

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam melakukan penelitian perlu dilakukan pendalaman terhadap kasus yang akan dibahas. Pencarian beberapa penelitian terdahulu perlu dipelajari untuk dijadikan referensi pada penelitian saat ini.

Penelitian tentang tata letak fasilitas dengan konsep *group technology* dilakukan oleh Kristinawati (2000). Penelitian dilakukan pada perusahaan PT. Berlina Tbk Pandaan yang membuat berbagai macam produk terbuat dari plastik. Produksi dilakukan jika terdapat pesanan dari konsumen. Variasi produk yang banyak menuntut perusahaan untuk memiliki proses permesinan yang fleksibel maka dalam penelitian Kristinawati (2000) menggunakan konsep *Group Technology*. Tata letak diatur sedemikian rupa untuk meminimasi jarak dan biaya *material handling*. Kristinawati (2000) mengatakan bahwa jarak tempuh maupun jarak antar mesin sebelum dan sesudah proses yang jauh merupakan suatu kerugian dan harus diperbaiki.

Penelitian Susetyo, Simanjuntak, & Ramos (2010) tentang perancangan ulang *layout* pada perusahaan logam. Susetyo, Simanjuntak, & Ramos (2010) melakukan penelitian dengan menggunakan *Group Technology*. Pengelompokan dilakukan dengan melihat kesamaan desain maupun kesamaan karakteristik. Mesin-mesin disusun menjadi satu membentuk sel-sel. Dalam penelitian ini, metode *Rank Order Clustering (ROC)* digunakan dalam penentuan komponen mesin yang akan digabungkan menjadi satu sel. Dari hasil penelitian, didapatkan bahwa dengan tata letak yang dirancang lebih baik dari sebelumnya. Terjadi penurunan perpindahan material sebesar 116m dan penurunan ongkos perpindahan material berdasarkan jarak *rectilinear* sebesar Rp 18.900/hari.

Kristianto (2014) melakukan penelitian tata letak rantai produksi pada CV. Yudha Havana. Permasalahan yang didapatkan bahwa luas area kerja pada tata letak di rantai produksi mengakibatkan para pekerja kesulitan dalam bergerak. Selain itu terdapat aliran yang balik maupun aliran berpotongan. Pencarian tata letak yang baru akan digunakan di gedung baru. Penelitian ini menggunakan pendekatan *systematic layout planning*. Penempatan tiap-tiap mesin dilakukan dengan memperhatikan hubungan antar aktivitas, kebutuhan luas, serta keterbatasan

ruang yang tersedia. Dari hasil penelitian didapatkan rancangan dengan jarak terpendek sebesar 663,56 meter.

Yuniarti (2009) melakukan penelitian pada PT. Mega Andalan Kasalan untuk merancang tata letak baru. Perancangan tata letak baru dilakukan karena perusahaan ingin memperluas area untuk produk *spare part* motor. Pengaturan tata letak dilakukan pada Unit Komponen Logam (UKL) dan *Unit Hospital Equipment (UHE)*. Pengaturan tata letak pada UKL kali ini menggunakan metode *CRAFT*. *Input* yang digunakan adalah *table form-to-chart*, dan tata letak awal yang berasal dari hasil metode *PLANET* sedangkan untuk *UHE* menggunakan metode *Systematic Layout Procedure (SLP)* dan mempertimbangkan proses produksi.

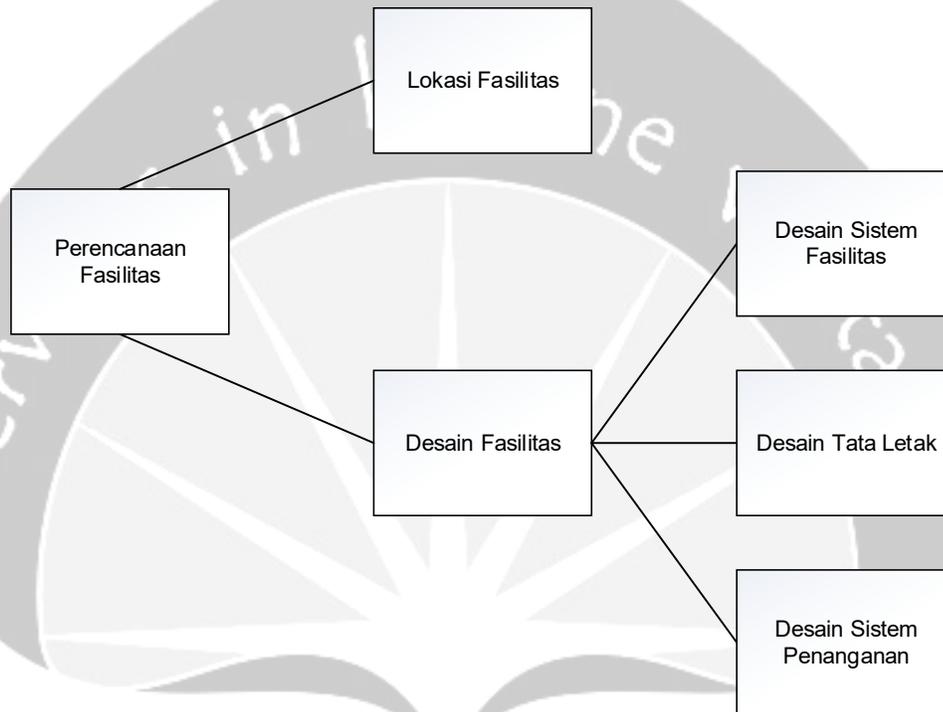
Parthama (2012) melakukan penelitian pada *home industry* pembuatan pakaian wanita. Tempat penelitian memiliki sistem produksi *Make to Order*. Pengembangan untuk menambahkan kapasitas produksi dari 2 pakaian/hari menjadi 10 pakaian/hari menjadikan *home industry* ini untuk menambah tempat produksi baru. Tempat produksi baru diharapkan dapat mengakomodasi peningkatan kapasitas produksi tersebut. Selain itu perencanaan tata letak juga akan melihat sisi efisien, kenyamanan dan keselamatan kerja. Analisis yang digunakan menggunakan pendekatan *Systematic Layout Planning (SLP)*.

Pada penelitian saat ini dilakukan perancangan tata letak pada lantai produksi di PT. Siemens Indonesia tepatnya di pabrik Pulomas. Tata letak saat ini masih kurang baik karena terdapat mesin-mesin yang masih berjauhan dan perlu adanya perancangan ulang. Perancangan tata letak menggunakan beberapa metode maupun pendekatan meliputi *Rank Order Clustering (ROC)*, *Direct Cluster Algorithm (DCA)*, *Cluster Identification Algorithm (CIA)*, *Bond Energy Algorithm (BEA)*, *Similarity Coefficient Methods (SC)*, *Row & Column Masking (R&CM)*, dan *Mathematical Programming (MP)*. Penelitian ini akan menghasilkan tata letak baru dengan menggabungkan beberapa mesin ke dalam satu sel. Selain itu, tata letak yang baru diharapkan akan meminimasi jarak tempuh yang terjadi di lantai produksi.

