

PENDEKATAN ACTIVITY-BASED COSTING DAN METODE PENCARIAN HEURISTIC UNTUK MENYELESAIKAN PROBLEM PEMILIHAN PERALATAN PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS)

Gregorius S. Budhi

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Informatika, Universitas Kristen Petra
e-mail : greg@peter.petra.ac.id

ABSTRAK: Penggunaan pendekatan Activity Based Costing (ABC) untuk memilih set mesin yang digunakan dalam produksi pada Flexible Manufacture Systems (FMS) berdasar atas kriteria teknis dan ekonomis, dapat membantu pelaku produksi untuk mendisain FMS dengan pertimbangan minimalisasi biaya produksi. Sementara itu, Heuristic Search dikenal memiliki waktu pencarian yang singkat.

Pada riset ini didisain sebuah Algoritma Heuristic yang menggunakan pendekatan ABC sebagai bobot dalam pencarian solusi, untuk mempersingkat waktu pemilihan peralatan saat desain/redisain FMS dalam waktu kurang dari waktu Eksponensial. Peningkatan kecepatan ini bermanfaat, karena dengan cepatnya waktu disain / redisain maka derajat fleksibilitas jenis (variety) part yang dapat diproses menjadi lebih baik.

Analisis Teoritis dan Empiris pada Algoritma Heuristic menunjukkan bahwa waktu pencarian untuk mendapatkan suatu set peralatan yang tepat adalah cukup singkat, sehingga dapat disimpulkan bahwa Algoritma Heuristic yang didisain dapat diimplementasikan pada dunia nyata. Dengan membandingkan hasil empiris Algoritma Heuristic dengan Algoritma Exhaustive sebagai pembanding, disimpulkan bahwa Algoritma Heuristic yang menggunakan metode ABC sebagai bobot pencarian solusi dapat mengoptimasi problem pemilihan peralatan FMS dari kriteria ekonomis pula.

Kata kunci: *Desain Algoritma, Flexible Manufacturing Systems, Pendekatan Activity-Based Costing, Pencarian Heuristic.*

ABSTRACT: *The application of Activity Based Costing (ABC) approach to select the set-machine that is used in the production of Flexible Manufacture System (FMS) based on technical and economical criteria can be useful for producers to design FMS by considering the minimum production cost. In the other hand, Heuristic Search is known to have a short searching time.*

Algorithm Heuristic that using ABC approach as the weight in finding the solution to shorten the equipment selection time during the design / redesign process of the FMS in less than exponential time was designed in this research. The increasing speed is useful because with the faster time in design / redesign process, therefore the flexibility level of part variety that can be processed will become better

Theoretical and empirical analysis in Algorithm Heuristic shows that time searching to get appropriate set of equipment is not too long, so that we can assume that the designed Algorithm Heuristic can be implemented in the real world. By comparing the empirical result of Algorithm Heuristic to the Algorithm Exhaustive, we can also assume that Algorithm Heuristic that using ABC method as the weight for finding solution can optimise the equipment selection problem of FMS based on economical criteria too.

Keywords: *Algorithm Design, Flexible Manufacturing Systems, Activity-Based Costing Approach, Heuristic Search.*

1. PENDAHULUAN

Memasuki abad 21 ini, banyak perusahaan yang merubah cara berbisnisnya. Perubahan yang diinginkan adalah kebutuhan utuh semakin flexible dalam manufaktur,

mengingat dewasa ini customer menginginkan produk-produk khusus (customized product) dari para manufacturer tersebut. Hal ini menyebabkan perusahaan-perusahaan itu membutuhkan suatu kemampuan untuk dapat memproduksi banyak jenis

produk dalam jumlah kecil guna memenuhi kebutuhan dari pelanggannya. Oleh sebab itu para manufacturer yang berubah itu membutuhkan jalan baru dalam mendisain pabriknya. Teknik manufaktur tradisional tidak lagi efektif pada masa perubahan ini. Suatu konsep lain yang diusulkan untuk perubahan ini, dan telah banyak mendapat perhatian adalah Flexible Manufacturing System(FMS)[5,13].

FMS adalah suatu system manufaktur otomatis dengan volume dan variasi produk level menengah yang dikontrol oleh komputer. FMS meliputi spektrum lebar dari aktivitas manufaktur seperti mesin-mesin produksi, metal working, pabrikasi, dan assembly. Pada sebuah FMS, suatu kelompok part-part dari produk-produk dengan karakteristik serupa diproses. Komponen penting dari suatu FMS adalah mesin Numerical Control (NC) yang mampu saling bertukar tools secara otomatis. Sistem material handling otomatis untuk memindahkan part-part diantara mesin-mesin dan station fixturing berupa Automated Guided Vehicle (AGV) dan Robot. Semua komponen diatas dikontrol oleh komputer. Dan yang terakhir adalah perangkat-perangkat lain seperti mesin pengukur koordinat dan mesin pencuci part-part yang diproses[13].

