

ACTIVITY-BASED COSTING DAN SIMULATED ANNEALING UNTUK PENCARIAN RUTE PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Gregorius S. Budhi

Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Informatika, Universitas Kristen Petra

Email: greg@petra.ac.id

ABSTRAK: *Flexible Manufacturing System (FMS)* adalah sistem manufaktur yang tersusun dari mesin-mesin *Numerical Control (NC)* yang dikombinasi dengan Sistem Penanganan Material, sehingga job-job berbeda dikerjakan oleh mesin-mesin dengan alur yang berlainan. FMS menggabungkan produktifitas dan fleksibilitas yang tinggi dari Sistem Manufaktur *Transfer Line* dan *Job Shop*.

Pada riset ini pendekatan Activity-Based Costing (ABC) digunakan sebagai bobot / weight dalam pencarian rute operasi pada mesin yang tepat, untuk lebih mengoptimasi biaya produksi secara keseluruhan. Adapun metode Searching yang digunakan adalah Simulated Annealing yang merupakan varian dari metode searching Hill Climbing. Waktu operasi ideal untuk memproses sebuah part digunakan sebagai Annealing Schedulanya.

Dari hasil pengujian empiris dapat dibuktikan bahwa penggunaan pendekatan ABC dan Simulated Annealing untuk proses pencarian rute (routing) dapat lebih mengoptimasi total biaya produksi. Sementara itu, dengan digunakannya waktu operasi ideal sebagai Annealing Schedule, waktu proses dapat dimaintain dengan baik.

Kata kunci: *Flexible Manufacturing Systems, Activity-Based Costing Approach, Simulated Annealing.*

ABSTRACT: *Flexible Manufacturing System (FMS)* is a manufacturing system that is formed from several Numerical Controlled Machines combine with material handling system, so that different jobs can be worked by different machines sequences. FMS combine the high productivity and flexibility of Transfer Line and Job Shop manufacturing system.

In this reasearch, Activity-Based Costing(ABC) approach was used as the weight to search the operation route in the proper machine, so that the total production cost can be optimized. The search method that was used in this experiment is Simulated Annealling, a variant form Hill Climbing Search method. An ideal operation time to proses a part was used as the annealing schedule.

From the empirical test, it could be proved that the use of ABC approach and Simulated Annealing to search the route (routing process) can optimize the Total Production Cost. In the other hand, the use of ideal operation time to process a part as annealing schedule can control the processing time well.

Keywords: *Flexible Manufacturing Systems, Activity-Based Costing Approach, Simulated Annealing.*

1. PENDAHULUAN

Flexible Manufacturing System (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 [14].

Pada FMS setiap job guna memproduksi sesuatu, mempunyai beberapa alternatif jalur

mesin–mesin untuk menyelesaikannya. Sistem penanganan material pada FMS harus dikontrol computer untuk menentukan alternatif jalur job tadi secara otomatis. Disiplin antrian yang digunakan biasanya adalah First Come First Serve (FCFS), Last Come First Serve (LCFS) atau Prioritas [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 pada saat mencari dan melakukan routing (pencarian rute) dari masing–masing job yang berada pada antrian. Oleh sebab itu metode Heuristic Search, yang dapat mencari alternatif rute optimal dapat digunakan pada saat routing sebuah job dalam sebuah flexible manufacture dengan goal dinamis [10, 11].

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 menyebabkan terlewatnya solusi terbaik [9].

Dari hal-hal diatas, peneliti mencoba menggantikan metode antrian dan pencarian rute yang digunakan, menggunakan metode pencarian Heuristic dengan bobot pencarian rute berupa pendekatan ABC untuk tiap–tiap job yang sedang dikerjakan. Dengan kombinasi ini diharapkan dapat dihasilkan suatu algoritma yang cepat, fleksibel dan optimal dalam hal biaya produksi per job.