2.2. Definisi Perencanaan Fasilitas

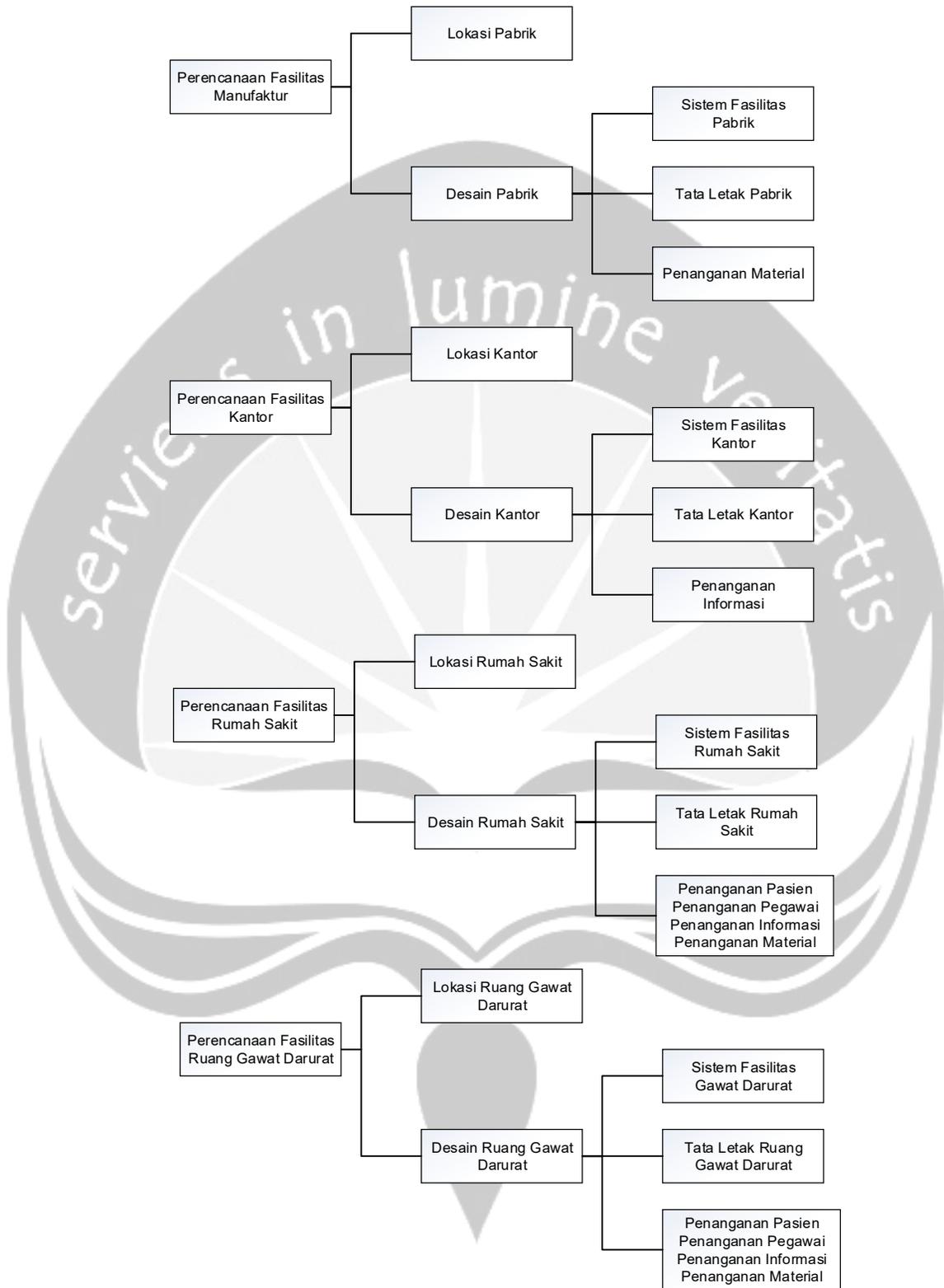
Tompkins, *et al* (1996) menyatakan bahwa perencanaan fasilitas adalah sesuatu yang kompleks dan membicarakan subjek yang luas dengan berhubungan dengan berbagai disiplin ilmu. Perencanaan fasilitas terdiri dari dua yaitu lokasi fasilitas

maupun desain fasilitas. Lokasi fasilitas lebih ke tempat suatu pabrik akan dibangun. Pada desain fasilitas terdiri dari desain sistem fasilitas (*facility system design*), desain tata letak (*layout design*), dan desain sistem penanganan (*handling sistem design*). Struktur hirarki perencanaan fasilitas dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Hirarki Perencanaan Fasilitas (Tompkins, et al., 1996)

Perencanaan fasilitas juga dapat diterapkan pada berbagai macam fasilitas. Pada Gambar 2.2. dapat dilihat bahwa perencanaan fasilitas dapat diterapkan pada manufaktur, kantor, rumah sakit, maupun ruang gawat darurat. Perencanaan fasilitas, lokasi fasilitas maupun desain fasilitas dibentuk sesuai dengan tujuan fasilitas tersebut.

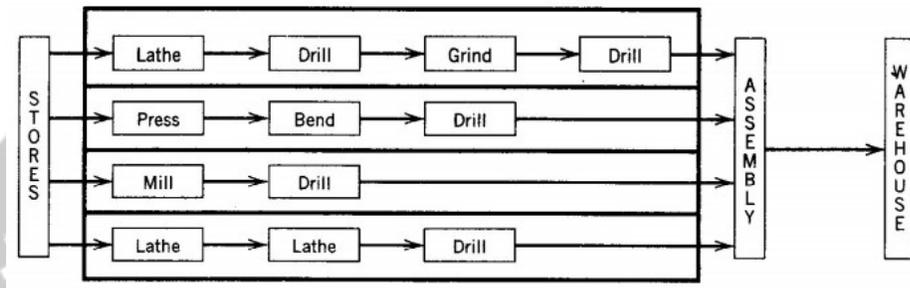


**Gambar 2.2. Perencanaan Fasilitas pada Spesifik Bentuk Fasilitas
(Tompkins, et al., 1996)**

2.3. Tipe Tata Letak Fasilitas Produksi

Tipe tata letak yang sesuai dapat menjadikan proses manufaktur berjalan lebih efisien dalam jangka waktu yang lama (Anthara, 2011). Dalam penataan fasilitas produksi, ada beberapa tipe tata letak fasilitas produksi yaitu *Product Layout*, *Process Layout*, *Group Technology Layout* dan *Fix Position Layout*.

a. *Product Layout*



Gambar 2.3. *Product Layout* (Tompkins, et al., 1996)

Gambar 2.3 menunjukkan tipe *product layout*. *Product layout* adalah metode pengaturan dan penempatan semua fasilitas produksi yang dibutuhkan dalam suatu departemen (Anthara, 2011). *Product layout* melakukan proses produksi dari awal (*stores*) sampai produk disimpan di *warehouse* pada pabrik tersebut. *Raw material* memiliki pergerakan dari stasiun kerja yang pertama, kedua dan seterusnya dalam satu departemen. *Layout* yang ditata dengan baik akan mendapatkan volume produksi yang besar.

Mesin-mesin disusun berurutan sesuai dengan proses produk yang akan diproduksi. Produk akan bergerak mengikuti satu rantai produksi pada departemen tersebut. *Layout* ini secara khusus digunakan untuk pabrik yang memproduksi satu atau sedikit jenis produk dengan kuantitas yang banyak. Ketika *layout* ini diterapkan kemungkinan untuk melakukan perubahan akan memakan biaya yang sangat besar. *Layout* yang telah ditetapkan akan tidak sesuai pada produk yang mendapatkan perubahan oleh perusahaan sehingga *product layout* tidak sesuai pada perusahaan yang sering melakukan perubahan produk.

Beberapa keuntungan dari *Product Layout*:

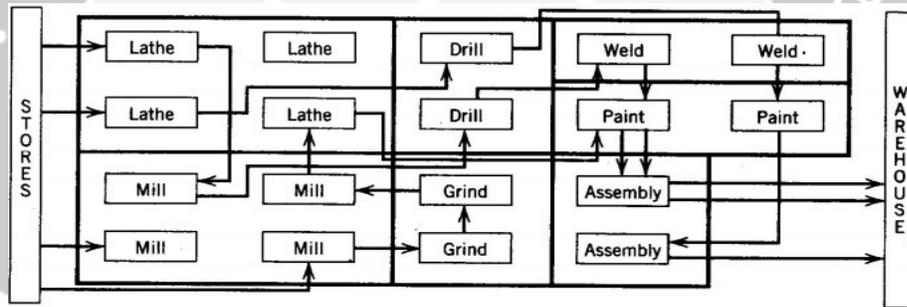
- i. Lintasan yang dihasilkan halus, sederhana, logis dan langsung
- ii. WIP lebih sedikit
- iii. Total waktu produksi per unit yang pendek
- iv. Pengurangan kebutuhan *material handling*

- v. Pekerja tidak memerlukan *skill* yang tinggi
- vi. Memungkinkan kontrol produksi yang sederhana
- vii. Dapat menggunakan peralatan dengan tujuan khusus

Beberapa batasan dari *Product Layout*:

- i. Jika terdapat mesin yang berhenti maka akan menghentikan seluruh proses pada semua lintasan
- ii. Setiap perubahan desain produk maka akan mengubah tata letak karena tidak sesuai lagi
- iii. Stasiun yang paling lambat akan menentukan kecepatan lintasan
- iv. Memerlukan tenaga supervisi umum
- v. Biasanya memerlukan biaya investasi peralatan yang tinggi

b. *Process Layout*



Gambar 2.4. Process Layout (Tompkins, et al., 1996)

Gambar 2.4 menunjukkan tipe *process layout*. *Process layout* adalah tata letak yang mengelompokkan *workstation* berdasarkan kesamaan proses, misalnya semua mesin bor dijadikan satu menjadi departemen, semua mesin bubut dijadikan satu departemen, dst. Material akan berpindah dari satu departemen ke departemen lainnya. Flow yang akan terjadi adalah pergerakan antara tiap departemen yang tinggi, sedangkan pergerakan proses di dalam satu departemen akan rendah.

