

PERANCANGAN ULANG TATA LETAK FASILITAS DENGAN PENDEKATAN *CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM* (STUDI KASUS DI PT. MALANG INDAH)

RE-DESIGNING OF FACILITY LAYOUT WITH CELLULAR MANUFACTURING SYSTEM APPROACH (CASE STUDY AT PT. MALANG INDAH)

Yofa Hepi Soraya¹⁾, Ishardita Pambudi Tama²⁾, Ceria Farela Mada Tantrika³⁾

Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: yofahepi13@gmail.com¹⁾, kangdith@gmail.com²⁾, ceria_fmt@ub.ac.id³⁾

Abstrak

PT. Malang Indah merupakan perusahaan yang bergerak di industri pembuatan material bangunan seperti Genteng, Batako, dan Paving. PT. Malang Indah memiliki mesin-mesin khusus dalam proses produksi material-material tersebut. Tipe produksi pada perusahaan ini adalah Make to Order (MTO) dan Make to Stock (MTS). Tetapi PT. Malang Indah lebih menekankan pada tipe Make to Stock (MTS), hal ini bertujuan agar PT. Malang Indah tidak kehilangan pelanggan yang dikarenakan tidak dapat memenuhi kebutuhan pelanggan setiap saat. Dalam pengamatan yang dilakukan di bagian produksi PT. Malang Indah, terdapat fasilitas berupa mesin-mesin produksi yang belum dikelompokkan berdasarkan tipe proses produksi dan jenis produk yang dihasilkan. Tata letak fasilitas seperti ini tentunya akan menghambat kelancaran proses produksi dan mengakibatkan besarnya jarak dan waktu pemindahan bahan atau material handling. Waktu pemindahan bahan untuk proses produksi seluruh produk pada saat ini juga cukup signifikan. Pada penelitian ini, mesin-mesin produksi dikelompokkan berdasarkan proses produksi dan produknya kedalam sel manufaktur atau disebut juga "manufacturing cell" dengan menggunakan Algoritma Genetik. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah pengelompokan mesin dengan pendekatan Cellular Manufacturing System berdasarkan Algoritma Genetik, dan menghasilkan 3 buah sel manufaktur. Dari pengelompokan tersebut dihasilkan 3 buah layout alternatif, dan dipilih layout 3 karena secara keseluruhan memiliki total jarak terpendek.

Kata kunci: Algoritma Genetik, *Cellular Manufacturing System*.

1. Pendahuluan

Seiring dengan perkembangan industri material bangunan seperti Genteng, Batako, dan Paving, para pelaku industri yang bergerak di bidang tersebut mulai mengembangkan perusahaan terutama di bagian produksi. Dalam pengembangan perusahaan tersebut, pihak perusahaan seharusnya juga memperhatikan pengaturan tata letak fasilitas dan aliran bahan. Menurut Wignjosoebroto (2009), tata letak yang baik dapat memberikan keuntungan-keuntungan dalam sistem produksi, yaitu antara lain menaikkan *output* produksi, mengurangi waktu tunggu, mengurangi proses pemindahan bahan (*material handling*), dan proses manufaktur yang lebih singkat.

PT. Malang Indah merupakan perusahaan yang bergerak di industri pembuatan material bangunan seperti Genteng, Batako, dan Paving. PT. Malang Indah memiliki mesin-mesin khusus dalam proses produksi material-material tersebut. Tipe produksi pada perusahaan ini adalah *Make to Order* (MTO) dan *Make to Stock* (MTS). Tetapi PT. Malang Indah lebih menekankan pada tipe *Make to Stock* (MTS), hal ini bertujuan agar PT. Malang Indah tidak

kehilangan pelanggan yang dikarenakan tidak dapat memenuhi kebutuhan pelanggan setiap saat. PT. Malang Indah selalu berusaha untuk terus memenuhi kebutuhan pelanggan, pemenuhan kebutuhan ini dalam bentuk pemenuhan jumlah pesanan, kualitas, dan ketepatan waktu yang diinginkan oleh pelanggan.

Proses produksi yang ada di PT. Malang Indah yaitu menggunakan *batch production*, dimana setiap *batch* memiliki ukuran atau takaran yang telah ditentukan. Takaran ini berupa komposisi bahan-bahan untuk membuat material-material tersebut. Untuk material tertentu seperti Batako, Kansteen Sepatu Kecil, Kansteen Sepatu Besar, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Slip, serta Uskup diproduksi oleh mesin pencetak yang sama secara bergantian dalam satu bulan sesuai dengan pesanan dan mengisi *stock* material yang sedang kosong atau tinggal sedikit. Sedangkan untuk produk-produk lain seperti Paving Kotak, Paving Diagonal, Genteng Royal, Genteng Flat, dan Bubungan diproduksi dengan menggunakan mesin pencetak yang berbeda. Semua proses pencetakan produk-produk diawali

dengan pencampuran bahan oleh mesin pengaduk yang dimiliki PT. Malang Indah.

Dalam pengamatan yang dilakukan di bagian produksi PT. Malang Indah, terdapat fasilitas berupa mesin-mesin produksi yang belum dikelompokkan berdasarkan proses produksi dan jenis produk yang dihasilkan. Tata letak fasilitas seperti ini tentunya akan menghambat kelancaran proses produksi dan mengakibatkan besarnya jarak dan waktu pemindahan bahan atau *material handling*. Waktu pemindahan bahan untuk proses produksi seluruh produk pada saat ini juga cukup signifikan.

