

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka berupa tahapan yang digunakan sebagai proses untuk mempelajari literatur penelitian yang sudah diterbitkan dan memiliki konsep penelitian serupa. Tujuan dari penyusunan tinjauan pustaka, yaitu untuk melakukan penelusuran akar masalah yang lebih matang dari penelitian yang dilakukan, membangkitkan alternatif solusi, dan memberikan gambaran mengenai teknik atau metode yang digunakan. Pada tahapan ini dilakukan pencarian literatur bereputasi yang terakreditasi internasional.

2.1.1. Tinjauan Pustaka Pembangkitan Masalah

Azamfirei, dkk (2023) menyebutkan bahwa industri manufaktur saat ini mengutamakan *sustainability* sehingga perlu adanya minimalisir limbah produksi dengan fokus *Zero Defect Manufacturing* (ZDM) sehingga perlu dilakukan peningkatan kualitas pada aspek manufaktur seperti produk, proses, *service*, dll. Menurut Psarommatis, dkk (2019), produk cacat dapat dihasilkan pada tahapan awal melakukan proses produksi yang akan disebarkan dan diperkuat pada proses selanjutnya. Jika tidak dideteksi penyebab *defect* maka *product defect* dapat ditemukan pada tahapan pemakaian sehingga perlu dilakukan minimalisir *product defect* dengan mengumpulkan informasi mengenai material, proses produksi, mesin dan *tools* yang digunakan, serta pengendalian kualitas yang pada akhirnya diterjemahkan pada biaya produksi.

Hanggara (2020) melihat adanya kemungkinan pengembangan industri kecil Big Boy Bakery, salah satu permasalahan yang terjadi adalah jalur produksi yang tidak sistematis sehingga akan berpengaruh pada kelancaran produksi. Usulan tata letak yang dipilih mengutamakan jarak aliran proses dan tingkat interaksi departemen sehingga aliran produksi lebih sistematis dan meningkatnya efisiensi produksi. Menurut Erik dan Kuvvetli (2021) permasalahan yang perlu untuk diperhatikan adalah aliran material antar departemen. Hal tersebut berpengaruh pada hasil tata letak fasilitas yang menghasilkan keefisienan aliran material. Selain itu, menurut Buranasing dan Choomlucksana (2018), mencari dan melakukan perbaikan disetiap proses dapat dilakukan jika terdapat *flow process* produksi yang konsisten untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada sehingga proses

produksi dapat berjalan lebih baik. Dengan melihat permasalahan terkait dengan tata letak fasilitas produksi dan *flow proses* produksi perlu dilakukan penanganan sehingga ketidaklancaran aliran produksi dapat diminimalisir atau dihilangkan.

2.1.2. Tinjauan Pustaka Pembangkitan Alternatif Solusi

Gujar dan Shahare (2018) menyebutkan upaya yang dapat dilakukan untuk menyikapi permasalahan adanya waktu dan tenaga ekstra sehingga akan berpengaruh pada biaya produksi serta tingkat kelelahan pekerja yang meningkat adalah dengan menggunakan *tools Work Study* yang mempertimbangkan permasalahan terkait dengan *Flow Process Chart*, *Flow Diagram*, dan tata letak. Selain itu, Ewnetu dan Gzate (2023) menyatakan faktor yang menjadi penyebab rendahnya produktivitas industri berkaitan dengan manusia, metode, proses, pengendalian, dan produk. Upaya yang dilakukan untuk meningkatkan produktivitas adalah dengan melakukan kombinasi *tools lean* dan *Work Study*. Penggunaan metode tersebut terkait dengan standarisasi waktu dan metode kerja, penyeimbangan lini produksi, serta perbaikan Kaizen dan 5S.

Bassim dan Al-Kindi (2020) menyatakan waktu dalam melakukan *material handling* yang lama akan berdampak pada bertambahnya waktu produksi dan berkurangnya produktivitas. Forghani, dkk (2021) menyebutkan jika fasilitas produksi yang efisien dapat berpengaruh pada aliran perpindahan material. Perlu dilakukan perancangan jarak antar departemen sehingga berpengaruh pada meningkatnya keamanan, fleksibilitas, aliran material dan pekerja, serta pemanfaatan ruangan secara efisien

2.1.3. Tinjauan Pustaka Metode

Buchari, dkk (2018) melakukan penelitian dengan permasalahan yang ditemukan, yaitu adanya perbedaan waktu siklus antar stasiun kerja dan pola aliran material yang tidak beraturan yang mengakibatkan perpindahan material dengan jarak yang lebih jauh. Tujuan dari penelitian ini adalah menyeimbangkan lini produksi dengan cara memperoleh tata letak fasilitas produksi terbaik dengan menggunakan metode *Ranking Positional Weight* (RPW) untuk penyeimbangan dan *Systematic Layout Planning* (SLP) untuk perancangan tata letak. Potadar dan Kadam (2019) menyebutkan jika parameter penting yang digunakan untuk meningkatkan tata letak fasilitas adalah hubungan antar departemen. Dengan demikian, dilakukan analisis *layout* atau tata letak dengan memperhatikan dan mempertimbangkan pemeringkatan hubungan antar departemen. Selain itu,

perancangan tata letak perlu dilakukan pemanfaatan penggunaan *space* tersedia sehingga menghasilkan usulan tata letak fasilitas produksi yang meminimalkan biaya aliran internal (material) dan eksternal (transportasi), meminimalkan jumlah bengkel, dan memaksimalkan pemanfaatan lantai *workshop* (Guan, dkk., 2019). Menurut Elahi (2021), perancangan tata letak fasilitas produksi yang tidak dirancang dengan baik dapat mengakibatkan adanya *back-tracked material* yang menyebabkan adanya penambahan waktu produksi. Penempatan fasilitas produksi yang tidak optimal terjadi karena penempatan mesin dan peralatan yang dibeli diletakkan di mana pun ada ruangan untuk menempatkannya.

Devi (2020) melakukan penelitian yang berkaitan dengan perancangan perbaikan *layout* di CFSMI Kemasan. Permasalahan yang ditemukan di dalam penelitian tersebut adalah CFSMI Kemasan akan melakukan renovasi bangunan, tetapi peletakan mesin-mesinnya belum memperhatikan tingkat keterkaitannya. Perancangan *layout* dilakukan dengan menggunakan Metode *Mixed Modified SLP* yang dikembangkan menggunakan bantuan *Blocplan* dan *CRAFT*. Pemilihan tata letak didasarkan pada hasil *total cost* perpindahan bahan baku terendah yang diperoleh melalui *CRAFT* ruang kemasan sebesar 14.30 dan 10,265.67 pada ruang pembuatan kemasan.

