

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Penelitian mengenai reduksi *lead time* produksi dan peningkatan area kerja ideal merupakan penelitian yang telah banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu, dengan menggunakan metode analisis yang berbeda-beda sesuai dengan masalah yang dihadapi dan tujuan penelitian yang diinginkan.

Sama seperti tenaga kerja dan modal, waktu juga merupakan sumber daya yang penting. Saat ini, kompetisi berbasis waktu merupakan strategi bisnis yang berkembang. Kompetisi berbasis waktu adalah kemampuan untuk memberikan produk atau layanan lebih cepat daripada pesaing lainnya. Untuk bertahan di era persaingan dunia saat ini, produsen perlu menemukan cara baru untuk meningkatkan produktivitas. Peningkatan produktivitas dapat dilakukan dengan mengurangi *lead time* dan pemborosan produksi (Azizi dan Manoharan, 2015). Manajemen waktu, khususnya *lead time*, dapat menjadi keunggulan kompetitif. Pengelolaan waktu merupakan cerminan dari pengelolaan kualitas, biaya, inovasi, dan produktivitas. Mengurangi pemborosan waktu secara otomatis meningkatkan ukuran kinerja lainnya, seperti produktivitas, efisiensi, kualitas, dll secara berlipat ganda. Pemborosan waktu terjadi karena serialisasi aktivitas independen, non-sinkronisasi aktivitas dependen (penjadwalan yang buruk), produksi komponen/produk yang ditolak/dikerjakan ulang (kualitas yang tidak dapat diterima), atau alur kerja yang tidak efisien (tata letak yang buruk).

Reduksi *lead time* dapat dilakukan dengan mengidentifikasi komponen *lead time*. *Lead time* adalah rentang waktu yang diperlukan untuk melakukan suatu aktivitas. Dalam konteks manufaktur, *lead time* adalah total waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu barang (Institute of Industrial & Systems Engineers, 2022). Komponen dari *lead time* yaitu, waktu *set-up*, waktu proses, waktu perpindahan, dan waktu tunggu (Alad dkk., 2014).

Waktu *set-up* adalah waktu yang diperlukan untuk menyesuaikan mesin pada stasiun kerja dan waktu untuk memasang perkakas yang tepat untuk membuat produk tertentu (Institute of Industrial & Systems Engineers, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Esa dkk. (2015), Almomani dkk. (2013), dan Faccio (2013) memiliki tujuan yang sama, yaitu reduksi waktu *set-up*. Ketiga penelitian tersebut

menggunakan metodologi *Single Minute Exchange of Dies* (SMED). *Single Minute Exchange of Dies* (SMED) merupakan metodologi yang berfokus pada pengurangan waktu *set-up* dan *changeover* sebagai cara untuk meningkatkan utilisasi, meningkatkan kapasitas, dan meningkatkan volume produksi (Kumar, 2013). Namun, pada penelitian Almomani dkk. (2013), SMED dipadukan dengan teknik *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM). Hal tersebut dilakukan karena, SMED konvensional tidak memiliki pendekatan sistematis untuk mencapai konversi operasi *set-up* internal ke operasi eksternal. Teknik MCDM yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Analytical Hierarchical Process* (AHP), *Preference Selection Index* (PSI) dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS). Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Faccio (2013) juga memadukan SMED dengan *balancing integrated model*. Hal tersebut dilakukan karena, dalam sistem manufaktur yang kompleks, penerapan sederhana dari metodologi SMED tidak cukup. Sistem manufaktur yang kompleks terdiri atas mesin kerja yang berbeda dengan fasilitas transfer otomatis. Kendala teknologi, prioritas tugas, dan sinkronisasi antara tugas *set-up* yang berbeda menyebabkan konvensional SMED tidak cukup. Sehingga, mengintegrasikan SMED dengan masalah *workload balancing*, yang khas dari sistem perakitan mampu mengatasi masalah reduksi waktu *set-up* dalam sistem manufaktur yang kompleks. Ketiga penelitian yang dilakukan oleh Esa dkk. (2015), Almomani dkk. (2013), dan Faccio (2013) terbukti mampu mereduksi waktu *set-up*.

Waktu proses adalah jumlah seluruh waktu operasi yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu komponen atau perakitan (*Institute of Industrial & Systems Engineers*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Seth dkk. (2017), Vankataraman dkk. (2014), dan Patel (2015) memiliki tujuan yang sama, yaitu reduksi waktu siklus, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Al-Saleh (2011) memiliki tujuan untuk meningkatkan produktivitas suatu stasiun kerja. Waktu siklus dan produktivitas berkaitan erat dengan waktu proses. Hal tersebut dikarenakan waktu siklus adalah waktu produk berada di setiap stasiun kerja pada jalur perakitan atau produksi (*Institute of Industrial & Systems Engineers*, 2022). Sehingga, melalui reduksi waktu siklus, maka reduksi waktu proses juga dapat dicapai, sedangkan produktivitas adalah ukuran relatif *output* per tenaga kerja atau jam mesin (*Institute of Industrial & Systems Engineers*, 2022). Sehingga, apabila produktivitas ingin ditingkatkan, maka salah satu cara yang dapat dilakukan ialah dengan mereduksi waktu proses. Penelitian yang dilakukan Seth dkk. (2017), dan Vankataraman dkk.

(2014) menggunakan *Value Stream Mapping* (VSM) dalam mencapai tujuannya, sedangkan penelitian yang dilakukan Patel (2015) dan Al-Saleh (2011) menggunakan teknik *Time Study*. Namun, pada penelitian Seth dkk. (2017), Metode Taguchi juga digunakan untuk mereduksi waktu siklus, sedangkan pada penelitian Al-Saleh (2011), teknik *Time Study* dipadukan dengan teknik *Motion Study*.

Waktu perpindahan atau waktu transit adalah kelonggaran waktu standar untuk pergerakan fisik barang dari satu operasi ke operasi berikutnya (*Institute of Industrial & Systems Engineers*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Firmansyah dan Lukmandono (2020) bertujuan untuk meminimasi waktu perpindahan, sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Tannady dkk. (2019) dan Budianto dkk. (2020) bertujuan untuk meminimasi biaya *material handling*. Minimasi biaya *material handling* berkaitan erat dengan minimasi waktu perpindahan. Pada penelitian Tannady dkk. (2019) dan Budianto dkk. (2020), minimasi biaya *material handling* juga menyebabkan reduksi waktu perpindahan. Dalam rangka mencapai tujuan penelitiannya, Firmansyah (2020), Tannady dkk. (2019) dan Budianto dkk. (2020) melakukan perancangan ulang tata letak. Pada penelitian Firmansyah dan Lukmandono (2020), dilakukan perancangan tata letak perusahaan. Pada penelitian Tannady dkk. (2019) dilakukan perancangan tata letak *warehouse*, sedangkan pada penelitian Budianto dkk. (2020) dilakukan perancangan tata letak rantai produksi. Metode yang digunakan dalam perancangan tata letak berbeda-beda, disesuaikan dengan objek penelitian dan tujuan penelitian. Pada penelitian Firmansyah dan Lukmandono (2020), metode yang digunakan adalah *Weighted Distance Method*. Pada penelitian Tannady dkk. (2019), metode yang digunakan adalah *Class-Based Storage*, *Dedicated Storage*, dan simulasi, sedangkan pada penelitian Felix Budianto (2020), metode yang digunakan adalah *Systematic Layout Planning* dan ALDEP. Ketiga penelitian tersebut terbukti mampu mereduksi waktu perpindahan.

Waktu tunggu adalah waktu pekerjaan menunggu stasiun kerja atau perangkat *material handling* tersedia. Waktu tunggu juga dapat diartikan sebagai waktu mesin dalam keadaan *idle* menunggu pekerjaan atau pemeliharaan (*Institute of Industrial & Systems Engineers*, 2022). Penelitian yang dilakukan oleh Chueprasert dan Ongkunaruk (2015), Ongkunaruk dan Wongsatit (2014), dan Zupan dan Herakovic (2015) bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi lini produksi. Peningkatan produktivitas berkaitan erat dengan reduksi

waktu tunggu. Melalui reduksi waktu tunggu, maka produktivitas akan meningkat. Pada penelitian Chueprasert dan Ongkunaruk (2015), Ongkunaruk dan Wongsatit (2014), dan Zupan dan Herakovic (2015), peningkatan produktivitas juga disertai dengan reduksi waktu tunggu. Ketiga penelitian tersebut menggunakan konsep *Line Balancing*. Pada penelitian Chueprasert dan Ongkunaruk (2015), konsep *Line Balancing* dipadukan dengan konsep *Work-Study* dan *Continuous Improvement*. Pada penelitian Ongkunaruk dan Wongsatit (2014), konsep *Line Balancing* dipadukan dengan *Theory of Constraints* dan konsep JIT atau ECRS (*Eliminate, Combine, Rearrange and Simplify*), sedangkan pada penelitian Zupan dan Herakovic (2015), konsep *Line Balancing* dipadukan dengan pendekatan *discrete event simulation*.

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Fungsi Perencanaan dan Perancangan Fasilitas Manufaktur

Pertanyaan yang harus dijawab sebelum perancangan fasilitas alternatif adalah sebagai berikut.

- a. Apa yang akan diproduksi
- b. Bagaimana produk yang akan dihasilkan
- c. Kapan produk akan diproduksi
- d. Berapa banyak dari setiap produk yang akan diproduksi
- e. Berapa lama produk akan diproduksi
- f. Dimana produk yang akan diproduksi

Jawaban dari lima pertanyaan pertama diperoleh melalui desain produk, desain proses, dan desain jadwal, sedangkan pertanyaan keenam diperoleh melalui penentuan lokasi fasilitas, atau desain jadwal ketika produksi akan dialokasikan ke antara beberapa pabrik yang ada.

Desainer produk akan menentukan seperti apa produk akhir dalam hal dimensi, komposisi bahan, dan mungkin kemasan. Perencana proses menentukan bagaimana produk akan diproduksi. Perencana produksi menentukan jumlah produksi dan menjadwalkan peralatan produksi. Perencana fasilitas bergantung pada masukan yang tepat waktu dan akurat dari perancang produk, proses, dan jadwal.

Keberhasilan suatu perusahaan tergantung pada efisiensi sistem produksi yang dimiliki. Oleh karena itu, desain produk, pemilihan proses, jadwal produksi, dan

rencana fasilitas harus saling mendukung. Keputusan desain produk, proses, jadwal, dan fasilitas tidak dibuat secara independen dan berurutan (Tompkins dkk., 2010).

2.2.2. Route Sheet

Groover (2014) menyatakan bahwa *route sheet* adalah rencana proses yang menunjukkan bagaimana barang akan diproduksi di pabrik. *Route sheet* juga dapat diartikan sebagai dokumen produksi yang mencantumkan operasi dan mesin yang digunakan untuk memproses komponen atau produk tertentu. Jenis data yang harus terdapat pada *route sheet* dapat dilihat pada Gambar 2.1, sedangkan contoh *route sheet* untuk kegiatan produksi salah satu komponen dapat dilihat pada Gambar 2.2.