Besarnya jarak dan waktu pemindahan bahan untuk tiap-tiap proses pembuatan 1 *batch* produk dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Besar Jarak dan Waktu Pemindahan Bahan Pembuatan 1 *Batch* Produk

Produk	Total Jarak (m)	Waktu (menit)
Genteng Royal	143,81	2,68
Multi Produk	234,97	6,26
Paving Kotak	221,70	5,76
Genteng Flat	140,12	2,55
Berem	255,18	7,08
Bubungan	140,22	2,56
Paving Diagonal	243,45	6,61

Untuk tipe produksi seperti yang terdapat pada PT. Malang Indah, rancangan tata letak fasilitas yang berupa mesin-mesin produksi harus disesuaikan. Salah satu tipe rancangan fasilitas berdasarkan proses produksi dan produk yang dihasilkan adalah tipe *Product Family Product Layout* atau *Group Technology Layout*. Menurut Wignosoebroto (2009) pada tipe *product family* atau *group technology layout*, mesin-mesin atau fasilitas produksi nantinya juga akan dikelompokkan dan ditempatkan dalam sebuah “*manufacturing cell*”. Disini setiap kelompok produk (*product family*) akan memiliki urutan proses yang sama, maka akan menghasilkan tingkat efisiensi yang tinggi dalam proses manufakturingnya. Efisiensi yang tinggi tersebut akan dicapai sebagai konsekuensi pengaturan fasilitas produksi secara kelompok atau sel yang menjamin kelancaran aliran kerja.

Banyak metode yang digunakan dalam permasalahan *group technology layout* atau *manufacturing cell*, salah satunya adalah dengan algoritma genetik. *Genetic Algorithm* (GA) merupakan algoritma umum lain yang telah berhasil diaplikasikan pada permasalahan tata letak. Menurut Heragu (2008) GA telah dikembangkan oleh Holland (1975) yang terinspirasi sistem biologis, menghasilkan organisme yang tidak hanya berhasil beradaptasi pada lingkungan tetapi juga dapat berkembang. Kelangsungan hidup dari prinsip *fittest* (kecocokan) dilihat dalam sistem biologi alami yang telah diaplikasikan pada tata letak dan masalah

optimasi kombinasi yang lain dengan hasil yang luar biasa.

Perancangan aliran bahan atau *material handling* yang baik dan terencana dalam sebuah proses produksi dapat mendukung proses produksi. Hal ini disebabkan karena antara proses yang satu berkaitan dengan proses yang lain, apabila aliran bahannya tidak lancar ataupun memakan waktu yang lama, secara otomatis akan menghambat proses produksi. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan membahas tentang permasalahan tersebut yaitu dengan perancangan ulang tata letak fasilitas dengan pendekatan *Cellular Manufacturing System*.

2. Metode Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian deskriptif. Metode ini meneliti kondisi pada masa sekarang dan menyajikan gambaran lengkap tentang kondisi di sebuah objek yang akan diteliti. Penelitian deskriptif ini juga digunakan untuk mengambil kebijakan dan keputusan serta pemecahan masalah yang ada.

2.1 Langkah-langkah Penelitian

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Survei pendahuluan.
2. Studi literatur.
3. Identifikasi masalah.
4. Perumusan masalah.
5. Penentuan tujuan penelitian.
6. Pengumpulan data.

Pengumpulan data dilakukan dengan *interview*, observasi, dan dokumentasi. Data yang diambil meliputi:

 - 1) Komposisi produk.
 - 2) Proses produksi tiap produk.
 - 3) Mesin-mesin yang digunakan.
 - 4) Kondisi tata letak awal (*existing layout*).
 - 5) Jarak antar mesin dan lokasi bahan baku.
 - 6) Area yang dibutuhkan tiap mesin.
 - 7) Waktu pemindahan bahan.
7. Pengolahan data.

Pengolahan data ini berupa :

 - a. Analisis produk dan Analisis Proses.
 - b. Perhitungan jarak dan waktu pemindahan bahan sebelum perancangan ulang *layout*.
 - c. Pengelompokan dengan *Rank Order Clustering*

Pengelompokan dengan metode ini dilakukan sebagai pembandingan dalam penelitian ini.
 - d. Pengelompokan mesin dengan Algoritma Genetik, berikut merupakan proses pengelompokannya:
 - 1.) Inisialisasi Populasi; N kromosom.
 - 2.) Evaluasi kromosom.

- 3.) Buat kopi kromosom terbaik (elitisme).
 - 4.) Seleksi kromosom untuk *parent* dengan metode *Truncation*.
 - 5.) Proses Pindah silang (*crossover*).
 - 6.) Proses mutasi.
 - 7.) Pergantian populasi (*general replacement*).
 - e. Penentuan sel-sel manufaktur dari hasil yang didapat.
 - f. Perhitungan jarak dan waktu pemindahan bahan sesudah perancangan ulang *layout*.
8. Analisis dan pembahasan
 9. Penarikan Kesimpulan dan saran

3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

3.1 Analisis Produk

Dalam analisis produk, produk-produk yang dihasilkan dipecah menjadi komponen-komponen pembentuk produk tersebut secara detail. Dari langkah ini dapat diketahui bahan-bahan yang diperlukan dan komposisinya untuk membuat produk-produk tersebut. Tabel 2 menunjukkan bahan-bahan dan komposisi pembentuk tiap-tiap produk, semua bahan ini dibeli dari *supplier* yang sudah menjadi rekanan PT. Malang Indah.