Process Layout baik digunakan bila volume produksinya kecil dengan variasi sesuai order. Secara umum, sistem ini biasa disebut *layout by process* dan *job shop*. *Layout* ini sangat cocok untuk perusahaan yang memproduksi variasi produk dengan kuantitas yang sedikit/kecil. *Process layout* memiliki proses yang fleksibel sehingga meningkatkan biaya perpindahan material.

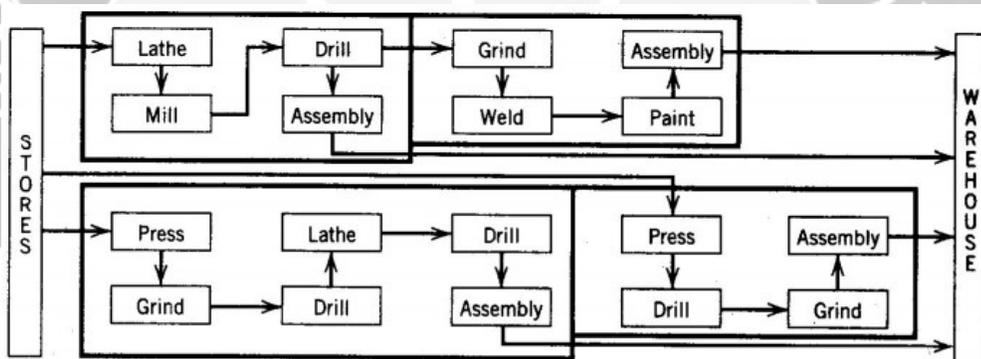
Beberapa keuntungan pada *Process Layout*:

- i. Peningkatan utilitas mesin
- ii. Peralatan dengan tujuan umum dapat digunakan
- iii. Alokasi pekerja maupun peralatan memiliki fleksibilitas yang tinggi
- iv. Perbedaan pekerjaan pada setiap pekerja
- v. Memungkinkan adanya *specialized supervision*

Beberapa batasan pada *Process Layout*:

- i. Meningkatkan kebutuhan *material handling*
- ii. *Production control* yang lebih rumit
- iii. Meningkatkan WIP
- iv. Lintasan produksi lebih panjang
- v. Membutuhkan *skill* yang tinggi untuk menangani tugas yang berbeda-beda

c. *Cellular Layout*



Gambar 2.5. Cellular Layout (Tompkins, et al., 1996)

Gambar 2.5 menunjukkan tipe *Cellular layout*. *Cellular layout* adalah penataan fasilitas manufaktur dengan mengelompokkan mesin-mesin yang digunakan untuk membuat part-part yang serupa dalam produk dan proses fabrikasinya. *Cellular Layout* cocok untuk diterapkan pada perusahaan yang memiliki jumlah variasi produk yang banyak. Mesin-mesin dikelompokkan dan disusun membentuk sistem manufaktur seluler. Setiap seluler akan melakukan proses pada *part family* yang telah diidentifikasi. Mesin pada sel yang sama tidak memiliki kemampuan dalam proses yang sama. Jumlah perpindahan maupun biaya perpindahan material akan dapat direduksi jika menggunakan *Cellular Layout*.

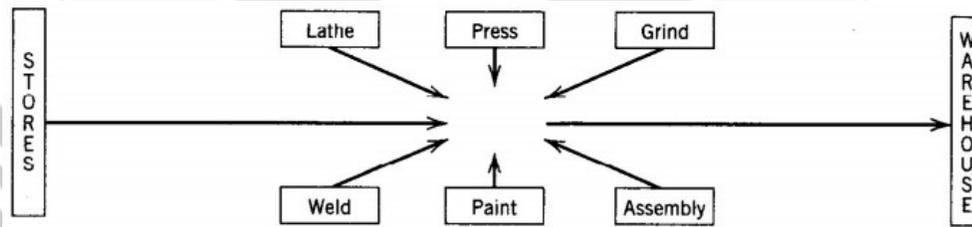
Beberapa Keuntungan pada *Cellular Layout*:

- i. Dengan mengelompokkan jenis produk, utilisasi mesin dapat lebih tinggi
- ii. Menghasilkan *flow* lebih halus dan jarak perpindahan lebih pendek dibandingkan dengan *process layout*.
- iii. Menghasilkan keuntungan pada kerja sama tim
- iv. Memiliki keuntungan dari *product layout* dan *process layout*: merupakan paduan keduanya
- v. Mendorong pemakaian peralatan *general purpose*

Beberapa batasan pada *Cellular Layout*:

- i. Membutuhkan *general supervision*
- ii. Membutuhkan pekerja dengan *skill* tinggi untuk bekerja disemua proses
- iii. *Production control* untuk menyeimbangkan aliran tiap sel
- iv. Jika aliran tidak seimbang pada masing-masing sel, maka dibutuhkan tempat *buffer* dan WIP untuk menghilangkan kebutuhan *material handling* tambahan dari dan ke suatu sel
- v. Memiliki beberapa keterbatasan dari *product layout* dan *process layout*: merupakan kompromi dari keduanya
- vi. Mengurangi kemungkinan penggunaan *special purpose equipment*

d. *Fix Position Layout*



Gambar 2.6. Fix Position Layout (Tompkins, et al., 1996)

Gambar 2.6 menunjukkan tipe *Fix Position Layout*. *Fix Position Layout* adalah tata letak fasilitas yang memiliki penataan segala tools dan mesin yang bergerak mendekati produk. Produk tidak akan melakukan perpindahan dari mesin ke mesin lainnya. Produk tidak bergerak ke tiap-tiap mesin namun operator dan mesin ataupun *tools* yang digunakan bergerak menuju lokasi produk untuk di proses. *Layout* ini biasa digunakan jika produk yang dihasilkan merupakan produk yang besar maupun sulit untuk dipindahkan. Beberapa keuntungan dari *layout* ini adalah kemungkinan perpindahan pada produk akan berkurang dan kemungkinan kerusakan pada produk akan berkurang, namun akan meningkatkan biaya

perpindahan peralatan yang akan digunakan pada area kerja. *Layout* ini biasa digunakan pada produksi pesawat terbang.

Beberapa keuntungan pada *Fix Position Layout*:

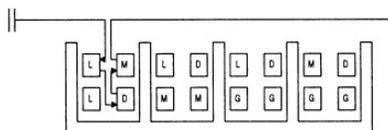
- i. Perpindahan material dikurangi
- ii. Jika pendekatan secara tim digunakan, maka didapatkan kontinuitas operasi dan tanggung jawab
- iii. Dapat meningkatkan mutu pekerja
- iv. Meningkatkan kebanggaan dan kualitas karena masing-masing individu dapat menyelesaikan seluruh pekerjaan
- v. Fleksibilitas yang sangat tinggi sehingga dapat mengakomodasi perubahan dalam *product design*, *product mix*, dan *production volume*

Beberapa keterbatasan pada *Fix Position Layout*:

- i. Meningkatkan perpindahan pekerja dan peralatan
- ii. Membutuhkan duplikasi peralatan
- iii. Membutuhkan *skill* pekerja yang tinggi
- iv. Membutuhkan *general supervision*
- v. Dapat menyebabkan *space* lebih besar dan *WIP* yang lebih banyak
- vi. Membutuhkan *close control* dan koordinasi dalam penjadwalan produksi

2.4. Sistem Manufaktur Seluler

Group Technology (GT) menurut Irani (1999) adalah konsep manufaktur untuk mengidentifikasi dan membuat grup pada *part* yang serupa untuk mendapatkan keuntungan dari persamaan pada manufaktur maupun desain. Konsep *GT* menurut Singh & Rajamani (1996) digunakan untuk mereduksi *setup*, *batch sizes* dan jarak perpindahan. Manufaktur seluler merupakan salah satu aplikasi dari konsep *GT* untuk melakukan penataan ulang tata letak rantai produksi. Gambar 2.7 memperlihatkan salah satu contoh tata letak sistem manufaktur seluler. Manufaktur seluler melakukan proses untuk kumpulan *part* yang mirip pada suatu sel mesin.



Gambar 2.7. Cellular Layout (Irani, 1999)

Proses yang terjadi akan lebih baik bila setiap sel memproses satu *part family*. *Part family* selesai diproses dalam satu sel dan setiap sel dalam sistem manufaktur seluler memiliki interaksi yang minim satu sama lain.