Data	Production Example
Component name and number	Plunger housing—3254
Operation description and number	Shape, drill, and cut off—0104
Equipment requirements	Automatic screw machine and appropriate tooling
Unit times	Setup time—5 hr operation time—.0057 hr per component
Raw material requirements	1 in. dia. × 12 ft. aluminum bar per 80 components

Gambar 2.1. Kebutuhan Data *Route Sheet* (Tompkins dkk., 2010)

ROUTE SHEET

Company	A.R.C., Inc.		Part Name	Plunger Housing		Prepared by	J.A.	
Produce	Air Flow Regulator		Part No.	3254		Date		
Oper No.	Operation Description	Machine Type	Tooling	Dept.	Set-up Time (hr.)	Operation Time (hr.)	Materials or Parts Description	
0104	Shape, drill, cut off	Automatic screw machine	.50 in. dia. collar, feed fingers, cir. form tool, .45 in. dia. center drill, .129 in. twist drill, finish spiral drill, cut off blade		5	.0057	Aluminum 1.0 in. dia. × 12 ft.	
0204	Machine slot and thread	Chucker	.045 in. slot saw, turret slot attach, 3/8–32 thread chaser		2.25	.0067		
0304	Drill 8 holes	Auto. dr. unit (chucker)	.078 in. dia. twist drill		1.25	.0038		
0404	Deburr and blow out	Drill press	Deburring tool with pilot		.5	.0031		
SA1	Enclose subassembly	Dennison hyd. press	None		.25	.0100		

Gambar 2.2. *Route Sheet* untuk 1 Komponen (Tompkins dkk., 2010)

2.2.3. Peta Proses Operasi

Peta proses operasi memberikan informasi mengenai proses dan waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan setiap komponen (Heragu, 2016). Peta proses

operasi menggunakan simbol dari *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) untuk mewakili aktivitas dasar produksi.

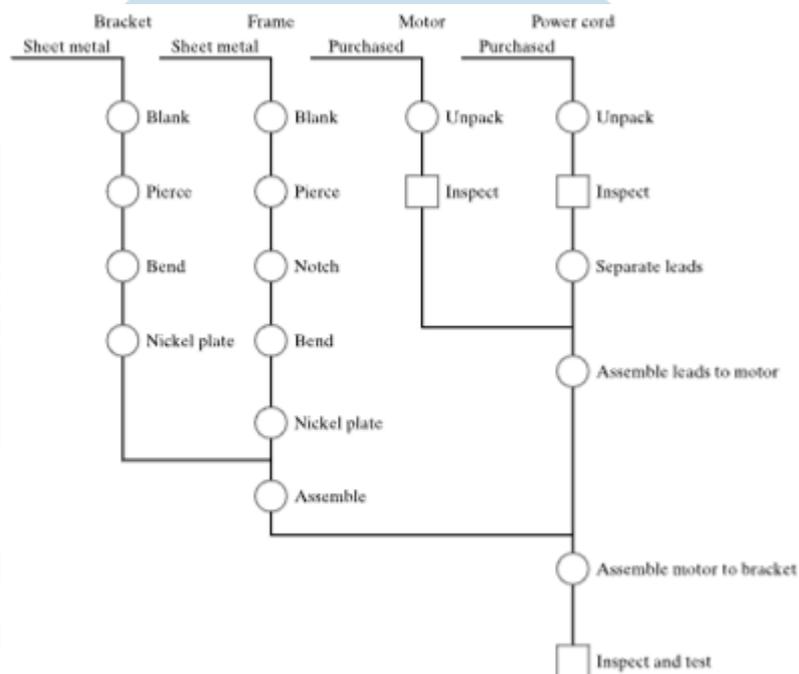
Lima aktivitas dasar dalam manufaktur yaitu, operasi, inspeksi, transportasi, penyimpanan, dan *delay*. Operasi didefinisikan sebagai aktivitas salah satu karakteristik barang diubah. Inspeksi adalah kegiatan yang merupakan karakteristik suatu barang dibandingkan dengan standar yang ditetapkan. Transportasi adalah aktivitas yang melibatkan perpindahan material dari satu lokasi menuju lokasi lain. Penyimpanan adalah aktivitas yang mengacu pada penyimpanan barang di tempat yang ditentukan sampai otorisasi diterima untuk dipindahkan. *Delay* adalah aktivitas di saat barang menunggu tindakan yang direncanakan berikutnya terjadi. Selain 5 aktivitas dasar, informasi lain seperti waktu setiap operasi, persentase scrap, mesin yang digunakan, dan informasi lainnya dapat dimasukkan pada peta proses operasi. Lima aktivitas dasar dalam manufaktur serta simbol dari masing-masing aktivitas dasar tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.3.

Symbol	Name
●	Operation
■	Inspection
➔	Transportation
▼	Storage
◐	Delay

Gambar 2.3. Simbol 5 Aktivitas Manufaktur Dasar (Heragu, 2016)

Groover (2014) menyatakan bahwa peta proses operasi adalah representasi grafis dan simbolis dari operasi yang digunakan untuk menghasilkan produk. Terdapat 2 jenis operasi pada peta proses operasi, yaitu operasi pemrosesan dan perakitan, serta proses inspeksi. Peta proses operasi terdiri atas serangkaian batang vertikal, yang masing-masing menggambarkan urutan operasi dan inspeksi yang dilakukan pada komponen produk tertentu. Peta proses operasi hanya menggunakan 2 simbol, yaitu operasi dan inspeksi. Pada bagian atas setiap batang peta proses

operasi berisi informasi mengenai bahan awal atau komponen yang dibeli, dan langkah-langkah yang dilakukan di atasnya ditunjukkan dengan simbol dan deskripsi singkat. Seringkali, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan operasi juga disertakan. Ketika setiap komponen selesai, komponen tersebut dirakit ke komponen lain ke arah kanan. Kolom di paling kanan mewakili komponen dasar. Komponen dasar merupakan seluruh komponen dalam grafik yang dirakit. Peta proses operasi dapat dilengkapi dengan transportasi, penyimpanan, dan *delay* bila informasi tersedia (Tompkins, 2010). Contoh peta proses operasi dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Peta Proses Operasi untuk Sub-Perakitan Produk (Groover, 2014)

2.2.4. Faktor Dasar Perencanaan Fasilitas Manufaktur

Terdapat tiga hal faktor dasar dalam melakukan perencanaan fasilitas manufaktur, yakni aliran, ruang, dan hubungan aktivitas (Tompkins dkk., 2010). Ketiga faktor ini memiliki karakteristik dan ketergantungan akan beberapa faktor penting lainnya. Faktor aliran memiliki ketergantungan pada *lotsize*, unit *lotsize*, susunan tata letak dan juga bentuk bangunan. Faktor ruang juga merupakan suatu fungsi dari *lotsize*, sistem penyimpanan, tipe dan ukuran peralatan produksi, logitansi bangunan, peralatan penanganan material dan lain sebagainya. Faktor hubungan aktivitas diartikan sebagai metode yang berkelanjutan, dan kebutuhan proses.

a. Aliran

Pola aliran terbagi menjadi 3 bagian, yakni aliran di dalam stasiun kerja, aliran di dalam departemen, dan aliran antar departemen.

b. *Space*

Pada perencanaan suatu fasilitas, kesulitan utama yang sering ditemukan adalah menentukan ruang yang diperlukan atau dibutuhkan. (Tompkins dkk., 2010). Terdapat beberapa hal pada industri modern ini yang menyebabkan kebutuhan akan ruang berkurang, di antaranya produk dikirim sampai *point of use* dengan ukuran *unit load* yang kecil, susunan tata letak yang lebih efisien, inventori yang lebih sedikit dan sebagainya.

c. *Activity Relationship*

Faktor hubungan aktivitas memiliki beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan fasilitas. Hal tersebut terdiri atas *organizational relationship*, yang dipengaruhi struktur hubungan pengendalian dalam suatu perusahaan. Kemudian terdapat *flow relationship*, yang termasuk aliran material, orang, peralatan, informasi dan biaya. Selain itu, terdapat *control relationship*, *environmental relationship*, dan *process relationship* dengan contoh kebutuhan untuk proses kimia, perawatan air dan lain sebagainya. (Tompkins dkk., 2010)

2.2.5. Algoritma Perancangan Tata Letak Fasilitas

a. *Pairwise Exchange Method*

Pairwise Exchange Method adalah algoritma tata letak tipe perbaikan. *Pairwise Exchange Method* dapat digunakan dengan tujuan berbasis kedekatan dan berbasis jarak. *Pairwise Exchange Method* menyatakan bahwa untuk setiap iterasi, seluruh pertukaran yang layak di lokasi pasangan departemen dievaluasi satu per satu, dan pasangan yang menghasilkan pengurangan biaya total terbesar dipilih. *Pairwise Exchange Method* tidak dijamin untuk menghasilkan tata letak optimal. Hal tersebut dikarenakan hasil akhir bergantung pada tata letak awal. Tata letak awal yang berbeda, dapat menghasilkan solusi yang berbeda. Sehingga, *Pairwise Exchange Method* hanya dapat menghasilkan lokal optimum. *Pairwise Exchange Method* dapat dengan mudah dilakukan jika pasangan departemen yang dipertimbangkan memiliki ukuran yang sama (Tompkins dkk., 2010).

b. *Graph-Based Method*

Graph-Based Method adalah algoritma tata letak tipe konstruksi. *Graph-Based Method* ini berbasis kedekatan dan jarak antar departemen tidak dipertimbangkan. Pada algoritma ini, *Relationship chart* diperlukan untuk memilih urutan departemen. Selain itu dalam pendekatan ini, kedekatan departemen ditunjukkan dengan menggunakan grafik (Ojaghia dkk., 2015).

c. *Relationship Diagramming*

Relationship Diagramming adalah algoritma tata letak tipe konstruksi. Metode ini merupakan dasar untuk mengkonstruksi tata letak baru yang mengutamakan departemen dengan jumlah A terbanyak. *Input* yang dibutuhkan pada algoritma ini adalah *relationship chart*, luas tiap departemen, dan nomor urut departemen (Tompkins dkk., 1996).

2.2.6. Algoritma Terkomputerisasi Perancangan Tata Letak Fasilitas

a. CRAFT

Tompkins dkk. (2010) menyatakan bahwa CRAFT (*Computerized Relative Allocation of Facilities Technique*) merupakan salah satu algoritma tata letak paling awal yang disajikan dalam literatur. CRAFT menggunakan *from-to chart* sebagai data input untuk aliran.