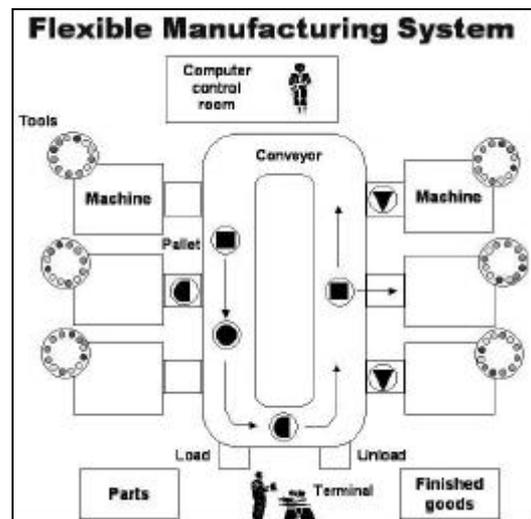
Selanjutnya paper ini akan diorganisasikan seperti berikut: Pada Bab 2 akan dibahas tentang teori teori dan metode–metode yang digunakan dalam eksperimen. Bab 3 membahas tentang metode penelitian

yang digunakan. Bab 4 tentang rumus – rumus ABC yang digunakan untuk pencarian rute. Bab 5 mengenai metode pencarian heuristic yang digunakan. Bab 6 tentang Algoritma Level Tinggi yang didisain. Bab 7 mengenai FlowChat dari Algoritma pada bab 6. Bab 8 tentang pengujian algoritma dan bab 9 untuk kesimpulan dan saran.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Singkat Tentang FMS

FMS adalah suatu sistem 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 [14].



Gambar 1 : Contoh FMS yang menggunakan roller conveyor sebagai sarana material handling.

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.

c. Fleksibilitas

Flexibility dapat didefinisikan sebagai sekumpulan property dari system manufaktur yang mendukung perubahan kapasitas dan kapabilitas produksi (Carter, 1986) [14]. Adapun macam-macam fleksibilitas pada FMS adalah:

- *Fleksibilitas Mesin (Machine Flexibility)*
Fleksibilitas mesin berarti kemampuan sebuah mesin untuk melakukan bermacam-macam operasi pada bermacam-macam part produk dengan tipe dan bentuk berbeda. Keuntungan yang didapat dari mesin fleksibel dan pergantian tipe part yang diproses dengan cepat ini adalah kebutuhan besar lokasi yang ekonomis dan waktu proses yang lebih rendah.
- *Fleksibilitas Rute (Routing Flexibility)*
Fleksibilitas Rute berarti part-part produk tersebut dapat diproduksi dengan beberapa rute alternatif. Fleksibilitas rute secara utama digunakan untuk memmanage perubahan internal yang disebabkan oleh kerusakan alat, kegagalan pengontrol, dan hal-hal lain sejenis dan juga dapat membantu peningkatan output.
- *Fleksibilitas Proses (Process Flexibility)*
Fleksibilitas Proses atau yang dikenal juga dengan nama Mix Flexibility adalah kemampuan untuk menyerap perubahan yang terjadi pada produk dengan melakukan operasi-operasi sejenis atau memproduksi produk-

produk sejenis atau part-partnya pada center-center CNC yang serbaguna dan adaptabel.

- *Fleksibilitas Produk (Product Flexibility)*

Fleksibilitas Produk atau yang dikenal dengan nama Mix-Change Flexibility adalah kemampuan untuk melakukan perubahan menuju set-set produk baru yang harus diproduksi secara cepat dan ekonomis, untuk merespon perubahan market dan engineering dan untuk beroperasi pada basis pelayanan pesanan terbatas.

- *Fleksibilitas Produksi (Production Flexibility)*

Fleksibilitas Produksi berarti kemampuan untuk memproduksi bermacam-macam produk tanpa perlu adanya penambahan pada peralatan-peralatan berat/penting, walaupun penambahan tool-tool baru atau sumber daya lain dapat dimungkinkan. Hal ini menyebabkan dapat diproduksinya berbagai macam jenis produk dengan biaya dan waktu yang memadai.

- *Fleksibilitas Ekspansi (Expansion Flexibility)*

Fleksibilitas Ekspansi berarti kemampuan untuk merubah sistem manufaktur untuk mengakomodasi perubahan produk-produk secara umum. Perbedaannya dengan definisi Fleksibilitas Produksi adalah, pada Fleksibilitas Ekspansi perubahan produk diikuti pula dengan penambahan peralatan beratnya. Tapi hal ini dapat dilakukan dengan mudah karena perubahan dan penambahan itu dapat dikerjakan pada desain sistem manufaktur yang aslinya.

