

**PEMILIHAN METODE METAHEURISTIK MENGGUNAKAN  
FUZZY ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS UNTUK  
MENYELESAIKAN MASALAH PERANCANGAN TATA  
LETAK FASILITAS BERORIENTASI PROSES**

***METAHEURISTIC METHOD SELECTION USING FUZZY  
ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS TO SOLVE THE  
DESIGN PROBLEM OF PROCESS ORIENTED FACILITY  
LAYOUT***

Eko Setiawan<sup>1</sup>, Meriastuti Ginting<sup>2</sup>

Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Program Studi Teknik Industri  
Universitas Kristen Krida Wacana - Jakarta

<sup>1</sup>eko.2010TI011@civitas.ukrida.ac.id, <sup>2</sup>Meriastuti.ginting@ukrida.ac.id

**Abstrak**

Pendekatan metaheuristik telah banyak diterapkan untuk memecahkan masalah optimasi. Meskipun terdapat kelebihan yang diperoleh melalui pendekatan ini, banyak penelitian yang menghadapi masalah untuk memilih kinerja pengukuran kriteria dan metode yang paling tepat. Penelitian ini mengusulkan pendekatan *fuzzy Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk melakukan pemilihan metode metaheuristik terbaik dalam studi kasus perancangan tata letak fasilitas. *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* digunakan untuk menentukan bobot masing-masing kriteria dan alternatif. Penelitian ini menggambarkan suatu kerangka metodologi berdasarkan kriteria yang sesuai dan teknik *fuzzy Analytical Hierarchy Process* untuk memilih metode metaheuristik yang optimal. Metode yang dipilih dalam penelitian ini digunakan untuk menyelesaikan masalah fasilitas tata letak berorientasi proses. Hasil menunjukkan bahwa metode yang dipilih mampu menghasilkan kinerja yang lebih baik dari penelitian sebelumnya.

**Kata Kunci:** metaheuristik, *fuzzy* AHP, perancangan tata letak

**Abstract**

*Metaheuristic approaches have been widely implemented to solve optimization problems. Despite the advantages of these approaches, previous research encountered problems in determining the most appropriate performance measurement criteria and method. This study proposed a fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) approach to select the best metaheuristic method for facility layout design. Fuzzy Analytical Hierarchy Process was used to determine the weight of each criteria and alternative. This paper provides a practical framework based on appropriate criteria and fuzzy Analytical Hierarchy Process technique to selecting the optimal metaheuristic method. The method chosen in this study was used to solve the process-oriented facility layout problems. The results suggested that the selected method could produce better performance than that of the previous studies.*

**Keywords:** metaheuristic, *fuzzy* AHP, layout design

**Tanggal Terima Naskah** : 16 Juli 2014  
**Tanggal Persetujuan Naskah** : 19 September 2014

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang Masalah

Perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur seringkali mengalami permasalahan dalam merencanakan sistem manufaktur yang baik. Salah satu permasalahan yang sering muncul menyangkut permasalahan dalam hal perencanaan fasilitas industri, terutama mengenai perancangan lokasi serta tata letak fasilitas di dalam suatu industri [1]. Diperkirakan sekitar 12,2% dari keseluruhan total persentase GNP (*Gross National Product*) digunakan untuk pembangunan fasilitas di Amerika Serikat, dimana terjadi peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan 8,6% dari yang telah dilaporkan pada tahun sebelumnya [2]. Selain itu, pertumbuhan industri manufaktur diperkirakan akan terus meningkat pada tahun 2014. Pertumbuhan industri pengolahan non-migas di Indonesia diperkirakan sekitar 7,14%, investasi PMA (Penanaman Modal Asing) sebesar 12 miliar US\$ dan investasi PMDN (Penanaman Modal Dalam Negeri) sebesar Rp 42 Triliun untuk pembangunan pabrik baru [3]. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, maka sangat dibutuhkan perencanaan fasilitas yang efektif dan efisien.

Permasalahan tata letak fasilitas mempunyai dampak yang signifikan terhadap berbagai faktor, yaitu biaya manufaktur, *work in process* (WIP), *lead time*, dan produktivitas. Selain itu, perancangan fasilitas yang baik dapat berkontribusi untuk keseluruhan efisiensi dari operasi dan dapat mengurangi biaya sampai 50% dari total biaya operasi. Tanpa adanya penanganan fasilitas yang baik, kelancaran proses produksi akan terganggu. Oleh karena itu, evaluasi tata letak fasilitas sangat penting untuk dilakukan untuk mengatasi permasalahan yang ada.

Penelitian yang telah ada saat ini menggunakan metode heuristik konvensional seperti CRAFT, CORELAP, COFAD, ALDEP, dan PLANET untuk menyelesaikan masalah tata letak fasilitas [4]. Penerapan metode komputerisasi tersebut membutuhkan waktu yang lama, terutama untuk masalah dengan jumlah dan lokasi fasilitas yang besar. Oleh karena itu, pendekatan metaheuristik lebih populer dan banyak digunakan karena dapat menghasilkan solusi mendekati optimal dalam waktu yang singkat [5]. Kendala yang lain, yaitu sering munculnya kebingungan untuk memilih metode metaheuristik yang sebaiknya digunakan pada penelitian.

### 1.2. Perumusan Masalah

Banyaknya aspek serta metode yang perlu dipertimbangkan menyebabkan pemilihan metode metaheuristik yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi menjadi semakin kompleks dan rumit. Hal ini juga disebabkan oleh karakteristik masalah yang selalu berubah dan performansi metaheuristik yang dapat berbeda tergantung dari pengaturan parameternya. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Akan tetapi, terdapat suatu metode yang lebih baik dari metode lainnya untuk permasalahan tertentu. Oleh karena itu, diperlukan kriteria-kriteria khusus yang mampu menentukan suatu performansi metaheuristik dalam menyelesaikan masalah. Berdasarkan kriteria tersebut, maka dapat ditentukan metode metaheuristik yang paling optimal untuk suatu permasalahan optimasi.

Dari perumusan masalah tersebut, maka dapat dikembangkan pertanyaan penelitian, yaitu metode apa yang menghasilkan performansi yang paling optimal berdasarkan pendapat pakar dengan *fuzzy* AHP serta bagaimana metode metaheuristik yang terpilih dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dibandingkan dengan keadaan awal dalam studi kasus perancangan tata letak.

