

Simulasi dan *Mixed Integer Linear Programming* Untuk Masalah Tata Letak Pabrik Baru

Tio Sampurno^{*1)}, Andi Sudiarso²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin & Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada,
Bulaksumur, Yogyakarta, 55281, Indonesia
Email: tio.sampurno@pln.co.id, a.sudiarso@ugm.ac.id

ABSTRAK

Batik adalah karya warisan budaya yang diwariskan selama bertahun-tahun. Oleh karena itu Batik Butimo memutuskan untuk membangun pabrik yang menggunakan dua metode pewarnaan yakni pewarnaan sintetis dan alami. Untuk membangun pabrik baru tersebut, diselesaikan oleh pendekatan simulasi. Untuk menjamin lokasi departemen akan diselesaikan dengan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). MILP diselesaikan dengan Lingo 13 dan mempertimbangkan fungsi objektif kualitatif dan kuantitatif secara simultan: minimasi aliran, maksimasi kedekatan, minimasi waktu material handling, dan minimasi jumlah tenaga kerja antar departemen. Hasil simulasi menjamin bahwa peralatan produksi dapat memproduksi 104 buah batik cap dan 96 buah batik tulis disetiap bulannya. *Layout* berhasil dioptimasi sebesar 46.8595 poin dan *layout* 80% antar departemen yang mengalami aliran proses produksi berhasil diturunkan jaraknya dengan rata-rata penurunan jarak antar departemen sebesar 63.40%.

Kata kunci: *layout*, milp, promodel

1. Pendahuluan

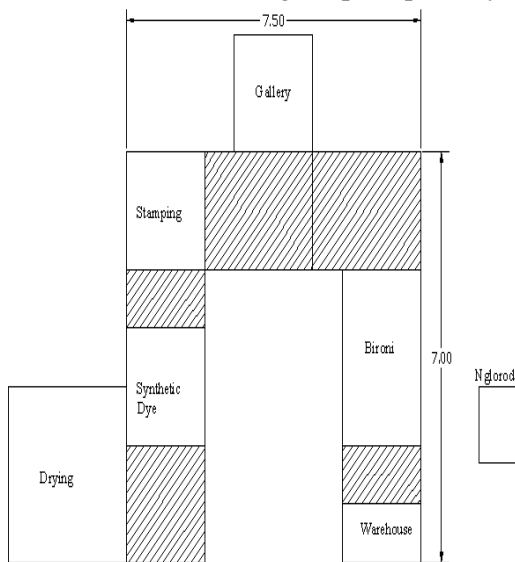
Masalah Tata letak Fasilitas atau *Facility Layout Problem* (FLP) berkaitan dengan penyusunan sejumlah fasilitas yang berinteraksi di dalam sistem manufaktur dari rantai produksi (Ripon, 2011). Fasilitas tersebut dapat berupa mesin, pekerja, *workstations*, peralatan, gudang bahan baku, dan lain-lain (Francis *et al.*, 1996). Perencanaan tata letak fasilitas memiliki tujuan yakni menentukan tata letak dari fasilitas dan mengurangi biaya operasional. Telah disepakati bahwasanya 15-70% dari total biaya operasional berkaitan dengan tata letak, dan dengan perbaikan pada tata letak dapat mengurangi biaya operasional ini sekitar 10-30% (Tompkins *et al.*, 1996) bahkan sampai 50% (Ripon *et al.*, 2010; Tompkins, 2003).