Alimian, dkk (2021) melakukan penelitian berupa perancangan pembentukan sel dan penjadwalan grup pada *dynamic cellular manufacturing system* menggunakan metode integrasi dengan penelitian berjudul "*New Integration of Preventive Maintenance and Production Planning with Cell Formation and Group Scheduling for Dynamic Cellular Manufacturing System*". Aspek permasalahan yang terjadi dibedakan menjadi perencanaan pembentukan *cell*, penjadwalan kelompok, dan *Preventive Maintenance* (PM) dalam *Dynamic Cellular Manufacturing System* (CMS). Komponen biaya digunakan untuk membandingkan dua kondisi yang berbeda sampai diperoleh kesimpulan pentingnya penambahan keputusan perencanaan PM dalam memberikan keputusan taktis CMS, rencana produksi, dan konfigurasi sistem yang terbaik.

Tabel 2.1. Ringkasan Tinjauan Pustaka

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
1	<i>Application of Automation for In-Line Quality Inspection, a Zero-Defect Manufacturing Approach</i>	Victor Azamfirei, Foivos Psarommatis, dan Yvonne Lagrosen	2023	<i>Journal of Manufacturing System</i> , Vol. 67, pp. 1-22. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.010 , Q1	Minimalisir limbah produksi dengan fokus <i>Zero Defect Manufacturing</i> (ZDM)	<i>Product Defect</i> .	<i>Zero Defect Manufacturing</i>	Perlunya perhatian terkait dengan <i>product defect</i> [BAB 3]
2	<i>Zero Defect Manufacturing: State-of-The-Art Review, Shortcomings and Future Directions in Research</i>	Foivos Psarommatis, Gokan May, Paul-Arthur Dreyfus, dan Dimitris Kiritsis	2019	<i>International Journal of Production Research</i> , Vol. 58, pp. 1-17. DOI: https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1605228 , Q1	Penelitian untuk meningkatkan prinsip dan penerapan industri manufaktur dengan <i>Zero Defect Manufacturing</i> (ZDM)	Produk cacat dapat diperkuat pada proses selanjutnya jika tidak diidentifikasi penyebabnya.	<i>Zero Defect Manufacturing</i>	Perlunya perhatian terkait dengan <i>product defect</i> [BAB 3]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
3	<i>Facility Layout Planning in Small Industry Big Boy Bakery to Increase Efficiency</i>	Fuad Dwi Hanggara	2020	<i>Journal of Industrial Engineering Management</i> , Vol. 5, No. 2, pp. 72-81. DOI: http://dx.doi.org/10.33536/jiem.v5i2.571 , Q2	Perencanaan tata letak fasilitas produksi untuk meningkatkan aliran produksi yang lebih sistematis	Jalur produksi yang tidak sistematis sehingga berpengaruh pada kelancaran produksi	<i>Systematic Layout Planning</i>	Kelancaran proses produksi [BAB 3] Pentingnya informasi PPO [BAB 5] Pentingnya melakukan pemerinkatan hubungan antar departemen [BAB 5].
4	<i>Integration of Material Handling Devices Assignment and Facility Layout Problems</i>	Adem Erik dan Yusuf Kuvvetli	2021	<i>Journal of Manufacturing Systems</i> , Vol. 58, pp. 59-74, DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.11.015 , Q1	Perancangan tata letak dengan menghilangkan biaya tambahan	Perubahan aliran material berbeda antar departemen	<i>Heuristic Methods</i>	Aliran material antar departemen [BAB 3]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
5	<i>Lean Manufacturing and Work Study: Analysis and Integration in an Outbound Logistics Case Study</i>	Yotsuda Buranasing dan Juthamas Choomlucksa na	2018	<i>Journal of Engineering and Science Research</i> , Vol.2, pp. 17-25, DOI: 10.26666/rmp.je sr.2018.2.3	Peningkatan produktivitas dan kualitas produksi	Produktivitas dan <i>quality improvement</i>	<i>Lean Manufacturing</i> dan <i>Work Study</i>	Perbaikan aliran <i>flow process</i> produksi [BAB 3]
6	<i>Increasing in Productivity by Using Work Study in a Manufacturing Industry</i>	Shantideo Gujar dan Dr. Achal S. Shahare	2018	<i>International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)</i> , Vol 5, pp. 1982-1991.	Meningkatkan produktivitas dengan <i>Work Study</i>	Waktu dan tenaga ekstra.	<i>Work Study</i>	Standarisasi waktu dan metode kerja [BAB 3]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
7	<i>Assembly Operation Productivity Improvement for Garment Production Industry Through The Integration of Lean And Work-Study, A Case Study On Bahir Dar Textile Share Company in Garment, Bahir Dar, Ethiopia</i>	Mequanent Ewnetu dan Yewondwosen Gzate	2023	Heliyon, Vol. 9, pp. 1-13. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17917 , Q1	Meningkatkan produktivitas dengan kombinasi <i>tools Lean dan Work Study</i>	Produktivitas tidak optimal dan berkaitan dengan manusia, metode, proses, pengendalian, dan produk.	<i>Lean dan Work Study</i>	Rendahnya produktivitas atau ketidaklancaran aliran produksi [BAB 3] Standarisasi waktu dan metode kerja [BAB 3]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
8	<i>Redesign of Water Filter Workshop Using SLP</i>	Nrjis Bassim dan Luma A. Al-Kindi	2020	<i>Engineering and Technology Journal</i> , Vol.38, Part A (2020), No. 10, pp. 1430-1440. DOI: https://doi.org/10.30684/etj.v38i10A.564	Perencanaan tata letak <i>workshop</i> filter air untuk meningkatkan derajat keterkaitan fasilitas produksi	Jarak tempuh pada setiap departemen terlalu jauh	<i>Systematic Layout Planning</i>	Bertambahnya waktu produksi dan berkurangnya produktivitas produksi [BAB 3]
9	<i>Group Layout Design of Manufacturing Cells Incorporating Assembly and Energy Aspects</i>	Kamran Forghani, S. M. T., Fatemi Ghomi, dan Reza Kia	2021	<i>Engineering Optimization</i> , Vol. 54, pp. 770-785, DOI: https://doi.org/10.1080/0305215X.2021.1900155 , Q2	Pembentukan <i>Cell</i> dan tata letak dengan tujuan meminimalkan biaya penanganan material dan konsumsi energi listrik	Biaya penanganan material dan konsumsi energi listrik	<i>Cell Formation</i> dan <i>Group Layout</i>	Pengaruh fasilitas produksi efisien [BAB 3]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
10	<i>Production layout Improvement by Using Line Blancing and Systematic Layout Planning (SLP) at PT XYZ</i>	Buchari, U Tarigan, dan M.B. Ambarita	2018	<i>IOP Confrence Series: Materials Science and Engineering</i> , 309 (1), pp. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/309/1/012116	Perancangan tata letak fasilitas di PT XYZ	perbedaan waktu siklus antar stasiun kerja dan pola aliran material yang tidak beraturan	<i>Systematic Layout Planning</i> dan <i>Ranked Positional Weight (RPW)</i>	Tata letak fasilitas produksi dengan memperhatikan perpindahan material. [BAB 5]
11	<i>Development of Facility Layout for Medium-Scale Industry Using Systematic Layout Planning</i>	Onkar V. Potadar dan Ganesh S. Kadam	2019	<i>Proceedings of International Conference on Intelligent Manufacturing and Automation</i> , 2018, pp. 473-483. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-2490-1_43	Merancang ulang tata letak fasilitas produksi di industri <i>speaker</i>	Biaya transportasi yang tinggi	<i>Systematic Layout Planning</i>	Hubungan kedekatan antar departemen dengan menggunakan ARD [BAB 2] [BAB 5].