### 1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah menentukan metode metaheuristik yang terbaik berdasarkan hasil dari pengolahan *fuzzy* AHP. Penentuan metode terbaik dilakukan dengan membandingkan solusi dan performansi dari metode yang terpilih dengan metode heuristik lainnya dalam permasalahan tata letak fasilitas. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi kajian dalam bidang akademik bagi para peneliti untuk menilai performansi berbagai metode metaheuristik dan menyelesaikan masalah pemilihan metaheuristik.

## 2. KONSEP DASAR

### 2.1 Kriteria Pemilihan Metaheuristik

Menurut Scheibenpflug, Wagner, Pitzer, Burlacu, dan Affenzeller [6], metaheuristik berhasil digunakan untuk berbagai aplikasi karena mampu menyediakan waktu komputasi yang beralasan serta kualitas solusi yang baik. Akan tetapi, memilih algoritma yang sesuai untuk masalah tertentu tidaklah mudah dilakukan. Oleh karena itu, pemilihan metode yang sesuai merupakan aspek yang kritis dalam mengimplementasikan metaheuristik [7].

Dalam penelitian yang dilakukan Scheibenpflug *et al.* [6], terdapat beberapa pengukuran yang mampu menganalisis tingkah laku dari berbagai pendekatan metaheuristik. Beberapa pengukuran tingkah laku algoritma yang dapat digunakan sebagai kriteria untuk membandingkan beberapa algoritma, yaitu luas penyebaran solusi (*spread of solutions*), jumlah perbaikan (*amount of improvement*) yang menunjukkan kualitas solusi, kecepatan konvergensi/kecepatan komputasi, rasio keberhasilan (*success ratio*), serta intensitas diversifikasi (pencarian diversifikasi untuk memunculkan solusi baru).

Pendapat Scheibenpflug *et al.*, didukung dengan penelitian oleh Pasandideh dan Niaki [8] mengenai tata letak fasilitas dengan jumlah permintaan pelanggan yang stokastik dan menggunakan teori antrian yang digabungkan dengan algoritma genetika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode GA yang digunakan mencapai kualitas solusi yang sama dengan *software* LINGO, tetapi membutuhkan waktu CPU yang lebih sedikit. Selain itu, metode GA tersebut mampu menyelesaikan masalah yang berukuran besar (*large-size problem*).

Dari beberapa penelitian di atas dapat dilihat berbagai kriteria yang diperlukan oleh seorang peneliti dalam mempertimbangkan penggunaan metode metaheuristik yang sesuai. Setelah merangkum berbagai kriteria tersebut, maka penelitian ini akan difokuskan pada beberapa kriteria yang banyak digunakan dalam studi kasus. Secara keseluruhan, rangkuman mengenai kriteria yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rangkuman kriteria berdasarkan literatur

| No | Referensi                       | Kriteria |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---------------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|    |                                 | A        | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 1  | Ghaderi <i>et al.</i> (2011)    |          |   |   | √ | √ |   |   | √ |   | √ | √ | √ |
| 2  | Aiello <i>et al.</i> (2012)     |          | √ |   |   | √ |   | √ |   |   |   |   |   |
| 3  | Pasandideh <i>et al.</i> (2010) | √        |   |   | √ | √ |   |   |   |   | √ |   |   |
| 4  | Wong & See (2010)               | √        | √ |   |   | √ |   |   |   |   |   |   |   |

Tabel 1. Rangkuman kriteria berdasarkan literatur (lanjutan)

| No | Referensi                       | Kriteria |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---------------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
|    |                                 | A        | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L |
| 5  | Setiawan & Palit (2010)         |          |   |   |   | √ |   |   | √ | √ | √ |   |   |
| 6  | Singh & Sharma (2010)           | √        |   |   |   | √ |   |   |   |   | √ |   |   |
| 7  | Reddy <i>et al.</i> (2012)      | √        | √ |   |   |   |   |   |   |   | √ |   |   |
| 8  | Sooksaksun <i>et al.</i> (2010) |          |   |   |   | √ |   |   | √ |   |   |   |   |
| 9  | Matic <i>et al.</i> (2011)      | √        | √ | √ |   | √ |   |   |   | √ | √ |   |   |
| 10 | Chang & Lin (2013)              | √        | √ |   |   |   |   | √ |   |   |   |   |   |
| 11 | Penelitian saat ini             | √        | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ | √ |

**Keterangan:**

|                            |                              |
|----------------------------|------------------------------|
| (A) = Kualitas Solusi      | (G) = Efisiensi Penerapan    |
| (B) = Luas Ruang Pencarian | (H) = Kemudahan Implementasi |
| (C) = Jumlah Perbaikan     | (I) = Kemudahan Kombinasi    |
| (D) = Rasio Keberhasilan   | (J) = Ukuran Masalah         |
| (E) = Waktu Komputasi      | (K) = Jumlah Parameter       |
| (F) = Waktu Coding         | (L) = Jumlah Baris Coding    |

## 2.2 Fuzzy Analytical Hierarchy Process

Penggunaan AHP yang tradisional membutuhkan penilaian *crisp*. Tetapi, akibat adanya kompleksitas dan ketidakpastian dalam masalah pengambilan keputusan di dunia nyata, maka seorang pengambil keputusan mungkin akan merasa lebih percaya diri untuk menyediakan penilaian yang bersifat *fuzzy* dibandingkan penilaian biasa [4].

Menurut Zadeh [9], *fuzzy* memiliki kapabilitas untuk merepresentasikan data yang bersifat samar/kabur. Zadeh [10] menyebutkan beberapa alasan seseorang menggunakan *fuzzy*, yaitu konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti, fleksibel, memiliki toleransi terhadap data yang tidak tepat, mampu memodelkan fungsi nonlinier yang sangat kompleks, dan dapat mengaplikasikan pengalaman pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan. Penelitian saat ini telah sesuai dan cocok menggunakan konsep *fuzzy* karena kriteria yang digunakan banyak memunculkan ketidakpastian serta penilaian yang subjektif, seperti fokus pencarian, kemudahan implementasi, dan kemudahan *decoding* variabel.