Pendirian pabrik yang direncanakan di awal tentunya harus berkaca pada pabrik yang sama jenis produknya. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan beberapa informasi sehingga dapat meningkatkan produktivitas pada pabrik yang akan dibangun. Pendekatan simulasi digunakan oleh Yu *et al.* (2006), Tearwattanarattikal *et al.* (2008), dan Novrisal *et al.* (2015) yang digunakan sebagai bantuan untuk memutuskan penambahan kapasitas pada suatu fasilitas dengan mengukur utilitasnya, dengan penambahan kapasitas maka akan berdampak pada luasan area tempat ditambahnya kapasitas tersebut sehingga secara tidak langsung seiring bertambahnya kapasitas maka akan menambah luas area tempat tersebut. Dengan pendekatan simulasi juga, biaya yang dikeluarkan sedikit, tidak menghabiskan waktu yang lama, dan eksperimen tidak mengganggu *actual system* (Harrell *et al.*, 2012). Output dari simulasi ini adalah pabrik baru akan mendapatkan sejumlah peralatan pada masing-masing departemen dan mendapatkan sejumlah pegawai yang dibutuhkan untuk melakukan proses produksi berdasarkan skenario-skenario yang dibuat. Sejumlah peralatan yang berhasil didapatkan pada masing-masing departemen nantinya akan diubah menjadi luasan departemen yang letak atau posisinya sesuai dengan fungsi *objective* pada FLP yang akan dibangun.

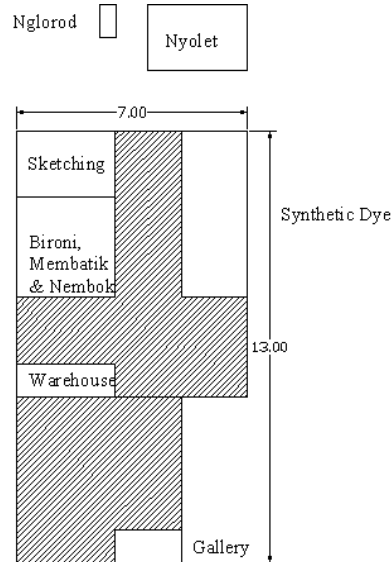
Letak atau posisi departemen tersebut digunakanlah *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dikarenakan dapat mengakomodir fungsi *objective* kualitatif dan kuantitatif. Monteruil (1991) mengembangkan MILP berdasarkan model matematis untuk perancangan tata letak dengan ukuran fasilitas dan letak atau lokasi sebagai *variable*. MILP menggabungkan *variable* keputusan yang sifatnya “ya” dan “tidak” dalam *integer value* (0 dan 1) dan *variable constraint*

yang sifatnya bilangan rill (bilangan pecahan). Penelitian ini memakai *objective function* yang berbeda di antara penelitian terdahulu seperti Matai (2015), Lenin *et al.* (2013), Aiello *et al.* (2012), Ripon *et al.* (2011), Chen & Sha (2005), Sha *et al.* (2001) dengan fungsi objektifnya adalah meminimasi *flow distance*, memaksimalkan *closeness rating*, dan meminimalkan *material handling time*. Output dari MILP ini, layout optimal bila solusi yang dihasilkan dari keempat *objective function* sudah mencapai nilai yang sifatnya *global optimum*.

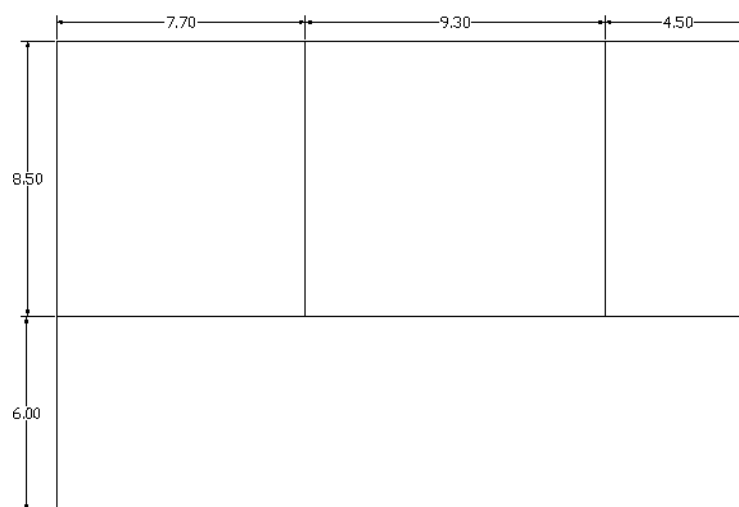
Penelitian ini bertujuan untuk menghitung jumlah fasilitas yang dibutuhkan untuk memproduksi batik cap dan batik tulis dalam satu denah dan mendapatkan denah-denah yang saling berdekatan untuk mengoptimalkan proses produksi. Aktual kondisi tata letak disana adalah para pengusaha batik membuat pabriknya tidak menggunakan konsep tata letak namun peletakan posisi departemen hanya sesuai keinginan saja sehingga pabrik baru ini akan menggunakan konsep tata letak dengan menggunakan MOFL. Selain itu pabrik baru ini berbeda dengan pabrik lainnya yang tidak menggunakan pewarnaan kombinasi dan bangunan pabrik baru (Gambar 3) tidak sama dengan pabrik batik cap (Gambar 1) dan tulis (Gambar 2) yang sudah berdiri sehingga tata letak tidak bisa mengacu pada pabrik yang telah berdiri.