Pemilihan peralatan atau mesin adalah problem esensial pada FMS. Secara tipikal hal ini melibatkan suatu set peralatan atau mesin yang digunakan dalam produksi berdasar atas kriteria-kriteria teknis dan ekonomis. Guna membantu para pelaku produksi dalam memilih set peralatan atau mesin yang cocok dari yang tersedia, dengan pertimbangan pada minimalisasi biaya operasi, diusulkan pendekatan menggunakan konsep Activity-Based Costing (ABC) oleh Prasert dan Rogers[7].

Konsep ABC adalah suatu metode kalkulasi dimana tidak semua biaya overhead dibebankan secara merata pada semua produk, dengan metode ini biaya overhead dapat dilacak secara lebih akurat pada setiap individu dari produk[10]. Dan hasilnya adalah suatu system pengalokasian biaya overhead suatu produk atau pelayanan yang lebih diperhalus, berdasarkan atas permintaan tiap-tiap aktivitas untuk tiap

produk. Konsep ini ditemukan oleh Cooper dan Kaplan pada tahun 1988[4].

Kecepatan dan fleksibilitas sangat dibutuhkan oleh pelaku produksi untuk melakukan planning dan re-planning dari manufaktur yang sedang berjalan guna memenuhi kebutuhan konsumen yang berubah-ubah dengan cepat dan tak terduga. Proses ini dapat disamakan dengan suatu AI planning dengan goal dinamis. Karena itu pendekatan dengan metode Heuristic Search, yang dapat memulai suatu planning dan terus menerus memperbaiki planning tersebut untuk mencapai solusi optimal pada saat informasi yang lebih lengkap diterima, dapat digunakan dalam merencanakan suatu planning dalam flexible manufacture dengan goal dinamis[9, 10].

Heuristic adalah suatu metode pencarian solusi dalam AI yang dapat meningkatkan efisiensi dari sebuah proses pencarian solusi dengan mengabaikan alternatif solusi-solusi lain. Beberapa teknik heuristic yang baik dapat membantu mencari solusi yang diinginkan tanpa mengabaikan penyelesaian-penyelesaian lain, beberapa teknik yang buruk sangat mungkin menyebabkan terlewatnya solusi terbaik [8].

Dari dua hal yang diusulkan diatas, peneliti mencoba mengkombinasikan menjadi suatu pemilihan set tools dan mesin untuk part yang akan diproduksi pada FMS, menggunakan metode pencarian Heuristic dengan bobot pencarian berupa pendekatan ABC untuk tiap-tiap mesin yang dicari guna memproses tiap part. Dengan kombinasi ini diharapkan dapat dihasilkan suatu algoritma yang lebih cepat, fleksibel dan optimal dalam memilih suatu set mesin, dari kumpulan mesin-mesin yang telah tersedia, guna memproduksi suatu part produk tertentu pada FMS.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori singkat tentang FMS

FMS adalah suatu system manufaktur otomatis, volume menengah dan variasi menengah dan dikontrol oleh komputer. Dia meliputi spektrum lebar dari aktivitas manufaktur seperti mesin-mesin, metal

working, pabrikasi, dan assembly. Dalam sebuah FMS, sekumpulan part-part produk yang memiliki kesamaan karakteristik diproses secara simultan[13].

Terdapat dua sub system dalam FMS, yaitu:

a. Physical Subsystem, meliputi:

- *Workstation*, berupa mesin-mesin Numerical Control (NC), mesin part-washing, area load dan unload, dan area kerja.
- *Storage-Retrieval System*, berupa pallet-pallet tempat penyimpanan sementara part-part produk yang akan diproses.
- *Material-Handling System*, berupa Automated Guided Vehicle (AGV), shuttle car atau roller conveyor untuk membawa part - part yang diproses, dari dan ke workstations.

b. Control Subsystem, meliputi:

- *Control Hardware*, berupa mini dan microcomputers, Programmable Logic Controllers (PLC), Communication Networks, Sensors, dll.
- *Control Software*, berupa sekumpulan file dan program untuk mengontrol Physical Subsystem.

2.2 Activity Based Costing

Activity Based Costing (ABC), adalah suatu metode kalkulasi biaya yang ditemukan oleh Cooper dan Kaplan (1988). Dalam metode ABC adalah suatu metode kalkulasi biaya, dimana biaya overhead tidak dibebankan secara merata pada semua produk atau pelayanan yang dihasilkan[4].