Beberapa dampak yang terjadi pada performansi sistem:

a. *Material Handling*

Sistem manufaktur seluler melakukan pengerjaan produk dalam satu sel. Pembentukan dalam bentuk sel memberikan dampak pengurangan perpindahan material yang berkurang karena produk dikerjakan pada sel yang sama. Maka dari itu, waktu perpindahan dan jarak yang ditempuh didapatkan seminimal mungkin.

b. *Throughput Time*

Pengelompokkan mesin dalam bentuk sel dapat memperbaiki *throughput time*. Produk yang diproduksi akan dikerjakan dalam satu sel dari proses awal hingga proses akhir, sehingga tidak terdapat waktu perpindahan material dari setiap sel yang mengakibatkan waktu pengerjaan lebih cepat.

c. *Setup Time*

Setup time tidak dapat direduksi secara otomatis. Dalam sistem manufaktur seluler, seluruh *part family* akan diproses pada satu tempat. *Part* tersebut memiliki kemungkinan menggunakan peralatan yang sama, sehingga dikemudian dapat mereduksi *setup time*.

d. *Batch Size*

Variasi yang tinggi dan waktu *setup* mengakibatkan biasanya pekerjaan dikerjakan berdasarkan *Economic Batch Quantity (EBQ)*. Kuantitas ditentukan dengan mempertimbangkan *fixed cost* dan *variable cost*. *Small lots* dapat memperhalus aliran produksi.

e. *Work-in-progress*

Kemampuan dalam melakukan proses tiap *part* dari awal hingga akhir akan menurunkan WIP pada setiap sel, namun jika terdapat masalah mesin yang terjadi di dalam sel maka dibutuhkan *buffer area*.

f. *Delivery Time*

Kemampuan sel untuk memproduksi pada tingkat yang telah ditentukan membuat *Delivery Time* lebih akurat dan *reliable*.

g. *Machine utilization*

Penurunan waktu *setup* dapat meningkatkan kapasitas efektif pada mesin dan menyebabkan utilitas pada mesin berkurang. Ini sebenarnya tidak merugikan seperti yang dinyatakan. Ketika kapasitas efektif meningkat pada mesin sedangkan mesin melakukan kapasitas pekerjaan yang sama akan terdapat *idle* pada mesin. Maka pada dasarnya mesin tersebut dapat dimanfaatkan melakukan proses *part* yang terdapat pada area *buffer*.

h. *Investment*

Mesin perlu diduplikasi untuk memastikan bahwa *part* dikerjakan dalam satu sel. Investasi utama dapat dialokasikan untuk mesin maupun biaya produksi. Namun, biaya tersebut dapat didapatkan dengan mudah dari hasil perbaikan pada penyimpanan, utilisasi mesin, pekerja, kualitas, *material handling*, dan lainnya.

i. *Labor*

Pekerjaan dimungkinkan untuk melakukan pengerjaan pada lebih dari satu mesin. Terdapat beberapa pekerja yang akan dialokasikan dalam suatu sel. Ada banyak bukti bahwa bekerja dalam tim dapat memproduksi lebih banyak dibandingkan bekerja secara terpisah antar individu.

j. *Quality*

Setiap *part* dikerjakan dalam satu sel sehingga memungkinkan mendapatkan umpan balik ketika terjadi kerusakan dengan segera sebelum barang berpindah ke tempat lain (penyimpanan).

k. *Space*

Penurunan WIP akan mengakibatkan adanya ruang tersisa jika ingin digunakan untuk menambahkan mesin dan untuk ekspansi.

Sebuah sel akan melakukan beberapa aktivitas seperti inspeksi, *handling*, proses, pembersihan, pengemasan, *loading/unloading*, dan *setup*. Terdapat beberapa tipe pada sel berdasarkan pada automasi dan variasi aktivitas menurut Irani (1999) yaitu *Machining Center*, *Single Operator Multiple Machines*, *Single-Robot Automated Cell*, *Multiple Operator Multiple Machines*, *Multiple Robots Automated Cell*, *Assembly Cell* dan *Transfer Line*.

Machining Center merupakan otomasi tunggal pada mesin. *Machining Center* menggabungkan kemampuan proses pada setiap mesin konvensional dan proses setiap *part family* secara acak. *Machining Center* membutuhkan seorang operator

yang dapat melakukan *loading/unloading* benda kerja. Operator akan melakukan beberapa operasi pada satu kali *setup*. Tipe ini dapat digunakan pada *part family* yang sangat sederhana.

Single operator multiple machines merupakan tipe pada sel yang berikan satu operator untuk mengerjakan beberapa mesin dalam sebuah sel. *Single operator multiple machines* dan *multiple operator multiple machine* hanya memiliki perbedaan pada operator yang melakukan operasi pada satu sel. Satu sel memiliki beberapa mesin dan juga dikerjakan oleh lebih dari satu operator.

Operator dapat juga digantikan dengan menggunakan robot. Operator tunggal dimungkinkan untuk digantikan oleh satu robot yang dinamai *Single-Robot Automated Cell*. Sebagai contoh, satu robot dapat melakukan pengawasan pada 4 mesin *Computer Numerical Control (CNC)*. Robot tersebut akan melakukan pekerjaan dalam penanganan material serta memiliki kemampuan untuk melakukan operasi secara otomatis dalam sel tersebut. Penambahan robot yang lebih banyak pada sel juga dapat dilakukan untuk menggantikan pekerjaan operator, dikenal sebagai *Multiple Robots Automated Cell*. Sebagai contoh, robot yang dapat bekerja di dalam sel untuk mengoperasikan mesin dan juga robot yang akan membantu dalam penanganan material seperti *AGV*.

Assembly Cell memiliki ciri beberapa pekerjaan yang dilakukan diletakkan pada satu lini perakitan. *Assembly Cell* didesain untuk perakitan produk maupun sub-produk. Dalam satu *Assembly Cell* dimungkinkan terdapat lebih dari satu operator dan mesin.

Transfer Line merupakan sel berdasarkan aliran produk dimana mesin akan diatur sesuai dengan urutan proses pengerjaan produk tersebut. Perubahan tipe produk akan memerlukan waktu *setup* yang banyak.

2.5. Flow

Flow atau aliran adalah salah satu hal penting dalam melakukan perancangan tata letak. *Flow* bergantung pada *lot size/batch*, unit *lot size*, *material handling equipment* dan *strategies*, susunan dan rancangan tata letak dan konfigurasi dari bentuk gedung. Ruang lingkup aliran dapat ditinjau dari pola aliran yang ada di dalam *workstation (Flow Within Workstation)*, aliran di dalam departemen (*Flow Within Departments*), dan aliran antar departemen (*Flow Between Department*) (Tompkins, et al., 1996).

a. *Flow Within Workstation*

Motion study dan *ergonomics* merupakan dasar dalam *flow within workstation*. Aliran gerak dalam *workstation* harus *simultaneous* (simultan), *symmetrical* (simetris), *natural* (alami), *rhythmical* (berirama), *Habitual* (menyerupai sifat manusia) (Tompkins, et al., 1996).

i. *Simultaneous flow* adalah penggunaan tangan, lengan dan kaki secara simultan. Tangan, lengan dan kaki seharusnya mengawali dan mengakhiri pekerjaan secara bersama-sama.

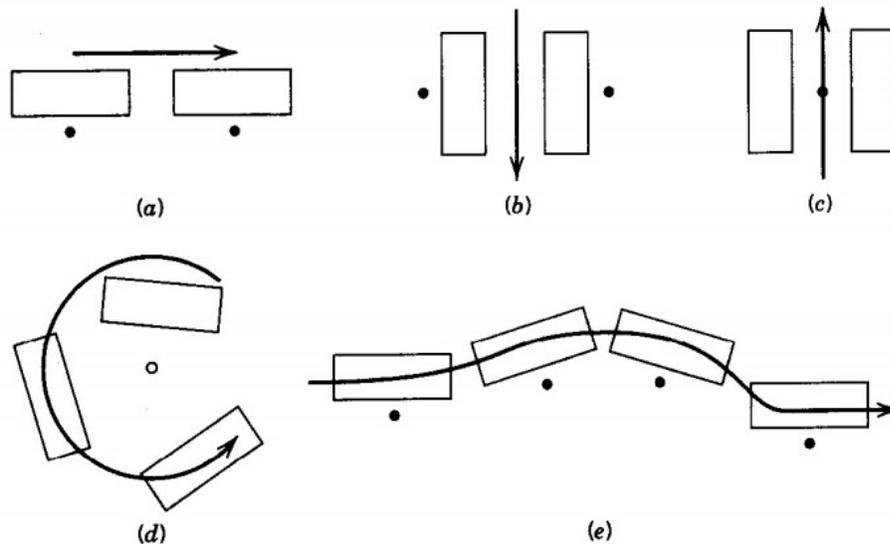
ii. *Symmetrical flow* adalah aliran yang dihasilkan dari koordinasi gerakan sesuai dengan *center of body*. Tangan kanan dan tangan kiri bekerja dengan area kerja yang simetris.