Tompkins dkk. (2010) menyatakan bahwa CRAFT adalah algoritma tata letak tipe perbaikan. Sehingga, CRAFT dimulai dengan tata letak awal, yang biasanya mewakili tata letak sebenarnya dari fasilitas yang ada atau mewakili tata letak prospektif yang dikembangkan oleh algoritma lain. CRAFT dimulai dengan menentukan *centroid* departemen pada tata letak awal. Selanjutnya, CRAFT mempertimbangkan seluruh kemungkinan pertukaran dua atau tiga departemen dan mengidentifikasi pertukaran terbaik. Pertukaran terbaik adalah pertukaran yang menghasilkan pengurangan biaya tata letak terbesar. Proses tersebut akan berlanjut sampai tidak diperoleh pengurangan lebih lanjut dalam biaya tata letak.

CRAFT terbatas pada bangunan *rectangular*. Namun, melalui departemen "dummy", CRAFT dapat digunakan pada bangunan *nonrectangular*. Departemen dummy merupakan departemen yang tidak memiliki aliran atau interaksi dengan departemen lain, tetapi memerlukan area tertentu yang telah ditentukan oleh perencana tata letak. Secara umum, berikut merupakan kegunaan departemen *dummy*.

a. Mengisi ketidakteraturan bangunan.

- b. Mewakili rintangan atau area yang tidak dapat digunakan di fasilitas (seperti tangga, lift, layanan pabrik, dan sebagainya).
- c. Mewakili ruang ekstra di fasilitas.
- d. Bantuan dalam mengevaluasi lokasi lorong di tata letak akhir.

Ketika departemen *dummy* digunakan untuk mewakili sebuah rintangan, lokasi departemen tersebut harus tetap. Salah satu keunggulan CRAFT adalah dapat menggambarkan tata letak awal dengan akurasi yang wajar, **sedangkan** salah satu kelemahan CRAFT adalah jarang menghasilkan bentuk departemen yang menghasilkan *aisle* lurus dan tidak terputus seperti yang diinginkan dalam tata letak akhir. Memperbaiki beberapa departemen ke lokasi tertentu, dan dalam beberapa kasus menempatkan departemen *dummy* dalam tata letak untuk mewakili lorong utama, dapat menyebabkan bentuk departemen yang lebih proporsional.

b. BLOCPLAN

Heragu (2016), menyatakan bahwa BLOCPLAN adalah program interaktif yang dikembangkan oleh Pire dan Donaghey pada tahun 1991. BLOCPLAN dapat mengembangkan tata letak satu lantai atau bertingkat dan memiliki sejumlah fitur yang berguna. Pada BLOCPLAN, data aliran dalam bentuk *activity relationship chart* digunakan untuk *mengembangkan* tata letak. BLOCPLAN mampu mengembangkan tata letak acak atau dengan menggunakan algoritma pencarian otomatis.

Algoritma tata letak acak mampu menghasilkan tata letak tanpa memperhatikan aliran ataupun interaksi antar tiap departemen, **sedangkan** algoritma pencarian otomatis mampu menghasilkan tata letak secara acak dengan menggunakan algoritma tata letak acak, kemudian menggunakan algoritma perbaikan untuk menemukan tata letak yang lebih baik. Pertukaran departemen kemudian berlanjut sampai tata letak yang lebih baik diperoleh. Proses tersebut diulang (maksimal 20 kali) dengan menggunakan tata letak perbaikan sebagai tata letak awal.

BLOCPLAN menghitung skor kedekatan dan skor *rel-dist* dari tata letak baru. Setelah menghitung skor kedekatan dan *rel-dist*, BLOCPLAN akan menormalisasi skor dan mencetak nilai yang dihasilkan. Hal tersebut dilakukan dengan menghitung batas bawah dan batas atas pada nilai skor *rel-dist* dengan mengalikan dua vektor. Kedua vektor yang dikalikan yaitu, vektor jarak yang

elemen-elemennya diurutkan secara *nondecreasing* dan vector aliran yang diurutkan secara *nonincreasing*.

Batas bawah diperoleh dengan mengatur elemen-elemen dari vektor aliran dalam urutan *nonincreasing* dan elemen-elemen vektor jarak dalam *nondecreasing*, sedangkan batas atas diperoleh dengan mengatur elemen dari dua vektor sehingga elemen aliran terbesar dicocokkan dengan elemen jarak terbesar dan mengalikan kedua vector tersebut. Selanjutnya, BLOCPLAN menghitung batas atas dan bawah, serta skor *rel-dist* yang dinormalisasi. Perhitungan tersebut disebut dengan *R-Score*. Nilai *R-score* 1 dapat diartikan bahwa solusi tata letak yang diperoleh telah optimal, sedangkan nilai *R-score* 0 dapat diartikan bahwa solusi tata letak yang diperoleh masih buruk atau belum optimal. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa apabila *R-score* semakin mendekati 1, maka solusi tata letak semakin lebih baik.

c. MIP

Masalah *mixed-integer programming* (MIP) adalah masalah di mana beberapa variabel keputusan dibatasi menjadi nilai integer pada solusi optimal. Masalah tata letak fasilitas dapat dirumuskan sebagai masalah *mixed-integer programming* (MIP) jika seluruh departemen diasumsikan berbentuk persegi panjang. Pada umumnya, model berdasarkan pemrograman matematika merupakan model tata letak tipe konstruksi. Selama persyaratan area departemen tidak perlu dipenuhi dengan presisi, maka tata letak optimal dengan departemen persegi panjang dapat diperoleh dengan memecahkan model MIP. Penggunaan model MIP dalam praktik (di mana jumlah departemen melebihi 18), tujuan yang ditetapkan adalah untuk mencari solusi heuristik daripada solusi optimal (Tompkins [dkk.](#), 2010).

d. LOGIC

Layout Optimization with Guillotine Induced Cuts (LOGIC) dikembangkan oleh Tam. Dalam menggambarkan LOGIC, *from-to chart* merupakan data input untuk aliran. Pada LOGIC, diasumsikan bahwa biaya tata letak diukur dengan fungsi tujuan berbasis jarak. LOGIC dapat digunakan sebagai algoritma tata letak tipe konstruksi dan perbaikan.

LOGIC sebagai algoritma tata letak tipe konstruksi didasarkan pada pembagian bangunan menjadi bagian-bagian yang lebih kecil dengan mengeksekusi "*guillotine cuts*" [berturut-turut](#), yaitu garis lurus yang membentang dari satu ujung bangunan ke ujung lainnya. Setiap potongan adalah potongan vertikal atau

potongan horizontal. LOGIC mengeksekusi serangkaian pemotongan horizontal dan vertikal. Dengan setiap potongan, subset yang sesuai dari departemen ditugaskan ke sisi timur-barat atau utara-selatan potongan. LOGIC juga dapat digunakan sebagai algoritma perbaikan dalam berbagai cara.

Seperti MCRAFT, LOGIC dapat "secara otomatis" menggeser departemen lain, bila perlu. Hal ini dapat menimbulkan masalah jika *fixed department* digeser dalam prosesnya. Seluruh *fixed department* dapat dikecualikan dari pohon (untuk mempertahankan posisi mereka saat ini). Namun, dengan pendekatan seperti itu, jika suatu pemotongan melewati satu atau lebih *fixed department*, maka akan memperumit perhitungan koordinat x atau y-nya. Dengan LOGIC, umumnya tidak mudah untuk memodelkan *fixed department* relatif terhadap CRAFT atau MIP.

LOGIC dapat diterapkan pada bangunan nonpersegi panjang asalkan bentuk bangunannya "wajar". Jika sebuah potongan memotong bagian bangunan yang panjang atau lebarnya berubah, maka LOGIC menggunakan strategi pencarian sederhana untuk menghitung lokasi pemotongan yang tepat.

Tata letak yang diperoleh LOGIC adalah superset tata letak yang diperoleh oleh BLOCPLAN dan algoritme serupa yang menggunakan "pita" untuk pembentukan tata letak. Oleh karena itu, ruang solusi BLOCPLAN dan ruang solusi dari algoritme lain yang menggunakan "pita" adalah bagian dari ruang solusi LOGIC, dan akibatnya tujuan penggunaan LOGIC secara umum adalah untuk mendapatkan tata letak berbiaya lebih rendah. LOGIC dan BLOCPLAN, sulit untuk menangani departemen tidak tetap yang mungkin memiliki bentuk yang ditentukan atau tetap. Karena bentuk akhir departemen bergantung pada sejumlah faktor yang tidak diketahui sampai pohon potong (atau pita) dibangun, tidak ada cara mudah untuk mengontrol panjang dan lebar akhir dari departemen tidak tetap. Dengan sedikit pengecualian (seperti MIP), banyak algoritme tata letak tidak terlalu efektif dalam menangani bentuk departemen yang tetap atau ditentukan (Tompkins **dkk.**, 2010).

e. MULTIPLE

Multifloor Plant Layout Evaluation (MULTIPLE) dikembangkan oleh Bozer, Meller, dan Erlebacher. MULTIPLE awalnya dikembangkan untuk fasilitas beberapa lantai. Namun, MULTIPLE juga dapat digunakan di fasilitas satu lantai hanya dengan mengatur jumlah lantai sama dengan satu dan mengabaikan semua persyaratan data yang terkait dengan lift.

Kecuali untuk prosedur pertukaran dan formasi layout, MULTIPLE mirip dengan CRAFT. MULTIPLE menggunakan *from-to chart* sebagai data input untuk aliran, dan fungsi tujuan identik sama dengan CRAFT yaitu, tujuan berbasis jarak dengan jarak yang diukur secara lurus antara pusat-pusat departemen. Departemen tidak dibatasi pada bentuk persegi panjang, dan tata letaknya direpresentasikan secara terpisah. Seperti CRAFT, MULTIPLE adalah algoritme tata letak tipe perbaikan yang dimulai dengan tata letak awal yang ditentukan oleh perencana tata letak. Perbaikan tata letak dicari melalui pertukaran dua arah, dan pada setiap iterasi, pertukaran yang mengarah pada pengurangan terbesar dalam biaya tata letak dipilih (MULTIPLE adalah prosedur *steepest-descent*).

Perbedaan mendasar antara CRAFT dan MULTIPLE adalah bahwa MULTIPLE dapat menukar dua departemen yang berdekatan atau tidak berdekatan. MULTIPLE mempertahankan fleksibilitas CRAFT sambil melonggarkan batasan CRAFT yang dikenakan pada pertukaran departemen (Tompkins, 2010).

2.2.6. Proses Perencanaan Fasilitas

Menurut Tompkins **dkk.** (2010) proses perencanaan fasilitas secara tradisional adalah sebagai berikut.

a. Definisikan Masalah

Pada tahap ini, dilakukan penentuan atau penentuan kembali tujuan fasilitas. Produk yang akan diproduksi ataupun layanan yang akan disediakan harus ditentukan secara kuantitatif. Selain itu, volume atau level aktivitas dan peran fasilitas dalam *supply chain* juga harus diidentifikasi.