Pada metode ini biaya overhead dilacak secara akurat pada setiap aktivitas yang dikerjakan untuk tiap individu dari produk. Sehingga menghasilkan suatu system pengalokasian biaya overhead yang lebih halus dan akurat berdasar atas permintaan tiap aktivitas untuk tiap produk dan layanan tertentu[3].

2.3 Heuristic Search

Heuristic adalah sebuah teknik yang meningkatkan efisiensi dari sebuah proses pencarian dengan mengabaikan klaim terhadap kesempurnaan penyelesaian. Metode

ini baik karena menunjuk pada arah atau hasil yang diinginkan, tetapi di lain sisi juga buruk karena ada kemungkinan dilewatinya suatu solusi yang lebih baik.

Beberapa teknik heuristic dapat melakukan proses pencarian tanpa mengorbankan klaim terhadap kesempurnaan, sementara teknik-teknik lain dalam heuristic dapat mengakibatkan diabaikannya jalur-jalur terbaik yang mungkin ada. Tetapi rata-rata heuristic dapat meningkatkan kualitas dari rute (path) yang dieksplorasi. Dengan menggunakan heuristic yang baik, dapat diharapkan untuk mendapatkan solusi yang baik (walaupun belum tentu terbaik) pada problem-problem berat dengan waktu yang dibutuhkan kurang dari waktu eksponensial [8].

Beberapa metode pencarian Heuristic yang digunakan adalah sebagai berikut:

- *Simulated Annealing*, adalah suatu varian dari teknik Heuristic Search Hill Climbing dimana variasi ini adalah kebalikan dari Stepest Hill Climbing. Pada variasi ini state yang dipilih untuk diobservasi adalah state terendah (terkecil nilai bobotnya) atau dapat disebut sebagai lembah terendah. Varian ini disebut sebagai Simulated Annealing karena oleh penemunya, KirkPatrick (1983), dimaksudkan untuk mensimulasikan proses Annealing, yaitu suatu proses fisika dimana suatu benda padat seperti logam akan meleleh dan kemudian secara bertahap akan mendingin sampai menjadi benda padat kembali[8].
- *Constraint satisfaction*, adalah suatu prosedur pencarian yang dioperasikan pada sekumpulan set-set constraint tertentu. State awal berisi constraint-constraint yang berasal dari deskripsi problem. State akhir (goal state) adalah semua state yang telah dibatasi dengan "cukup", dimana "cukup" haruslah didefinisikan pada tiap problem (Annealing Schedule). Metode ini memiliki dua step proses. Pertama, constraint-constraint dicari kemudian dipropagasikan sejauh mungkin ke dalam system. Kemudian bila solusi belum juga ditemukan maka step kedua yaitu pencarian dapat dimulai. Sebuah tebakan atas sesuatu dilakukan

dan ditambahkan sebagai constraint baru, dan seterusnya[8].

- *Path Removal*, adalah suatu metode heuristic guna mendapatkan lebih dari satu solusi, sehingga pencarian heuristic itu tidak terjebak pada *solusi terbaik lokal* pada tree solusi-solusi yang dicari. Pada metode ini path/rute yang telah menghasilkan solusi dihapus dari tree sehingga tidak akan digunakan lagi dalam pencarian berikutnya[11].
- *Optimal Solution*, yang dimaksud dengan optimal-solution disini adalah dipilihnya satu solusi terbaik dari beberapa solusi yang ditemukan, jadi bukan solusi yang benar-benar optimal karena untuk menemukan solusi paling optimal dibutuhkan teknik pencarian exhaustive[11].

3. METODOLOGI PENELITIAN

1. Pendalaman Masalah. Mempelajari lebih lanjut paper “Activity-Based Costing Approach to Equipment Selection Problem For Flexible Manufacturing Systems” dari Prasert dan Rogers dan paper-paper pendukung lainnya.
2. Study Literatur tentang hal-hal yang berhubungan dengan FMS, ABC, dan Heuristic Search, dari buku-buku, paper, makalah dan artikel yang terdapat di perpustakaan maupun Internet.
3. Menentukan metode Heuristic Search mana yang cocok untuk digunakan.
4. Analisa dan penentuan aturan-aturan dan constrain-constrain yang perlu diperhatikan, baik dalam FMS, metode ABC, maupun Heuristic Search yang dipilih.
5. Mendisain Algoritma Heuristic yang sesuai.
6. Medisain Algoritma Exhaustive sebagai sarana pembandingan dan pengujian akan kebenaran dari Algoritma Heuristic.
7. Membuat program sederhana guna pengujian Algoritma Heuristic dan Algoritma Exhaustive yang digunakan sebagai pembandingan.
8. Pengujian program dan analisa hasil pengujian.
9. Penulisan Laporan.