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
12	<i>Multi-Objective Particle Swarm Optimization for Multi-Workshop Facility Layout Problem</i>	Chao Guan, Zeqiang Zhang, Silu Liu, dan Juhua Gong	2019	<i>Journal of Manufacturing Systems</i> , Vol.53, pp. 32-48. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.09.004 , Q1	Merancang ulang tata letak <i>multi-workshop facility</i>	Penempatan departemen pada <i>workshop</i> yang masih tumpang tindih	<i>Multi-Objective Processing Methods and Particle Swarm Optimization (MOPSO)</i>	Pemanfaatan ketersediaan ruangan [BAB 6].
13	<i>Manufacturing Plant Layout Improvement: Case Study of a High-Temperature Heat Treatment Tooling Manufacturer in Northeast Indiana</i>	Behin Elahi	2021	<i>Reliability Engineering and System Safety</i> , Vol.53, pp.24-31. Q1	Merancang tata letak untuk menghindari adanya <i>back-tracked material</i> dan mengurangi jarak transportasi	Adanya <i>back-tracked material</i>	<i>Systematic Layout Planning</i>	<i>Back-tracked material</i> [BAB 2] dan [BAB 5]

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
14	Perancangan Tata Letak Fasilitas Produksi <i>Mixed Modified Systematic Layout Planning</i> di CFSMI Kemasan Yogyakarta	Selvia Devi	2020	Tugas Akhir Teknik Industri UAJY	Merancang tata letak fasilitas produksi di CFSMI Kemasan sebagai rencana renovasi bangunan	Akan diadakannya renovasi bangunan, tetapi belum memperhatikan peletakan mesin-mesinnya	<i>Mixed Modified Systematic Layout Planning</i>	<i>Mixed Modified Systematic Layout Planning</i> [BAB 2] dan [BAB 5]. Pengembangan hasil rancangan tata letak fasilitas produksi [BAB 6].

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis	Tahun	Sumber	Perbandingan dengan Penelitian			
					Tujuan	Permasalahan	Metode	Informasi yang Digunakan
15	<i>New Integration of Preventive Maintenance and Production Planning with Cell Formation and Group Scheduling for Dynamic Cellular Manufacturing System</i>	Mahyar Alimian, Vahidreza Ghezavati, dan Reza Tavakkoli-Moghaddam	2020	<i>Journal of Manufacturing System</i> , Vol. 56, pp. 341-358. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.06.011 , Q1	Perancangan pembentukan <i>cell</i> , penjadwalan kelompok, dan <i>Preventive Maintenance</i> (PM) dalam <i>Dynamic Cellular Manufacturing System</i> (CMS)	Meminimalkan biaya penanganan material antar <i>cell</i> , kapasitas ukuran lot, urutan dan waktu penyelesaian yang sesuai, waktu penerapan <i>Preventive Maintenance</i> (PM)	Metode Terintegrasi	Tujuan pengelompokan mesin pada <i>Cellular Manufacturing</i> [BAB 3].

2.2. Dasar Teori

Dasar teori merupakan sebuah landasan pengetahuan yang digunakan sebagai dasar sebuah penelitian yang mencakup prinsip dasar, konsep, dan teori yang relevan untuk menyelesaikan permasalahan yang diteliti. Sub Bab 2.2 merupakan penjelasan mengenai dasar teori terkait dengan perancangan tata letak fasilitas produksi.

2.2.1. Pengertian Tata Letak Fasilitas

Menurut Stephens dan Meyers (2013), tata letak fasilitas adalah pengorganisasian sebuah perusahaan yang mencakup lokasi, desain bangunan, tata letak, serta *material handling system*. Tata letak fasilitas menentukan produktivitas dan profitabilitas perusahaan dilihat dari efisiensi serta efektivitas dari operasi yang dilakukan. Tata letak fasilitas perlu dilakukan *continunous improvement* untuk mendapatkan desain fasilitas yang terbaik. Perubahan terjadi rata-rata setiap 18 bulan karena adanya penyesuaian terhadap metode, bahan, desain produk, dan proses yang digunakan.

Menurut Tompkins, dkk (2010), tujuan dari tata letak fasilitas yang harus dimiliki adalah mencapai metode paling efektif dalam hal penanganan material, personel, pemanfaatan peralatan, pengurangan *inventories*, dan peningkatan kualitas sehingga terjadi peningkatan produktivitas serta meminimalkan biaya dengan mengurangi atau menghilangkan gerakan-gerakan yang tidak diperlukan.

2.2.2. Faktor Dasar Tata Letak Fasilitas

Proses perancangan fasilitas merupakan proses yang harus dilakukan secara berulang atau *continuous improvement*. Tim perencanaan atau perancangan fasilitas perlu melakukan interaksi dengan proses perancangan produk, proses yang dilakukan, jadwal produksi, dan manajemen untuk melakukan identifikasi permasalahan. Menurut Tompkins, dkk (2010), hal fundamental yang perlu untuk diperhatikan dalam perancangan dan perencanaan tata letak fasilitas produksi sistem aliran (*flow system*), hubungan aktivitas (*activity relationship*), dan ruang (*space*).

A. Sistem Aliran (*Flow System*)

Sistem aliran merupakan salah satu aspek penting dalam melakukan perancangan tata letak fasilitas. Analisis aliran mempertimbangkan seluruh pergerakan manusia, material, barang, informasi, dan energi dalam melakukan perpindahan

di lantai pabrik dengan kriteria tertentu. Menurut Stephens dan Meyers (2013) kriteria sistem aliran yang harus diperhatikan adalah sebagai berikut:

i. *Cross Traffic*

Cross traffic atau alur perpotongan merupakan lalu lintas pada tata letak fasilitas produksi. Adanya *cross traffic* pada tata letak fasilitas produksi akan menjadi pertimbangan karena sering terjadi permasalahan keselamatan dan kemacetan.

ii. *Backtracking*

Backtracking atau alur balik merupakan material yang mengalami pergerakan mundur dalam proses manufaktur. Material yang mengalami pergerakan mundur akan membutuhkan biaya tiga kali lipat jika dibandingkan dengan material yang mengalir dengan benar. Selain peningkatan biaya, menurut Elahi (2021) adanya *backtracking* dapat menyebabkan terjadinya penambahan waktu produksi.

iii. *Distance Traveled*

Distance traveled merupakan jarak perpindahan yang ditempuh antar departemen atau mesin. Pada proses perpindahan, dibutuhkan biaya untuk melakukan proses perpindahan tersebut sehingga semakin dekat jarak yang ditempuh maka kategori tata letak fasilitas produksi semakin baik.