Gambar 1. Batik Cap



Gambar 2. Batik Tulis



Gambar 3. Denah Pabrik Baru Cap dan Tulis

2. Metode

Metode dalam penelitian ini adalah:

1. Pembuatan Skenario

Skenario dibuat dikarenakan kapasitas produksi pada model nyata belum sesuai dengan kapasitas yang diinginkan yakni sebesar 104 batik cap dan 96 batik tulis sedangkan kapasitas dengan sejumlah peralatan saat ini dan dengan pewarnaan sintetis saja hanya mampu menghasilkan batik cap sebesar 98 batik cap sedangkan batik tulis sebesar 82 batik tulis. Oleh karena itu pada skenario-skenario nanti akan dibuat alternatif-alternatif baik itu menambahkan ataupun mengurangi resource maupun alat-alat yang tujuannya untuk mencapai target kapasitas produksi dan juga menambahkan departemen pewarnaan alami.

2. MILP

MILP adalah salah satu teknik dimana beberapa *variable* keputusan menggunakan nilai yang integer. MILP telah menjadi perhatian sebagai cara untuk memodelkan FLP. MILP dalam FLP adalah model matematis untuk perancangan tata letak dengan ukuran fasilitas dan letak atau lokasi sebagai *variable*. Oleh Montreuil (1991) FLP dirumuskan sebagai MILP dimana jarak yang mewakili tata letak *continuous* menjadi jarak yang bersifat *discrete*. Meller *et al.* (1999) mengajukan MILP yang lain untuk FLP, dimana rumus terlihat menjadi realistis daripada Heragu & Kusiak (1991). Meller *et al.* (1999) meningkatkan model dari Montreuil (1991) dengan merumuskan kembali *variable* biner beserta *constraint*-nya. Kemudian Meller *et al.* (1999) meningkatkan formulasi yang tadinya hanya dapat menyelesaikan 5 departemen saja menjadi 9 departemen yang formulasinya dikenal dengan FLP2 and FLP2+. Kemudian Sherali *et al.* (2003) mengajukan model baru adaptasi dari Meller *et al.* (1999) yang dapat meningkatkan waktu penyelesaian dari software LINGO sehingga menjadi lebih akurat dan efisien serta mampu meningkatkan penyelesaian 30-40 fasilitas.

Menurut Salvagnin (2009) MILP didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z = & \text{Min } c^T x \\ & Ax \leq b \\ & l \leq x \leq u \\ & x \in R \\ & x_j \in Z \forall j \in I \end{aligned}$$

Disini $c^T x$ adalah *objective function*, $Ax \leq b$ adalah *linear constraints*, l dan u adalah batas bawah dan batas atas dari *variable* x , x bersifat bilangan riil dan Z adalah bilangan integer (0 dan 1). Dengan formula tersebut maka Montreuil (1991) mengadopsikan formula tersebut untuk masalah MOFL yang kemudian Meller *et al.* (1999) menjadikan model matematis lebih mudah diimplementasikan dan Sherali *et al.* (2003) mengembangkannya menjadi lebih akurat dan cepat.