Tabel 2. Analisis Produk

No.	Jenis Produk	Komposisi Bahan yang Digunakan		
		Pasir (Bak)	Semen (Kg)	Flyash (Bak)
1	Genteng Royal	8	40	2
2	Batako	7	40	1
3	Paving Kotak	9	45	2
4	Kansteen Sepatu Kecil	7	40	1
5	Genteng Flat	8	40	2
6	Kansteen Sepatu Besar	7	40	1
7	Bubungan	8	40	2
8	Kansteen Sepatu Kotak	7	40	1
9	Berem	7	40	1
10	Kansteen Slip	7	40	1
11	Paving Diagonal	8	30	1
12	Uskup	8	40	1

3.2 Analisis Proses

Proses produksi produk Batako, Berem, Paving Diagonal, Uskup, dan semua jenis Kansteen diawali dengan proses pencampuran bahan baku yang berupa pasir, semen, dan *flyash* di Mesin Pengaduk Kecil kemudian bahan yang telah tercampur dicetak di masing-masing mesin pencetaknya. Untuk produk Genteng dan Bubungan diawali dengan pencampuran bahan baku pasir, semen, dan *flyash* di Mesin Pengaduk Halus kemudian bahan yang telah tercampur dicetak di masing-masing mesin pencetak Genteng dan Bubungan. Sedangkan untuk

produk Paving Kotak diawali dengan proses pencampuran bahan baku pasir, semen, dan *flyash* di Mesin Pengaduk Besar kemudian bahan yang telah tercampur dicetak di Mesin Press Paving.

Proses permesinan digambarkan dalam Matriks Mesin-Produk, matriks ini menerangkan produk-produk tertentu yang dikerjakan dengan mesin-mesin tertentu. Matriks Mesin-Produk dapat dilihat seperti pada Tabel 3. Produk yang dikerjakan oleh mesin tertentu ditandai dengan nilai pada bilangan biner, yaitu 0 dan 1. Jika nilai 1 berarti produk dikerjakan oleh mesin tersebut, dan jika 0 berarti tidak dikerjakan oleh mesin tersebut.

Tabel 3. Matriks Mesin-Produk

Produk	Mesin									
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
P1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
P4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
P6	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P7	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
P8	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P9	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
P10	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
P11	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
P12	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

Keterangan:

Simbol Mesin

- M1 Pengaduk Halus
- M2 Pengaduk Kecil
- M3 Press Berem
- M4 Press Royal
- M5 Pengaduk Besar
- M6 Press Multiproduk
- M7 Press Bubungan
- M8 Press Flat
- M9 Rotary Press
- M10 Press Paving

Simbol Produk

- P1 Genteng Royal
- P2 Batako
- P3 Paving Kotak
- P4 Kansteen Sepatu Kecil
- P5 Genteng Flat
- P6 Kansteen Sepatu Besar
- P7 Bubungan
- P8 Kansteen Sepatu Kotak
- P9 Berem
- P10 Kansteen Slip
- P11 Paving Diagonal
- P12 Uskup

3.3 Jarak Aliran Bahan Baku pada Saat Ini

Dalam proses produksi 1 *batch* produk, pekerja menempuh perjalanan untuk mengambil bahan baku dari lokasi penyimpanan untuk dibawa ke mesin pencampuran, setelah itu dibawa ke mesin pencetakan. Masing-masing proses mengambil

bahan baku dan mengantarkan ke mesin-mesin untuk tiap produk memiliki frekuensi yang berbeda-beda. Jarak yang ditempuh dalam memindahkan bahan untuk tiap proses dalam 1 *batch* pada saat ini sebagai berikut.

1. Jarak yang ditempuh untuk membuat Genteng Royal.

Total jarak yang ditempuh pekerja dalam membuat 1 *batch* Genteng Royal pada saat ini sebesar 143,81 m, dengan rincian seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Genteng Royal

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Membawa Gerobak Pasir	17,39	4	69,57
Membawa Semen	11,11	4	44,43
Membawa <i>Flyash</i>	9,31	2	18,62
Membawa Bahan ke Mesin Press Royal	11,20	1	11,20
Total (m)			143,81

2. Jarak yang ditempuh untuk membuat Multiproduk (Batako, Kansteen Sepatu Kecil, Kansteen Sepatu Besar, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Slip, dan Uskup).

Proses pembuatan produk Batako, Kansteen Sepatu Kecil, Kansteen Sepatu Besar, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Slip, dan Uskup diawali dengan proses pencampuran dan kemudian proses pencetakan di mesin yang sama. Total jarak yang ditempuh dalam pembuatan 1 *batch* produk-produk tersebut sebesar 234,97 m dengan rincian seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Multiproduk

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Perjalanan Mengisi Pasir	9,00	4	125,97
Perjalanan Membawa Semen	5,61	4	22,43
Perjalanan Membawa <i>Flyash</i>	7,14	2	14,28
Membawa Bahan ke Mesin Press	18,07	1	72,29
Total (m)			234,97

3. Jarak yang ditempuh untuk membuat Paving Kotak.

Pemindahan bahan campuran ke Mesin Press Paving dengan menggunakan konveyor. Total jarak yang ditempuh dalam memindahkan bahan untuk proses pembuatan 1 *batch* Paving Kotak sebesar 221,7 m dengan rincian seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Paving Kotak

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Perjalanan Mengisi	5,26	4	94,69

Pasir			
Perjalanan membawa semen	13,43	4	53,74
Perjalanan membawa <i>Flyash</i>	16,94	2	67,77
Pengisian Bahan ke mesin Press	5,5	1	5,50
Total (m)			221,70

4. Jarak yang ditempuh untuk membuat Genteng Flat.

Total jarak yang ditempuh untuk membuat 1 *batch* Genteng Flat sebesar 140,12 m, dengan rincian seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Genteng Flat

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Membawa Gerobak Pasir	17,39	4	69,57
Membawa Semen	11,11	4	44,43
Membawa <i>Flyash</i>	9,31	2	18,62
Membawa Bahan ke Mesin Press Flat	7,50	1	7,50
Total (m)			140,12

5. Jarak yang ditempuh untuk membuat Berem.

Total jarak yang ditempuh dalam pembuatan 1 *batch* produk-produk tersebut sebesar 255,18 m dengan rincian seperti pada Tabel 8.