Cheng *et al.* [11] berpendapat bahwa metode AHP lebih banyak digunakan untuk penilaian yang bersifat *crisp* (*non-fuzzy*) sehingga menciptakan skala penilaian yang tidak seimbang. Selain itu, metode *non-fuzzy* tidak memperhitungkan adanya ketidakpastian serta belum mampu merefleksikan cara berpikir manusia. Ozdagoglu [12] menyatakan bahwa metode AHP tidak mengizinkan situasi dimana bobot yang didapatkan bernilai nol, tetapi lebih diarahkan pada nilai yang mendekati nol yang berarti bahwa suatu kriteria dianggap tidak penting, sedangkan *fuzzy* AHP mengizinkan bobot yang bernilai nol dan dapat menolak kriteria yang tidak penting, dengan demikian pengambil keputusan dapat lebih fokus untuk kriteria yang lebih penting.

Banyak penelitian yang telah menggunakan konsep *fuzzy* AHP untuk pengambilan keputusan. Magdalena [13] menggunakan kombinasi *taguchi loss function*

dengan *fuzzy* AHP untuk menentukan pemasok yang terbaik dengan berbagai kriteria. Penelitian tersebut membuat suatu model *fuzzy* yang berbasis *linear programming* untuk mengurangi subjektivitas. Rahardjo dan Sutapa [14] melakukan penelitian yang membandingkan AHP dan *fuzzy* AHP untuk proses seleksi karyawan. Hasil penelitian menyatakan bahwa nilai konsistensi yang didapatkan melalui penilaian *fuzzy* AHP lebih kecil daripada metode AHP biasa. Konsep *fuzzy* AHP yang lain oleh Lee, Chen, dan Chang [15], digunakan untuk mengevaluasi performansi dari departemen IT di Taiwan. Metode *fuzzy* AHP dikombinasikan dengan pendekatan *Balanced Score Card* sehingga mampu membentuk suatu hirarki untuk penilaian performansi perusahaan.

### 2.3 Model Perancangan Tata Letak

Pendekatan metaheuristik merupakan metode yang cukup terkenal dan banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi yang bersifat kompleks. Metode ini terkadang tidak menampilkan hasil yang terbaik, tetapi mampu menyediakan solusi yang masih dapat diterima dalam waktu yang singkat sehingga lebih banyak digunakan [5]. Hal ini diperkuat oleh pendapat Kundu dan Dan [16] yang menyatakan bahwa perancangan tata letak fasilitas dengan pendekatan multi-objektif menggunakan prosedur metaheuristik merupakan tren yang sedang berlangsung saat ini dan hanya sedikit penelitian yang menggunakan pendekatan heuristik yang konvensional. Menurut Singh dan Sharma [17], metode heuristik konvensional hanya mampu menyelesaikan model QAP dengan jumlah masalah sebesar 20. Untuk permasalahan dengan jumlah yang besar, maka pendekatan metaheuristik dapat digunakan untuk menemukan hasil yang optimal dalam waktu singkat.

Metode-metode tersebut digunakan untuk menyelesaikan berbagai fungsi objektif atau model perancangan tata letak. Secara umum, terdapat dua representasi fungsi objektif yang dipertimbangkan Meller dan Gau [16] dalam perancangan tata letak fasilitas, yaitu berdasarkan hubungan kedekatan dan berdasarkan jarak. Menurut Tompkins *et al.* [18], terdapat berbagai model perancangan tata letak yang berbeda-beda tergantung dari masalahnya. Beberapa diantaranya, yaitu model untuk lokasi fasilitas, model tata letak fasilitas, model tata letak gudang, dan model tata letak mesin. Untuk membuat suatu formulasi matematik, perlu dilihat masalah yang akan diselesaikan. LAP (*Linear Assignment Problem*) digunakan pada saat tidak ada interaksi antara fasilitas baru atau hanya sekedar menempatkan fasilitas baru pada fasilitas yang sudah ada. Model QAP digunakan jika ada interaksi antara fasilitas-fasilitas yang baru.

Kundu dan Dan [16] melakukan survei literatur untuk membandingkan metode-metode yang banyak digunakan dalam berbagai penelitian. Dari hasil *review*, banyak aspek yang dipertimbangkan dalam memformulasikan model perancangan tata letak. Oleh karena itu, tergantung dari permasalahannya, maka perancangan tata letak perlu mempertimbangkan banyak faktor. Penelitian yang dilakukan saat ini juga melakukan survei literatur untuk beberapa jurnal metaheuristik yang dapat dilihat pada tabel 2. Adapun beberapa faktor yang dipertimbangkan adalah minimisasi biaya *material handling* (A), aliran material (B), penggunaan *material handling* dan total nilai kedekatan (C), total jarak perpindahan bahan (D), dan aspek-aspek lain, seperti waktu tunggu, waktu komputasi, dan lain-lain (E)

Tabel 2. Rangkuman survei literatur

| No | Referensi                       | Metode | Objektif |   |   |   |   |
|----|---------------------------------|--------|----------|---|---|---|---|
|    |                                 |        | A        | B | C | D | E |
| 1  | Ghaderi <i>et al.</i> (2011)    | H-PSO  |          |   |   | √ |   |
| 2  | Aiello <i>et al.</i> (2012)     | GA     | √        |   | √ | √ |   |
| 3  | Pasandideh <i>et al.</i> (2010) | GA     |          |   |   |   | √ |

Tabel 2. Rangkuman survei literatur (lanjutan)

| No | Referensi                       | Metode     | Objektif |   |   |   |   |
|----|---------------------------------|------------|----------|---|---|---|---|
|    |                                 |            | A        | B | C | D | E |
| 4  | Wong & See (2010)               | ACO        |          | √ |   | √ |   |
| 5  | Setiawan & Palit (2010)         | GA-SA, PSO |          |   |   | √ | √ |
| 6  | Singh & Sharma (2010)           | GA         | √        |   |   |   |   |
| 7  | Reddy <i>et al.</i> (2012)      | PSO        | √        | √ | √ |   |   |
| 8  | Sooksaksun <i>et al.</i> (2010) | PSO        |          |   | √ |   | √ |
| 9  | Matic <i>et al.</i> (2011)      | GA         | √        |   |   | √ | √ |
| 10 | Chang & Lin (2013)              | ACO        |          | √ |   | √ |   |

Dari beberapa survei literatur tersebut, penelitian ini akan menggunakan beberapa aspek atau objektif untuk perancangan tata letak fasilitas, yaitu minimisasi ongkos *material handling*, minimisasi total jarak, dan minimisasi nilai hubungan jarak kedekatan. Hal ini dilakukan karena data sekunder yang diperoleh berupa jarak dan frekuensi aliran dari setiap stasiun kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan fungsi objektif. Penelitian ini tidak mempertimbangkan aspek waktu dan biaya *relayout* karena membutuhkan waktu yang lama dalam mengimplementasikan tata letak baru. Selain itu, dibutuhkan penyesuaian dari bagian produksi dan perusahaan agar tata letak dapat diterapkan dalam jangka waktu yang lama.