Variabel yang termasuk dalam persamaan ini adalah:

$$\begin{aligned} l_i^x &= \text{setengah lebar (koordinat } x) \\ l_i^y &= \text{setengah panjang (koordinat } y) \\ c_i^x &= \text{centroid departemen } i \text{ pada koordinat } x \\ c_i^y &= \text{centroid departemen } i \text{ pada koordinat } y \\ d_{ij}^s &= \text{jarak rectilinear fasilitas } i \text{ dan } j \\ z_{ij}^s &= \begin{cases} 1, \text{ Jika departemen } i \\ \text{dipaksa mendekati } j \text{ pada} \\ \text{arah } s(x, y) \\ 0, \text{ sebaliknya} \end{cases} \end{aligned}$$

Fungsi objective pada persamaan ini adalah:

$$\text{Min } Z = w_1 O_1 + w_2 O_2 + w_3 O_3 - w_4 O_4 \quad (1)$$

Untuk O_1 , O_2 , dan O_4 adalah sub objektif persamaan dibawah ini:

$$O_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n f_{ij} (d_{ij}^x + d_{ij}^y) \quad (2)$$

$$O_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n mht_{ij} \quad (3)$$

$$O_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n ld_{ij} (d_{ij}^x + d_{ij}^y) \quad (4)$$

$$O_4 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=i+1}^n cr_{ij} \quad (5)$$

Dapat dilihat bahwa *objective function* 1 (2) adalah jumlah aliran antar departemen i ke j , *objective function* 2 (3) adalah waktu *material handling* dari departemen i ke j , *objective function* 3 (4) adalah jumlah tenaga kerja untuk bekerja dari departemen i ke j , dan *objective function* 4 (5) adalah nilai kedekatan antar departemen. *Objective function* 1, 2, dan 4 berasal dari Matai (2015), Lenin *et al.* (2013), Aiello *et al.* (2012), Ripon *et al.* (2011), Chen & Sha (2005), Sha *et al.* (2001) sedangkan *Objective function* 3 (04) muncul dari *gap* tersebut dan dalam penelitian ini.

Constraint yang digunakan dalam persamaan ini adalah:

$$a_i l_i^x + 4\bar{x}^2 l_i^y \geq 2a_i \bar{x} \quad \forall lb_i^x \leq \bar{x} \leq ub_i^x, i \quad (6)$$

$$\bar{x} = lb_i^x + \frac{\lambda}{(\Delta - 1)} (ub_i^x - lb_i^x) \quad \forall \lambda = 0, 1, \dots, \Delta - 1, \quad (7)$$

for any selected integer $\Delta \geq 2$

$$\sum_{s=x}^y (z_{ij}^s + z_{ji}^s) \geq 1 \quad \forall i < j \quad (8)$$

$$z_{ij}^s + z_{ji}^s \leq 1 \quad \forall j > i, s \quad (9)$$

$$c_i^s + l_i^s \leq c_j^s - l_j^s + H^s (1 - z_{ij}^s) \quad \forall i \neq j, s \quad (10)$$

$$d_{ij}^s \geq c_i^s - c_j^s \quad \forall f_{ij} \neq 0, j > i, s \quad (11)$$

$$d_{ij}^s \geq c_j^s - c_i^s \quad \forall f_{ij} \neq 0, j > i, s \quad (12)$$

$$l_i^s \leq c_i^s \leq H^s - l_i^s \quad \forall i, s \quad (13)$$

$$\bar{lb}_i \leq l_i^s \leq \min\{\bar{ub}_i, H^s / 2\} \quad \forall i, s \quad (14)$$

$$ub_i = \min\{\sqrt{\alpha_i a_i}, \max_s\{H^s\}\} / 2 \quad \forall i, s \quad (15)$$

$$lb_i = a_i / (4ub_i) \quad \forall i \quad (16)$$

$$0 \leq d_{ij}^s \leq H^s - (lb_i + lb_j) \quad \forall i \neq j, s \quad (17)$$

$$c_i^s \geq 0 \quad (18)$$

$$z_{ij}^s \in \{0,1\} \quad \forall i \neq j, s \quad (19)$$

Persamaan (06) dan (07) digunakan untuk batasan area masing-masing departemen i . Batasan berasal dari *polyhedral outer-approximation*. Jumlah *discretization points* Δ (*tangential*) bervariasi dari 5 sampai 50. Semakin tinggi jumlah *discretization points* akan menghasilkan hasil yang akurat. Persamaan (08) dan (09) menjamin i dan j terpisah. Persamaan (10) mencegah agar i dan j tidak tumpang tindih (*overlapping*) dengan menggunakan nilai binary (0 atau 1) dari z_{ij}^s . Persamaan (11) dan (12) adalah linearisasi jarak absolut dari centroid i dan j di arah s (x dan y).