2.2 Activity-Based Costing

Activity-Based Costing (ABC), adalah suatu metode kalkulasi biaya yang ditemukan oleh Cooper dan Kaplan (1988). 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 Search adalah sebuah teknik yang meningkatkan efisiensi dari sebuah proses pencarian. 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.

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 [9].
- *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. 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. [9].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada riset ini metodologi penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Studi 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.
2. Menentukan metode Heuristic Search mana yang cocok untuk digunakan.
3. Analisa dan penentuan aturan-aturan dan constrain-constrain yang perlu diperhatikan, baik dalam FMS, metode ABC, maupun Heuristic Search yang dipilih.
4. Mendisain Algoritma Heuristic yang sesuai.
5. Medisain Algoritma Exhaustive sebagai sarana pembandingan dan pengujian akan kebenaran dari Algoritma Heuristic.
6. Membuat program sederhana guna pengujian Algoritma Heuristic dan Algoritma Exhaustive yang digunakan sebagai pembandingan.
7. Pengujian program dan analisa hasil pengujian.
8. Penulisan Laporan.

4. PENDEKATAN ABC UNTUK PENCARIAN RUTE BENDA KERJA PADA FMS

Sampai saat ini metode routing yang digunakan pada FMS yaitu FCFS, LCFS dan Priority, lebih dititikberatkan pada optimasi waktu produksi dan pemakaian maksimal mesin – mesin produksi yang tersedia. Pada eksperimen ini peneliti mencoba melakukan optimasi biaya produksi pada setiap part yang diproses dengan sedikit mengorbankan waktu proses. Hal ini disebabkan karena adanya perhitungan yang harus dilakukan setiap kali sebuah benda masuk ke dalam antrian untuk proses selanjutnya.

Model matematis yang digunakan adalah:
Asumsi-asumsi:

- Sequence operasi-operasi masing-masing tipe part diketahui.
- 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.

Formula matematis:

Untuk setiap part yang diproses dari awal sampai menjadi selesai akan dilakukan perhitungan dengan formula matematis sebagai berikut:

$$\text{Min} \sum_{o=1}^o \left[\sum_{m=1}^M \left[X_{om} C_{om} + S_{om} \beta_{om} + \left(\frac{t_{om}}{T_m} \right) \beta_m C_m \right] \right] \quad (1)$$

Rumus 1 diatas digunakan untuk menghitung bobot yang digunakan selama pencarian rute mesin.

Constraint - constraint yang digunakan selama pencarian rute adalah:

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

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

Keterangan:

- m merepresentasikan indeks dari mesin yang digunakan $m=1,2,\dots,M$
- o merepresentasikan indeks dari operasi untuk sebuah part $o=1,2,\dots,O$
- X_{om} merepresentasikan 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'
- 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 (perubahan tool) untuk operasi 'o' pada mesin 'm'
- 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

5. HEURISTIC SEARCH YANG DIGUNAKAN

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

- Sebuah proses pencarian rute mesin untuk part-part yang akan diproduksi dapat disamakan dengan metode *Heuristic Search Hill Climbing*, mengingat digunakannya pendekatan ABC sebagai bobot pencariannya. Karena lama waktu produksi juga sering kali menjadi perhatian saat proses produksi dilakukan, maka metode *Simulated Annealing* yang merupakan salah satu varian dari Hill Climbing dapat dipilih, mengingat pada metode ini terdapat unsur pengatur pencarian, yaitu Annealing Schedule. Dalam penelitian ini, waktu operasi ideal dari part yang diproses digunakan sebagai Annealing Schedulanya.
- Model matematis memiliki beberapa constraint penting. Bila constraint-constraint ini diterapkan saat pencarian dilakukan, maka adanya constraint ini waktu pencarian dapat dipersingkat, mengingat bila *Constraint Catisfaction* tidak dipenuhi oleh rute yang diobservasi, maka rute tersebut dapat langsung ditinggalkan.