4. PENDEKATAN ABC UNTUK PROBLEM PEMILIHAN EQUIPMENT PADA FMS

Pemilihan peralatan atau mesin adalah problem esensial pada FMS. Secara tipikal hal ini melibatkan suatu set peralatan atau mesin yang digunakan dalam produksi berdasar atas kriteria-kriteria teknis dan ekonomis. Guna membantu para pelaku produksi dalam memilih set peralatan atau mesin yang cocok dari yang tersedia, dengan pertimbangan pada minimalisasi biaya operasi, diusulkan pendekatan menggunakan konsep perhitungan biaya produksi ABC.

Model Matematis yang digunakan adalah:

Asumsi-asumsi:

- Tipe dari part-part dan jumlah tiap tipe yang akan diproduksi telah diketahui.
- Sequence operasi-operasi masing-masing tipe diketahui.
- Bahan mentah yang dibutuhkan untuk memproduksi part-part itu dapat disediakan sebelum proses produksi berjalan.
- Biaya pemrosesan dan waktu proses tiap operasi pada suatu mesin diasumsikan telah diketahui.
- Daftar dari mesin yang tersedia dari bermacam-macam kelas yang dapat menjalankan masing-masing operasi telah tersedia.
- Tool constrains tidak diperhitungkan.
- Machine Time (T_m) untuk semua mesin pada kelas yang sama adalah sama.

Formulasi Model:

$$\text{Min} [\sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O X_{om} C_{om} + \sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O S_{om} b_{om} + \sum_{m=1}^M (t_{om}/T_m) b_m C_m + \sum_{m=1}^M b_{insta} C_{insta}] \quad (1)$$

$$\text{Min.} [\sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O X_{om} C_{om} + \sum_{o=1}^O S_{om} b_{om} + (t_{om}/T_m) b_m C_m + b_{insta} C_{insta}]$$

Constraints:

$$\sum_{m=1}^M X_{om} \leq R_o \quad (2)$$

$$\sum_{o=1}^O t_{om} X_{om} + \sum_{o=1}^O S_{om} b_{om} \leq EF_m T \quad (3)$$

$$X_{om} \geq 0 \text{ INTEGER ; } O=1,2,\dots,O ; M=1,2,\dots,M \quad (4)$$

Keterangan:

m	merepresentasikan indeks dari mesin $m=1,2,\dots,M$
o	merepresentasikan indeks dari operasi $o=1,2,\dots,O$
X_{om}	merepresentasikan jumlah operasi 'o' yang dikenakan pada mesin 'm'
C_m	merepresentasikan biaya dari mesin 'm'
C_{om}	merepresentasikan biaya dari pelaksanaan operasi 'o' pada mesin 'm'
C_{msta}	merepresentasikan biaya instalasi mesin 'm'
R_o	merepresentasikan production rate yang dibutuhkan dari operasi 'o'
T_m	merepresentasikan time-available dari mesin 'm'
t_{om}	merepresentasikan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan operasi 'o' pada mesin 'm'
S_{om}	merepresentasikan biaya set-up tool untuk operasi 'o' pada mesin 'm'
St_{om}	merepresentasikan waktu set-up tool untuk operasi 'o' pada mesin 'm'
EF_m	faktor Efisiensi mesin yang digunakan untuk merepresentasikan nilai utilisasi mesin sehingga kebiasaan dinamis system (dynamic system behavior) dan kerusakan mesin (machine breakdowns) dapat diantisipasi.
T	merepresentasikan total waktu yang tersedia
β_m	merepresentasikan variabel biner sama dengan '1' bila mesin bertipe 'm' dipilih, dan sama dengan nol bila sebaliknya
β_{om}	merepresentasikan variabel biner sama dengan '1' bila operasi P(P>O) membutuhkan perubahan tool dan/atau set-up, sama dengan nol bila sebaliknya
β_{msta}	merepresentasikan variabel biner sama dengan '0' bila mesin 'm' telah dipilih pada periode 't-1' atau mesin 'm' tidak dapat dipindahkan dan sama dengan '1' bila mesin 'm' tidak dipilih pada periode 't-1'

5. HEURISTIC SEARCH YANG DIGUNAKAN

Masalah yang timbul adalah Heuristic Search yang mana, yang paling tepat dipakai. Untuk itu perlu ditelusuri satu – persatu:

- Prasert–Rogers, menggunakan pendekatan ABC, yaitu suatu metode kalkulasi biaya overhead untuk memilih set per-

alatan yang tepat dengan membandingkan semua alternatif yang dicari. Dan pada akhirnya dipilih set peralatan dengan biaya overhead terendah. Oleh sebab itu bila diinginkan merubah teknik pencariannya dengan Heuristic Search dimana bobot yang digunakan adalah biaya overhead yang timbul pada masing–masing peralatan, maka teknik yang paling tepat untuk ini adalah teknik **Simulated Annealing** dengan menggunakan sebuah set mesin standart sebagai Annealing Schedule.