iii. *Natural flow* adalah dasar dari pola aliran *rhythmical* dan *habitual*.

iv. *Rhythmical* dan *habitual flow* menyatakan aliran aktivitas yang sesuai metode dan urutan sistematis untuk mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, mata dan otot.

b. *Flow Within Departments*

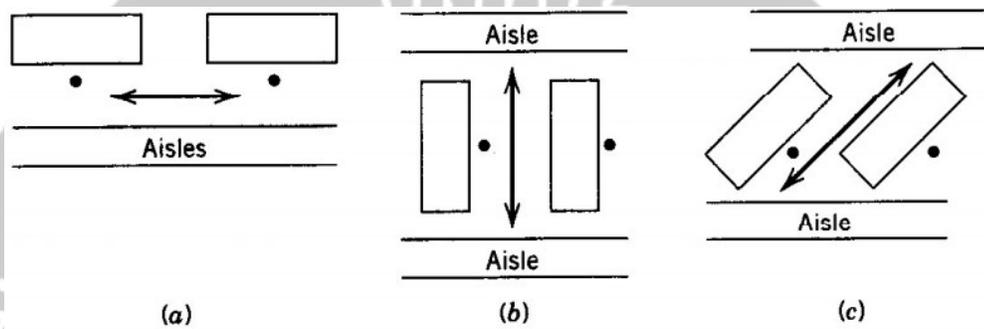
Pola aliran dalam departemen tergantung pada tipe departemen. Di dalam *product* dan *product family department*, aliran kerja yang terjadi mengikuti aliran produk. Aliran produk dapat mengikuti bentuk aliran pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Flow Within Department. (a) End-to-End. (b) Back-to-back. (c) Front-to-Front. (d) Circular. (e) Odd-angle (Tompkins, et al., 1996)

Pola aliran *end-to-end*, *back-to-back*, dan *odd-angle* bisa menjadi indicator dalam *product department* di mana salah satu operator akan ditempatkan. Pola *front-to-front* digunakan jika operator bekerja pada dua mesin. Pola *circular* digunakan jika operator bekerja lebih dari dua mesin.

Pola aliran *process department* memiliki perbedaan dengan pola aliran *product department*. *Process department* memiliki aliran yang terjadi pada gang (*aisle*). Secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.9.

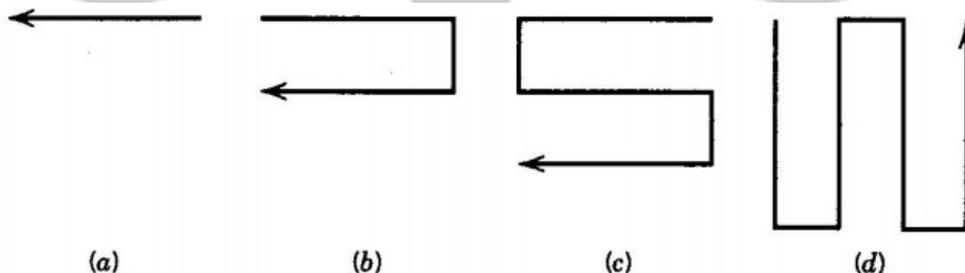


Gambar 2.9. Flow Within Process Department. (a) Parallel. (b) Perpendicular. (c) Diagonal (Tompkins, et al., 1996)

Pemilihan jenis aliran tergantung pada interaksi antar *workstation*, *space* yang tersedia, dan ukuran material. Pola diagonal memiliki luas area yang lebih sedikit dibandingkan pola lainnya.

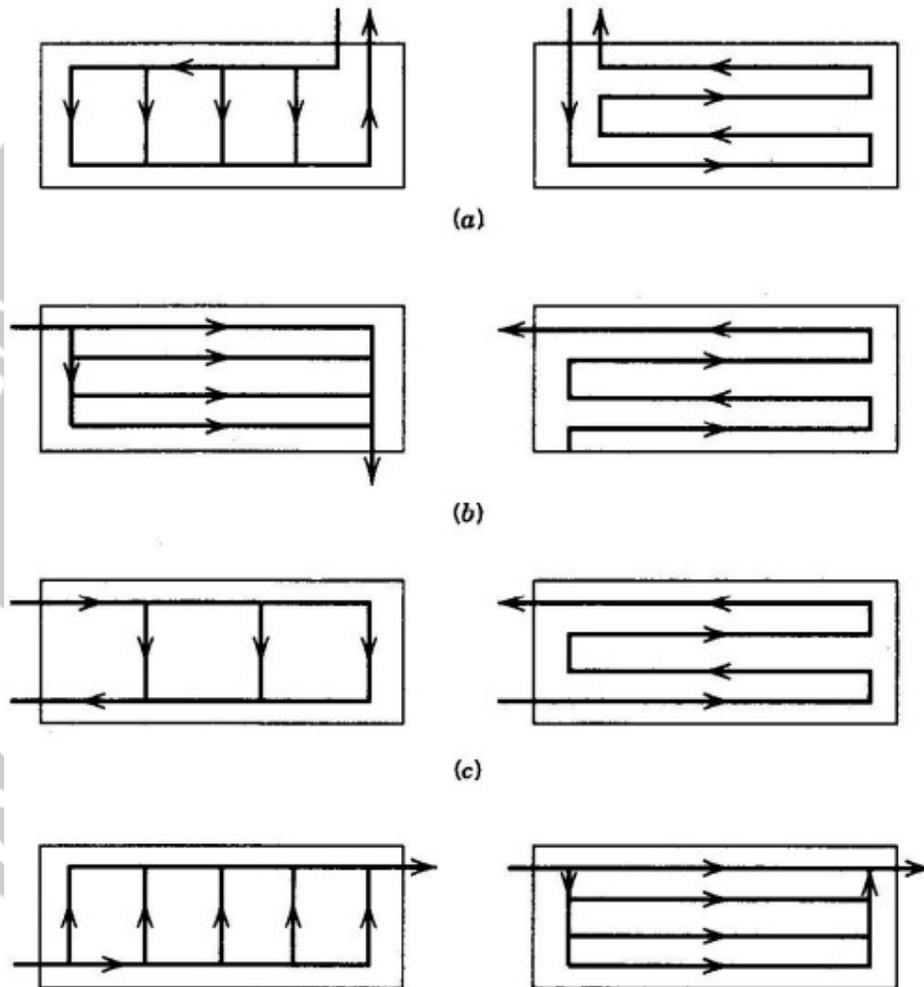
c. Flow Between Department

Aliran antara departemen merupakan kriteria yang digunakan untuk melakukan evaluasi keseluruhan aliran di dalam fasilitas. Gambar 2.10 menunjukkan jenis-jenis dasar aliran material antara departemen.



Gambar 2.10. Flow Between Department. (a) Straight Line. (b) U-shaped. (c) S-shaped. (d) W-shaped. (Tompkins, et al., 1996)

Hal lain yang perlu diperhatikan pada pola aliran ini adalah lokasi material untuk masuk (*receiving*) dan keluar (*shipping*). Lokasi tersebut dapat ditentukan dengan bentuk gedung atau fasilitas yang telah dibuat. Gambar 2.11 menunjukkan aliran masuk dan keluar material. Terdapat aliran yang masuk dan keluar dengan pintu yang sama, sisi bersebelahan, sisi sama namun berlawanan arah, dan sisi berlawanan.



Gambar 2.11. Aliran Fasilitas Berdasarkan Lokasi Keluar Masuk Material. (a) Pintu yang Sama. (b) Sisi Bersebelahan. (c) Sisi Sama namun Berlawanan Arah. (d) Sisi Berlawanan. (Tompkins, et al., 1996)

Karakteristik aliran yang efektif adalah memaksimalkan aliran secara langsung, meminimalkan aliran material, dan meminimalkan biaya perpindahan. Mengurangi aliran yang terpotong dan alur balik merupakan cara untuk memaksimalkan aliran

secara langsung. Aliran yang terpotong mengganggu kelancaran dalam melakukan perpindahan material dan alur balik dapat meningkatkan jarak perpindahan material.

Pendekatan simplikasi kerja dapat digunakan untuk meminimalkan aliran material. Aliran material yang dapat dieliminasi akan memperpendek aliran kerja. Langkah-langkah yang sebenarnya tidak diperlukan dapat dihilangkan.