#### 2.4 Posisi Penelitian Saat Ini

Dengan banyaknya penelitian yang telah menggunakan *fuzzy* AHP, maka penelitian ini dapat diposisikan sebagai penelitian baru yang melakukan analisis terhadap kriteria penilaian performansi metaheuristik dan kemudian memilih metode metaheuristik yang paling optimal berdasarkan hasil pengambilan keputusan. Kriteria yang telah ditemukan dari studi literatur kemudian akan divalidasi kepada ahli dan diolah dengan *fuzzy* AHP. Metode terbaik yang didapatkan dari hasil pengambilan keputusan (GA, PSO, ACO, atau SA) akan diuji pada suatu contoh studi kasus perancangan tata letak pada PT XYZ yang didapatkan dari jurnal. Penelitian ini akan menggunakan metode heuristik, seperti CRAFT, BLOCPLAN, ALDEP dan CORELAP, serta metaheuristik terpilih untuk menyelesaikan permasalahan tata letak, sedangkan penelitian sebelumnya menggunakan metode grafik dan algoritma SA dalam perancangan tata letak.

### 3. METODOLOGI

Jenis penelitian yang akan dilakukan, yaitu penelitian secara kualitatif yang menilai kepentingan suatu kriteria disertai penelitian kuantitatif dengan menguji hasil dalam suatu studi kasus. Penelitian ini diklasifikasikan sebagai penelitian murni karena hasil penelitian lebih difokuskan untuk pengembangan pengetahuan serta kepentingan akademis [19].

Subjek penelitian ini adalah orang-orang yang ahli dalam bidang metaheuristik serta orang-orang yang berkepentingan dalam perancangan tata letak fasilitas. Objek penelitian berupa kriteria-kriteria yang diperlukan untuk penilaian performansi metaheuristik serta metode yang digunakan untuk perancangan tata letak fasilitas lantai produksi pada industri manufaktur. Untuk memberikan gambaran yang jelas mengenai objek penelitian, maka digunakan metode-metode penelitian yang akan dijabarkan berikut ini.

### 3.1 Narasumber Penelitian

Informan pada penelitian ini diperlukan untuk melakukan validasi terhadap kriteria yang ditemukan berdasarkan studi literatur dan untuk menilai tingkat kepentingan setiap kriteria serta metode metaheuristik. Pengambilan sampel untuk jumlah informan berupa *purposive sampling*. Adapun informan yang dipilih adalah orang-orang yang ahli dalam bidang metaheuristik. Menurut Tolle, seorang pakar/ahli (*human expert*) adalah seorang individu yang memiliki kemampuan pemahaman yang superior dari suatu masalah. Shanteau [20] berpendapat bahwa pakar atau ahli seringkali dideskripsikan sebagai seseorang yang telah memiliki pengalaman 10 sampai 20 tahun di bidangnya, atau lebih dari 10.000 jam praktek, meskipun pengalaman bukanlah jaminan suatu keahlian. Oleh karena pengalaman yang luas di bidangnya, dalam keadaan tertentu, ahli juga dapat dengan cepat memeriksa suatu situasi dan mengidentifikasi hal-hal yang bersifat relevan.

Berdasarkan hal-hal tersebut, maka pertimbangan dalam pemilihan pakar atau ahli untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menguasai bidang ilmu dan teori-teori mengenai metaheuristik.
2. Pernah menjadi pengajar dalam bidang optimasi, riset operasi, dan *data-mining*, serta mempunyai ketertarikan akademis dalam bidang metaheuristik.
3. Memiliki latar belakang pendidikan dan profesi dalam bidang studi Teknik Industri atau Ilmu Komputer. Selain itu, setidaknya memiliki gelar S3 atau profesor dalam bidang studi tersebut.
4. Pernah melakukan penelitian dalam bidang optimasi dan melakukan publikasi jurnal ilmiah (internasional) tentang optimasi dan metaheuristik setidaknya berjumlah tiga jurnal.

Adapun ahli atau informan yang digunakan untuk menilai kriteria adalah:

1. Prof. Dr. Ir. Budi Santosa, M.Sc (Guru Besar Institut Teknologi Sepuluh Nopember)
2. I Gede Agus Widyadana, S.T., M.Eng. (Dosen Teknik Industri Universitas Kristen Petra)
3. Dr. The Jin Ai, S.T., M.T. (Dosen Teknik Industri Universitas Atma Jaya Yogyakarta)

### 3.2 Metode *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (FAHP)

Penelitian ini akan menentukan kriteria serta pendekatan metaheuristik yang sebaiknya digunakan dengan metode pengambilan keputusan berupa *fuzzy AHP*. Kuesioner yang telah diisi kemudian akan diolah dengan AHP untuk menentukan bobot kepentingan masing-masing kriteria sehingga dapat ditemukan metaheuristik yang terbaik berdasarkan urutan peringkat bobot yang terbesar. Program komputer berupa *expert choice* akan digunakan untuk menentukan bobot alternatif dan menguji nilai konsistensi. Langkah-langkah dalam mengerjakan metode *fuzzy AHP* mengacu pada penelitian Rezaie *et al.* [21] dan Raharjo *et al.* [22], yaitu:

1. Identifikasi faktor performansi dan struktur hirarki.
2. Mengumpulkan penilaian ahli berdasarkan skala linguistik dan bilangan *fuzzy* untuk membangun matriks perbandingan berpasangan *fuzzy*. Fungsi keanggotaan *fuzzy* yang digunakan adalah dalam bentuk triangular.