6. ALGORITMA LEVEL TINGGI UNTUK PEMILIHAN RUTE BENDA KERJA PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS)

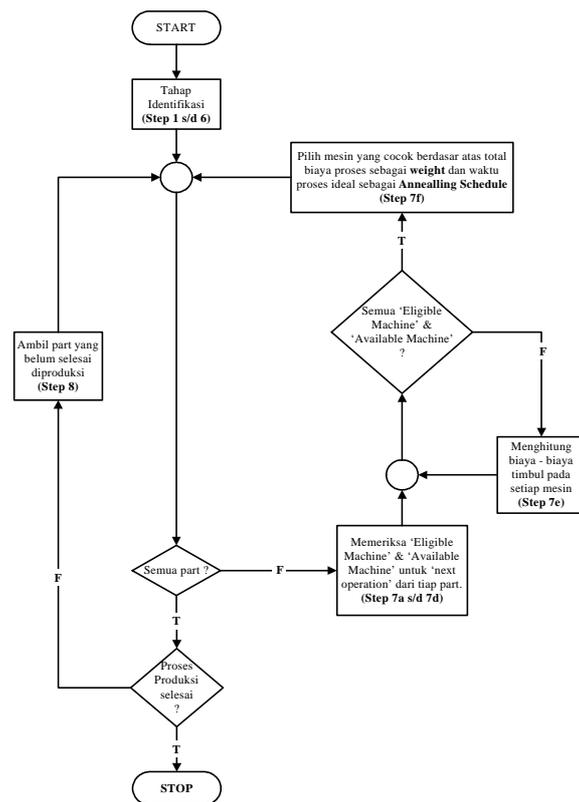
- Step 1: Identifikasi part-part yang akan diproduksi.
- Step 2: Identifikasi operasi-operasi yang dibutuhkan untuk memproduksi tiap part yang diproses.

- Step 3: Identifikasi mesin–mesin yang memenuhi syarat untuk melakukan tiap operasi yang dibutuhkan untuk semua part yang akan diproduksi.
- 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}) dan biaya set-up tools dari mesin ‘m’ untuk operasi ‘o’ (S_{om}).
- Step 6: Identifikasi biaya apresiasi untuk penggunaan tiap equipment. biaya tetap (t_{om}/T_m) $\beta_m C_m$) atau biaya depresiasi peralatan dikalkulasi berdasar atas rating penggunaan tiap peralatan.
- Step 7: Untuk part pertama yang akan diproduksi dilakukan pencarian rute mesin berikutnya terbaik (best next route) dengan memperhitungkan biaya produksi part pada mesin.
- Step 7a: Identifikasi rute operasi berikutnya dari part yang diproses.
- Step 7b: Membuat daftar semua alternatif mesin yang siap dilalui oleh type part yang diproses (Eligible Machine). Yaitu daftar mesin–mesin yang dapat melakukan ‘next operation’.
- Step 7c: Memeriksa semua constraint yang berlaku pada setiap alternatif ‘Eligible Machine’. Bila sebuah alternatif mesin tidak memuaskan pemeriksaan constraint, maka alternatif mesin tersebut tidak digunakan.
- Step 7d: Memeriksa apakah setiap alternatif ‘Eligible Machine’, sedang dalam kondisi memproses part lain atau tidak pada saat waktu proses sekarang (current proses) dari part berakhir. Bila alternatif mesin tersebut sedang dalam kondisi memproses part lain, maka alternatif mesin tersebut tidak digunakan.
- Step 7e: Selanjutnya untuk semua alternatif ‘Eligible Machine’ yang memuaskan pemeriksaan constraint dan sedang tidak memproses part lain,

dihitung biaya operasi, biaya setup, dan waktu operasi untuk menghitung biaya depresiasi peralatan.

- Step 7f: Pilih mesin dengan total biaya proses part pada mesin terkecil sebagai bobot (weight) pencarian, dan waktu proses ideal setiap operasi pada setiap part sebagai Annealing Scheduleny.
- Step 7g: Kembali ke step 7 untuk memproses part–part berikutnya sampai habis.
- Step 8: Ulangi Step 7, sampai semua part yang akan diproduksi, selesai diproduksi.