Pada tahap ini, juga dilakukan penentuan kegiatan utama dan pendukung dalam mencapai tujuan. Kegiatan utama dan pendukung yang akan dilakukan harus ditentukan dalam hal operasi, peralatan, personel, dan aliran material yang terlibat. Aktivitas pendukung adalah aktivitas yang memungkinkan aktivitas utama berfungsi dengan gangguan dan penundaan minimal.

b. Analisis Masalah

Pada tahap analisis masalah, dilakukan analisis hubungan timbal balik di antara semua kegiatan. Pada tahap ini dilakukan penentuan bagaimana aktivitas berinteraksi ataupun mendukung satu sama lain dalam batas-batas fasilitas dan bagaimana hal tersebut dilakukan. Pada tahap ini, hubungan kuantitatif dan kualitatif harus didefinisikan.

c. Tentukan Kebutuhan Ruang

Pada tahap ini, seluruh kebutuhan peralatan, material, dan personel harus dipertimbangkan pada saat menghitung kebutuhan ruang untuk setiap aktivitas. Pada tahap ini juga dilakukan pembuatan rencana fasilitas alternatif. Rencana fasilitas alternatif mencakup lokasi fasilitas alternatif dan desain alternatif untuk fasilitas tersebut. Alternatif desain fasilitas mencakup desain alternatif tata letak, desain struktural, dan sistem *material handling*. Keputusan lokasi fasilitas dan keputusan desain fasilitas dapat dipisahkan, sesuai dengan situasi tertentu.

d. Evaluasi Alternatif Rencana Fasilitas

Pada tahap ini, dilakukan pemberian peringkat pada masing-masing alternatif rencana fasilitas. Pemberian peringkat disusun berdasarkan kriteria yang ditentukan sebelumnya. Pada masing-masing alternatif rencana fasilitas, ditetapkan faktor subjektif yang terlibat dan evaluasi apakah dan bagaimana faktor-faktor tersebut mempengaruhi fasilitas ataupun operasinya.

e. Tentukan Alternatif Rencana Fasilitas Terpilih

Pada tahap ini ditentukan rencana fasilitas apa yang paling dapat diterima dalam memenuhi tujuan dan sasaran organisasi. Seringkali, biaya bukan satu-satunya pertimbangan utama dalam menentukan alternatif rencana fasilitas terpilih. Informasi yang dihasilkan pada langkah sebelumnya, harus digunakan sampai pada pemilihan akhir suatu rencana.

f. Implementasi Alternatif Rencana Fasilitas Terpilih

Setelah rencana fasilitas dipilih, sejumlah besar perencanaan harus mendahului pembangunan fasilitas yang sebenarnya atau tata letak suatu area. Pada tahap ini, dilakukan pengawasan pemasangan tata letak, perencanaan persiapan dalam memulai, memulai, menjalankan, dan *debugging*.

2.2.2. Desain Fasilitas Manufaktur dan *Material Handling*

Menurut Meyers dan Stephens (2013), perencanaan fasilitas adalah proses multi-sisi, yang dipengaruhi oleh banyak faktor dan variabel yang tidak harus selalu sejalan dan kadang-kadang bahkan mungkin memiliki dampak yang bertentangan pada proses pengambilan keputusan, **sedangkan** desain fasilitas manufaktur adalah organisasi dari aset fisik perusahaan untuk mempromosikan penggunaan sumber daya seperti orang, material, peralatan, dan energi secara efisien. Desain fasilitas meliputi lokasi pabrik, desain bangunan, tata letak pabrik, dan *material handling*.

Meyers dan Stephens (2013) menyatakan bahwa desain fasilitas manufaktur dan *material handling* mempengaruhi produktivitas dan profitabilitas perusahaan lebih dari hampir semua keputusan perusahaan besar lainnya. Kualitas dan biaya produk, serta rasio permintaan secara langsung dipengaruhi oleh desain fasilitas manufaktur.

Pengertian dari tata letak (*layout*) menurut Meyers dan Stephens (2013) adalah pengaturan fisik mesin dan peralatan produksi, stasiun kerja, orang, lokasi bahan dari seluruh jenis dan tahapan, dan peralatan *material handling*. Tata letak pabrik merupakan hasil akhir dari proyek desain fasilitas manufaktur, sedangkan *material handling* didefinisikan secara sederhana sebagai material yang bergerak. Seperti yang dinyatakan Meyers dan Stephens (2013), perbaikan dalam *material handling* telah mempengaruhi pekerja secara positif lebih dari area desain kerja dan ergonomi lainnya.

Meyers dan Stephens (2013) menyatakan bahwa *material handling* sangat terkait dengan tata letak fisik peralatan. Sehingga, kedua hal tersebut yaitu, perencanaan fasilitas dan *material handling* diperlakukan sebagai satu objek dalam praktiknya. Akibatnya, *material handling* merupakan bagian dari hampir setiap langkah proses perancangan fasilitas dan pilihan peralatan *material handling* mempengaruhi tata letak.

Menurut Meyers dan Stephens (2013), apabila aliran material ditingkatkan, maka secara otomatis biaya produksi akan berkurang. Semakin pendek aliran melalui pabrik, maka pengurangan biaya juga menjadi semakin baik. *Material handling* menyumbang sekitar 50 persen dari seluruh cedera industri dan dari 40-80 persen dari seluruh biaya produksi. Selain itu, menerapkan 5S dan *five why* juga membantu mengurangi biaya. Prinsip 5S adalah sebagai berikut.

a. *Sifting (Organization)*

Sifting atau pengorganisasian yang dimaksud adalah meminimasi apa yang diperlukan, akan menghemat ruang (mempengaruhi tata letak fasilitas), persediaan, dan uang.

b. *Sorting (Arrangement)*

Sorting atau pengaturan yang dimaksud adalah semuanya memiliki tempat tertentu, dan segala sesuatu di tempatnya adalah filosofi manajemen visual yang mempengaruhi tata letak fasilitas.

c. *Sweeping (Cleaning)*

Sweeping atau pembersihan yang dimaksud adalah pabrik bersih merupakan hasil dari tata letak fasilitas yang dianggap menyediakan ruang untuk semuanya.

d. *Spick and Span (Hygiene)*

Spick and span atau kebersihan yang dimaksud adalah pabrik yang aman adalah hasil dari perencanaan tata letak yang baik.

e. *Strict (Discipline)*

Strict atau disiplin yang dimaksud adalah mengikuti prosedur dan metode standar dan menjadikannya kebiasaan akan membuat pabrik tetap beroperasi secara aman serta efisien.

2.2.5. Tujuan Perancangan Tata Letak Fasilitas

Menurut Meyers dan Stephens (2013), tujuan perancangan tata letak fasilitas adalah sebagai berikut.

- a. Meminimalkan biaya unit dan proyek.
- b. Mengoptimalkan kualitas.
- c. Mempromosikan penggunaan orang, peralatan, ruang, dan energi secara efisien.
- d. Menyediakan kemudahan, keselamatan, dan kenyamanan bagi pekerja,
- e. Mengontrol biaya proyek.
- f. Memastikan tercapainya tanggal mulai produksi.
- g. Membangun perencanaan yang fleksibel.
- h. Mengurangi atau menghilangkan persediaan yang berlebihan.
- i. Mencapai tujuan lain.

2.2.6. Sistem Aliran Material

a. Aliran dalam Stasiun Kerja

Menurut Tompkins **dkk.** (2010), aliran dalam stasiun kerja harus simultan, simetri, alami, ritmis, dan tetap. Aliran simultan menyiratkan penggunaan tangan, lengan, dan kaki yang terkoordinasi. Tangan, lengan, dan kaki harus memulai dan mengakhiri gerakannya bersama-sama dan tidak boleh diam pada saat yang sama, kecuali selama waktu istirahat. Aliran simetris dihasilkan dari koordinasi gerakan pusat tubuh. Tangan dan lengan kiri dan kanan harus bekerja dalam koordinasi. Pola aliran alami merupakan dasar dari pola aliran ritmis dan kebiasaan. Gerakan alami adalah gerakan yang terus menerus, lentur, dan memanfaatkan momentum. Aliran ritmis dan kebiasaan menyiratkan urutan aktivitas yang metodis dan otomatis. Pola aliran ritmis dan kebiasaan juga

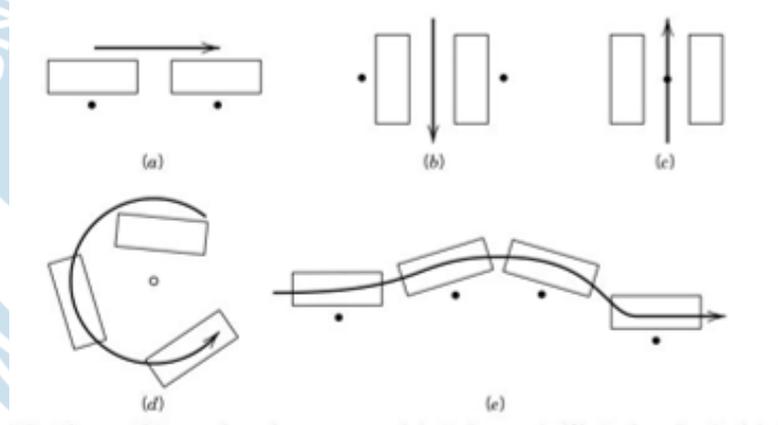
memungkinkan pengurangan kelelahan dan ketegangan mental, mata, dan otot. Tempat kerja dapat menyebabkan masalah tangan, bahu, dan punggung karena gerakan memutar dan dukungan mekanis yang tidak memadai.

b. Aliran dalam Departemen

Menurut Tompkins **dkk.** (2010) pola aliran dalam departemen tergantung pada jenis departemen.

i. Aliran dalam Departemen Produk

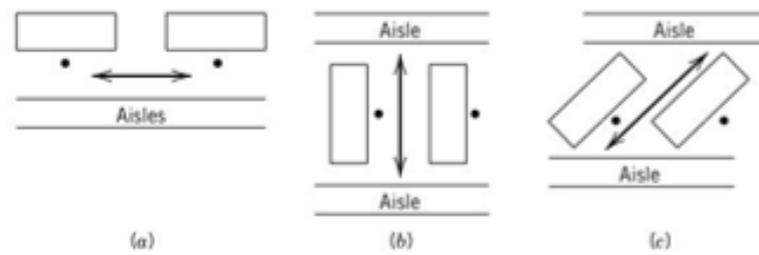
Pada departemen produk, pemrosesan dilakukan secara berurutan dengan *backtracking* minimal atau tidak ada sama sekali. Aliran dalam departemen produk biasanya mengikuti salah satu pola yang terdapat pada Gambar 2.5. Pola aliran ujung-ke-ujung, bolak-balik, dan sudut-ganjil menunjukkan departemen produk **yang membuat** operator bekerja di setiap stasiun kerja. Pola aliran depan-ke-depan digunakan ketika satu operator bekerja pada 2 stasiun kerja, dan pola aliran *circular* digunakan apabila satu operator bekerja pada lebih dari 2 stasiun kerja.