Persamaan (13) menjamin bahwa departemen i berada didalam bangunan atau fasilitas. Persamaan (14) menjamin panjang dan lebar departemen i tidak melebihi panjang dan lebar yang telah ditetapkan, dimana persamaan (15) dan (16) adalah batasan bawah dan batasan atas dari panjang dan lebar departemen i . Persamaan (17) menjamin agar jarak tidak melebihi dari luas bangunan. Persamaan (18) memaksa agar *centroid* tidak bernilai *negative* dan persamaan (19) membatasi nilai z_{ij}^s menjadi nilai binary (0 dan 1).

$$c_i^s \text{ fixed } \forall i, s \quad (20)$$

Persamaan (20) digunakan untuk memberikan koordinat kepada departemen-departemen yang posisinya telah ditetapkan.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dan pembahasan dalam penelitian ini adalah:

1. Pembuatan Skenario

Untuk skenario 1 menghasilkan utilitas yang hampir seimbang dimana untuk *resource* batik cap memiliki utilitas masing-masing pegawai a, b, c, d, dan e adalah 51.38%, 54.64%, 54.45%, 51.84%, dan 48.14%. Sedangkan untuk *resource* batik tulis memiliki utilitas masing-masing pegawai a, b, c, d, e, dan f adalah 63.92%, 60.11%, 61.15%, 65.39%, 60.95%, dan 61.78%.

Untuk skenario 2 menghasilkan utilitas yang berbeda-beda kecuali pekerja wanita yang khusus menangani masalah membatik, *Bironi*, dan nembok namun utilitas selain pekerja dengan pekerjaan selain aktivitas membatik, *Bironi*, dan nembok diusahakan utilitasnya sama misalnya jika pekerja selain membatik, *Bironi*, dan nembok berjumlah 2 orang maka kedua orang itu utilitasnya diusahakan memiliki utilitas dengan selisih minimal.

Hasilnya pada batik cap dikarenakan orang dengan pekerjaan membatik, dan *Bironi* berjumlah 4 orang (operator C, D, E, dan F) dengan utilitas merata sebesar 40.32% sedangkan 2 orang (operator A dan B) yang bekerja selain membatik dan *Bironi* masing-masing utilitasnya adalah 48.41% dan 46.54%.

Sedangkan pada batik tulis untuk orang dengan pekerjaan membatik, *Bironi*, dan nembok berjumlah 5 orang (operator B, C, D, E, dan F) dengan utilitas masing-masing 58.99%, 55.38%, 58.30%, 59.10% dan 64.39% sedangkan 1 orang yakni operator A yang bekerja selain membatik, *Bironi*, dan nembok utilitasnya adalah 69.36% dan operator F membantu pekerjaan selain membatik, *Bironi*, dan nembok sehingga menjadi 64.39%.

Untuk fasilitas yang bisa di *sharing* adalah bagian pewarnaan sintetis sedangkan yang lain tidak bisa dilakukan *sharing* dikarenakan ada jika di *sharing* akan terjadi tumpang tindih *resource* yang sedang melakukan proses. Untuk fasilitas ini akan dihitung analisis kelayakan aspek ekonominya apakah layak atau tidak.

Dari 2 skenario tersebut disimpulkan bahwa skenario 2 lebih mudah diterapkan daripada skenario 1 dikarenakan untuk mencari pegawai seperti uraian pekerjaan skenario 1 sangat susah dan jarang. Sehingga skenario 2 akan dilanjutkannya pembuatan denah dengan metode MILP.