Tabel 3. Skala linguistik dan skala TFN [21]

| Skala | Variabel Linguistik                                  | Skala TFN |
|-------|--|-----------|
| 1     | Sama penting ( <i>equal importance</i> )             | (1,1,1)   |
| 3     | Sedikit lebih penting ( <i>moderate importance</i> ) | (2,3,4)   |
| 5     | Lebih penting ( <i>strong importance</i> )           | (4,5,6)   |

Tabel 3. Skala linguistik dan skala TFN [21] (lanjutan)

| Skala      | Variabel Linguistik                                   | Skala TFN     |
|------------|---|---------------|
| 7          | Jelas lebih penting ( <i>very strong importance</i> ) | (6,7,8)       |
| 9          | Mutlak sangat penting ( <i>extreme importance</i> )   | (7,8,9)       |
| 2, 4, 6, 8 | Nilai-nilai di antara dua nilai yang berdekatan       | (x-1, x, x+1) |

Matriks fuzzy dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\tilde{A}^k = [\tilde{a}_{ij}^k] \dots\dots\dots (1)$$

dimana  $\tilde{a}_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$   $\tilde{a}_{ij}^k = (1,1,1)$ :  $\forall i=j$ ;  $\tilde{a}_{ij}^k = \frac{1}{\tilde{a}_{ji}^k}$  :  $\forall i \neq j$

- Menghitung nilai CR (*consistency rate*) dari matriks perbandingan berpasangan. Rumus yang digunakan untuk melakukan revisi jika nilai CR di atas 0,1, yaitu sebagai berikut:

$$a_{ij}^{(k+1)} = (a_{ij}^{(k)})^\lambda \cdot \left( \frac{w_i^{(k)}}{w_j^{(k)}} \right)^{1-\lambda} \dots\dots\dots (2)$$

dimana  $k = k+1$  dan kembali pada langkah 3.

- Defuzzifikasi setiap penilaian ahli dengan metode CFCS. Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode CFCS (*Converting Fuzzy into Crisp Scores*) yang diperkenalkan oleh Opricovic dan Tzeng [23]. Langkah-langkah dalam menyelesaikan metode CFCS ini adalah sebagai berikut.

a. Normalisasi matriks

$$\Delta_{\min}^{\max} = \max u_{ij}^k - \min l_{ij}^k \dots\dots\dots (3)$$

$$x_{l_{ij}}^k = (l_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \dots\dots\dots (4)$$

$$x_{m_{ij}}^k = (m_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \dots\dots\dots (5)$$

$$x_{u_{ij}}^k = (u_{ij}^k - \min l_{ij}^k) / \Delta_{\min}^{\max} \dots\dots\dots (6)$$

b. Menghitung nilai normalisasi *lower (ls)* dan *upper (us)*

$$x_{ls_{ij}}^k = x_{m_{ij}}^k / (1 + x_{m_{ij}}^k - x_{l_{ij}}^k) \dots\dots\dots (7)$$

$$x_{us_{ij}}^k = x_{u_{ij}}^k / (1 + x_{u_{ij}}^k - x_{m_{ij}}^k) \dots\dots\dots (8)$$

c. Menghitung total nilai normalisasi *crisp*

$$x_{ij}^k = [x_{ls_{ij}}^k (1 - x_{ls_{ij}}^k) + x_{us_{ij}}^k] / (1 - x_{ls_{ij}}^k + x_{us_{ij}}^k) \dots\dots\dots (9)$$

d. Menghitung nilai *crisp*

$$a_{ij}^{*k} = \min l_{ij}^k + x_{ij}^k \Delta_{\min}^{\max} \dots\dots\dots (10)$$

- Setelah defuzzifikasi, rata-rata geometris diterapkan untuk mengintegrasikan nilai *crisp* dari k responden dengan rumus (11).

$$a_{ij}^* = \sqrt[k]{(a_{ij}^{*1} \times a_{ij}^{*2} \times \dots \times a_{ij}^{*k})} \dots\dots\dots (11)$$

$$A_{ij}^* = [a_{ij}^*] \dots\dots\dots (12)$$

$A_{ij}^*$  merupakan gabungan nilai *crisp* untuk matriks penilaian dan  $a_{ij}^{*k}$  adalah gabungan nilai *crisp* untuk sub faktor i dan j dari k responden.



- Langkah selanjutnya yang dilakukan, yaitu menemukan bobot akhir dengan menggunakan rumus (13) dan kemudian analisis dapat dilakukan berdasarkan bobot tersebut.

$$w_i = \frac{\left(\prod_{j=1}^n a_{ij}^*\right)^{\frac{1}{n}}}{\sum_{i=1}^n \left(\prod_{j=1}^n a_{ij}^*\right)^{\frac{1}{n}}} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \dots\dots\dots (13)$$

- Dari hasil pembobotan, dibentuk suatu model HoQ dengan menggunakan pendekatan QFD. Model ini digunakan untuk mengintegrasikan bobot kriteria dan alternatif berupa elemen “Whats” dan “How’s”. Langkah terakhir, yaitu mengurutkan peringkat alternatif dengan melihat urutan nilai bobot yang terbesar. Perhitungan bobot akhir dilakukan dengan mengalikan bobot kriteria dan alternatif yang dapat dilihat pada model HoQ.

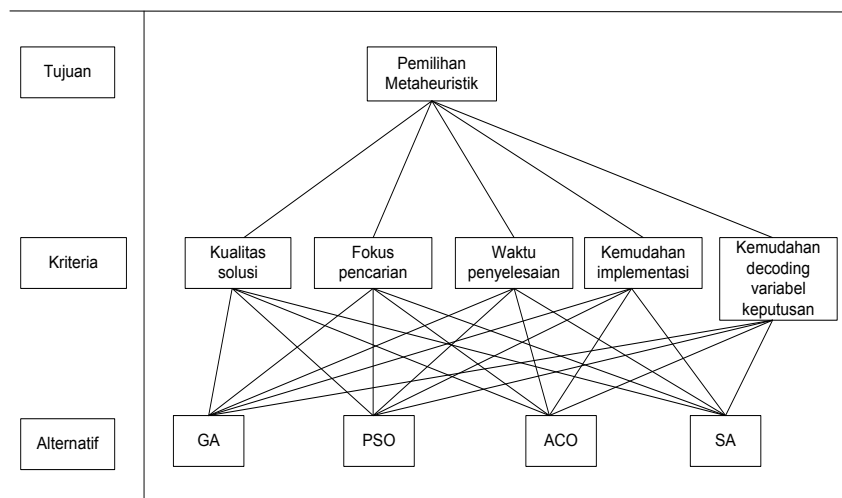
### 3.3 Metode Perancangan Tata Letak

Hasil pemilihan metaheuristik kemudian diuji menggunakan studi kasus perancangan tata letak. Metode yang digunakan dalam perancangan tata letak, yaitu:

- Penelitian ini menggunakan program yang dibuat dengan *Microsoft Excel* untuk menggambar tata letak lantai produksi pabrik.
- Tata letak awal dievaluasi menggunakan algoritma CRAFT, ALDEP, CORELAP, dan BLOCPAN pada program *Microsoft Excel*. Data yang diperlukan, yaitu ongkos *material handling*, jumlah aliran bahan, dan total jarak perpindahan bahan.
- Untuk merancang tata letak alternatif, maka metode metaheuristik yang telah ditentukan melalui *fuzzy AHP* kemudian digunakan untuk menyelesaikan formulasi model yang telah dibuat. *Coding* untuk metaheuristik dilakukan melalui program *MATLAB*.
- Berdasarkan hasil yang telah diperoleh dengan metaheuristik, selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap alternatif yang telah ditemukan. Solusi awal yang diperoleh dibandingkan dengan solusi yang dihasilkan metaheuristik serta solusi dari penelitian sebelumnya.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Identifikasi Kriteria Metaheuristik Berdasarkan Informan



Gambar 1. Struktur hirarki penilaian berdasarkan ahli

Gambar 1 menunjukkan struktur hirarki untuk kriteria penilaian metaheuristik berdasarkan hasil dari pendapat ahli. Kriteria metaheuristik yang telah didapatkan dari penelusuran literatur diverifikasi kepada informan yang merupakan pakar atau ahli dalam bidang ilmu metaheuristik untuk mengetahui kriteria tersebut relevan atau tidak. Dari hasil kuesioner pendahuluan didapatkan lima kriteria metaheuristik, yaitu kualitas solusi, fokus pencarian, waktu penyelesaian, kemudahan implementasi, dan kemudahan *decoding* variabel keputusan.

#### 4.2 Hasil Penilaian Bobot Metode Metaheuristik

Penilaian bobot kepentingan metaheuristik dilakukan oleh tiga orang pengambil keputusan berdasarkan kriteria-kriteria yang telah diperoleh dari hasil analisis. Hasil yang diperoleh melalui pengisian kuesioner adalah perbandingan antarkriteria serta perbandingan antaralternatif. Seluruh hasil kuesioner dapat disusun dalam bentuk matriks perbandingan berpasangan atau *pairwise comparison matrix* (PCM) yang berisi skala bilangan yang telah disesuaikan dengan variabel linguistik. Skala bilangan yang telah dibuat pada matriks berpasangan kemudian dikonversi menjadi skala TFN (*Triangular Fuzzy Number*). Angka *fuzzy* biasanya ditunjukkan dalam bentuk tiga angka, yaitu  $(l, m, u)$ . Tabel 4 menunjukkan matriks berpasangan yang telah diubah dalam bentuk skala *fuzzy*.

Tabel 4. Contoh skala TFN untuk perbandingan kriteria

| Responden 1            | Kualitas Solusi | Fokus Pencarian | Waktu Penyelesaian | Kemudahan Implementasi | Kemudahan Decoding |
|------------------------|-----------------|-----------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| Kualitas Solusi        | (1,1,1)         | (9,9,9)         | (4,5,6)            | (6,7,8)                | (9,9,9)            |
| Fokus Pencarian        | (1/9,1/9,1/9)   | (1,1,1)         | (9,9,9)            | (6,7,8)                | (4,5,6)            |
| Waktu Penyelesaian     | (1/6,1/5,1/4)   | (1/9,1/9,1/9)   | (1,1,1)            | (6,7,8)                | (6,7,8)            |
| Kemudahan Implementasi | (1/8,1/7,1/6)   | (1/8,1/7,1/6)   | (1/8,1/7,1/6)      | (1,1,1)                | (6,7,8)            |
| Kemudahan Decoding     | (1/9,1/9,1/9)   | (1/6,1/5,1/4)   | (1/8,1/7,1/6)      | (1/8,1/7,1/6)          | (1/8,1/7,1/6)      |

#### 4.3 Hasil Uji Konsistensi

Uji konsistensi dilakukan dengan menghitung *consistency index* (CI) dan *consistency rate* (CR) untuk nilai tengah pada matriks *fuzzy*. Jika hasil tidak konsisten ( $>0,1$ ), nilai pada matriks berpasangan harus direvisi. Hasil perhitungan dengan *expert choice* menunjukkan nilai konsistensi yang lebih kecil daripada perhitungan *manual* sehingga digunakan *expert choice* untuk keseluruhan pengolahan AHP.

#### 4.4 Defuzzifikasi Matriks Penilaian

Metode defuzzifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah metode untuk mengkonversi data *fuzzy* ke dalam bentuk nilai *crisp* yang diperkenalkan oleh Opricovic & Zheng [21], yaitu metode CFCS (*Converting Fuzzy Into Crisp Scores*). Rumus (3) – (10) digunakan untuk menghitung nilai *crisp* akhir. Hasil nilai *crisp* untuk ketiga orang pakar digabungkan dengan menghitung nilai rata-rata geometris sehingga menghasilkan bobot akhir.

#### 4.5 Hasil Pemilihan Metaheuristik Terbaik

Pendekatan QFD digunakan untuk mengintegrasikan kepentingan dari kriteria dan bobot prioritas untuk alternatif, seperti pada penelitian Shahin dan Poormostafa [4]. Dengan mengalikan bobot kriteria dengan bobot setiap alternatif, maka akan didapatkan urutan peringkat bobot yang terbesar. Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa metode GA mendapatkan bobot yang terbesar sehingga GA dapat ditentukan sebagai metode yang terbaik berdasarkan lima kriteria tersebut.