Gambar 2.5. Aliran dalam Departemen Produk (a) Ujung-ke-Ujung (b) Bolak-Balik c) Depan-ke-Depan (d) Circular (e) Sudut-Ganjil (Tompkins **dkk., 2010)**

ii. Aliran dalam Departemen Proses

Pada departemen proses, mesin yang serupa atau identik dikelompokkan dalam departemen yang sama. Aliran antara stasiun kerja dan *aisle* yang terjadi dalam departemen proses harus diminimalkan. Pola aliran ditentukan oleh orientasi stasiun kerja ke *aisle*. Jenis aliran dalam departemen proses dapat dilihat pada Gambar 2.6. Pola aliran diagonal biasanya digunakan pada *aisle* 1 arah. *Aisle* yang menggunakan pola aliran diagonal seringkali membutuhkan ruang yang lebih sedikit, daripada *aisle* yang menggunakan pola aliran paralel atau tegak lurus. Namun, *aisle* 1 arah menghasilkan fleksibilitas yang lebih rendah.

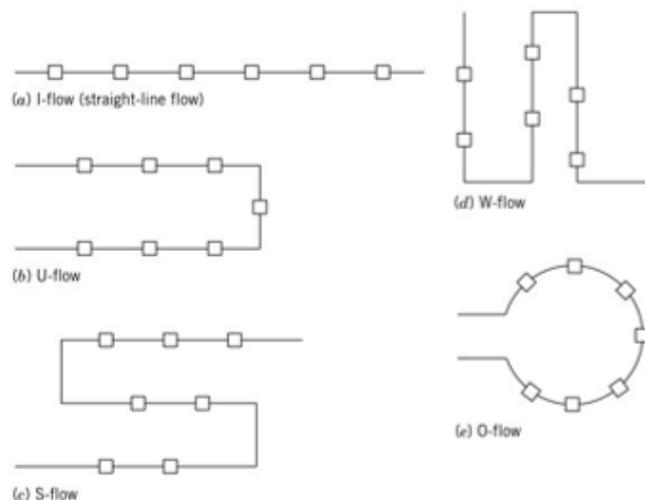


Gambar 2.6. Aliran dalam Departemen Proses (a) Paralel (b) Tegak Lurus (c) Diagonal (Tompkins dkk., 2010)

iii. Aliran dalam Departemen Produk dan Proses dengan Pertimbangan *Material Handling*

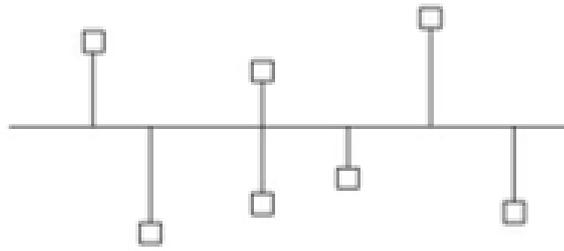
Pola aliran departemen pada departemen yang menggunakan *material handling* dengan sistem mekanis dan otomatis seperti melibatkan penggunaan konveyor, *shuttle carts*, *automated guided vehicle*, robot, dan perangkat lainnya memiliki jenis pola aliran yang berbeda. Pada sistem ini terdapat 4 jenis pola aliran yaitu, *the line flow*, *the spine flow*, *the loop flow*, dan *the tree flow*.

Pola aliran garis merupakan pola aliran yang sering ditemukan di industri otomatis. Jenis pola aliran garis dapat dilihat pada Gambar 2.7. Penggunaan jenis aliran *I-flow*, *U-flow*, *S-flow*, *W-flow*, and *O-flow* ditentukan oleh panjang jalur produksi.



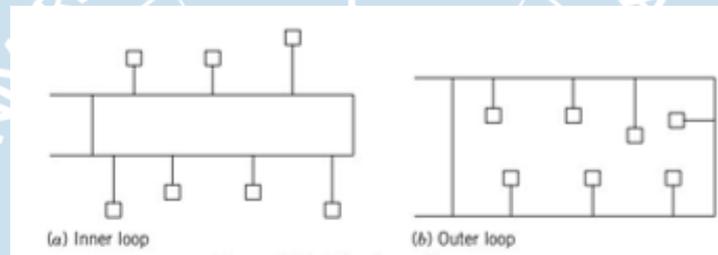
Gambar 2.7. Pola Aliran Garis (Tompkins dkk., 2010)

Pola aliran tulang belakang merupakan pola aliran yang memiliki perangkat *material handling* searah atau dua arah yang beroperasi di sepanjang pusat tulang belakang. Pola aliran tulang belakang digambarkan seperti pada Gambar 2.8.



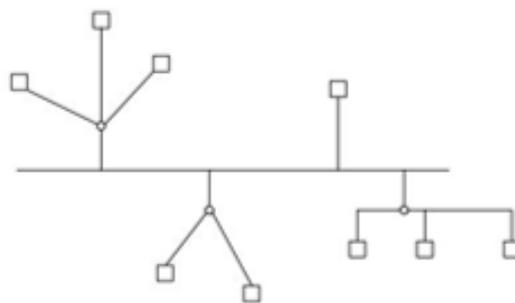
Gambar 2.8. Pola Aliran Tulang Belakang (Tompkins dkk., 2010)

Pola aliran lingkaran merupakan pola aliran dengan susunan stasiun kerja yang memiliki putaran. Pada jenis pola aliran ini, stasiun kerja diposisikan di dalam atau di sepanjang area putaran. Jenis pola aliran lingkaran dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Pola Aliran Lingkaran (a) Inner Loop (b) Outer Loop (Tompkins dkk., 2010)

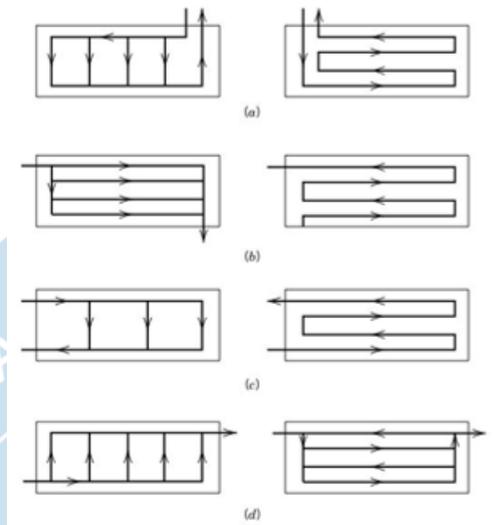
Pola aliran pohon merupakan jenis pola aliran dengan stasiun kerja yang diposisikan dalam satu pohon atau beberapa pohon, kemudian dihubungkan dengan perangkat *material handling* terpusat.



Gambar 2.10. Pola Aliran Pohon (Tompkins dkk., 2010)

c. Aliran antar Departemen

Pertimbangan penting pada aliran antar departemen adalah lokasi stasiun pengambilan dan pengiriman untuk setiap departemen. Beberapa contoh lokasi stasiun pengambilan dan pengiriman dapat dilihat pada Gambar 2.11.

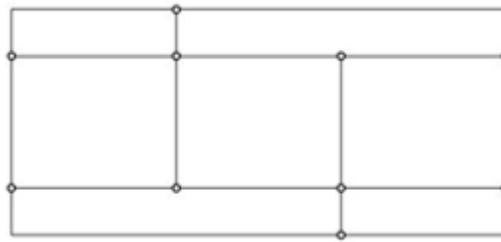


Gambar 2.11. Aliran dalam Departemen dengan Pertimbangan Lokasi Pengambilan dan Pengiriman (a) di Lokasi yang Sama (b) di Sisi yang Berdekatan (c) di Sisi yang Sama (d) di Sisi yang Berlawanan (Tompkins dkk., 2010)

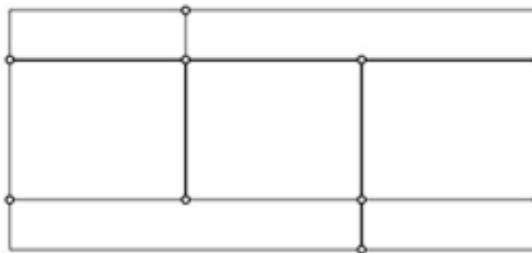
Beberapa pola aliran atau struktur dapat digunakan untuk menganalisis efektivitas aliran material antar departemen. Beberapa pola aliran atau struktur tersebut adalah sebagai berikut.

- i. Struktur aliran konvensional antar departemen
- ii. Struktur aliran tulang belakang antar departemen
- iii. Struktur aliran loop antar departemen
- iv. Struktur aliran tandem antar departemen
- v. Struktur aliran tersegmentasi antar departemen

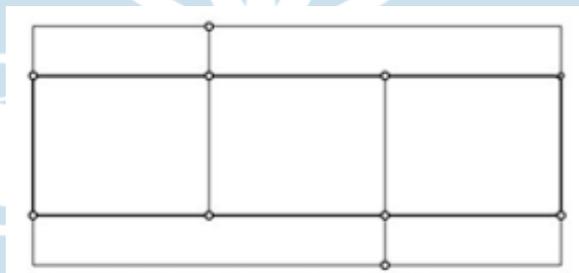
Beberapa pola aliran atau struktur tersebut digambarkan pada Gambar 2.12 sampai dengan Gambar 2.16.



Gambar 2.12. Struktur Aliran Konvensional antar Departemen (Tompkins dkk., 2010)



Gambar 2.13. Struktur Aliran Tulang Belakang antar Departemen (Tompkins dkk., 2010)



Gambar 2.14. Struktur Aliran Loop antar Departemen (Tompkins dkk., 2010)

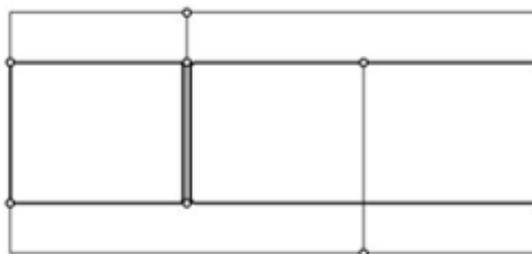
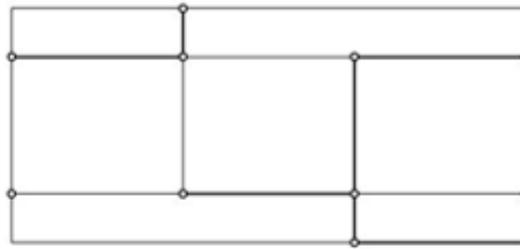


Figure 3.15 Tandem between-department flow structure.

