antigen muncul di dalam tubuh, dan berkurang ketika antigen ini sudah dimatikan. Selama proses ini, sebuah sel merubah sifat tubuhnya seperti bergantinya waktu hidupnya. Jadi proses proliferasi meningkatkan jumlah agen yang dapat melawan antigen agar dapat menghambat dan menghancurkannya. Dengan kata lain, proliferasi berkorespondensi dengan pembuatan agen baru. Agen baru yang dibuat mempunyai struktur dan sifat yang mirip dengan induknya tetapi tidak sama persis untuk memungkinkan proses adaptasi pada sistem. Apoptosis berkorespondensi dengan program untuk mematikan sel. Mekanisme ini terjadi ketika sel tidak dapat beradaptasi untuk proses

pengeliminasian antigen. Jadi sel yang tidak berguna dihancurkan. Menggunakan sifat dasar dari sistem kekebalan tubuh yaitu *clonal selection* melalui mekanisme seleksi positif dan seleksi negatif, jumlah agen di dalam sistem diatur secara dinamik untuk mencari solusi optimal pada masalah yang diberikan. Faktanya, agen yang diprediksi tidak cocok dapat dimatikan sebelum dilakukan kloning pada agen tersebut.

3. Aplikasi Dalam Sistem Manufaktur

3.1. Aplikasi AG

Beberapa penelitian dengan AG sebagai alat optimasi pada ruang lingkup sistem manufaktur dapat diikuti pada penelitian Maridou dan Pardalos (1997) yang telah menggunakan AG untuk optimasi fasilitas dan tata letak pabrik. Baskoro (1999) mendemonstrasikan aplikasi AG menyelesaikan persoalan konseptual traveling salesman problem. Hasan (2000) memberikan teknik pencarian identifikasi dari optimalisasi urutan operasi dalam lingkungan perencanaan dinamis menggunakan aplikasi AG.

Khoo et.al. (2000) telah menggunakan prototype GA-enhanced multi-obyektive scheduler untuk sistem manufaktur. Sebuah toolbox penjadwalan model untuk job shop, flow shop and cellular manufacturing, pembentukan part dari prototype scheduler, dan pembangunan penjadwalan yang mentransformasikan near-optimal solution sampai pada penjadwalan shop floor yang valid. System prototype telah divalidasi untuk berbagai macam kasus dengan dan tanpa batasan dan multi fungsi obyektif bersama-sama secara serempak dilakukan dengan pembatas.

3.2. Aplikasi SA

Chen et al., (1995) Mengembangkan SA berbasis heuristic untuk pembentukan sel manufaktur. Mereka mengaplikasi SA berbasis heuristic untuk beberapa contoh populer pada persoalan pembentukan sel manufaktur. Hasil dari optimalisasi memperlihatkan bahwa SA berbasis heuristic memberikan hasil sangat baik pada semua contoh yang diberikan. Selain itu SA berbasis heuristic juga juga memberikan beberapa keuntungan yang hampir tidak dimiliki oleh algoritma lain.

Pada penelitian sebelumnya Adil et al., (1997) telah mempelajari assignment allocation dan algoritma SA untuk pembentukan sel. Pada penelitian ini telah dibangun sebuah model nonlinear mathematical programming untuk pembentukan sel manufaktur yang mengidentifikasi part families dan kelompok mesin secara serentak tanpa adanya intervensi secara manual atau pertimbangan subyektif.

Fink and Fob (2003) telah menyelesaikan persoalan penjadwalan continous flow-shop dengan meta heuristic (simulated annealing and tabu search). Persoalan yang dipertimbangkan disini adalah mencari permutasi urutan jobs yang akan diproses pada sejumlah mesin yang dibatasi proses pada setiap job harus kontinyu sesuai dengan tujuan minimasi total waktu proses (flow-time).

3.3. Aplikasi TS

Dengiz and alabas (2000) telah menggunakan algoritma TS dalam penggabungan dengan model simulasi JIT untuk mencari optimum jumlah kanban. Lutz (1995) juga telah membangun model simulasi proses manufaktur dan menggunakan TS sebagai prosedur heuristic, untuk mengoptimisasi buffer dan ukuran penyimpanan dalam sistem manufaktur, selain itu juga digunakan regresi metamodel untuk mengoptimisasi batch pada lini perakitan (Printed Circuit Board).