Tabel 5. Matriks HoQ untuk evaluasi alternatif

| HOWs (Alternatif) \ WHATS (kriteria) | GA    | PSO   | ACO   | SA    | Bobot "WHAT'S" |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|----------------|
| Kualitas Solusi                      | 0,379 | 0,205 | 0,205 | 0,211 | 0,276          |
| Fokus Pencarian                      | 0,340 | 0,256 | 0,256 | 0,148 | 0,243          |
| Waktu Penyelesaian                   | 0,088 | 0,253 | 0,169 | 0,490 | 0,193          |
| Kemudahan implementasi               | 0,270 | 0,257 | 0,138 | 0,335 | 0,146          |
| Kemudahan <i>decoding</i>            | 0,356 | 0,150 | 0,245 | 0,249 | 0,142          |
| Total prioritas "HOWS"               | 0,287 | 0,224 | 0,203 | 0,287 |                |

Tabel 6. Hasil perhitungan bobot dan peringkat metode metaheuristik

|            | KS    | FP    | WP    | KI    | KD    | Bobot Alternatif | Peringkat |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-----------|
| Bobot      | 0,276 | 0,243 | 0,193 | 0,146 | 0,142 |                  |           |
| Alternatif |       |       |       |       |       |                  |           |
| GA         | 0,380 | 0,339 | 0,088 | 0,270 | 0,356 | <b>0,294</b>     | <b>1</b>  |
| PSO        | 0,205 | 0,256 | 0,253 | 0,257 | 0,149 | 0,226            | 3         |
| ACO        | 0,205 | 0,256 | 0,169 | 0,138 | 0,245 | 0,207            | 4         |
| SA         | 0,211 | 0,148 | 0,490 | 0,335 | 0,249 | 0,273            | 2         |

#### 4.6 Hasil Perancangan Algoritma Metaheuristik

Dari hasil pengolahan data, didapatkan bahwa metode GA merupakan metode yang terbaik. Oleh karena itu, dilakukan pengkodean algoritma GA menggunakan program MATLAB dan *excel link* untuk menyelesaikan permasalahan rancangan tata letak fasilitas. Fungsi-fungsi untuk menyelesaikan permasalahan tata letak diketik dalam program MATLAB. Iterasi dilakukan sebanyak lima kali replikasi karena mempertimbangkan waktu yang cukup lama dalam menjalankan algoritma genetika dalam program MATLAB. Purnomo [1] menyatakan bahwa ukuran populasi sebaiknya tidak lebih kecil dari 30 untuk sembarang permasalahan. Nilai *fitness* dari setiap individu terbaik dipantau pada setiap iterasi, sehingga parameter yang diusulkan, yaitu:

$$(popsiz; pc; pm) = (80; 0,45; 0,01) \dots\dots\dots (14)$$

Tabel 7. Hasil Iterasi GA

| Iterasi | Replikasi |        |        |        |        | Rata-rata |
|---------|-----------|--------|--------|--------|--------|-----------|
|         | 1         | 2      | 3      | 4      | 5      |           |
| 50      | 240607    | 240607 | 256990 | 242264 | 250549 | 246203,4  |
| 100     | 242264    | 240607 | 256990 | 250549 | 259750 | 250032    |
| 200     | 242264    | 242264 | 256990 | 256990 | 242264 | 248154,4  |
| 300     | 250549    | 256990 | 242264 | 240607 | 242264 | 246534,8  |
| 500     | 240607    | 256990 | 275698 | 259750 | 240607 | 254730,4  |
| 1000    | 242264    | 270262 | 240607 | 250549 | 259750 | 252686,4  |

Dari hasil iterasi yang berbeda-beda, dapat dilihat bahwa hasil rata-rata momen keseluruhan tidak jauh berbeda. Untuk mengetahui apakah hasil replikasi untuk iterasi 50 dan 1.000 tidak berbeda secara signifikan, maka dilakukan uji statistik untuk dua sampel populasi, seperti yang dilakukan pada penelitian Setiawan dan Palit [23]. Berdasarkan hasil pengujian varians dan uji rata-rata, diperoleh bahwa nilai signifikansi untuk kedua sampel lebih besar dari nilai  $\alpha$  (0,05) sehingga dapat disimpulkan bahwa  $H_0$  diterima dan kedua sampel populasi tidak berbeda secara signifikan. Hal ini berarti bahwa hasil untuk 50 iterasi tidak akan jauh berbeda dengan iterasi sampai 1.000 kali. Oleh karena itu, cukup ditetapkan nilai iterasi sebesar 50 untuk penelitian ini.

Replikasi

|                | Sum of Squares | df | Mean Square | F     | Sig. |
|----------------|----------------|----|-------------|-------|------|
| Between Groups | 1.818E8        | 1  | 1.818E8     | 1.344 | .280 |
| Within Groups  | 1.082E9        | 8  | 1.353E8     |       |      |
| Total          | 1.264E9        | 9  |             |       |      |

Gambar 2. Hasil uji varians dua sampel

|           |                             | F     | Sig. | t      | df    | Sig. (2-tailed) |
|-----------|-----------------------------|-------|------|--------|-------|-----------------|
| Replikasi | Equal variances assumed     | 2.110 | .184 | -1.159 | 8     | .280            |
|           | Equal variances not assumed |       |      | -1.159 | 5.853 | .291            |

Gambar 3. Hasil pengujian *Two Sample T-test*

#### 4.7 Hasil Perbandingan Berbagai Metode

Urutan angka yang dihasilkan dari pengolahan algoritma GA akan dikonversi menjadi *layout* dan kemudian dibandingkan dengan metode lainnya. Tahap selanjutnya adalah menyusun departemen ke dalam program untuk dihitung performansinya. Momen perpindahan yang didapatkan adalah sebesar 163899,95 meter per bulan, sedangkan biaya OMH yang didapatkan yaitu sebesar Rp 4.560.624,-. Aktivitas *back and jump tracking* yang didapatkan hanya satu langkah saja, yaitu dari departemen 5 ke 9 sedangkan untuk perhitungan *layout score*, tata letak menggunakan GA mendapat nilai sebesar 94. Untuk mengurutkan peringkat dari berbagai metode, maka hasil perbandingan dinormalisasi dan kemudian dilakukan perhitungan bobot. Peringkat terbaik dilihat berdasarkan bobot yang terkecil.