Gambar 2.15. Struktur Aliran Tandem antar Departemen (Tompkins dkk., 2010)



Gambar 2.16. Struktur Aliran Tersegmentasi antar Departemen (Tompkins dkk., 2010)

2.2.7. Hubungan Antar Aktivitas

Tompkins dkk. (2010) menyatakan bahwa hubungan antar aktivitas dapat ditentukan secara kuantitatif dan kualitatif. Ukuran kuantitatif dapat mencakup potongan per jam, pergerakan per hari, atau *pound* per minggu, sedangkan ukuran kualitatif dapat berupa kebutuhan mutlak bahwa dua departemen berdekatan satu sama lain, hingga preferensi bahwa dua departemen tidak berdekatan satu sama lain. Pada fasilitas yang memiliki volume besar material, informasi, dan orang yang berpindah antar departemen, ukuran kuantitatif hubungan antar aktivitas akan menjadi dasar untuk pengaturan departemen, sedangkan pada fasilitas yang memiliki sedikit pergerakan aktual material, informasi, dan orang yang mengalir antar departemen, namun memiliki komunikasi yang signifikan dan keterkaitan organisasi, ukuran kualitatif hubungan antar aktivitas dibutuhkan sebagai dasar untuk pengaturan departemen.

2.2.8. Kebutuhan Ruang

a. Spesifikasi Stasiun Kerja

Tompkins dkk. (2010) menyebutkan bahwa stasiun kerja terdiri atas aset tetap yang diperlukan untuk melakukan operasi tertentu. Kebutuhan ruang stasiun kerja terdiri atas ruang untuk peralatan, material, dan personel. Ruang peralatan untuk stasiun kerja terdiri atas ruang untuk peralatan, perjalanan mesin, perawatan mesin, dan layanan pabrik. Ruang material untuk stasiun kerja terdiri atas ruang untuk menerima dan menyimpan material masuk, menyimpan material dalam proses, menyimpan material keluar dan pengiriman, menyimpan dan mengirimkan limbah dan *scrap*, serta memegang alat, *fixtures*, *jigs*, *dies*, dan pemeliharaan material. Ruang personel untuk stasiun kerja terdiri atas ruang untuk area kerja operator, *material handling*, dan masuk keluarnya operator.

b. Spesifikasi Departemen

Tompkins **dkk.** (2010) menyebutkan bahwa kebutuhan ruang untuk departemen tidak hanya penjumlahan dari masing-masing stasiun kerja yang termasuk dalam departemen. Terdapat kemungkinan bahwa alat, *dies*, peralatan pemeliharaan, layanan pabrik, barang-barang rumah tangga, area penyimpanan, operator, suku cadang, papan kanban, papan pengenalan-komunikasi-informasi, papan masalah, dan *andons* dapat digunakan bersama untuk menghemat ruang dan sumber daya. Pada setiap departemen, juga diperlukan ruang tambahan untuk *material handling*. Pada tahap ini, kebutuhan ruang untuk aisle dapat diketahui, karena ukuran relatif dari beban yang akan ditangan telah diketahui. Pedoman dalam rangka memperkirakan kebutuhan *aisle* dapat dilihat pada Gambar 2.17.

If the Largest Load Is	Aisle Allowance Percentage Is ^a
Less than 6 ft ²	5–10
Between 6 and 12 ft ²	10–20
Between 12 and 18 ft ²	20–30
Greater than 18 ft ²	30–40

^aExpressed as a percentage of the net area required for equipment, material, and personnel.

Gambar 2.17. Perkiraan Kelonggaran Aisle (Tompkins **dkk., 2010)**

Seluruh kebutuhan ruang departemen harus dicatat pada lembar layanan departemen dan kebutuhan area yang dapat dilihat pada Gambar 2.18.

DEPARTMENTAL SERVICE AND AREA REQUIREMENTS SHEET										
Company _____		A.B.C., Inc.			Prepared by _____		J.A.			
Department _____		Turning			Date _____		Sheet 1 of 1			
Service Requirements										
Work Station	Quantity	Power	Compressed Air		Floor Loading	Ceiling Height	Area (square feet)			Total
				Other			Equipment	Material	Personnel	
Turret lathe	5	440 V AC	10 CFM @ 100 psi		150 PSF	4'	240	100	100	440
Screw machine	6	440 V AC	10 CFM @ 100 psi		190 PSF	4'	280	240	120	640
Chucker	2	440 V AC	10 CFM @ 100 psi		150 PSF	5'	60	100	40	200
							Net area required			1280
							13% aisle allowance			167
							Total area required			1447

Figure 3.45 Department service and area requirements sheet.

Gambar 2.18. Lembar Layanan Departemen dan Kebutuhan Area (Tompkins, 2010)

c. Spesifikasi Aisle

Tompkins **dkk.** (2010) menyatakan bahwa *aisle* harus dirancang untuk mendorong aliran yang efektif. *Aisle* dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu *aisle* departemen dan *aisle* utama. Lebar *aisle* harus ditentukan dengan mempertimbangkan jenis

dan volume aliran yang akan ditangani oleh *aisle* tersebut. Jenis aliran dapat ditentukan dengan mempertimbangkan orang dan jenis peralatan *material handling* yang menggunakan *aisle*. Lebar *aisle* untuk setiap jenis aliran dapat dilihat pada Gambar 2.19.

Type of Flow	Aisle Width (feet)
Tractors	12
3-ton forklift	11
2-ton forklift	10
1-ton forklift	9
Narrow aisle truck	6
Manual platform truck	5
Personnel	3
Personnel with doors opening into the aisle from one side	6
Personnel with doors opening into the aisle from two sides	8

Gambar 2.19. Rekomendasi Lebar *Aisle* untuk Berbagai Jenis Aliran (Tompkins dkk., 2010)

d. Manajemen Visual dan Kebutuhan Ruang

Tompkins dkk. (2010) menyatakan bahwa sistem manajemen visual akan membuat departemen terlihat lebih baik dan membantu produksi dan personel pendukung untuk mencapai jadwal produksi dan pemeliharaan, mengendalikan persediaan, suku cadang, dan kualitas, untuk memenuhi standar, untuk fokus pada tujuan dan sasaran, serta untuk memberikan tindak lanjut terhadap proses perbaikan berkelanjutan. Contoh skenario pabrik visual dapat dilihat pada Gambar 2.20.

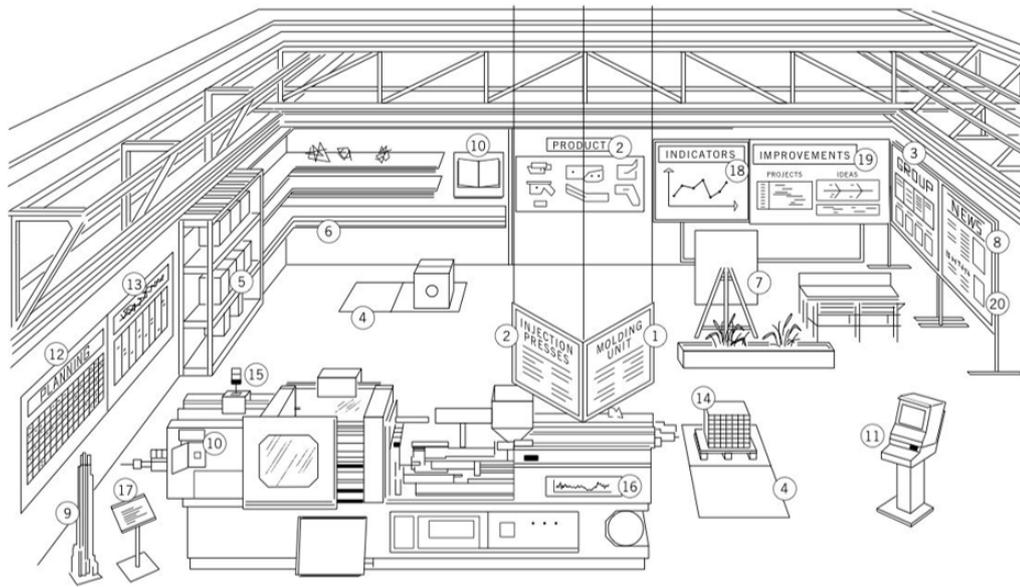


Figure 3.46 Visual factory scenario.

Gambar 2.20. Skenario Pabrik Visual (Tompkins dkk., 2010)

2.2.9. Prosedur Perancangan Tata Letak

Prosedur perancangan tata letak dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori yaitu, tipe konstruksi dan tipe perbaikan. Metode tata letak tipe konstruksi pada adalah perancangan tata letak yang melibatkan pengembangan tata letak baru dari awal, **sedangkan** tipe perbaikan merupakan perancangan tata letak yang menghasilkan alternatif tata letak dengan mencari perbaikan dalam tata letak yang ada (Tompkins dkk., 2010).

a. Apple's Plant Layout Procedure

Apple mengusulkan urutan langkah-langkah berikut dalam menghasilkan tata letak pabrik (Tompkins dkk., 2010).

- i. Pengadaan data dasar.
- ii. Menganalisis data dasar.
- iii. Merancang proses produksi.
- iv. Merencanakan pola aliran material.
- v. Mempertimbangan rencana penanganan material secara umum.
- vi. Menghitung kebutuhan peralatan.
- vii. Merencanakan masing-masing stasiun kerja.
- viii. Memilih peralatan penanganan material tertentu.
- ix. Mengkoordinasikan kelompok operasi terkait.

- x. Merancang keterkaitan aktivitas.
- xi. Menentukan persyaratan penyimpanan.
- xii. Merencanakan pelayanan dan kegiatan penunjang.
- xiii. Menentukan kebutuhan ruang.
- xiv. Alokasikan aktivitas ke total ruang.
- xv. Mempertimbangkan jenis bangunan.
- xvi. Membangun tata letak induk.
- xvii. Mengevaluasi, menyesuaikan, dan memeriksa tata letak dengan orang yang tepat.
- xviii. Mendapatkan persetujuan.
- xix. Membangun tata letak.
- xx. Menindaklanjuti implementasi layout.

b. Reed's Plant Layout Procedure

Reed mengusulkan urutan langkah-langkah berikut dalam perancangan tata letak pabrik (Tompkins dkk., 2010).

- i. Menganalisis produk yang akan dihasilkan.
- ii. Menentukan proses yang diperlukan untuk memproduksi produk.
- iii. Menyiapkan bagan perencanaan tata letak.
- iv. Menentukan stasiun kerja.
- v. Menganalisis kebutuhan area penyimpanan.
- vi. Menetapkan lebar *aisle* minimum.
- vii. Menetapkan persyaratan kantor.
- viii. Mempertimbangkan fasilitas dan layanan personel.
- ix. Melakukan survei pabrik.
- x. Menyediakan untuk ekspansi di masa depan

c. Muther's Systematic Layout Planning (SLP) Procedure

Heragu (2016) menyatakan bahwa *Systematic Layout Planning* merupakan pendekatan perencanaan tata letak yang paling populer sejauh ini. Meskipun *Systematic Layout Planning* diperkenalkan oleh Muther pada akhir 1950-an dan dikembangkan pada tahun 1960-an, teknik ini digunakan secara luas hingga saat ini. *Systematic Layout Planning* dikembangkan berdasarkan dua pendekatan yang dikembangkan oleh Reed (1961) dan Apple (1977).