2. MILP

Untuk membuat layout dengan MILP maka skenario terpilih diterjemahkan kedalam luas departemen sebagai berikut:

Tabel 1. Ukuran Departemen

No	Departemen	Ukuran (cm)
1	Gudang	286x306
2	Pengecapan	240x280
3	Pewarnaan Sintetis	256x306
4	Pewarnaan Alami	426x306
5	Nglorod	240x310

Depart.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	3.36										
7	4.2										
8										6.61	
9	6.75									5.04	
10	6.61										6.6
11											

Tabel 5. Jumlah Pegawai antar Departemen (Orang)

Depart.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1		1	1	4	2	9	1	1	1		
2			1								
3	2										
4								4			
5									2		
6	9										
7	1										
8										1	
9	2									1	
10	2										2
11											

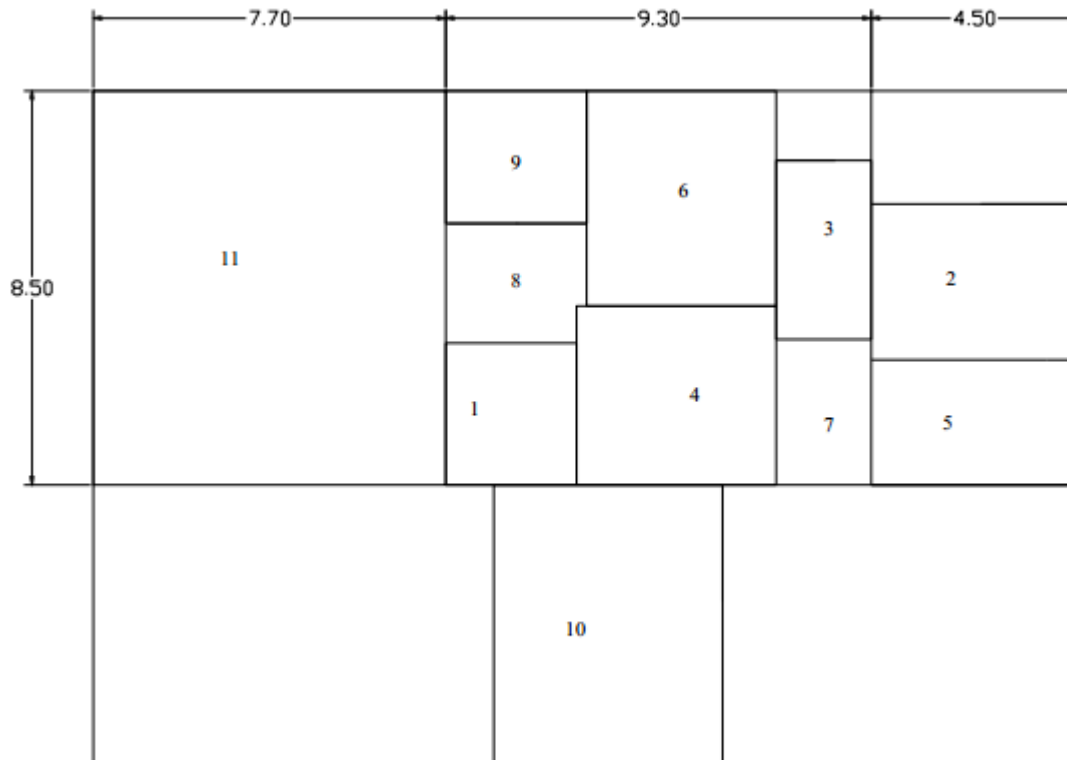
Berdasarkan keputusan pemilik Butimo Batik maka bobot terbesar adalah pada fungsi objective nilai kedekatan yakni sebesar 35%. Untuk bobot selanjutnya yakni jumlah aliran material sebesar 30%, jumlah pegawai manual material handling sebesar 20%, dan jumlah material handling time sebesar 15%. Dengan data dan asumsi tersebut maka hasil layout baru dengan Global Optimum Solution adalah 46.8595 point. Dengan koordinat x dan y pada tabel 5.36 dibawah ini:

Tabel 6. Koordinat dan Ukuran Departemen

C(1, X)	9.17	L(1, X)	2.86
C(1, Y)	7.60	L(1, Y)	3.06
C(2, X)	19.39	L(2, X)	2.40
C(2, Y)	10.66	L(2, Y)	2.80
C(3, X)	16.55	L(3, X)	3.27
C(3, Y)	10.66	L(3, Y)	3.05
C(4, X)	12.72	L(4, X)	4.24
C(4, Y)	7.93	L(4, Y)	3.86
C(5, X)	19.00	L(5, X)	3.70
C(5, Y)	7.50	L(5, Y)	2.40
C(6, X)	12.85	L(6, X)	4.14
C(6, Y)	12.18	L(6, Y)	4.64
C(7, X)	16.04	L(7, X)	2.23
C(7, Y)	7.03	L(7, Y)	2.06
C(8, X)	9.16	L(8, X)	2.88
C(8, Y)	10.55	L(8, Y)	2.18
C(9, X)	9.25	L(9, X)	3.06
C(9, Y)	13.07	L(9, Y)	2.86
C(10, X)	11.25	L(10, X)	20.50
C(10, Y)	3.50	L(10, Y)	5.00

C(11, X)	3.86	L(11, X)	7.72
C(11, Y)	10.25	L(11, Y)	8.48

Berdasarkan koordinat dan luasan departemen tersebut maka dibuatlah layout dengan menggunakan software AutoCAD.



Gambar 4. Layout Butimo Batik

4. Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah untuk membuat desain tata letak batik tulis dan cap dengan pewarnaan kombinasi yang optimal dengan *objective function* meminimasi *flow distance*, memaksimalkan *closeness rating*, meminimalkan *material handling time*, dan meminimalkan jarak terhadap tenaga kerja maka dibutuhkan 11 departemen dimana 11 departemen tersebut adalah gudang, pengecapan, pewarnaan sintetis, pewarnaan alami, nglorod, bironi, pemotifan, nyolet, penguncian, penjemuran, dan galeri. Agar sesuai dengan keempat fungsi objektif maka departemen-departemen tersebut harus berjarak dengan jarak hasil MILP yakni gudang ke pengecapan 10.22 m, pengecapan ke pewarnaan sintetis 2.83 m, sintetis ke gudang 3.06 m, gudang ke pelorotan 9.83 m, pelorotan ke penjemuran 11.45 m, penjemuran ke gudang 4.03 m, gudang ke bironi 3.68 m, gudang ke alami 3.55 m, alami ke penguncian 3.36 m, penguncian ke penjemuran 5.93 m, penjemuran ke galeri 6.74 m, gudang ke pemotifan 6.83 m, gudang ke pencoletan 2.62 m, pencoletan ke penjemuran 5.68 m, dan gudang ke penguncian 5.54 m. Jika dilihat dari kedua layout sebelumnya maka dengan layout MILP ini 80% antar departemen yang mengalami aliran proses produksi berhasil diturunkan jaraknya dengan rata-rata penurunan jarak antar departemen sebesar 63.40%.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada masyarakat Gulurejo dan Batik Yoga.

6. Daftar Notasi

a_i	= luas fasilitas i , dimana $a_i > 0$
α_i	= <i>maximum permissible ratio</i> antara sisi terpanjang dan terpendek.
c_i^x	= <i>centroid</i> department i di koordinat x
c_i^y	= <i>centroid</i> department i di koordinat y
cr_{ij}	= <i>adjacency rating</i> fasilitas i dan j
d_{ij}^s	= <i>rectilinear distance</i> diantara departemen i dan j
f_{ij}	= frekuensi aliran material dari fasilitas i ke j
H^s	= luas bangunan
l_i^x	= setengah luas (koordinat x)
l_i^y	= setengah luas (koordinat y)
lb_i	= <i>lower bound</i> dari panjang fasilitas
ld_{ij}	= jumlah pekerja dari fasilitas i ke j
mht_{ij}	= <i>material handling time</i> dari fasilitas i ke j
s	= koordinat x dan y
ub_i	= <i>upper bound</i> dari panjang fasilitas
w	= <i>weighting score</i> masing-masing <i>objective function</i>