Pengukuran *flow* secara kuantitatif dapat direpresentasikan dengan menggunakan suatu peta atau *chart* yaitu *From-to-Chart* seperti pada Gambar 2.12. Bentuk *from-to-chart* menggambarkan nilai aliran material serta nilai kuantitas perpindahan yang terjadi. Langkah awal dalam pembuatan *from-to-chart* adalah menuliskan semua departemen pada baris dan juga kolom. Langkah berikut adalah memasukkan angka antara departemen baris dan kolom sesuai dengan ketentuan yang dirancang seperti jumlah perpindahan, *pieces per hour*, dsb.

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

Gambar 2.12. From-to-Chart (Tompkins, et al., 1996)

Matriks *part* mesin juga dapat digunakan untuk menggambarkan aliran. Matriks *part* mesin menggambarkan proses pengerjaan suatu *part family*. Contoh matriks *part* mesin dapat dilihat pada Tabel 2.1. Langkah yang dilakukan pada awal adalah menentukan semua *part family* pada setiap baris dan semua mesin pada setiap kolom. Kemudian masukkan nilai 1 (satu) pada setiap mesin-mesin yang melakukan pengerjaan *part family* tersebut.

Tabel 2.1. Matriks *Part* Mesin

		Mesin								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
<i>Part Family</i>	P1	1	1	1		1	1			
	P2				1					
	P3							1		1
	P4							1		

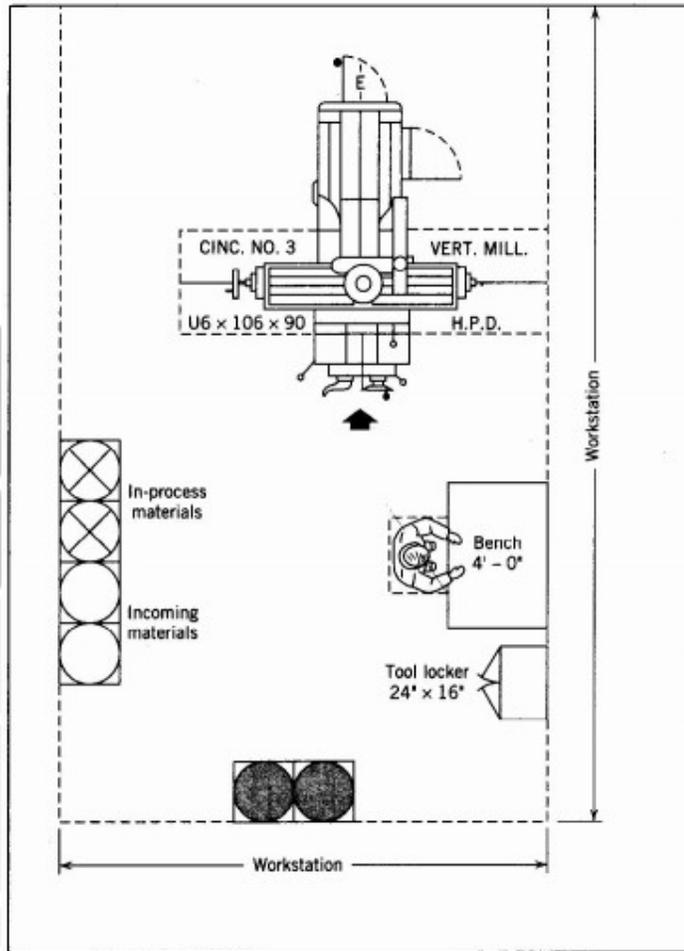
2.6. *Space*

Space adalah salah satu faktor yang dibutuhkan dalam merencanakan suatu fasilitas. Suatu fasilitas biasanya didesain untuk kebutuhan selama 5-10 tahun (Tompkins, et al., 1996). Penentuan kebutuhan *space* sebaiknya dilakukan dari kebutuhan pada *workstation* kemudian kebutuhan pada *department*.

a. Kebutuhan *Workstation*

Kebutuhan pada *workstation* meliputi *space* untuk peralatan seperti mesin, *space* untuk material seperti tempat material masuk dan keluar, dan *space* untuk pekerja itu sendiri. Ilustrasi *space* pada *workstation* dapat dilihat pada Gambar 2.13. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan penyusunan suatu *workstation*:

- i. Operator dapat mengambil dan meletakkan material tanpa harus berjalan atau jangkauan yang jauh
- ii. Utilitas operator dapat efektif dan efisien
- iii. Meminimalkan waktu untuk memegang material
- iv. Memaksimalkan keselamatan dan produktivitas operator
- v. Meminimalkan hal-hal yang berbahaya, kelelahan otot dan mata



Gambar 2.13. Space pada Workstation (Tompkins, et al., 1996)

b. *Kebutuhan Department*

Kebutuhan *space* pada departemen bukan hanya penjumlahan dari *space* tiap *workstation*. Kebutuhan *space* juga diperlukan untuk *tool*, *dies*, *maintenance equipment*, *plant services*, *housekeeping items*, *storage area*, *operator*, *spare part*, *kanban boards*, dan *andons* yang ada pada tiap departemen (Tompkins, et al., 1996). Kebutuhan *aisle* digunakan untuk *material handling* di dalam departemen. *Aisle* membutuhkan kelonggaran jalan sesuai dengan beban material seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Aisle Allowance Estimation (Tompkins, et al., 1996)

Jika beban material terbesar adalah	Presentase Kelonggaran Aisle*
Kurang dari 6 ft ²	5-10
Antara 6 sampai 12 ft ²	10-20
Antara 12 sampai 18 ft ²	20-30
Lebih dari 18 ft ²	30-40

*Presentase dari area yang dibutuhkan untuk peralatan, material dan operator.

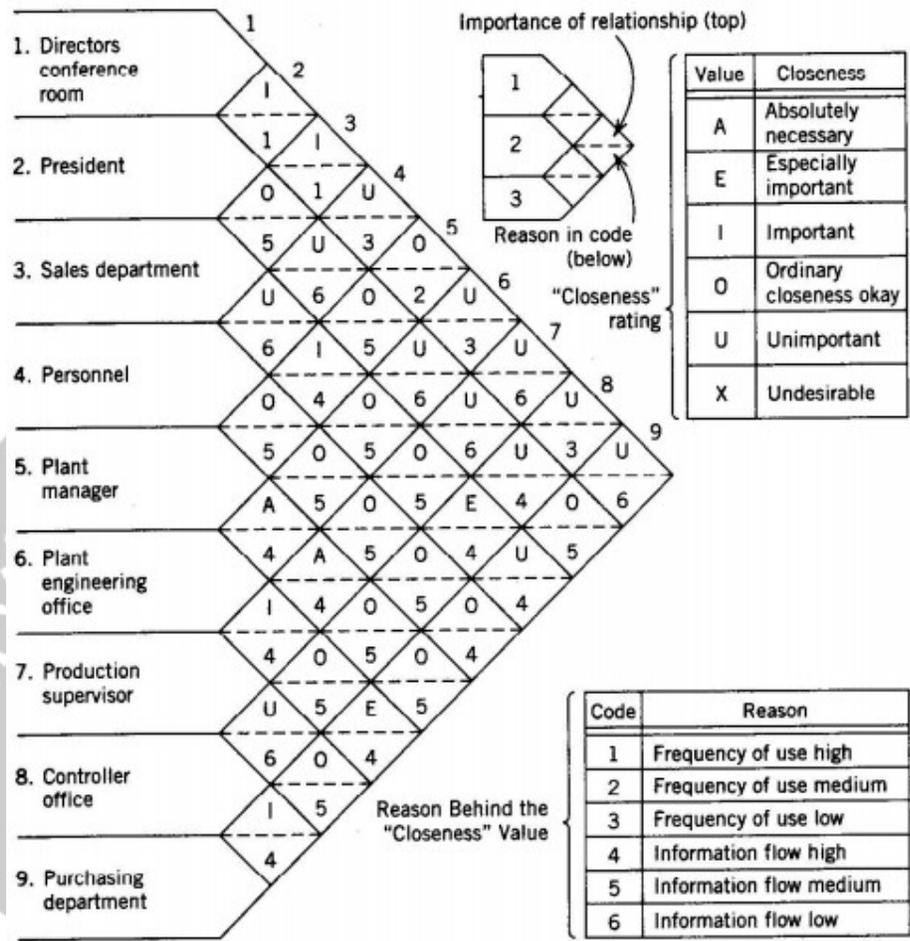
2.7. Activity Relationship Chart

Activity Relationship Chart (ARC) merupakan pendekatan secara kualitatif untuk menyelesaikan permasalahan tata letak. *ARC* menggunakan pendekatan dengan melihat hubungan kedekatan setiap pasangan fasilitas. Hubungan kedekatan fasilitas memiliki peringkat kedekatan yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3. Peringkat Kedekatan