- Model matematis dari algoritma tersebut juga memiliki beberapa constraint. Bila constraint–constraint ini diterapkan saat pencarian dilakukan, maka adanya constraint ini waktu pencarian dapat dipersingkat, mengingat bila **Constraint Satisfaction** tidak dipenuhi oleh rute yang diobservasi, maka rute tersebut dapat langsung ditinggalkan.
- Untuk lebih mengoptimasi hasil pencarian agar tidak terjebak pada hasil terbaik lokal, diperlukan untuk mencari lebih dari satu solusi bila memang ada, kemudian dibandingkan dan dipilih alternatif yang terbaik yaitu yang memiliki biaya overhead total terkecil. Oleh sebab itu metode **Path–Removal** dikombinasi dengan **Optimal Solution** dapat digunakan.

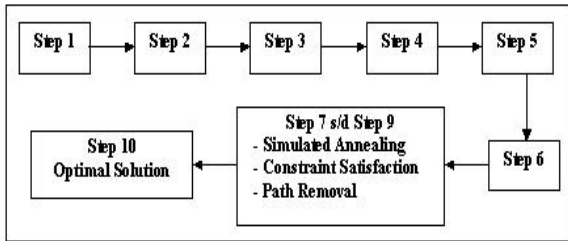
6. ALGORITMA LEVEL TINGGI UNTUK MENYELESAIKAN PROBLEM PEMILIHAN PERALATAN PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS)

- Step 1: Daftar dari semua tipe part $p = 1, \dots, P$ dan kuantitas tiap tipe part yang akan diproduksi.
- Step 2: Identifikasi operasi–operasi yang dibutuhkan untuk memproduksi tiap part.
- Step 3: Identifikasi mesin–mesin yang memenuhi syarat untuk melakukan tiap operasi.
- Step 4: Identifikasi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan operasi 'o' pada mesin 'm' (t_{om})
- Step 5: Identifikasi biaya dari dilakukannya operasi 'o' pada mesin 'm' (C_{om}), biaya set-up dari mesin 'm' untuk operasi 'o' (S_{om}), dan biaya instalasi