Alasan utama teknik *Systematic Layout Planning* tetap populer selama lebih dari 30 tahun adalah karena *Systematic Layout Planning* memiliki langkah yang

sederhana dalam desain fasilitas. *Systematic Layout Planning* terdiri atas 4 tahap sebagai berikut.

i. Tahap 1

Tahap 1 dari *Systematic Layout Planning* adalah penentuan lokasi di mana departemen akan ditata. Tahap 1 melibatkan proses pengidentifikasian lokasi untuk departemen.

ii. Tahap 2

Tahap 2 dari *Systematic Layout Planning* adalah menetapkan tata letak keseluruhan. Tahap 2 melibatkan penentuan aliran material antar departemen, penilaian kedekatan khusus antar departemen, penentuan ruang yang dibutuhkan untuk setiap departemen dan menyeimbangkannya dengan ruang yang tersedia, batasan yang terdapat dalam perencanaan tata letak, serta pembangkitan rencana tata letak alternatif. Masing-masing rencana tata letak alternatif tersebut, kemudian dievaluasi berdasarkan pertimbangan biaya dan hal lainnya. Kemudian dipilih tata letak terbaik berdasarkan pertimbangan tersebut.

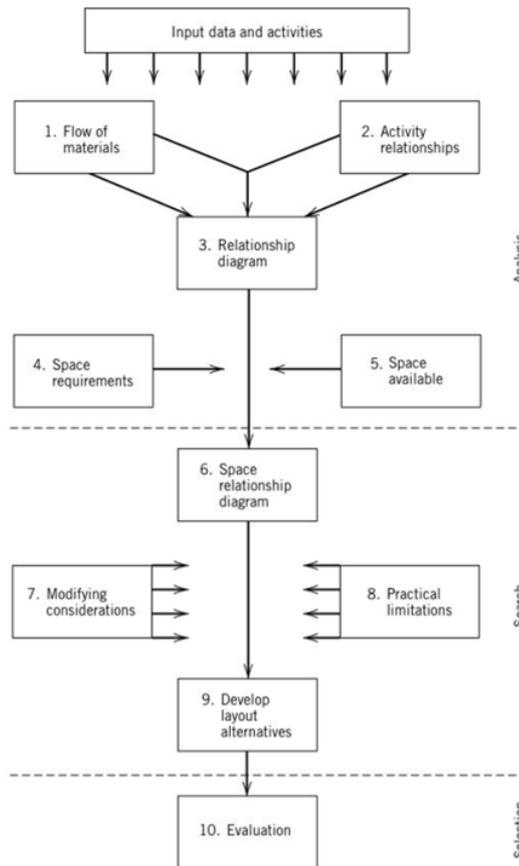
iii. Tahap 3

Tahap 3 dari *Systematic Layout Planning* adalah menetapkan rencana tata letak detail. Hasil rencana tata letak pada tahap 2 tidak memberikan rincian mengenai tata letak serta lokasi setiap mesin, peralatan bantu, layanan pendukung seperti toilet, ruang kebersihan, stasiun inspeksi, dan lain-lain. Tata letak departemen dan layanan pendukung secara detail dilakukan pada tahap 3. Pembangkitan tata letak detail pada tahap 3 sama dengan pembangkitan rencana tata letak pada tahap 2. Namun, tahap 2 berkaitan dengan tata letak departemen, **sedangkan** tahap 3 berkaitan dengan tata letak mesin dan peralatan bantu di tiap departemen.

iv. Tahap 4

Tahap 4 dari *Systematic Layout Planning* adalah pemasangan tata letak yang dipilih. Tata letak detail yang telah dihasilkan pada tahap 3, perlu disetujui oleh setiap orang yang berkepentingan. Pada tahap ini, dana dan waktu dialokasikan untuk pemindahan, serta dilakukannya relokasi mesin dan layanan pendukung.

Secara garis besar, prosedur perancangan tata letak dengan menggunakan *Systematic Layout Planning* dapat dilihat pada Gambar 2.21.



Gambar 2.21. Muther's Systematic Layout Planning (SLP) Procedure (Tompkins dkk., 2010)

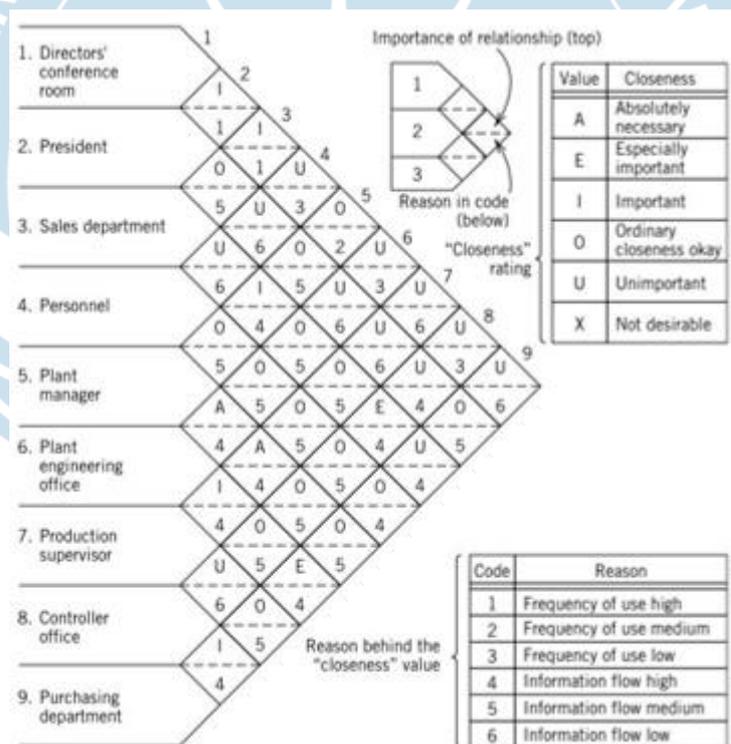
2.2.10. Activity Relationship Chart (ARC)

Mutler, 1973 dalam Heragu (2016) menggunakan pemecahan kualitatif sistematis untuk memecahkan masalah tata letak fasilitas. Pendekatan kualitatif tersebut disebut *Activity Relationship Chart (ARC)*. *Activity Relationship Chart* didasarkan pada definisi pertama hubungan kedekatan untuk setiap pasangan departemen. Kelas kedekatan atau peringkat kedekatan berikut digunakan dan diberi kode huruf tertentu.

- a. A - *Absolutely necessary* (sangat perlu)
- b. E - *Especially important* (sangat penting)
- c. I - *Important* (penting)
- d. O - *Ordinary* (biasa)
- e. U - *Unimportant* (tidak penting)
- f. X - *Undesirable* (tidak diinginkan)

Peringkat kedekatan tersebut menunjukkan pentingnya menempatkan pasangan departemen di samping satu sama lain. *Activity relationship chart* diperlukan jika terdapat faktor lain selain aliran yang mempengaruhi keputusan tata letak. Sebagian besar masalah tata letak cenderung memiliki beberapa faktor selain aliran, sehingga hampir selalu diperlukan untuk membuat *activity relationship chart*.

Groover (2014) menyatakan bahwa *activity relationship chart* adalah sarana tabular untuk menampilkan peringkat kedekatan di antara semua pasangan aktivitas atau departemen. Pada setiap sel yang mewakili perpotongan 2 departemen, kode huruf untuk peringkat kedekatan disisipkan pada bagian atas sel, kemudian alasan untuk menetapkan peringkat dimasukkan pada bagian bawah dengan menggunakan kode numerik. Format dari *activity relationship chart* digambarkan pada Gambar 2.22.



Gambar 2.22. Activity Relationship Chart (Tompkins, 2010)

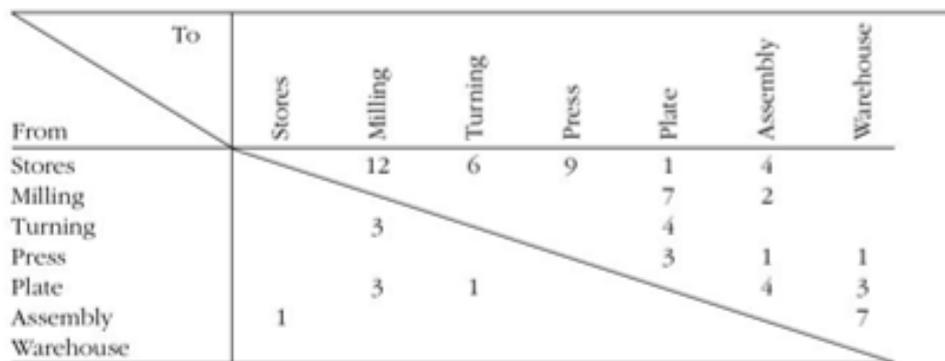
Menurut Heragu (2016), *activity relationship chart* disarankan memiliki peringkat kedekatan yang meningkat dari A hingga U, A sebesar 2% sampai dengan 5%, E sebesar 3% sampai 10%, I sebesar 5% sampai 15%, O sebesar 10% sampai 25%, dan U sebesar 25% sampai 60%.

2.2.11. From-to Chart

From-to chart adalah representasi numerik dan intensitas arus lalu lintas yang digambarkan secara visual dalam diagram aliran produk (Heragu, 2016). *From-to chart* memungkinkan analisis fasilitas untuk fokus pada area pemblokiran atau antrian mungkin terjadi.

University of Cambridge (2016) menyatakan bahwa baris dan kolom pada *from-to chart* memiliki judul yang identik dalam urutan yang sesuai. Entri dalam *from-to chart* dapat mewakili jarak antar pusat departemen, jumlah perjalanan *material handling* yang dilakukan antar departemen setiap hari, pergerakan material total yang diwakili oleh berat, biaya, kuantitas, dan lain-lain.

University of Cambridge (2016) menyatakan bahwa bagian bawah *from-to chart* tidak diisi karena biasanya mencerminkan data di bagian atas. Namun, jika sistem satu arah digunakan, maka jarak A ke B mungkin tidak sama dengan jarak B ke A, sehingga, bagian bawah dari matriks *from-to chart* akan berisi data yang berbeda. Ketika berhubungan dengan perjalanan, akan lebih baik ditambahkan kolom total di tepi kanan dan bawah matriks *from-to chart*. Contoh *from-to chart* dapat dilihat pada Gambar 2.23.



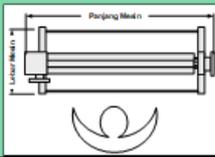
To \ From	Stores	Milling	Turning	Press	Plate	Assembly	Warehouse
Stores		12	6	9	1	4	
Milling			3		7	2	
Turning					4		
Press					3	1	1
Plate						4	3
Assembly							7
Warehouse							

Gambar 2.23. *From-To Chart* (Tompkins dkk., 2010)

2.2.12. Workreamath

Workreamath merupakan langkah implementasi dari algoritma perancangan stasiun kerja. Workreamath digunakan untuk memudahkan perhitungan dimensi dan luas area stasiun kerja. Perancangan stasiun kerja dengan menggunakan workreamath dilakukan dengan memperhatikan dimensi antropometri, material, dan mesin. Data yang dibutuhkan pada perancangan stasiun kerja dengan menggunakan workreamath antara lain, nama mesin atau stasiun kerja, jenis

kelamin operator, posisi kerja, ketinggian kerja, dimensi material, dan dimensi mesin. Perancangan stasiun kerja dengan menggunakan workreamath dilakukan dengan menentukan luas dasar stasiun kerja, ketinggian kerja, luas area kerja normal, luas area kerja maksimum alternatif, luas area kerja maksimum, dan gambaran rancangan stasiun kerja. Tampilan dari workreamath dapat dilihat pada Gambar 2.24 (Imanuella, 2019).