A	<i>Absolutely necessary</i>
E	<i>Especially important</i>
I	<i>Important</i>
O	<i>Ordinary</i>
U	<i>Unimportant</i>
X	<i>Undesirable</i>

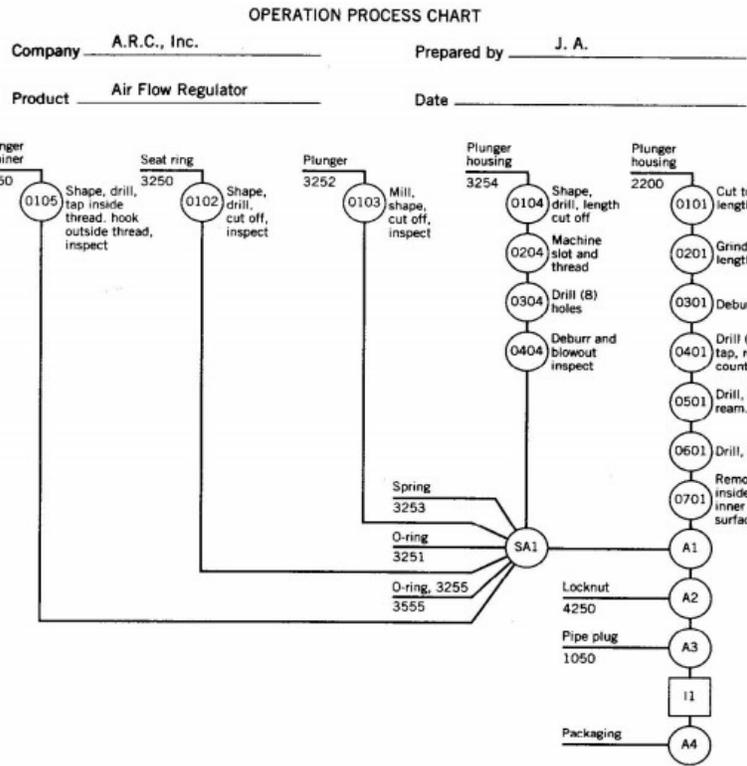
Peringkat kedekatan pada Tabel 2.3 memperlihatkan tingkat pentingnya pasangan fasilitas untuk didekatkan ataupun dijauhkan. A, E, I dan O merupakan tingkat yang mendukung agar pasangan fasilitas diletakkan berdekatan, dan U merupakan tingkat yang tidak memperlakukan tingkat kedekatan antara tiap-tiap fasilitas, sedangkan X merupakan tingkat yang menunjukkan bahwa fasilitas tersebut tidak boleh berdekatan. Pada peringkat A, E, I, O dan X dibutuhkan alasan yang membuat fasilitas tersebut harus didekatkan ataupun dijauhkan. Alasan kedekatan memiliki tiga poin faktor yang dapat dilihat yaitu keterkaitan produksi, keterkaitan manusia dan aliran informasi. Gambar 2.14 menunjukkan contoh dari *ARC*. Tiap pasangan fasilitas diberikan alasan kedekatan pada kotak yang terbagi menjadi dua bagian yaitu bagian atas dan bawah. Bagian atas diisi peringkat kedekatan dan bagian bawah diisi alasan mengapa memiliki peringkat kedekatan tersebut.



Gambar 2.14. Activity Relationship Chart (Tompkins, et al., 1996)

2.8. Operation Process Chart

Operation Process Chart merupakan salah satu peta kerja yang digunakan untuk menggambarkan urutan proses dalam produksi. Gambar 2.15 merupakan salah satu contoh OPC. Product yang dibuat adalah Air Flow Regulator pada perusahaan A.R.C., Inc. dan dipetakan oleh J. A.



Gambar 2.15. Operation Process Chart (Tompkins, et al., 1996)

Pembuatan OPC dilakukan dengan menggunakan lambang-lambang seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Simbol OPC

Lambang	Keterangan
○	Operasi adalah suatu kegiatan yang dilakukan dimana benda kerja (material) mendapatkan suatu perubahan sifat, baik fisik maupun kimiawi.
□	Pemeriksaan adalah kegiatan memeriksa benda atau objek baik dari segi kualitas maupun kuantitas
▽	Penyimpanan terjadi ketika material akan disimpan dalam jangka waktu yang cukup lama.
◻	Simbol ini menerangkan ketika terjadi kegiatan proses dan pemeriksaan dalam waktu yang bersamaan.

2.9. Rank Order Clustering (ROC)

ROC merupakan sebuah algoritma dengan menentukan bilangan biner pada setiap baris dan kolom. Pengaturan dilakukan dengan urutan menurun sesuai dengan nilai bilangan biner pada baris maupun kolom. Langkah-langkah dalam algoritma ROC (notasi m dan n adalah jumlah mesin dan *part*) adalah sebagai berikut (Heragu, 1997):

Langkah 1: Berikan bobot bilangan biner (*binary weight*) dengan persamaan (2.1) pada setiap kolom j pada mesin.

$$BW_j = 2^{m-j} \quad (2.1)$$

Langkah 2: Menentukan *decimal equivalent* pada nilai bilangan biner untuk setiap baris i menggunakan persamaan (2.2).

$$DE_i = \sum_{j=1}^m 2^{m-j} a_{ij} \quad (2.2)$$

Langkah 3: Urutkan baris sesuai nilai dari *decimal equivalent* secara menurun dari angka tertinggi sampai terendah. Jika tidak ada lagi yang bisa diurutkan maka lanjut ke langkah 4.

Langkah 4: Berikan bobot bilangan biner (*binary weight*) dengan persamaan (2.3) pada setiap baris i pada mesin.

$$BW_i = 2^{n-i} \quad (2.3)$$

Langkah 5: Menentukan *decimal equivalent* pada nilai bilangan biner untuk setiap kolom j menggunakan persamaan (2.4).

$$DE_j = \sum_{i=1}^n 2^{n-i} a_{ij} \quad (2.4)$$

Langkah 6: Urutkan baris sesuai nilai dari *decimal equivalent* secara menurun dari angka tertinggi sampai terendah. Jika tidak ada lagi yang bisa diurutkan, maka berhenti.

2.10. Direct Cluster Algorithm (DCA)

DCA merupakan algoritma berdasarkan pengurutan yang hampir mirip dengan ROC. Langkah-langkah dalam DCA adalah sebagai berikut:

Langkah 1: Jumlahkan setiap angka 1 yang terdapat pada baris maupun kolom

Langkah 2: Urutkan baris dengan jumlah nilai terbesar hingga terkecil dari atas ke bawah dan urutkan kolom dengan jumlah nilai terkecil hingga terbesar dari kiri ke kanan.

Langkah 3: Urutkan kolom mulai dari baris pertama hingga terakhir sehingga membentuk blok 1

Langkah 4: Urutkan baris mulai dari kolom pertama hingga terakhir sehingga membentuk blok 1

Langkah 5: Bentuk sel sedemikian mungkin pada mesin. Jika tidak ada lagi yang bisa diurutkan untuk membentuk blok 1 maka berhenti.

2.11. Bond Energy Algorithm (BEA)

BEA adalah suatu algoritma heuristik untuk memaksimalkan jumlah ikatan energi pada setiap elemen (i, j). Ikatan energi terbesar akan menjadi sel pertama yang akan didapati. Secara matematis, BEA akan memaksimasi persamaan (2.5).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij} [a_{i,j+1} + a_{i,j-1} + a_{i+1,j} + a_{i-1,j}] \quad (2.5)$$

Dari persamaan (2.5), didapati bahwa $a_{0,j} = a_{n+1,j} = a_{i,0} = a_{i,m+1} = 0$. Langkah-langkah pada BEA adalah sebagai berikut (Heragu, 1997):

Langkah 1: Atur $i = 1$. Pilih baris secara acak

Langkah 2: Letakkan setiap sisa baris $n - i$ baris pada setiap posisi $i + 1$ dan tentukan *Row Bond Energy (RBE)* pada setiap peletakan menggunakan persamaan (2.6). Kemudian pilih baris dengan nilai *RBE* tertinggi untuk diletakkan pada peletakan berikutnya.

$$\sum_{i=1}^{i+1} \sum_{j=1}^m a_{ij} (a_{i-1,j} + a_{i+1,j}) \quad (2.6)$$

Langkah 3: Atur $i = i + 1$. Jika $i < n$, kembali ke langkah 2, jika sebaliknya maka lanjut ke langkah 4

Langkah 4: Atur $j = 1$. Pilih kolom secara acak

Langkah 5: Letakkan setiap sisa kolom $m - j$ kolom pada setiap posisi $j + 1$ dan tentukan *RBE* pada setiap peletakan menggunakan persamaan (2.7). Kemudian pilih kolom dengan nilai *RBE* tertinggi untuk diletakkan pada peletakan berikutnya.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{j+1} a_{ij} (a_{i,j-1} + a_{i,j+1}) \quad (2.7)$$

Langkah 6: Atur $j = j + 1$. Jika $j < m$ maka kembali ke langkah 5, jika sebaliknya maka berhenti.