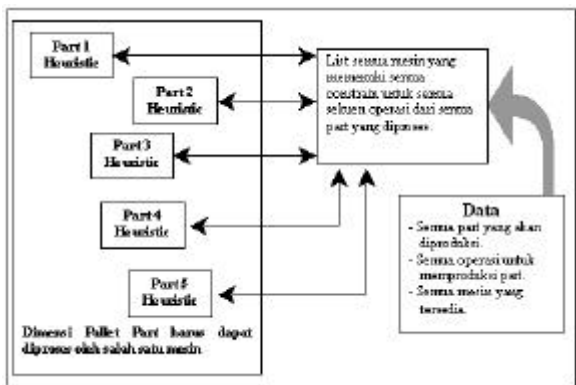
- untuk tiap equipment (C_{insta}).
- Step 6: Identifikasi biaya apresiasi untuk penggunaan tiap equipment. Biaya tetap ($\sum_{m=1}^M (t_{om} / T_m) b_m C_m$) atau biaya apresiasi peralatan dikalkulasi berdasar atas rating penggunaan tiap peralatan. Sebagai contoh, bila peralatan tipe 'm' dengan perkiraan masa hidup sebesar 'T_m' jam digunakan untuk melakukan operasi 'o' untuk 't_{om}' jam, biaya tetap sama dengan $(t_{om} / T_m)(C_m)$, dimana C_m adalah biaya dari peralatan tipe 'm'.
- Step 7: Mengidentifikasi alternatif rute mesin dengan biaya produksi minimal dari masing-masing type part menggunakan metode Heuristic Search.
- Step 7a: Mengurutkan sekuen operasi dari type part yang sedang diproses secara Ascending dan Descending berdasarkan atas biaya operasi ($\sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O X_{om} C_{om}$) dikali total produksi part, kemudian dijumlahkan dengan biaya Set-Up Tool ($\sum_{m=1}^M \sum_{o=1}^O S_{om} b_{om}$) yang digunakan pada operasi. Lalu meletakkan sekuen operasi pertama dari type part tersebut pada awal urutan.
- Step 7b: Membuat alternatif rute mesin yang dilalui oleh type part yang diproses sebanyak, jumlah "Eligible Machine" untuk type part tersebut dikali jumlah urutan sekuen operasi, dimana jumlah urutan sekuen operasi selalu dua, yaitu urutan secara Ascending dan Descending.
Alternatif Rute = Total "Eligible Machines for Part Type" x 2
- Step 7c: Meletakkan semua alternatif "Eligible Machines for Part Type" pada sekuen operasi pertama pada setiap dua alternatif rute, satu untuk urutan Ascending dan satu untuk urutan Descending.
- Step 7d: Memeriksa semua constraint yang berlaku pada sekuen pertama tiap – tiap alternatif rute mesin yang dibuat. Bila terdapat alternatif rute yang tidak memuaskan pemeriksaan constraint, maka alternatif rute mesin tersebut tidak digunakan.
- Step 7e: Selanjutnya untuk semua sekuen operasi pertama pada semua alternatif rute yang memuaskan pemeriksaan constraint, dihitung biaya operasi, biaya setup tool, biaya installasi ($\sum_{m=1}^M b_{insta} C_{insta}$) dan waktu operasi (t_{om}) untuk menghitung biaya depresiasi peralatan, juga dicari waktu Set-Up Tool (St_{om}) untuk perhitungan lama waktu produksi.
- Step 7f: Untuk urutan sekuen operasi berikutnya dari semua alternatif rute, baik yang diurutkan secara Ascending maupun Descending, dilakukan step 8.
- Step 8: Pada setiap urutan sekuen operasi ke-2 sampai dengan ke-n, dilakukan pencarian rute mesin terbaik secara bertahap (step – by – step).
- Step 8a: Identifikasi alternatif-alternatif rute mesin yang memuaskan semua constraint yang berlaku pada level urutan sekuen operasi dari part yang diproses sekarang. Bila ada alternatif rute yang tidak memenuhi semua constraint, maka alternatif rute tersebut tidak diteruskan pencariannya ke level selanjutnya.
- Step 8b: Dari semua alternatif rute mesin yang memuaskan semua constraint, diidentifikasi mesin mana yang memiliki biaya produksi terendah (Sebuah set mesin standard yang telah dihitung biaya produksinya digunakan sebagai Annealing Schedule untuk pencarian pada tiap-tiap sekuen). Dari hasil identifikasi tersebut, biaya produksi dan waktu produksi ditambahkan pada total hasil perhitungan dari urutan sekuen sebelumnya.
- Step 8c: Ulangi Step 8, sampai semua urutan sekuen operasi pada semua alternatif rute mesin selesai diproses.
- Step 9: Ulangi Step 7 untuk type part berikutnya, sampai semua type part ditemukan alternatif-alternatif rute mesinnya.
- Step 10: Membandingkan total biaya produksi dari semua alternatif rute mesin yang lolos pemeriksaan constraint pada setiap type part, guna mendapatkan alternatif rute mesin dengan biaya produksi terkecil.

7. PENJELASAN DALAM BENTUK BLOK DIAGRAM

7.1 Blok Diagram Algoritma



Gambar 1. Blok diagram langkah-langkah Algoritma



Gambar 2. Blok diagram detail langkah 7 s/d 10 dari Algoritma

7.2 Contoh Proses untuk Sebuah Part

Misal setelah dilakukan identifikasi pada step 2 dan 3, sebuah part produk memiliki empat sekuen operasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Sekuen Operasi dari suatu type Part

Seq 1	Seq 2	Seq 3	Seq 4	Seq 5
Ops 2	Ops 4	Ops 5	Ops 3	Ops 1

Step 4 s/d 6 akan menghasilkan daftar mesin yang memenuhi syarat untuk memproses Part seperti pada tabel 2.

Tabel 2. List biaya Operasi pada Mesin tertentu (C_{om})

Mesin (m)	Operasi (o)	Biaya Produksi Ops pd Mesin	Daya tampung Magazine Msn.
m1	Ops 1	1.5 smu*	5 Operasi
	Ops 2	3 smu*	
	Ops 3	3 smu*	
	Ops 4	4.5 smu*	
	Ops 5	1.5 smu*	
m2	Ops 1	1 smu*	3 Operasi
	Ops 2	2 smu*	
	Ops 3	2 smu*	
	Ops 4	3 smu*	
	Ops 5	1 smu*	

* smu = satuan mata uang

Keterangan:

Untuk contoh ini, pemeriksaan constraint magazine mesin disederhanakan berdasarkan jumlah operasinya. Namun pada algoritma dan implementasi sesungguhnya, constraint tersebut tidak didasarkan pada jumlah operasinya, namun jumlah slot magazine yang dibutuhkan oleh tool dari tiap operasi.