7. FLOWCHART UNTUK PEMILIHAN RUTE BENDA KERJA PADA FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS (FMS)



8. PENGUJIAN

Pengujian dilakukan dengan pengimplementasian algoritma level tinggi pada bab 6 pada sebuah program sederhana yang dibuat dengan tool C++ Builder 3.

Ujicoba dilakukan dengan mensimulasikan proses routing pada beberapa tipe FMS yang berbeda (2 s/d 5 mesin NC). Untuk setiap type FMS tersebut disimulasikan proses produksi untuk 5 *type part* yang berbeda sejumlah 10 buah untuk tiap-tiap tipe part.

Ujicoba dilakukan dengan membandingkan metode *routing First Come First Serve (FCFS)* yang sering digunakan, dibandingkan dengan metode routing yang diusulkan, yaitu *Simulated-Annealing* yang menggunakan pendekatan ABC untuk bobot pencarian, dan waktu operasi ideal sebagai *Annealing Schedule*-nya.

Ujicoba dilakukan sebanyak 10 kali untuk tiap-tiap tipe FMS, terhadap tiap metode yang dibandingkan.

8.1 Contoh Langkah Pengujian

Misal untuk menghasilkan sebuah part p1 diperlukan lima macam operasi o1 s/d o5 dan FMS yang digunakan adalah FMS dengan 3 mesin NC (asumsi: kerusakan mesin pada saat operasi tidak disimulasikan), dengan kemampuan sebagai berikut:

Tabel 1. Mesin vs Operasi

Mesin	Operasi yg bisa dilakukan
m1	o1, o3, o4, o5
m2	o1, o2, o3
m3	o1, o2, o4, o5

Keterangan: detail waktu proses dan biaya - biaya per operasi tidak ditampilkan disini karena terlalu banyak.

Pada saat benda kerja1 (pallet dan bahan-bahan proses, selanjutnya dinamakan bk1) dari part1 (p1) akan melalui operasi1 (o1), akan dihitung biaya-biaya yang terjadi karena operasi o1 pada mesin m1 s/d m3 menggunakan formula 1. Selain itu dicari pula waktu operasi o1 pada setiap mesin.

Untuk mendapatkan mesin mana yang akan digunakan untuk melakukan o1 pada bk1. dilakukan langkah-langkah sbb:

1. Dihitung probabilitas selisih absolut waktu proses o1 pada m1 s/d m3 terhadap waktu proses standart operasi o1 (Annealing Schedule).
2. Dihitung probabilitas total biaya proses operasi o1 pada masing-masing mesin

m1 s/d m3 (menggunakan formula 1)

3. Nilai-nilai probabilitas tiap mesin dijumlahkan lalu dibagi dua. Kemudian dipilih mesin yang memiliki probabilitas tertinggi. Bila ada yang sama dipilih salah satu.

Pada saat benda kerja berikutnya (bk2) memasuki proses maka mesin yang sedang dipakai proses oleh bk1 tidak ikut dihitung.

Benda kerja berikutnya (bk3) secara otomatis akan masuk mesin terakhir, bila kedua mesin sebelumnya masih sedang dalam proses.

Sementara itu benda kerja-benda kerja yang lain, yang juga harus melewati operasi o1, harus menunggu sampai ada salah satu mesin yang bebas.

Demikian seterusnya setiap benda kerja akan diproses secara real time pada saat benda kerja tersebut akan dikenai sebuah operasi tertentu.

8.2 Hasil Pengujian

Tabel 2. Perbandingan hasil pengujian

FMS	Biaya Produksi (rata-rata) (*)			Waktu Produksi (rata - rata) (**)		
	FCFS	Annealing ABC	Selisih	FCFS	Annealing ABC	Selisih
Type 1 - 2 Mesin	3542.5	3515.58	26.92	1213.8	1209.4	4.4
Type 2 - 3 Mesin	3491.28	3485.96	5.32	1269	1267.8	1.2
Type 3 - 4 Mesin	4288.9	4223.16	65.74	1556.4	1559.8	-3.4
Type 4 - 5 Mesin	3907	3857.68	49.32	1255.6	1258.2	-2.6