Selain itu, terdapat prinsip dari sistem aliran, yaitu meminimalkan biaya sistem aliran yang dapat dilihat dari perspektif menghilangkan dan meminimalkan sehingga dapat mempersingkat sistem aliran. Fokus sistem aliran dapat dilihat dari perspektif sebagai berikut.

i. Aliran di dalam *Workstations*

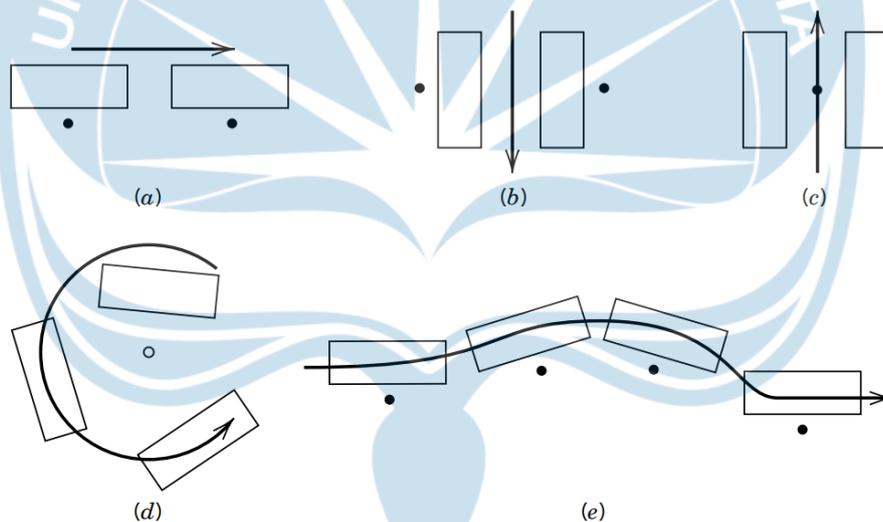
Aliran dalam *workstations* mengarah pada arus pekerjaan atau tugas tertentu di dalam *workstations* yang didesain untuk mendukung aktivitas tersebut. Aliran dalam *workstations* dapat bervariasi yang disesuaikan dengan kebutuhan dan pekerjaan yang harus dilakukan, tetapi umumnya memiliki prinsip *motion studies* dan ergonomi dalam menentukan rancangan aliran di dalam stasiun kerja. Contoh aliran yang baik adalah aliran yang simultan, simetris, ritmis, alami, dan kebiasaan atau sesuai dengan sifat manusia.

ii. Aliran di dalam Departemen

Aliran dalam departemen mengacu pada aktivitas yang dilakukan dalam suatu departemen. Pola aliran yang dirancang tergantung pada jenis departemennya. Pola aliran merupakan keseluruhan aliran dari tahap *receiving* sampai ke tahap

shipping yang didalamnya terdapat tahapan perubahan material sampai ke produk jadi, sedangkan jenis departemen dapat dibedakan menjadi *product departement*, *process departement*, *family departement*, dan *fixed location material departement*.

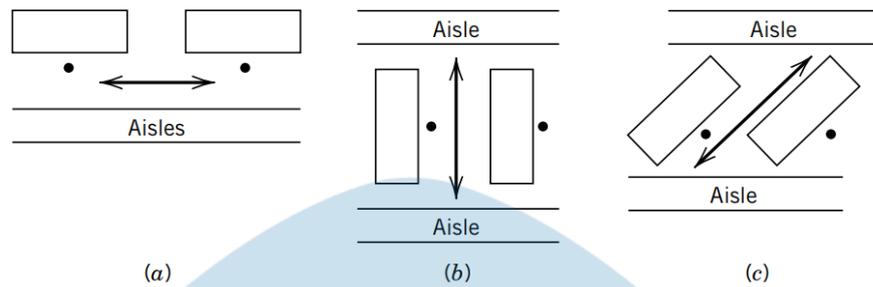
Aliran *product departement* merupakan tata letak fasilitas produksi yang memiliki pola aliran mesin, peralatan, dan pekerjaan yang disesuaikan dengan urutan aliran produksi produk tertentu. Pada umumnya, aliran *product departement* dirancang untuk mendukung produksi secara massal dengan volume yang tinggi dan karakteristik produk seragam. Pola aliran *product departement* pertama adalah satu operator – satu stasiun kerja dengan pola (a) *end – to – end*, (b) *back – to – back*, dan (e) *odd – angle*. Pola aliran selanjutnya, yaitu satu operator dengan dua stasiun kerja dengan menggunakan pola aliran tipe (c) *front – to – front* dan satu operator dengan lebih dari dua stasiun kerja dengan pola tipe (d) *circular*. Gambar 2.1 merupakan gambar pola aliran *product departement*.



Gambar 2.1. Pola Aliran *Product Departement* (Tompkins, dkk, 2010)

Aliran *process departement* merupakan *layout* yang disusun berdasarkan fungsi dari mesin dan peralatan. Pada *process departement*, mesin dan peralatan ditempatkan dengan memperhatikan area stasiun kerja, ketersediaan *space*, dan ukuran material yang dipindahkan sehingga produk dapat diproses melalui tahapan produksi yang disesuaikan dengan kebutuhan penggunaan mesin dan peralatannya. Perancangan *process departement* pada umumnya memiliki variasi produk yang tinggi. Pola aliran *process departement*, yaitu (a) *parallel*, (b)

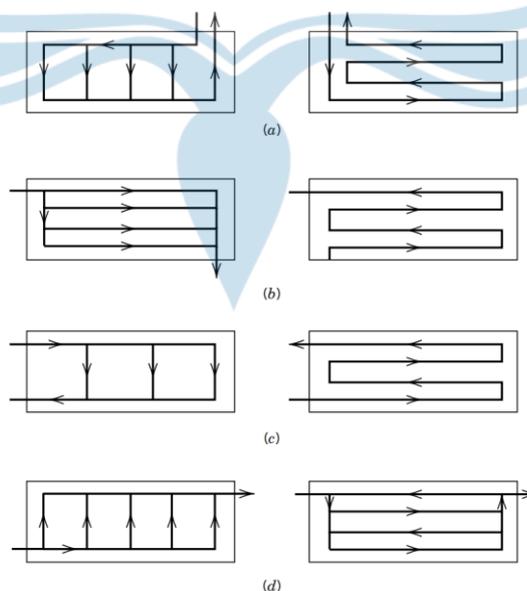
perpendicular, dan (c) *diagonal*. Gambar 2.2 merupakan gambar pola aliran *process departement*.