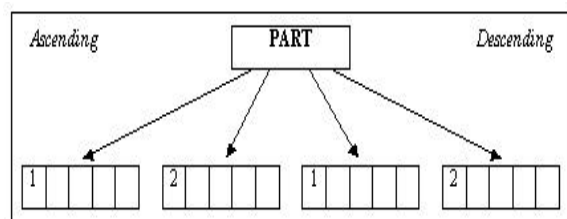
7.3 Langkah-Langkah yang dilakukan Algoritma pada step 7 s/d 10

Langkah pertama adalah mengurutkan sekuen operasi dari part tersebut menjadi dua urutan, secara ascending dan descending berdasarkan atas biaya produksinya, kemudian meletakkan sekuen pertama pada awal urutan lihat Tabel 3.

Tabel 3. Dua buah list urutan sekuen setelah dilakukan langkah 7a

	Urut 1	Urut 2	Urut 3	Urut 4	Urut 5
Ascending	Seq 1	Seq 3	Seq 5	Seq 4	Seq 2
	Ops 2	Ops 5	Ops 1	Ops 3	Ops 4
Descending	Seq 1	Seq 2	Seq 4	Seq 5	Seq 3
	Ops 2	Ops 4	Ops 3	Ops 1	Ops 5

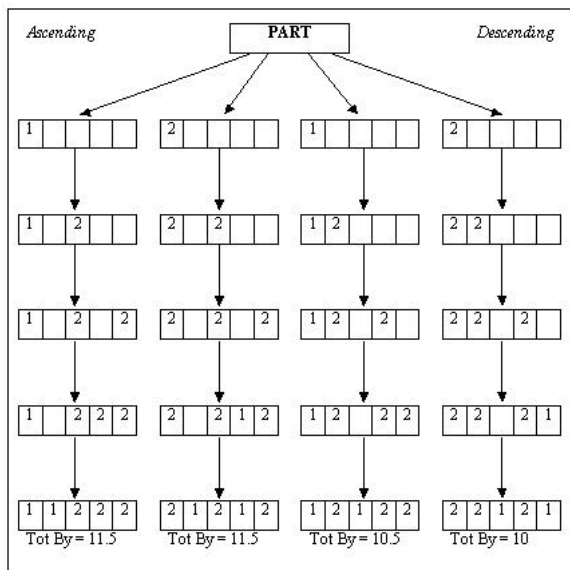
Langkah kedua adalah membuat path-path sekuen mesin alternatif sebanyak jumlah mesin dikali dua, dan meletakkan semua alternatif mesin yang memenuhi syarat pada semua alternatif path sekuen mesin tersebut lihat Gambar 3.



Gambar 3. Membuat Alternatif Rute sebanyak Mesin x 2 dan mengisi sekuen 1

Langkah ketiga adalah mencari alternatif mesin dengan biaya paling minimal untuk semua sekuen selanjutnya secara bertahap sesuai dengan urutan ascending dan descending. Pencarian dilakukan dengan menggunakan gabungan tiga metode Heuristic Search secara simultan yaitu: *Simulated Annealing* terhadap total biaya produksi per level urutan; *Constraint*

Satisfaction terhadap daya tampung magazine tool dari mesin; dan *Path Removal* yang memotong habis/tidak membangun cabang-cabang Search Tree yang lain, begitu suatu cabang ditemukan solusinya lihat Gambar 4.



Gambar 4. Pencarian alternatif urutan dengan menggunakan gabungan 3 metode Heuristic Search secara simultan.

Langkah terakhir adalah membandingkan semua total biaya dari semua alternatif rute mesin untuk part dan memilih alternatif rute mesin dengan total biaya produksi paling minimal (*Metode Optimal Solution*), yaitu:

Tabel 4. Hasil akhir pencarian Rute Mesin untuk satu Part dengan Algoritma Heuristic

Seq 1	Seq 2	Seq 3	Seq 4	Seq 5	Total Biaya
Mes 2	Mes 2	Mes 1	Mes 2	Mes 1	10

8. PENUTUP

8.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian Software yang dibuat berdasarkan algoritma yang diusulkan peneliti dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Dari pengujian Empiris, dapat disimpulkan bahwa metode Heuristic Search yang digunakan pada Algoritma telah didisain dengan baik. Karena hasil yang didapat dari Implementasi metode Heuristic

Search selalu sama dengan hasil yang didapat dari Implementasi metode Exhaustive Search yang digunakan sebagai pembandingan.