Tabel 8. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Berem

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Perjalanan Mengisi Pasir	9,00	4	125,97
Perjalanan membawa semen	5,61	4	22,43
Perjalanan membawa <i>Flyash</i>	7,14	2	14,28
Pengisian Bahan ke mesin Press	23,13	1	92,50
Total (m)			255,18

6. Jarak yang ditempuh untuk membuat Bubungan.

Total jarak yang ditempuh pekerja dalam membuat 1 *batch* Bubungan pada saat ini sebesar 140,22 m dengan rincian seperti pada Tabel 9.

Tabel 9. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Bubungan

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah (m)
Membawa Gerobak Pasir	17,39	4	69,57
Membawa Semen	11,11	4	44,43
Membawa <i>Flyash</i>	9,31	2	18,62
Membawa Bahan ke Mesin Press Bubungan	7,60	1	7,60
Total (m)			140,22

7. Jarak yang ditempuh untuk membuat Paving Diagonal.

Total jarak yang ditempuh dalam proses pembuatan 1 *batch* Paving Diagonal pada saat ini sebesar 243,45 m dengan rincian seperti pada Tabel 10.

Tabel 10. Jarak yang Ditempuh dalam Membuat 1 *Batch* Paving Diagonal

Aktivitas Pemindahan Bahan	Jarak (m)	Frekuensi	Jumlah
Perjalanan Mengisi Pasir	9,00	4	125,97
Perjalanan membawa semen	5,61	4	22,43
Perjalanan membawa <i>Flyash</i>	7,14	2	14,28
Pengisian Bahan ke mesin Press	20,19	1	80,76
Total (m)			243,45

3.4 Waktu dan Kecepatan Rata-rata Proses Pemindahan Bahan

Dalam proses produksi tiap produk terdapat waktu proses pemindahan bahan. Waktu proses tersebut dipengaruhi oleh jarak yang ditempuh pekerja dan frekuensi dalam berpindah baik dari lokasi bahan baku ke mesin pengaduk dan dari mesin pengaduk ke mesin pencetak. Waktu proses yang diambil dalam penelitian ini seperti dijelaskan sebagai berikut.

1. Proses pembuatan Genteng Royal.

Untuk proses pembuatan 1 *batch* Genteng Royal pada saat ini, diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 2,68 menit. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Genteng Royal

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-Rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Membawa Gerobak Pasir	0,27	4	1,10
Membawa Semen	0,21	4	0,84
Membawa <i>Flyash</i>	0,17	2	0,35
Membawa Bahan ke Mesin Press Royal	0,39	1	0,39
Total (menit)			2,68

Kecepatan pekerja dalam aktivitas pemindahan bahan diambil dari persamaan Bueche & Hecht (2006) yaitu $V = \frac{s}{t}$. Kecepatan pekerja didapat dari pembagian jarak yang ditempuh dan waktu rata-rata pekerja dalam pemindahan bahan. Kecepatan tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Kecepatan Pekerja dalam Memindahkan Bahan Produksi Genteng Royal

Aktivitas Pemindahan Bahan	Waktu Rata-rata(s)	Jarak(m)	V(m/s)
Membawa Gerobak Pasir	16,48	17,39	1,06
Membawa Semen	12,67	11,11	0,88
Membawa <i>Flyash</i>	10,49	9,31	0,89
Membawa Bahan Ke Mesin Press Royal	23,23	11,20	0,48

2. Proses Pembuatan Multiproduk (Batako, Kansteen Sepatu Kecil, Kansteen Sepatu Besar, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Slip, dan Uskup).

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk pada Mesin Multiproduk pada saat ini, diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 6,26 menit. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Multiproduk

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Perjalanan Mengisi Pasir	0,19	14	2,64
Perjalanan Membawa Semen	0,29	4	0,43
Perjalanan Membawa <i>Flyash</i>	0,11	2	0,27
Membawa Bahan ke Mesin Press Multiproduk	0,21	4	2,92
Total (menit)			6,26

Kecepatan pekerja dalam aktivitas pemindahan bahan diambil dari persamaan Bueche & Hecht (2006) yaitu $V = \frac{s}{t}$. Kecepatan pekerja didapat dari pembagian jarak yang ditempuh dan waktu rata-rata pekerja dalam pemindahan bahan. Kecepatan tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Kecepatan pekerja dalam Memindahkan Bahan Produksi Multiproduk

Aktivitas Pemindahan Bahan	Waktu Rata-rata(s)	Jarak(m)	V(m/s)
Perjalanan Mengisi Pasir	11,33	9,00	0,79
Perjalanan membawa semen	6,48	5,61	0,87
Perjalanan Mengambil <i>Flyash</i>	8,06	7,14	0,89
Membawa Bahan ke Mesin Press Multiproduk	43,77	18,07	0,41

3. Proses Pembuatan Paving Kotak

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk Paving Kotak pada saat ini, diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 5,76 menit. Waktu tiap-

tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Paving Kotak

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Perjalanan Mengisi Pasir	0,12	18	2,16
Perjalanan Membawa Semen	0,87	4	1,09
Perjalanan Membawa Flyash	0,27	4	1,28
Pengisian Bahan ke Mesin Press	0,17	1	1,22
Total (menit)			5,76