WORKREAMATH 1.0 ©Purnomo-Astrella	
Data Stasiun Kerja	
Nama mesin/SK :	
Gender Operator (pria/wanita) :	
Posisi kerja (duduk/berdiri) :	
Ketinggian Kerja (cm)** :	
*Pilih salah satu	
**Tinggi yang direkomendasikan untuk pria = 92 cm dan untuk wanita = 85 cm	
Panjang material (cm) :	
Lebar material (cm) :	
Panjang mesin (cm) :	
Lebar mesin (cm) :	
Tinggi mesin (cm) :	
Hasil Perhitungan	
Luas mesin (cm ²) :	0
Tinggi Support (cm) :	0
Panjang normal SK/NSRS (cm) :	false
Jarak operator ke mesin/NFRS (cm) :	false
Lebar normal SK (cm) :	#VALUE!
Radius maksimum / R :	false
Panjang awal / P ₀ (cm) :	0
Lebar awal / L ₀ (cm) :	0
Panjang alternatif / P _F (cm) :	#VALUE!
Lebar alternatif / L _F (cm) :	#VALUE!
Panjang maksimum SK / P (cm) :	#VALUE!
Lebar maksimum SK / L (cm) :	#VALUE!
	
Area kerja normal / NWA (cm²) : #####	
Area kerja maksimum alternatif / A_{MF} (cm²) : #####	
Area kerja maksimum / MWA (cm²) : #####	

Gambar 2.24. Workreamath

2.2.13. APAR

APAR atau alat pemadam api ringan adalah alat pemadam yang dapat diangkat, diangkat, dan dioperasikan oleh satu orang. Kemampuan alat pemadam dalam memadamkan kebakaran disebut sebagai *fire rating*. *Fire rating* terdiri atas kode

huruf dan angka. Kode huruf menunjukkan kelas kebakaran, sedangkan kode angka menunjukkan ukuran besarnya api yang dapat dipadamkan (Naru, 2019).

Berdasarkan *National Fire Protection Association* (203), pemilihan alat pemadam kebakaran untuk situasi tertentu harus ditentukan oleh persyaratan yang berlaku yaitu, klasifikasi kebakaran, sistem klasifikasi alat pemadam kebakaran, klasifikasi bahaya, pemilihan alat pemadam kebakaran untuk klasifikasi bahaya tertentu, dan pemilihan alat pemadam kebakaran untuk lokasi tertentu. Selain itu, pemilihan alat pemadam kebakaran juga dilakuakn dengan mempertimbangkan fakto-faktor berikut.

- a. Jenis kebakaran yang paling mungkin terjadi
- b. Ukuran api yang paling mungkin terjadi
- c. Bahaya di daerah di mana kebakaran paling mungkin terjadi
- d. Peralatan listrik berenergi di sekitar api
- e. Kondisi suhu sekitar
- f. Faktor lain

Perhitungan kebutuhan APAR diawali dengan menentukan klasifikasi kebakaran, klasifikasi *hazard*, jenis APAR, dan jumlah APAR yang sesuai.

a. Klasifikasi Kebakaran

Berdasarkan *National Fire Protection Association* (2013), kebakaran dapat diklasifikasikan sesuai dengan jenis bahan yang terbakar. Terdapat 5 klasifikasi kebakaran, yaitu kebakaran kelas A, B, C, D, dan K. Keterangan untuk kelima jenis klasifikasi kebakaran tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1. Klasifikasi Kebakaran

Kelas	Keterangan
A	Kebakaran pada bahan mudah terbakar biasa, seperti kayu, kain, kertas, karet, dan banyak plastik.
B	Kebakaran pada cairan yang mudah terbakar, cairan yang mudah terbakar, minyak bumi, ter, minyak, cat berbahan dasar minyak, pelarut, lak, alkohol, dan gas yang mudah terbakar.
C	Kebakaran yang melibatkan peralatan listrik berenergi.
D	Kebakaran pada logam yang mudah terbakar, seperti magnesium, titanium, zirkonium, natrium, litium, dan kalium.
K	Kebakaran pada peralatan memasak yang melibatkan media memasak yang mudah terbakar (minyak dan lemak nabati atau hewani).

b. Klasifikasi Bahaya

Berdasarkan *National Fire Protection Association* (2013), bahaya dapat diklasifikasikan menjadi 3 klasifikasi, yaitu bahaya ringan, bahaya biasa, dan bahaya ekstra. Bahaya ringan diklasifikasikan sebagai lokasi di mana kuantitas dan tingkat mudah terbakarnya bahan mudah terbakar kelas A dan kelas B rendah dan kebakaran dengan laju pelepasan panas yang relatif rendah diperkirakan terjadi. Bahaya sedang diklasifikasikan sebagai lokasi di mana kuantitas dan tingkat mudah terbakarnya bahan mudah terbakar kelas A dan kelas B adalah sedang dan kebakaran dengan laju pelepasan panas yang relatif sedang diperkirakan terjadi, sedangkan bahaya ekstra diklasifikasikan sebagai lokasi di mana kuantitas dan tingkat mudah terbakarnya bahan mudah terbakar kelas A tinggi atau di mana terdapat sejumlah besar bahan mudah terbakar kelas B dan kebakaran yang berkembang pesat dengan laju pelepasan panas yang tinggi diperkirakan terjadi.

c. Jenis APAR

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 04 tahun 1980, terdapat 4 jenis APAR yaitu, jenis cairan (air), jenis busa, jenis tepung kering, dan jenis gas (hidrokarbon berhalogen dan sebagainya).

APAR jenis cairan (air) dapat digunakan untuk kebakaran kelas A. Sistem kerja dari APAR jenis cairan (air) adalah dengan menghilangkan unsur panas dari segitiga api dengan cara mendinginkan permukaan dari bahan bakar tersebut. APAR cairan (air) tidak boleh digunakan pada kebakaran dengan jenis bahan terbakar, cairan mudah terbakar dan kebakaran yang melibatkan peralatan listrik berenergi. Hal tersebut dikarenakan air merupakan penghasil panas yang baik, sehingga penggunaan APAR jenis cairan (air) justru akan menyebabkan api menjadi semakin lebih besar (Naru, 2019).

APAR jenis busa merupakan jenis APAR yang terdiri atas bahan kimia yang dapat membentuk busa. APAR jenis busa dapat digunakan untuk kebakaran kelas A, dan kelas B. Busa AFFF (Aqueous Film Forming Foam) yang disemurkan oleh APAR akan menutupi bahan yang terbakar, sehingga oksigen tidak dapat masuk untuk proses kebakaran (Damkar, 2020).

APAR jenis tepung kering dapat digunakan untuk memadamkan kebakaran kelas A, B, dan C. APAR jenis tepung kering akan merusak reaksi kimia pembakaran

dengan membentuk lapisan tipis pada permukaan bahan yang terbakar (Naru, 2019).

APAR jenis gas dapat digunakan pada kebakaran kelas A, B, dan C. APAR jenis gas sangat jarang ditemui karena biasanya digunakan pada ruangan server, ruang komunikasi, dan sejenisnya (Mitra Jaya Sarana, 2021).

d. Perhitungan Jumlah APAR

Menurut Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. 04 tahun 1980, perhitungan jumlah APAR dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.1 dan Persamaan 2.2.

$$\text{Jumlah APAR} = \frac{\text{Luas bangunan}}{\text{Luas bangunan yang dilindungi APAR}} \quad (2.1)$$

$$\text{Luas bangunan yang dilindungi APAR} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \quad (2.2)$$

Keterangan.

D = Luas jangkauan perlindungan APAR

2.2.14. Jarak

Beberapa ukuran jarak yang dapat digunakan dalam praktik perancangan tata letak yaitu, euclidean, squared euclidean, rectilinear, tchebychev.

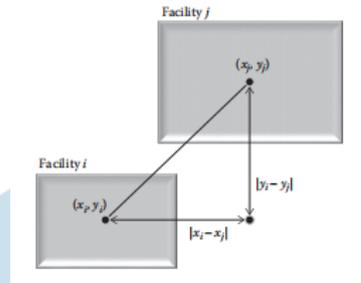
a. *Euclidean*

Jarak *euclidean* merupakan jarak garis lurus antar pusat departemen. Jarak *euclidean* merupakan ukuran jarak yang paling umum digunakan karena berguna (jarak terpendek antara dua titik adalah batas bawah jarak) dan mudah dipahami dan dimodelkan. Ukuran jarak euclidean digunakan pada model konveyor tertentu, jaringan transportasi, dan jaringan distribusi (Heragu, 2016). Perhitungan jarak *euclidean* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.3. Jarak *euclidean* diwakili oleh garis lurus yang menghubungkan titik berat departemen i dan j pada Gambar 2.25.

$$d_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{0.5} \quad (2.3)$$

Keterangan.

x_i = Koordinat titik berat departemen i
 y_i = Koordinat titik berat departemen i
 d_{ij} = Jarak antara titik berat departemen i dan j



Gambar 2.25. Jarak Euclidean dan Rectilinear (Heragu, 2016)

b. *Squared Euclidean*

Perhitungan jarak *squared euclidean* dilakukan dengan mengkuadratkan ukuran jarak *euclidean*. Pengkuadratan memberikan bobot yang lebih besar untuk pasangan departemen yang jauh daripada yang terdekat (Heragu, 2016). Perhitungan jarak *squared euclidean* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.4.

$$d_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2) \quad (2.4)$$

c. *Rectilinear*

Jarak *rectilinear* seringkali digunakan karena mudah dihitung, mudah dipahami, dan sesuai untuk berbagai masalah praktis seperti, jarak antar titik di kota, jarak antar departemen yang dilayani oleh *material handling* yang hanya dapat bergerak secara bujursangkar (Heragu, 2016). Perhitungan jarak *rectilinear* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.5. Jarak *rectilinear* diwakili oleh garis horizontal dan vertikal antara titik berat departemen i dan j pada Gambar 2.25.

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2.5)$$

d. *Tchebychev*

Pada pabrik alat berat, pergerakan material dilakukan melalui *overhead cranes* yang ditenagai oleh dua motor independen, satu memungkinkan pergerakan ke arah x dan yang lainnya ke arah y. Maka, waktu untuk mencapai pusat departemen

j dari pusat departemen i bergantung pada jarak x dan y yang lebih besar. Perhitungan jarak *tchebychev* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.6.

$$d_{ij} = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|) \quad (2.6)$$