Gambar 2.2. Pola Aliran *Process Departement* (Tompkins, dkk, 2010)

iii. Aliran antar Departemen

Aliran antar departemen merupakan kriteria untuk melakukan evaluasi pada keseluruhan aliran pada sebuah fasilitas. Pertimbangan yang harus diperhatikan, yaitu posisi pintu masuk (*entrance*) sebagai *receiving* dan posisi pintu keluar (*exit*) sebagai *shipping*. Berdasarkan pertimbangan posisi *entrance* dan *exit*, pola aliran dibedakan menjadi (a) sisi sama (*at the same location*), (b) sisi bersebelahan (*on adjacent sides*), (c) sisi sama, berlawanan arah (*on the same side*), dan (d) sisi berlawanan (*on opposite sides*). Gambar 2.3 menunjukkan pola aliran antar departemen yang dibedakan berdasarkan posisi *entrance* dan *exit*.



Gambar 2.3. Pola Aliran antar Departemen Berdasarkan Posisi *Entrance* dan *Exit* (Tompkins, dkk, 2010)

B. Hubungan Aktivitas (*Activity Relationship*)

Hubungan aktivitas merupakan elemen yang terpenting untuk mengevaluasi perancangan tata letak fasilitas. Hal ini menjadi penting karena evaluasi yang dilakukan mempertimbangkan keterkaitan antar aktivitas pada fasilitas/departemen/mesin satu terhadap fasilitas/departemen/mesin yang lain. Keterkaitan yang dimaksud berhubungan dengan aliran material, manusia, dan informasi. Pengukuran aliran untuk menentukan hubungan aktivitas setiap fasilitas dibedakan menjadi dua, yaitu kuantitatif dan kualitatif.

Pengukuran kuantitatif dilakukan dengan menggunakan *tools From to Chart* (FTC) dengan analisis yang diberikan, yaitu *Moment Handling*, *String Diagram*, dan *Multicolumn Proces Chart*, sedangkan pengukuran kualitatif dilakukan dengan menggunakan *tools Rel Chart* dengan analisis *Point Scoring System*.

C. Ruang (*Space*)

Space merupakan salah satu faktor dasar tata letak fasilitas yang digunakan dalam mempertimbangkan *lot size*, sistem penyimpanan, jenis dan ukuran alat produksi yang digunakan, perancangan tata letak fasilitas produksi dan area pelayanan, serta alat yang digunakan untuk melakukan penanganan material. *Space* merupakan penentu paling sulit pada perancangan fasilitas karena berkaitan dengan penentuan jumlah ruangan yang dibutuhkan dengan pertimbangan teknis *shape*, *size*, dan *space*. Menurut Tompkins, dkk (2010), proses perancangan tata letak fasilitas, terdapat sasaran klasifikasi kebutuhan *space* yang perlu diperhatikan sebagai berikut:

i. Area Peralatan

Area peralatan harus mempertimbangkan beberapa hal sehingga tetap dapat digunakan untuk melakukan operasi tertentu pada stasiun kerja:

- Tipe mesin atau alat yang digunakan.
- Pergerakan maksimum mesin.
- Area *maintenance* mesin.
- Area *service* pabrik.

ii. Area Material

Area material perlu dipertimbangkan sehingga segala proses yang berkaitan dengan kebutuhan penanganan material mampu meningkat dari sudut pandang kemanan dan lokasi penyimpanan menjadi *central storage*.

- *Incoming*, *outgoing*, dan *in process material*.

- Area *waste* dan *scrap*.
- Area untuk melakukan *maintenance material*.

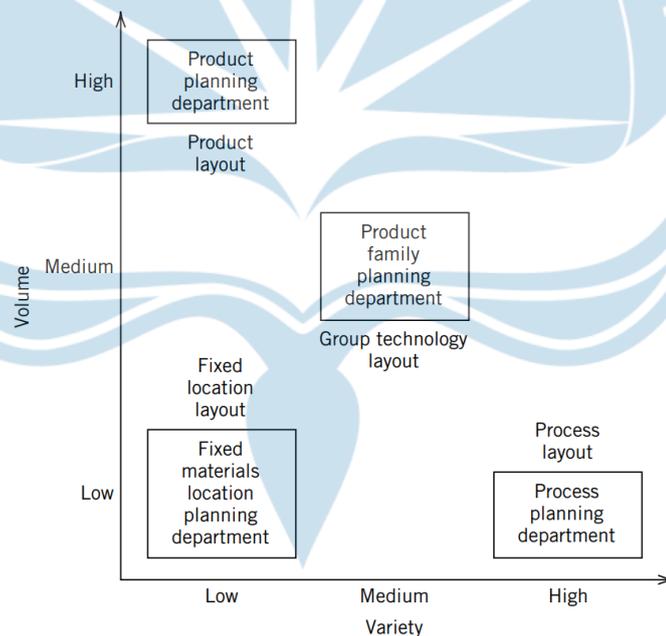
iii. Area Personel

Kebutuhan area personel merupakan area yang perlu dipertimbangkan menggunakan *motion study* dan *ergonomics study*.

- Kebutuhan *material handling*.
- Area bekerja operator mengoperasikan mesin atau *tools*.
- Area masuk dan keluar operator.

2.2.3. Departemental Planning

Perancangan tata letak fasilitas produksi dapat menggunakan mempertimbangkan *volume* dan *variety* dari proses produksi yang dilakukan. Melalui pertimbangan tersebut, dapat diperoleh tipe *layout* dengan kondisi terbaik untuk diimplementasikan. Gambar 2.4 merupakan gambar dari klasifikasi tata letak fasilitas produksi berdasarkan *volume* dan *variety*.



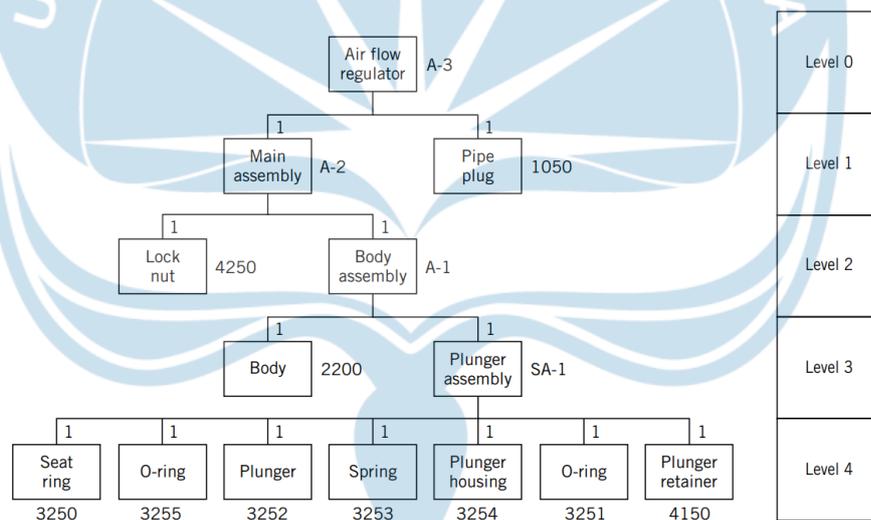
Gambar 2.4. Klasifikasi Tata Letak Fasilitas Produksi Berdasarkan *Volume* dan *Variety* (Tompkins, dkk, 2010)

Fixed layout merupakan tata letak fasilitas produksi yang digunakan jika penanganan material diletakkan pada tempat yang tetap. *Process layout* merupakan tata letak fasilitas produksi yang memiliki pengelompokan mesin dan peralatan dengan fungsi yang sama sehingga setiap produk memiliki rute proses

operasi yang berbeda. *Product layout* merupakan tata letak fasilitas produksi dengan mesin dan peralatan yang disusun berdasarkan *flow process* produk yang diproduksi. *Group technology layout* merupakan tata letak fasilitas produksi dengan melakukan pengelompokan mesin atau peralatan dalam suatu sel yang tugasnya disesuaikan dengan proses produksi produk yang sudah dikelompokkan dalam suatu *product family*.