Kecepatan pekerja dalam aktivitas pemindahan bahan diambil dari persamaan Bueche & Hecht (2006) yaitu $V = \frac{s}{t}$. Kecepatan pekerja didapat dari pembagian jarak yang ditempuh dan waktu rata-rata pekerja dalam pemindahan bahan. Kecepatan tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Kecepatan pekerja dalam Memindahkan Bahan Produksi Paving Kotak

Aktivitas Pemindahan Bahan	Waktu Rata-rata(s)	Jarak(m)	V(m/s)
Perjalanan Mengisi Pasir	7,22	5,26	0,73
Perjalanan membawa semen	16,39	13,43	0,82
Perjalanan membawa Flyash	19,19	16,94	0,88
Pengisian Bahan ke mesin Press	73,33	5,50	0,08

4. Proses Pembuatan Genteng Flat

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk Genteng Flat pada saat ini diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 2,55 menit. Waktu membawa bahan ke Mesin Press Flat sebesar 0,26 menit diperoleh dari jarak Mesin pengaduk Halus ke Mesin Press Flat sebesar 7,5 m dibagi dengan kecepatan pemindahan bahan campuran Genteng Royal sebesar 0,48 m/s karena proses membawa bahan menggunakan gerobak yang sama dengan proses pada Genteng Royal. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Genteng Flat

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-Rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Membawa Gerobak Pasir	0,27	4	1,10
Membawa Semen	0,21	4	0,84
Membawa Flyash	0,17	2	0,35
Membawa Bahan ke Mesin Press Flat	0,26	1	0,26
Total (menit)			2,55

5. Proses Pembuatan Berem

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk Berem pada saat ini diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 7,08 menit. Waktu membawa bahan ke Mesin Press Berem sebesar 0,93 menit diperoleh dari jarak Mesin pengaduk Kecil ke Mesin Press Berem sebesar 23,13 m dibagi dengan kecepatan pemindahan bahan campuran Batako sebesar 0,41 m/s karena proses membawa bahan sama dengan proses pada Multiproduk. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Berem

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-Rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Perjalanan Mengisi Pasir	0,19	14	2,64
Perjalanan Membawa Semen	0,29	4	0,43
Perjalanan Membawa Flyash	0,11	2	0,27
Membawa Bahan ke Mesin Press Berem	0,93	4	3,73
Total (menit)			7,08

6. Proses Pembuatan Bubungan

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk Bubungan pada saat ini diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 2,56 menit. Waktu membawa bahan ke Mesin Press Bubungan sebesar 0,26 menit diperoleh dari jarak Mesin pengaduk Halus ke Mesin Press Bubungan sebesar 7,6 m dibagi dengan kecepatan pemindahan bahan campuran Genteng Royal sebesar 0,48 m/s karena proses membawa bahan menggunakan gerobak yang sama dengan proses pada Genteng Royal. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Bubungan

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-Rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Membawa Gerobak Pasir	0,27	4	1,10
Membawa Semen	0,21	4	0,84
Membawa Flyash	0,17	2	0,35
Membawa Bahan ke Mesin Press Bubungan	0,26	1	0,26
Total (menit)			2,56

7. Proses Pembuatan Paving Diagonal

Untuk proses pembuatan 1 *batch* produk Paving Diagonal pada saat ini diperlukan total waktu pemindahan bahan sebesar 6,6 menit. Waktu membawa bahan ke Mesin Press Berem sebesar 0,82 menit diperoleh dari jarak Mesin pengaduk Kecil ke Mesin Rotary sebesar 20,19 m dibagi dengan kecepatan pemindahan bahan campuran Batako sebesar 0,41 m/s karena proses membawa bahan sama dengan proses pada Multiproduk. Waktu tiap-tiap aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Waktu Pemindahan Bahan Produksi Paving Diagonal

Aktivitas Pemindahan Bahan	Rata-Rata (menit)	Frekuensi	Jumlah
Perjalanan Mengisi Pasir	0,19	14	2,64
Perjalanan Membawa Semen	0,29	4	0,43
Perjalanan Membawa Flyash	0,11	2	0,27
Membawa Bahan ke Mesin Rotary Press	0,82	4	3,26
Total (menit)			6,60

3.5 Pengelompokan Mesin dan Produk

3.5.1 Pengelompokan dengan Rank Order Clustering

Menurut Hadiguna dan Setiawan (2008) dalam pengelompokan dengan menggunakan metode *Rank Order Clustering*, mesin dan produk diberikan bobot secara bergantian dengan mengalikan pemangkatan Nilai Biner dengan nilai biner pada baris dan kolom dalam matriks mesin-produk. Langkah selanjutnya yaitu dengan merubah urutan mesin dan produk sesuai dengan urutan hasil pembobotan. Langkah ini dilakukan sampai urutan mesin dan produk tidak berubah. Setelah langkah tersebut, kemudian menentukan pengelompokan sel-sel manufaktur. Hasil dari pengelompokan ini disajikan pada Tabel 21.