- Walaupun pada pengujian empiris selalu didapatkan hasil yang sama, tidak dapat dipastikan bahwa Algoritma yang diusulkan memiliki kebenaran solusi mutlak, mengingat bahwa Algoritma tersebut tidak memeriksa semua solusi yang ada seperti halnya dalam pencarian Exhaustive, sehingga dapat saja pada kasus – kasus tertentu ada solusi lebih baik yang terlewatkan.
- Dari pengujian empiris dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode kalkulasi biaya Activity Based Costing sebagai bobot pencarian pada Algoritma terbukti dapat mengoptimasi problem pemilihan peralatan pada saat disain dan redisain FMS dari segi biaya produksi minimal.
- Secara keseluruhan penggunaan metode kalkulasi biaya Activity-Based Costing sebagai bobot pencarian pada Heuristic Search, yang digunakan untuk mendapatkan rute mesin dengan biaya produksi minimal pada problem pemilihan peralatan pada desain dan redesain FMS, telah menambahkan derajat fleksibilitas dari System tersebut, yaitu pada:
 1. Fleksibilitas Proses, dimana kecepatan system dalam menyerap perubahan yang terjadi pada produk dapat ditingkatkan.
 2. Fleksibilitas Produk, dimana kemampuan system untuk melakukan perubahan menuju set–set produk baru secara cepat dan ekonomis untuk merespon perubahan pasar dan untuk beroperasi pada basis pelayanan pesanan terbatas, dapat lebih optimal.
 3. Fleksibilitas Produksi, dimana kemampuan system untuk memproduksi berbagai macam jenis produk dengan biaya dan waktu yang memadai dapat lebih dioptimalkan pula.

8.2 Saran

- Algoritma yang diusulkan, dapat dikembangkan kearah lain, misalnya untuk mendapatkan rute mesin dengan kecepatan produksi maksimal atau untuk

mendapatkan rute mesin yang optimal dari segi biaya dan waktu produksinya.

- Karena kecepatannya dalam menemukan solusi, maka metode kalkulasi biaya Activity – Based Costing sebagai bobot pencarian pada Heuristic Search dapat pula digunakan untuk mengoptimasi proses ‘Routing’ FMS, yaitu pencarian rute saat proses produksi nyata sedang berjalan (real time), guna menekan biaya produksi aktual dari masing–masing part yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Chang, Chien; Wysk, Richard A.; Wang, Hsu Pin; *Computer-Aided Manufacturing*, 2nd Ed., Prentice Hall Inc., 1998.
2. Goodman, S. E.; Hedetniemi, S. E.; *Introduction To The Design And Analysis Of Algorithms*, Int. Ed, Mc. Graw-Hill, Inc. , 1988.
3. Hansen, Don R.; Mowen, M.; *Cost Management: Accounting and Control*, South-Western College Publishing, Cincinnati, Ohio, 1995.
4. Holt, Dawn; *Activity Costing The Role of Process Analysis*, 1998, <http://www.metabpr.com/>
5. Mehuron, Kim; *Flexible Manufacturing Systems moving toward the Twenty First century*, 1998, <http://www.eshed.com/>
6. McKoy, D.H. Cumming; Egbelu, Pius J.; “Production Scheduling in a process and assembly job shop”, *Production Planning & Control*, Vol. 10, No. 1, p. 76-88, 1999.
7. Nakcharoen, Prasert; Rogers, K.J.; “Activity-Based Costing Approach to Equipment Selection Problem For Flexible Manufacturing Systems”, *The Seventh Industrial Engineering Research Conference, Banff AL Canada 1998*, Enterprise Engineering Group Papers, 1998.
8. Rich, Eleine; Knight, K.; *Artificial Intelligence*, 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., 1991.
9. Smirnov, Yuri; “Applying AI to Manufacturing Linear Order Promising and Production Planning”, *The Workshop on E-Commerce, American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium*, Stanford, 1999.
10. Smirnov, Yuri; “Manufacturing Planning under Uncertainty and Incomplete Information”, *American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium*, Stanford, 1999.
11. Schildt, Herbert; *Artificial Intelligence Using C*, Osborne McGraw-Hill, 1987.
12. Schoenfeldt, Rogers; *Process Flowchart*, 1999 <http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/roger.schoenfeldt/>
13. Singh, Nanua; *Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
14. Weiss, Mark Allen; *Data Structures And Algorithm Analysis in C++*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1994.
15. Winston, Patrick Henry; *Artificial Intelligence*, 3rd Ed., Addison Wesley, 1993.