2.2.4. Bill of Material (BOM)

Menurut Tompkins, dkk (2010), *Bill of Material* (BOM) merupakan *tools* yang berisi informasi terkait dengan struktur produk dan berbentuk hierarki pada tingkat produk dirakit. BOM terdiri dari beberapa level, arti dari level 0 adalah *finish good*, level 1 pada BOM merupakan produk *sub-assembly* atau *part* yang akan di-assembly pada level 0, level 2 merupakan produk *sub assembly* atau *part* yang akan di-assembly pada level 1, dan begitu seterusnya. Gambar 2.5 merupakan gambar dari *Bill of Material*.



Gambar 2.5. Bill of Material (Tompkins, dkk, 2010)

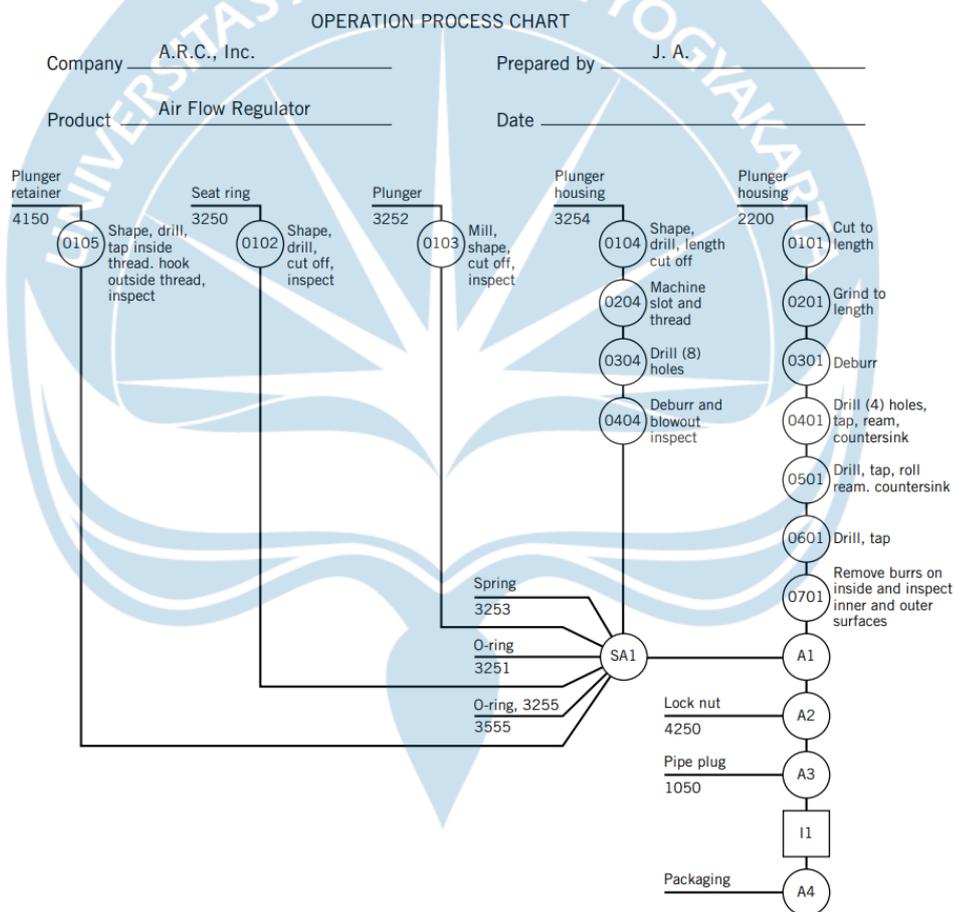
2.2.5. Operation Process Chart (OPC)

Menurut Heragu (2008), *Operation Process Chart* (OPC) merupakan informasi penting yang dibutuhkan pada setiap *part* secara detail. Informasi yang terdapat di OPC adalah urutan operasi, waktu operasi, waktu *setup*, mesin dan *tools* yang digunakan, serta *scrap* yang dihasilkan dari proses operasi yang dilakukan. OPC menggunakan simbol dengan Standar *American Society of Mechanical Engineering* (ASME) pada Gambar 2.6.

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

Gambar 2.6. Simbol Operation Process Chart (OPC) (Heragu, 2008)

Selanjutnya, Gambar 2.7 merupakan gambar dari *Operation Process Chart (OPC)*.



Gambar 2.7. Operation Process Chart (OPC) (Tompkins, dkk, 2010)

2.2.6. Routing Sheets

Menurut Tompkins, dkk (2010), *Routing Sheets* merupakan *tools* yang memaparkan gambaran umum urutan mesin yang digunakan. *Routing Sheets* juga

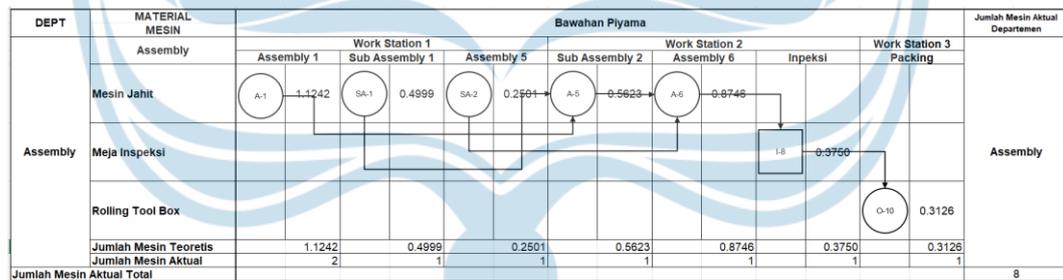
menyediakan waktu *setup* dan waktu operasi pada setiap mesin yang digunakan. Gambar 2.8 merupakan gambar dari ilustrasi *Routing Sheets*.