Tabel 21. Hasil pengelompokan Rank Order Clustering

Produk	Mesin									
	M1	M4	M7	M8	M2	M3	M6	M9	M5	M10
P1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
P7	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
P9	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
P2	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P6	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P8	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P10	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P12	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
P11	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
P3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

3.5.2 Pengelompokan dengan Algoritma Genetik

Pengelompokan mesin dengan Algoritma Genetik dilakukan dalam beberapa tahap, dengan menentukan kromosom dan populasi, melakukan seleksi *Parent*, pindah silang, dan Mutasi kromosom tiap individu pada populasi tersebut. Individu terbaik yang akan dipilih dalam pengelompokan mesin ini. Proses pengelompokan ini dengan mengumpulkan bilangan biner yang bernilai 1 ke garis diagonal matriks mesin-produk yang nantinya akan dikelompokkan menjadi sel-sel manufaktur.

a. Inisialisasi Populasi

Langkah inisialisasi populasi ini dengan membangkitkan nomor mesin dan nomor produk sesuai dengan nomor pada matriks Mesin-Produk. Pembangkitan populasi ini dilakukan dengan perintah random permutasi nomor mesin dan nomor produk sebanyak jumlah populasi yang diinginkan dalam software Matlab 7.0.1. Berarti terdapat dua populasi yaitu populasi mesin dan populasi produk. Jumlah gen dalam kromosom mesin adalah 10, dan jumlah gen dalam kromosom produk adalah 12 buah.

b. Menghitung Nilai Fitness

Menghitung Nilai Fitness dilakukan dengan mengalikan Matriks Jarak dan Matriks Mesin-Produk kemudian menjumlahkannya. Fungsi *fitness* yang digunakan dari persamaan Suyanto (2005) yaitu $f = 1/(h+a)$, dimana dalam penelitian ini h adalah *fitness* dan a adalah (1 + jumlah perkalian Matriks Mesin-Produk dan Matriks Jarak). Matriks Mesin-Produk sudah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 4, sedangkan untuk Matriks Jarak Antar Mesin dapat dilihat pada Tabel 22. Perhitungan jarak pada Matriks Jarak ini diadopsi dari Sharif, El-Kilany, dan Helaly (2008) yaitu dilakukan dengan menggunakan metode Rectilinier, yang diukur dari sel-sel yang bernilai 0 sebagai pusat sel manufaktur. Tiap sel-sel yang lain dilakukan pengukuran dengan memilih jarak terpendek dari tiap pusat-pusat sel manufaktur tersebut dan mengumpulkan sebanyak mungkin bilangan biner yang bernilai 1 dengan pusat sel manufaktur. Nilai tiap sel memiliki satuan unit, tiap satu sel adalah 1 unit.

Tabel 22. Matriks Jarak Antar Mesin dan Produk

Matriks Jarak	Mesin										
	M1	M4	M7	M8	M2	M3	M6	M9	M5	M10	
Produk	1,41	1	1,41	2,24	3,16	3,61	4,24	5	5,83	6,40	
	1	0	1	2	2,24	2,83	3,61	4,47	5	5,66	
	1,41	1	1,41	1	1,41	2,24	3,16	3,61	4,24	5	
	2,24	2	1	0	1	2	2,24	2,83	3,61	4,47	
	3,16	2,24	1,41	1	1,41	1	1,41	2,24	3,16	3,61	
	3,61	2,83	2,24	2	1	0	1	2	2,24	2,83	
	4,24	3,61	3,16	2,24	1,41	1	1,41	1	1,41	2,24	
	5	4,47	3,61	2,83	2,24	2	1	0	1	2	
	5,83	5	4,24	3,61	3,16	2,24	1,41	1	1,41	1	
	6,40	5,66	5	4,47	3,61	2,83	2,24	2	1	0	
	7,07	6,40	5,83	5	4,24	3,61	3,16	2,24	1,41	1	
	7,81	7,21	6,40	5,66	5	4,47	3,61	2,83	2,24	2	

c. Elitisme

Elitisme merupakan proses menjaga individu yang bernilai fitness tertinggi tidak hilang selama evolusi. Elitisme dilakukan dengan membuat sejumlah *copy* yang diinginkan.

d. Seleksi Parent

Seleksi *parent* dilakukan dengan *Truncation*. Menurut Dewi (2005) dalam metode ini nilai *fitness* diurutkan dari yang terkecil sampai ke yang terbesar. Sebuah kromosom akan terpilih jika bilangan random yang dibangkitkan dari populasi berada diatas batas parameter T yang telah ditentukan. Langkah-langkah seleksi *parent* adalah sebagai berikut.

- 1) Urutkan nilai *fitness* dari yang terkecil hingga terbesar.
- 2) Set nilai T yaitu sebesar 50%.
- 3) Tentukan T sebagai batas ukuran populasi yang akan dipilih.
- 4) Bangkitkan bilangan random [0, 1] dan tentukan kromosom yang dijadikan *parent* dalam populasi yang sudah dipilih.

e. Pindah Silang

Pindah silang yang digunakan adalah dengan skema *order crossover*. Pada skema ini satu bagian kromosom ditukarkan dengan tetap menjaga urutan mesin dan produk yang bukan dari bagian kromosom tersebut. Langkah-langkah pindah silang sebagai berikut.

- 1) Tentukan peluang pindah silang.
- 2) Tentukan titik potong 1 dan titik potong 2 dengan membangkitkan secara acak bilangan[0, 1] untuk memotong dua buah kromosom *parent* dari seleksi *parent* sebelumnya.
- 3) Silangkan 2 buah kromosom anak dan tempatkan gen-gen dari bagian kromosom *parent*.

f. Mutasi

Mutasi dilakukan dengan menggunakan *swapping mutation*, dimana semua gen dalam kromosom jika bilangan random [0,1] yang dibangkitkan kurang dari probabilitas mutasi, maka nilai gen tersebut akan ditukarkan dengan nilai gen lain yang dipilih secara random. Langkah-langkah mutasi sebagai berikut.