(*) Satuan biaya produksi yang digunakan dalam pengujian adalah sebuah satuan biaya sembarang **yang sama** untuk kedua metode yang dibandingkan

(**) Satuan waktu produksi yang digunakan dalam pengujian adalah sebuah satuan waktu sembarang **yang sama** untuk kedua metode yang dibandingkan

Pada pengujian diatas terlihat bahwa:

1. Biaya produksi rata-rata dari metode yang diusulkan selalu lebih rendah dari metode FCFS pada semua pengujian.
2. Waktu produksi yang dibutuhkan oleh metode yang diusulkan semakin meningkat seiring dengan peningkatan jumlah mesin produksi yang terlibat. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya proses perhitungan yang harus dilakukan bila jumlah mesin terlibat meningkat.

9. PENUTUP

9.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian peneliti dapat mengambil kesimpulan sebagai berikut :

- Dari hasil pengujian empiris, proses routing menggunakan metode yang diusulkan terbukti dapat lebih mengurangi total biaya produksi dari part-part yang diproses.
- Dari hasil pengujian empiris, terbukti bahwa tidak terdapat selisih waktu proses produksi yang terlalu besar.
- Walaupun dari pengujian terlihat bahwa terjadi peningkatan waktu produksi seiring dengan peningkatan jumlah mesin, namun hal ini
- Dari pengujian empiris dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode kalkulasi biaya *Activity Based Costing* sebagai bobot pencarian dan waktu operasi ideal sebagai *Annealing Schedule*, pada metode *searching Simulated – Annealing* yang digunakan saat pencarian rute pada FMS, terbukti dapat mengoptimasi biaya produksi.
- Secara keseluruhan penggunaan metode kalkulasi biaya *Activity-Based Costing* sebagai bobot/*weight* pada pencarian Heuristic yang digunakan untuk mendapatkan rute mesin dengan biaya produksi minimal pada saat proses pencarian rute (*routing*) FMS, telah menambahkan derajat fleksibilitas dari sistem tersebut, yaitu pada:
 1. Fleksibilitas Rute, karena dengan pemilihan rute proses menjadi lebih dinamis tanpa meninggalkan unsur optimasi biaya produksi.
 2. Fleksibilitas Produksi, dimana kemampuan sistem untuk memproduksi berbagai macam jenis produk dengan biaya dan waktu yang memadai dapat lebih dioptimalkan pula.

9.2 Saran

- Algoritma yang diusulkan dapat dikembangkan lebih lanjut, seperti misalnya dengan mengganti metode *Search Simulated Annealing* dengan *Genetic* Algoritma, untuk mendapatkan derajat optimasi yang lebih besar.

- Algoritma yang diusulkan diatas dapat pula diterapkan pada proses routing sistem manufacture lain seperti *Job Shop*, *Transfer Line* maupun *Flexible Transfer Line*.

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*, <http://www.meta.bpr.com/>, 1998.
5. Mehuron, Kim, *Flexible Manufacturing Systems moving toward the Twenty First century*, <http://www.eshed.com/>, 1998.
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. M. M. Irfan Subakti, “*Bahasa Simulasi Berbasis Obyek untuk Flexible Manufacturing System*”, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 1999.
8. 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.
9. Rich, Eleine, Knight, K., *Artificial Intelligence*, 2nd Ed., McGraw-Hill, Inc., 1991.

10. 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.
11. Smirnov, Yuri, *Manufacturing Planning under Uncertainty and Incomplete Information*, American Association for Artificial Intelligence Spring Symposium, Stanford, 1999.
12. Schildt, Herbert, *Artificial Intelligence Using C*, Osborne McGraw-Hill, 1987.
13. Schoenfeldt, Rogers, *Process Flow-chart*, <http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/roger.schoenfeldt/>, 1999.
14. Singh, Nanua, *Approach to Computer Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
15. Weiss, Mark Allen, *Data Structures And Algorithm Analysis in C++*, The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 1994.
16. Winston, Patrick Henry, *Artificial Intelligence*, 3rd Ed., Addison Wesley, 1993.