Company Produce	A.R.C., Inc. Air Flow Regulator	Part Name Plunger Housing Part No. 3254	Prepared by J.A. 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 mchine	.50 in. dia. coller, 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 2.8. Routing Sheets (Tompkins, dkk, 2010)

2.2.7. Multi Process Product Chart (MPPC)

MPPC adalah *tools* yang digunakan dalam menggambarkan proses operasi yang dilalui oleh material sampai produk jadi. Kegunaan dari MPPC, yaitu untuk mengetahui kebutuhan jumlah mesin dan untuk mengetahui keterkaitan produksi. Gambar 2.9 merupakan ilustrasi gambar dari *Multi Process Product Chart*.



Gambar 2.9. Multi Process Product Chart (MPPC)

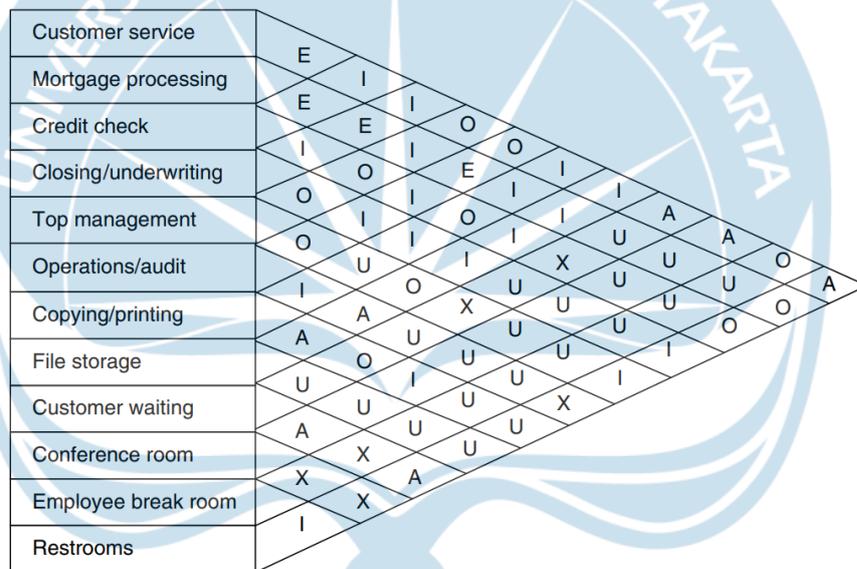
2.2.8. Activity Relationship Chart (ARC)

Menurut Stephens dan Meyers (2013), *Activity Relationship Chart* (ARC) adalah diagram aktivitas untuk menentukan hubungan aktivitas yang dilakukan pada setiap departemen yang dilihat berdasarkan aliran material. ARC memiliki kode yang menyatakan peringkat kedekatan pada setiap departemen. Tabel 2.2 merupakan kode yang digunakan pada ARC.

Tabel 2.2. Kode Closeness Rating

Code	Closeness Rating	Warna
A	<i>Abosolutely necessary</i>	Merah
E	<i>Especially important</i>	Kuning
I	<i>Important</i>	Hijau
O	<i>Ordinary closeness</i>	Biru
U	<i>Unimportant</i>	Putih
X	<i>Not desirable</i>	Coklat

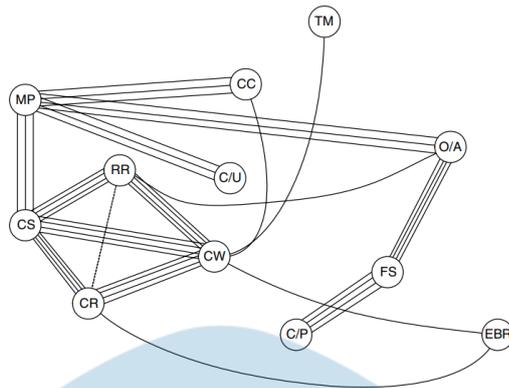
Selanjutnya, Gambar 2.10 merupakan gambar dari *Activity Relationship Chart* (ARC).



Gambar 2.10. Activity Relationship Chart (ARC) (Heragu, 2008)

2.2.9. Activity Relationship Diagram (ARD)

Menurut Heragu (2008), ARD merupakan *tools* yang digunakan untuk mempresentasikan hubungan keterkaitan aktivitas pada setiap departemen dengan menggunakan garis. ARD tidak mempertimbangkan area aktivitas sehingga terdapat *tools* yang mirip untuk mempertimbangkan *space*, yaitu *Space Relationship Diagram* (SRD). *Relationship Chart* merupakan *tools* analisis kualitatif terhadap keputusan hubungan antara aktivitas dan sumber daya, (Potadar dan Kadam, 2019). Gambar 2.11 merupakan gambar dari *Activity Relationship Diagram*.



Gambar 2.11. Activity Relationship Diagram (ARD) (Heragu, 2008)

Gambar 2.11 menunjukkan keterkaitan setiap departemen berdasarkan aktivitas yang dilakukan menggunakan garis-garis. Tabel 2.3 merupakan tabel diagram keterkaitan.

Tabel 2.3. Diagram Keterkaitan

Code	Gambar Garis	Keterangan Garis
A	=====	4 garis
E	===== =====	3 garis
I	===== =====	2 garis
O	=====	1 garis
U		Tidak ada garis
X	~~~~~	Garis bergelombang

2.2.10. From to Chart

Menurut Tompkins, dkk (2010), *From to Chart* merupakan diagram pengukuran aliran perpindahan antar departemen secara kuantitatif. Pengukuran dilakukan berdasarkan *quantity* dan *weight*, serta melalui pertimbangan yang lainnya. Cara mengkonstruksi *From to Chart* adalah sebagai berikut:

- A. Buat daftar departemen dan susun pada setiap baris dan kolom.
- B. Tetapkan ukuran aliran yang menunjukkan volume aliran yang setara secara akurat.
- C. Catat volume aliran berdasarkan jalur aliran perpindahan barang dan ukuran aliran yang sudah ditetapkan.

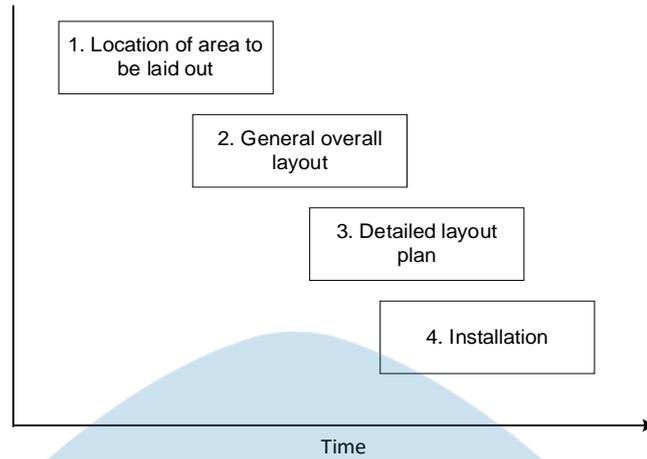
Gambar 2.12 merupakan ilustrasi dari *From to Chart*.