- 1) Tentukan peluang mutasi.
- 2) Bangkitkan bilangan acak [0, 1].
- 3) Jika bilangan acak yang dibangkitkan kurang dari peluang mutasi, maka tukarkan nilai gen dengan gen lain secara acak.

g. Hasil Pengelompokan dengan Algoritma Genetik

Hasil pengelompokan dengan Algoritma Genetik disajikan pada Tabel 23. Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data, diperoleh hasil

pengelompokan mesin dan produk kedalam sel-sel manufaktur. Pengelompokan dilakukan dengan menggunakan Algoritma Genetik, dan pengelompokan dengan *Rank Order Clustering* digunakan sebagai pembanding. Perbandingan metode *Rank Order Clustering* dan Algoritma Genetik dilihat pada perbedaan hasil pengelompokan sel-sel manufakturnya.

Tabel 23. Matriks hasil pengelompokan Algoritma Genetik

Produk	Mesin									
	M7	M8	M1	M4	M5	M10	M9	M2	M3	M6
P7	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
P5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
P1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
P3	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
P11	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
P4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P9	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
P10	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
P12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

4. Analisis dan Pembahasan

Dari hasil pengelompokan *Rank Order Clustering* dan Algoritma Genetik, perbedaan terletak pada mesin dan produk yang berada pada Sel 2 dan Sel 3. Untuk pengelompokan dengan *Rank Order Clustering* Sel 2 ditempati oleh Mesin Pengaduk Kecil, Mesin Press Berem, Mesin Press Multiproduk, Mesin Rotary Press. Untuk produk dalam Sel 2 yaitu Berem, Batako, Kansteen Sepatu Kecil, Kansteen Sepatu Besar, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Slip, Uskup, dan Paving Diagonal. Untuk Sel 3 ditempati oleh Mesin Pengaduk Besar dan Mesin Press Paving. Untuk produk dalam Sel 3 yaitu Paving Kotak.

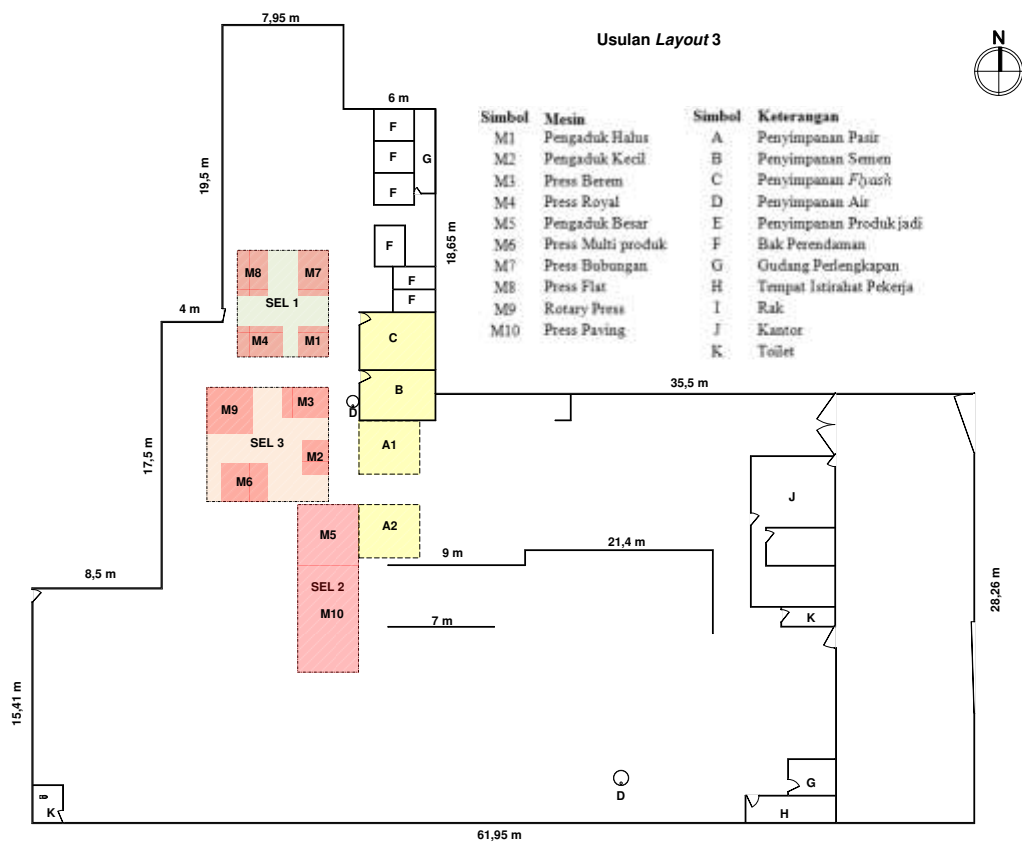
Pengelompokan dengan Algoritma Genetik Sel 2 ditempati oleh Mesin Pengaduk Besar dan Mesin Press Paving. Sel 3 ditempati oleh Mesin Rotary Press, Mesin Pengaduk Kecil, Mesin Press Berem, dan Mesin Press Multiproduk. Untuk produk dalam Sel 3 yaitu Paving Diagonal, Kansteen Sepatu Kecil, Batako, Kansteen Sepatu Kotak, Kansteen Sepatu Besar, Berem, Kansteen Slip, dan Uskup.

Dari hasil pengelompokan, dibuat 3 buah *layout* alternatif yaitu *Layout 1*, *Layout 2*, *Layout 3*. Untuk perbandingan total jarak untuk membuat keseluruhan produk dapat dilihat pada Tabel 24. Perbandingan penurunan jarak dan persentasenya untuk membuat 1 *batch* produk dapat dilihat pada Tabel 25. Perbandingan penurunan waktu aktivitas pemindahan bahan dapat dilihat pada Tabel 26.