Pada penelitian lain juga telah digunakan fungsi penalti dan TS untuk menyelesaikan persoalan dengan biaya sel tetap yaitu sebuah pendekatan integrasi untuk pembentukan sel manufaktur dengan biaya tetap. Penyelesaian pada persoalan ini tidak hanya pada persoalan pembentukan sel tapi termasuk juga keputusan set-up sel. Sebuah model mixed integer non linear programming diformulasikan untuk menyelesaikan persoalan. Persoalan yang sukar diselesaikan (non linear programming hard) membuat perhitungan penyelesaian secara langsung terhalang untuk aplikasi yang nyata. Sebuah algoritma heuristic telah dikembangkan untuk menyelesaikan persoalan efisiensi berbasis model dual analisis. Dalam hal ini TS telah digunakan untuk mencari persoalan optimum dan sub optimum.

Chen and Cao mengajukan penjadwalan job-shop dengan alternative proses, perluasan dari

penjadwalan job-shop dimana job routing secara langsung membentuk grafik siklus yang dapat memodelkan partial orders dari operasi dan mengandung sekumpulan alternative sub grafik setiap operasi. Dua algoritma heuristic telah dibangun yaitu Tabu Search dan Genetic Algorithms. Kedua heuristic berbasis kepada dua subrautes yang umum yaitu satu dimasukkan pada sebuah kumpulan operasi sampai pada jadwal terpisah (partial), operai ini menekankan pada efisiensi teknik insersi, yang kedua untuk meningkatkan penjadwalan dengan alternative fixed routing, operasi ini untuk menyamakan metode standar untuk penjadwalan.

3.4. Aplikasi Algoritma Immune

Seperti ketiga aplikasi Artificial Intelligence diatas, maka aplikasi Algoritma Immune pada saat ini mulai populer untuk digunakan sebagai alat optimasi dalam system manufaktur. Alisantoso, et.al., telah membuktikan aplikasi algoritma ini pada system manufaktur. Algoritma ini diaplikasi pada penjadwalan flow shop pembuatan fleksibel PCB. Hasil yang dicapai dibandingkan dengan algoritma genetic, ternyata algoritma immune memberikan performansi lebih baik, dimana nilai standarisasi yang diperoleh lebih kecil. Disamping itu diperoleh hasil bahwa algoritma genetic cenderung konvergensinya premature, hal ini disebabkan mendominasinya penyelesaian terbaik. Analisis selanjutnya menyatakan bahwa algoritma immune memperlihatkan hasil penurunan jadwal lebih mempunyai alasan dan logika.

4. Kesimpulan

Sejak beberapa decade ini, AI telah dijadikan alat yang sangat berguna untuk menyelesaikan persoalan optimasi dalam system manufaktur. Dalam tulisan diatas dipresentasikan empat teknik-teknik AI yaitu Genetik Algorithms, Simulated Annealing, Tabu Search dan Algoritma Immune. Aplikasi dari teknik-teknik tersebut dalam system manufaktur akan menjadi lebih luas pada intelligent design, quality management dan intelligent control. Hal ini disebabkan karena kemampuan komputer yang semakin meningkat.

Daftar Pustaka

- [1] Adil. G. Kumar; Rajamani, Divakar, 1997, "Assingment Allocation and Simulated Annealing Algorithms for Cell Formation", vol 29, no1.
- [2] Cao D. and Chen M, 2003, "Using Penalty Function and Tabu Search to Selve Cell Formation Problems with Fixed Cell Cost", computer & operations Research vol 31.
- [3] Chairul S, Azmi Hassan, 2000, "Penentuan Ruting Optimal Penjadwalan Produksi pada System Manufaktur Bertingkat dengan Pendekatan Algoritma Genetik", Jurnal Teknik dan Manajemen Industri ITB , vol 19.
- [4] Dengiz B. and Alabas C, 2000, "Computer Simulation of a PCB Production Line" Journal of Production Research, vol 33.