Daftar Pustaka

- Aiello, G., Scalia, G. L., & Enea, M., 2012, Expert Systems with Applications A multi objective genetic algorithm for the facility layout problem based upon slicing structure encoding. *Expert Systems With Applications*, vol. 39, pp. 10352–10358.
- Chen, C. & Sha, D. Y., 2005, Heuristic Approach For Solving The Multi-Objective Facility Layout Problem, *International Journal of Production*, vol. 43, no. 21, pp. 4493-4507.
- Francis, R.L., White, J.A., & McGinnis, F., 1992, *Facility Layout and Location: an Analytical Approach*, Prentice Hall, New Jersey.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R. O., 2012, *Simulation Using Promodel*, Mc Graw-Hill, New York.
- Heragu, S. S. & Kusiak, A., 1991, Efficient Models For The Facility Layout Problem, *European Journal of Operational Research*, vol. 53, 1–13.
- Heragu, S. S., 1997, *Facilities design*, Boston, PWS Publishing Company.
- Lenin, N., Kumar, M. S., Ravindran D., Kumar, D. V., & Islam, M. N., 2013, Decision Making In Multi-Objective Facility Layout Design, *3rd International Conference on Recent Advances in Material Processing Technology 1*.
- Matai, R., 2015, Solving Multi Objective Facility Layout Problem By Modified Simulated Annealing, *Applied Mathematics and Computation*, vol. 261, pp. 302–311.
- Meller, R. D. & Gau, K., 2007, Facility Layout Objective Functions And Robust Layouts, *International Journal of Production Research*, pp. 37–41.
- Montreuil, B., 1991, A Modelling Framework For Integrating Layout Design And Flow Network Design, *Material Handling*, pp. 95–116.
- Novrisal, D., Hamani, N., Elmhamedi, A., & Soemardi, T. P., 2015, Performance Improvement using Simulation and Line Balancing : Application in Departure Terminal at Airport, *Applied Mechanics and Materials*, vol. 800, pp. 1403–1409.
- Ripon, K. S. N., Glette, K., Høvin, M., & Tørresen, J., 2010, A Genetic Algorithm To Find Pareto-Optimal Solutions For The Dynamic Facility Layout Problem With Multiple Objectives, *Neural Information Processing, Theory and Algorithms*, vol. 6443, pp. 642–651.

- Ripon, K. S. Kashif, N. K., Glette, K., Hovin, M., & Torresen, J., 2011, Using Pareto-Optimality For Solving Multi-Objective Unequal Area Facility Layout Problem, *Genetic and Evolutionary Computation Conference*, pp. 681–688.
- Salvagnin, D., 2009, Constraint Programming Techniques for Mixed Integer Linear Programs. *Dissertation. Dipartimento di Matematica Pura e Applicata*. Universita Di Padova.
- Schmidt J.W., Taylor R.E., 1970, *Simulation and Analysis of Industrial Systems*, Richard D. Irwin, Homewood, IL.
- Sha, D. Y., Chen, D. Y. S. C., & Chen, C., 2001, A New Approach To The Multiple Objective Facility Layout Problem, *Integrated Manufacturing Systems*, MCB University Press, pp. 59-66.
- Tearwattananarattikal, P., Namphacharoen, S., & Chamrasporn, C., 2008, Using Promodel As A Simulation Tools To Assist Plant Layout Design And Planning : Case Study Plastic Packaging Factory, *Songklanakarinn Journal of Science and Technolonogy*, vol. 30, pp. 117–123.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A., & Trevino, J., 1996, *Facility planning 2nd edition*, John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Tompkins, A., 2003, *Facilities Planning 3rd Ed.*, John Wiley & Sons, New York.
- Yu, Q., & Duffy, V., McGinley, J., Rowland, Z., 2006, Productivity Simulation With Promodel For An Automotive Assembly Workstation Involving A Lift Assist Device, *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, pp.1935–1939.