Tabel 24. Perbandingan Total Jarak *Layout* Alternatif

Produk	Jarak yang Ditempuh (m)		
	Layout 1	Layout 2	Layout 3
Genteng Royal	76,14	75,67	75,14
Multiproduk	146,42	138,32	134,22
Paving Kotak	173,39	173,39	173,39
Genteng Flat	77,66	77,66	77,66
Berem	135,96	135,43	128,99
Bubungan	75,67	76,14	76,14
Paving Diagonal	138,76	149,78	140,16
Total Jarak	824,00	826,39	805,69

Dari ketiga *Layout* usulan yang ada, *Layout* 1 memiliki total jarak pemindahan bahan sebesar 824 m, *Layout* 2 memiliki total jarak sebesar 826,39 m, dan *Layout* 3 memiliki total jarak sebesar 805,69 m. Dari ketiga *Layout* alternatif dipilih *Layout* 3 yang disajikan pada Gambar 1. *Layout* 3 dipilih karena memiliki total jarak yang paling pendek yaitu sebesar 805,69 m.



Gambar 1. *Layout* 3.

Tabel 25. Perbandingan Jarak Awal dan Jarak Usulan untuk Proses Produksi 1 *Batch*

Produk	Layout	Total Jarak	Persentase Penurunan (%)
Genteng Royal	Awal	143,81	-
	Layout 1	76,14	47,06
	Layout 2	75,67	47,38
	Layout 3	75,14	47,75
Genteng Flat	Awal	140,12	-
	Layout 1	77,66	44,58
	Layout 2	77,66	44,58
	Layout 3	77,66	44,58
Bubungan	Awal	140,22	-
	Layout 1	75,67	46,04
	Layout 2	76,14	45,70
	Layout 3	76,14	45,70
Paving Kotak	Awal	221,70	-
	Layout 1	173,39	21,79
	Layout 2	173,39	21,79
	Layout 3	173,39	21,79
Multiproduk	Awal	234,97	-
	Layout 1	146,42	37,68
	Layout 2	138,32	41,13
	Layout 3	134,22	42,88
Berem	Awal	255,18	-
	Layout 1	135,96	46,72
	Layout 2	135,43	46,93
	Layout 3	128,99	49,45
Paving Diagonal	Awal	243,45	-
	Layout 1	138,76	43,00
	Layout 2	149,78	38,47
	Layout 3	140,16	42,43

Besar penurunan jarak pada *Layout* usulan berkisar 21,79% sampai dengan 49,45%. Penurunan jarak terkecil pada *Layout* usulan yaitu pada proses pembuatan Paving Kotak, sedangkan penurunan jarak terbesar yaitu pada proses pembuatan Berem.

Tabel 26. Perbandingan Waktu Pemandahan Bahan Sebelum dan Setelah *relayout*

Produk	Layout Awal	Layout Usulan	Persentase Penurunan (%)
Genteng Royal	2,68	1,28	52,05
Genteng Flat	2,55	1,37	46,23
Bubungan	2,56	1,32	48,36
Paving Kotak	5,76	4,74	17,68
Multiproduk	6,26	3,00	52,04
Berem	7,08	2,79	60,55
Paving Diagonal	6,61	3,24	50,89

Besar penurunan waktu pemandahan bahan pada *Layout* usulan berkisar 17,68% sampai dengan 60,55%. Penurunan waktu pemandahan bahan terkecil yaitu pada proses pembuatan Paving Kotak dan penurunan waktu terbesar yaitu pada proses pembuatan Berem.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Pengelompokan mesin dengan pendekatan *Cellular Manufacturing System* berdasarkan Algoritma Genetik menghasilkan 3 buah sel

manufaktur. Sel 1 ditempati oleh Mesin Pengaduk Halus, Mesin Press Royal, Mesin Press Flat, dan mesin Press Bubungan. Sel 2 ditempati oleh Mesin Pengaduk Besar dan Mesin Press Paving. Sedangkan untuk sel 3 ditempati oleh Mesin Pengaduk Kecil, Mesin Press Multiproduk, Mesin Press Berem, dan Mesin Rotary Press.

2. Dari hasil pengelompokan mesin dibuat alternatif *layout* sebanyak 3 buah, yaitu *Layout 1*, *Layout 2*, dan *Layout 3*. *Layout 3* dipilih sebagai *layout* usulan karena memiliki total jarak terpendek untuk membuat 1 *batch* keseluruhan produk yaitu sebesar 805,69 m.
3. Besar jarak untuk membuat produk sebelum dan sesudah perancangan ulang tata letak fasilitas berkisar 21,79% hingga 49,45%. Sedangkan besar penurunan waktu pemindahan bahan untuk proses pembuatan 1 *batch* produk berkisar 17,68% hingga 60,55%.

Daftar Pustaka

- Bueche, J. Frederick. & Hecht, Eguene (2006). *Fisika Universitas*. Jakarta: Erlangga.
- Dewi, Sri Kusuma (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya)*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Hadiguna, R. A. & Setiawan, Heri. 2008. *Tata Letak Pabrik*. Yogyakarta: Andi.
- Heragu, S. S (2008). *Facilities Design*. Third Edition. Boca Raton: CRC Press.
- Sharif, Hatim H. Khaled S. El-Kilany, & Mostafa A. Helaly (2008). A Genetic Algorithm Approach to the Group Technology Problem. *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008*, vol. II. Hongkong.
- Suyanto (2005). *Algoritma Genetika dalam Matlab*. Yogyakarta: Andi.
- Wignjosobroto, Sritomo (2009). *Tata Letak Pabrik dan Pemandahan Bahan*, Edisi III. Cetakan IV. Surabaya: Guna Widya.