Tabel 8. Hasil perbandingan berbagai metode

| Metode  | OMH        | Momen  | Layout Score | Bobot |
|---------|------------|--------|--------------|-------|
| Awal    | 5636921,50 | 201452 | 126          | 0,167 |
| CRAFT   | 4142721,50 | 149434 | 103          | 0,128 |
| CORELAP | 4377321,50 | 162693 | 106          | 0,135 |
| BLOCPAN | 6266587,50 | 190422 | 102          | 0,158 |
| ALDEP   | 5107151,50 | 122532 | 138          | 0,141 |
| SA      | 4390509,50 | 167095 | 99           | 0,133 |
| GA      | 4560624,00 | 163900 | 94           | 0,132 |

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data menggunakan *fuzzy* AHP serta metaheuristik pada studi kasus perancangan tata letak, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil perhitungan *fuzzy* AHP menunjukkan bahwa metode GA memiliki bobot kepentingan terbesar, yaitu 0,294 sedangkan urutan peringkat untuk metode lain, yaitu SA (0,273), PSO (0,226), dan yang terakhir ACO (0,207). Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode GA merupakan metode metaheuristik yang terbaik berdasarkan lima kriteria metaheuristik.
2. Metode yang terpilih melalui hasil perhitungan adalah metode GA dan telah diuji menggunakan studi kasus untuk permasalahan tata letak. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa metode GA menghasilkan performansi yang lebih baik dari kondisi awal berdasarkan fungsi objektif biaya penanganan material, momen perpindahan, dan *layout score*. Peningkatan performansi yang dihasilkan metode GA adalah sebesar 21,1% jika dibandingkan dengan kondisi tata letak awal. Metode GA juga menghasilkan nilai yang lebih baik dari metode SA pada penelitian sebelumnya.
3. Metode CRAFT masih menghasilkan bobot yang paling kecil. Hal ini disebabkan karena *layout* yang dihasilkan GA harus dikonversi ke dalam program CRAFT sehingga metode CRAFT menjadi lebih unggul dari pada metode lainnya.

## REFERENSI

- [1]. Purnomo, H. 2004. Perencanaan dan Perancangan Fasilitas. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [2]. Wiggins, T. 2013. U.S. Construction Outlook for 2014. Faithful+Gould. Home page on-line. Available from <http://www.fgould.com/americas/articles/us-construction-outlook-2014/>; Internet; accessed 17 June 2013.
- [3]. Media Industri [editorial]. 2013. Pertumbuhan Industri Manufaktur 2013 Ditarget 7,14% [downloaded 17 June 2013 from <http://www.kemenperin.go.id>].
- [4]. Shahin, A., dan Poormostafa, M. 2011. Facility Layout Simulation and Optimization: an Integration of Advanced Quality and Decision Making tools and Techniques. *Journal of Modern Applied Science* 5 No. 4: 95-111.

- [5]. Talbi, E. 2009. *Metaheuristics: From Design to Implementation*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [6]. Scheibenflug, A., Wagner, S., Pitzer, E., Burlacu, B., dan Affenzeller, M. 2012. On the Analysis, Classification and Prediction of Metaheuristic Algorithm Behavior for Combinatorial Optimization Problems. *Prosiding ilmiah pada European Modeling and Simulation Symposium ke-24, Vienna, Austria*.
- [7]. Smit, S.K., Eiben, A.E. 2009. Comparing parameter tuning methods for evolutionary algorithms. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*: 399-406.
- [8]. Pasandideh, S.H.R., dan Niaki, S.T.A. 2010. Genetic application in a facility location problem with random demand within queuing framework. *Journal of Intelligent Manufacturing* 23. Springer: 651-659.
- [9]. Kahraman, C., Cebeci, U., dan Ulukan, Z. 2003. Multi-criteria supplier selection using fuzzy AHP. *Logistics Information Management* 16 No. 6: 382-394.
- [10]. Yulianto, S., Indrastanti, dan Oktriani, M. 2008. Aplikasi Pendukung Keputusan Dengan Menggunakan Logika Fuzzy. *Jurnal Informatika* 4 No. 2: 159-173.
- [11]. Cheng, C. H., Yang, K. L., dan Hwang, C. L. 1999. Evaluating Attack Helicopters by AHP Based on Linguistic Variable Weight. *European Journal of Operational Research* 116: 423-435.
- [12]. Özdağoğlu, A., dan Özdağoğlu, G. 2007. Comparison of AHP and fuzzy AHP for the multi-criteria decision making processes with linguistic evaluations. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 6 No. 11: 65-85.
- [13]. Magdalena, R. 2012. Supplier Selection for Food Industry: A Combination of Taguchi Loss Function and Fuzzy Analytical Hierarchy Process. *Prosiding ilmiah pada International Conference on Technology and Operations Management ke-3, Bandung, Indonesia*.
- [14]. Raharjo, J., Sutapa, I. N. 2002. Aplikasi Fuzzy Analytical Hierarchy Process dalam Seleksi Karyawan. *Jurnal Teknik Industri* 4 No. 2: 82-92.
- [15]. Lee, A., Chen, W.C., dan Chang, C.J. 2008. A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. *Expert Systems with Applications* 34: 96-107.
- [16]. Kundu, A., dan Dan, P.K. 2012. Metaheuristic in facility layout problems: current trend and future direction. *International Journal Industrial and Systems Engineering* 10 No. 2: 238-253.
- [17]. Singh, S.P., dan Sharma, R.R.K. 2010. A Hybrid Genetic Search Based Approach to Solve Single Period Facility Layout Problem. *Asian Pasific Management Review* 15 No. 2: 301-312.
- [18]. Tompkins, J.A., White, J.A., Bozer, Y.A., Frazelle, E.H., Tanchoco, J.M.A., Travino, J. 1996. *Facilities Planning*. New York: Wiley.
- [19]. Prasetyo, B., Jannah, L. M. 2011. *Metode Penelitian Kuantitatif*. Jakarta: Rajawali Pers.
- [20]. Cassidy, M.F. dan Buede, D. 2009. Does the accuracy of expert judgement comply with common sense: caveat emptor. *Management Decision* 47 No. 3: 454-469.
- [21]. Rezaie, K., Ansarinejad, A., Haeri, A., Nazari-Shirkouhi, A., Nazari-Shirkouhi, S. 2011. Evaluating the Business Intelligence Systems Performance Criteria Using Group Fuzzy AHP Approach. *Prosiding ilmiah pada International Conference on Modelling and Simulation ke-13, UK*.
- [22]. Raharjo, J., Halim, S., Wanto, S. 2001. Evaluating Comparison between Consistency Improving Method and Resurvey In AHP. *Prosiding ilmiah pada ISAHP ke-6, Berne, Switzerland*.
- [23]. Setiawan, I.L., dan Palit, H.C. 2010. Perbandingan Kombinasi Genetic Algorithm – Simulated Annealing dengan Particle Swarm Optimization pada Permasalahan Tata Letak Fasilitas. *Jurnal Teknik Industri* 12 No. 2: 119-124.