2.12. Cluster Identification Algorithm (CIA)

CIA digunakan untuk memeriksa adanya kemungkinan untuk menggonta-ganti *cluster* yang terpisah pada tabel matriks untuk mengetahui apakah kedua *cluster* dapat digabung. Langkah-langkah dalam CIA adalah sebagai berikut (Kusiak, 1990):

Langkah 1: Atur nomor iterasi $k = 1$

Langkah 2: Pilih salah satu baris i pada matriks $A^{(k)}$ dan gambar garis horizontal h_i pada baris tersebut.

Langkah 3: Pada setiap angka 1 yang dikenai oleh garis horizontal, maka gambar garis vertikal v_j .

Langkah 4: Pada setiap angka 1 yang dikenai oleh garis vertikal, maka gambar garis horizontal h_k .

Langkah 5: Lakukan langkah 3 dan 4 sampai tidak ditemukan lagi angka 1 yang dilewati garis. Setiap angka yang dilewati garis horizontal dan vertikal masukkan dalam *machine cell MC-k* dan *part family PF-k*.

Langkah 6: Jika matriks $A^{(k+1)} = 0$ maka stop. Sebaliknya, atur $k = k + 1$ dan kembali ke langkah 2.

2.13. Similarity Coefficient (SC) Methods

SC merupakan metode untuk melakukan pembentukan *MC* dengan melihat kemiripan mesin ataupun *part*. Awalnya, setiap mesin akan berada pada selnya masing-masing. Kemudian dilakukan perhitungan pada nilai SC untuk mendapatkan nilai kemiripan pada pasangan mesin atau *part* tersebut dengan menggunakan rumus (2.8).

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ki}a_{kj}}{\sum_{k=1}^n (a_{ki}+a_{kj}-a_{ki}a_{kj})} \quad (2.8)$$

Dimana $a_{ki} = 1$ jika *part* k membutuhkan diproses pada mesin i
0 jika sebaliknya

Langkah-langkah dalam metode SC adalah sebagai berikut (Heragu):

Langkah 1: Pasangkan setiap mesin dengan mesin lainnya. Kemudian hitung *SC Value* dengan menggunakan rumus (2.8).

Langkah 2: Pilih *threshold value* terbesar untuk dipasangkan. Pasangan yang telah didapatkan digabungkan menjadi satu untuk setiap mesin yang memiliki kemiripan. Jika masih *threshold value* > 0 lakukan kembali langkah 1, sebaliknya maka berhenti.

2.14. Row & Column Masking (R&CM)

R&CM berawal dari pemilihan baris secara acak kemudian menutupi semua kolom yang memilih angka 1 pada baris tersebut. Kemudian setiap kolom akan menutupi setiap baris yang memilih angka 1. Prosedur ini akan terus berjalan sampai tidak ada lagi kemungkinan untuk mendapatkan baris dan kolom yang belum tertutupi (*unmasked*). Langkah-langkah pada metode *R&CM* adalah sebagai berikut (Heragu, 1997):

Langkah 1: Gambar garis horisontal pada baris pertama. Pilih angka 1 pada matriks yang memiliki hanya angka 1.

Langkah 2: Jika angka tersebut memiliki garis horisontal, maka lanjut ke langkah 2a, jika angka tersebut memiliki garis vertikal, maka lanjut ke langkah 2b.

Langkah 2a: Gambar garis vertikal pada kolom yang memiliki angka 1

Langkah 2b: Gambar garis horisontal pada baris yang memiliki angka 1

Langkah 3: Jika masih ada angka 1 yang hanya dikenai oleh 1 garis maka pilih dan kembali ke langkah 2. Lakukan berulang sampai tidak ada lagi didapati angka 1. Identifikasi setia *MC* dan *PF*. Lanjut ke langkah 4.

Langkah 4: Pilih baris yang belum memiliki garis. Gambar garis horisontal dan pilih angka 1 yang dilewati 1 garis dan kembali ke langkah 2, jika tidak ada baris yang dapat diberi garis, maka berhenti.

2.15. Mathematical Programming

Banyak model pada *mathematical programming* dibentuk pada *group technology* berdasarkan pengukuran jarak d_{ij} antara *part* i dan j . *Hamming distance measure* merupakan salah satu pengukuran yang dilakukan untuk menggunakan model matematis. *Hamming distance measure* bertujuan untuk mengukur jarak

ketidakmiripan antar tiap *part*. Persamaan (2.9) merupakan persamaan *hamming distance measure* (Kusiak, 1990).

$$d_{ij} = \sum_{k=1}^m \delta(a_{ki}, a_{kj}) \quad (2.9)$$

Dimana, $\delta(a_{ki}, a_{kj}) = 1$ jika $a_{ki} \neq a_{kj}$
 0 jika sebaliknya

Hasil pengukuran jarak d_{ij} akan digunakan dalam model matematis. Salah satu modelnya adalah model *p-median*. Model *p-median* memiliki fungsi tujuan pada persamaan (2.10) dengan kendala pada (2.11), (2.12), (2.13), dan (2.14).

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \quad (2.10)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad \text{Untuk semua } i = 1, \dots, n \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = p \quad (2.12)$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad \text{Untuk semua } i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.13)$$

$$x_{ij} \leq 0,1 \quad \text{Untuk semua } i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, n \quad (2.14)$$

Keterangan:

m = Jumlah mesin

n = Jumlah *parts*

p = Jumlah *part families*

$x_{ij} = 1$ jika *part* i termasuk *part family* j

0 jika sebaliknya

d_{ij} = jarak antara *parts* i dan j

2.16. Grouping Efficacy dan Grouping Efficiency

Grouping efficacy dan *Grouping Efficiency* digunakan sebagai ukuran performansi konfigurasi suatu sel. Persamaan *grouping efficacy* dapat dilihat pada persamaan (2.15) dan *grouping efficiency* pada persamaan (2.16).

$$\tau = \frac{o-e}{o+v} \quad (2.15)$$

$$\eta = \frac{o-e}{o-e+v} \quad (2.16)$$

Keterangan:

o = Jumlah *input* 1 dalam matriks hasil analisis

e = banyaknya *exception element* dalam matriks hasil analisis

v = jumlah *void* dalam matriks hasil analisis

Jika tidak ada *exception element* dan *void* maka nilai $\eta = 1$ atau 100% yang berarti *cluster* terbentuk sempurna.

2.17. Pengukuran Jarak

Terdapat 3 cara untuk melakukan pengukuran jarak yaitu *euclidean*, *squared euclidean*, dan *rectilinear*. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan koordinat sumbu x maupun y. Beberapa notasi yang akan digunakan pada *euclidean*, *square euclidean*, dan *rectilinear*:

- x_i = Koordinat pada sumbu x pada fasilitas i
- x_j = Koordinat pada sumbu x pada fasilitas j
- y_i = Koordinat pada sumbu y pada fasilitas i
- y_j = Koordinat pada sumbu y pada fasilitas j
- d_{ij} = Jarak antara fasilitas i dan j

a. *Euclidean*

Euclidean adalah mengukur dengan menarik garis lurus antar fasilitas i terhadap fasilitas j. Pengukuran ini mudah dimengerti namun sulit untuk diaplikasikan pada beberapa kasus. Persamaan (2.17) menunjukkan pengukuran menggunakan *euclidean* (Heragu, 1997).

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{0.5} \quad (2.17)$$

b. *Squared Euclidean*

Seperti namanya, *squared euclidean* merupakan pangkat dua dari *euclidean*. Persamaan (2.18) menunjukkan pengukuran menggunakan *squared euclidean* (Heragu, 1997).

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2] \quad (2.18)$$

c. *Retilinear*

Rectilinear juga biasa disebut dengan *The Manhattan, right-angle*, atau *rectangular metric*. Ini biasa digunakan karena kemudahan dalam menghitung, mudah untuk dipahami, dan biasa sesuai dengan masalah-masalah yang biasa dihadapi. Persamaan (2.19) menunjukkan pengukuran menggunakan *rectilinear* (Heragu, 1997).

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j| \quad (2.19)$$