From \ To	A	C	B	D	E
A		① 30 ③ 2(7) = 14 44	② 12	0	0
C	0		① 30	③ 2(7) = 14	0
B	0	0		① 30 ② 12 42	③ 2(7) = 14 14
D	0	0	③ 2(7) = 14		① 30 ② 12 42
E	0	0	0	0	

Gambar 2.12. *From to Chart* (Tompkins, dkk, 2010)

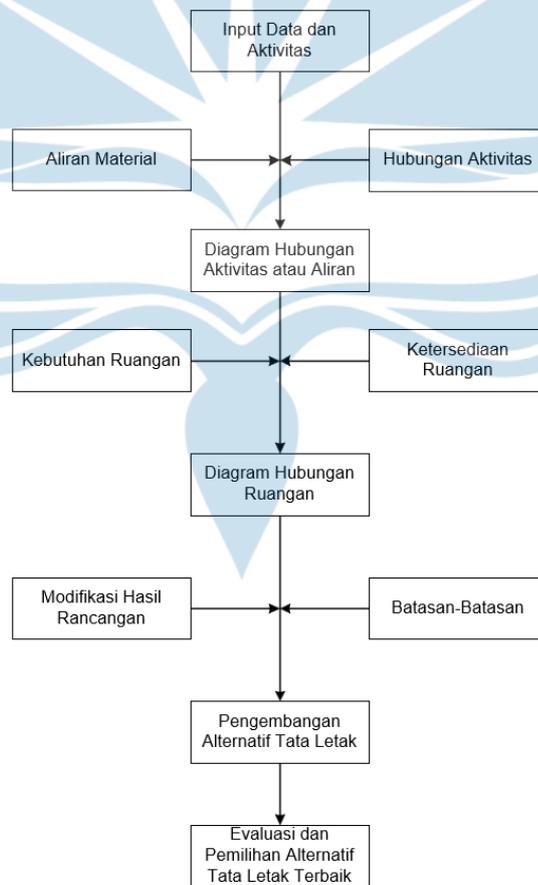
2.2.11. Metode *Modified Systematic Layout Planning* (SLP)

Menurut Heragu (2008), *Systematic Layout Planning* (SLP) merupakan metode tata letak fasilitas produksi yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi produktivitas dengan memperhatikan hubungan aktivitas. Menurut Muther (2015), *Modified SLP* memiliki empat fase, yaitu penentuan lokasi, melakukan penetapan *layout* keseluruhan secara general, melakukan penetapan *layout* yang lebih rinci, dan mengimplementasikan *layout* terpilih. Metode ini memiliki *input* data berdasarkan 5 kategori, yaitu *Product* (P), *Quantity* (Q), *Routing* (R), *Services* (S), dan *Timing* (T). Gambar 2.13 merupakan empat fase *Modern Systematic Layout Planning* (SLP).



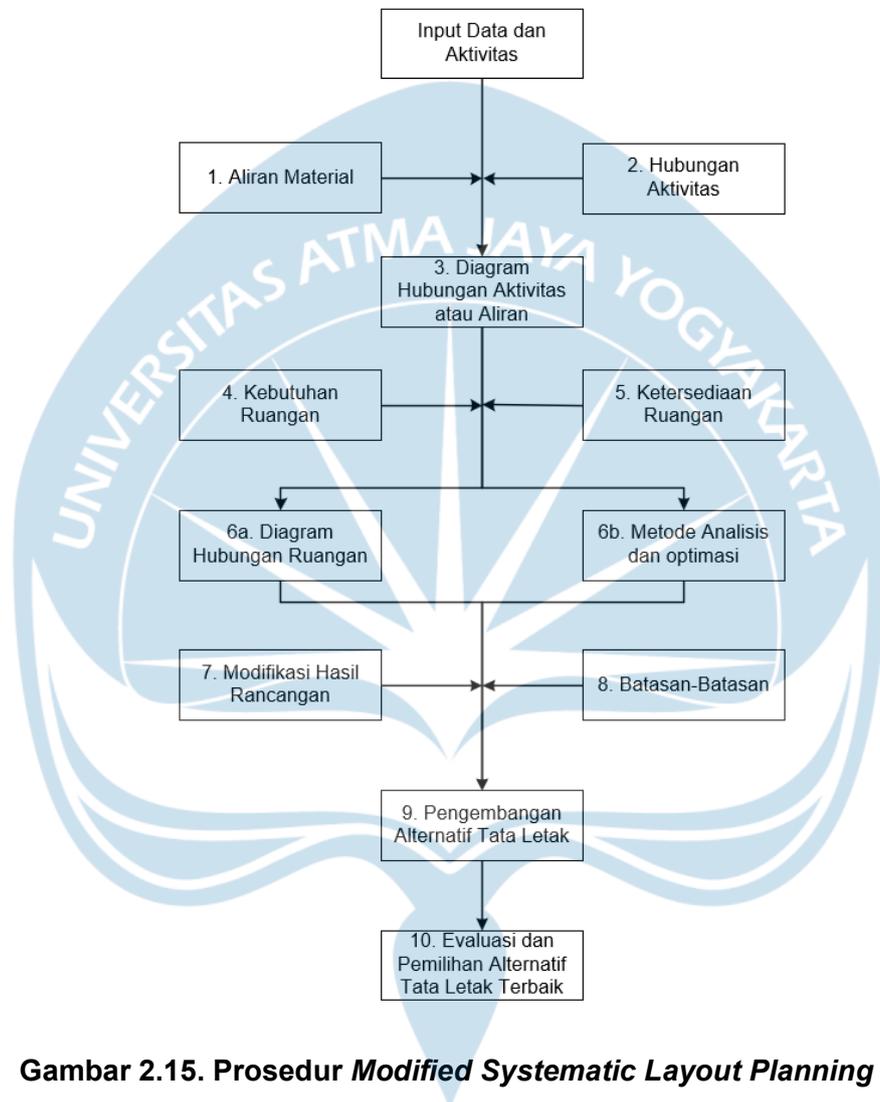
Gambar 2.13. Prosedur *Modern Systematic Layout Planning* (SLP)

Perkembangan *Modern SLP* menjadi *Muther's Systematic Layout Planning* (SLP). *Muther's Systematic Layout Planning* (SLP) memiliki 10 tahapan dalam melakukan perancangan tata letak yang dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Prosedur *Muther's Systematic Layout Planning* (SLP)

Melalui Metode *Muther's SLP* dilakukan modifikasi, yaitu penambahan metode analisis dan optimasi menggunakan *Blocplan* dan *CRAFT* sebagai alat bantu untuk menghasilkan rancangan tata letak fasilitas produksi terbaik. Gambar 2.15 merupakan gambar prosedur *Modified Systematic Layout Planning (SLP)*.



Gambar 2.15. Prosedur *Modified Systematic Layout Planning (SLP)*

Prosedur dari Metode *Modified Systematic Layout Planning (SLP)* dalam melakukan perancangan tata letak fasilitas produksi sebagai berikut:

A. *Input Data dan Aktivitas*

Input data dan aktivitas merupakan tahapan awal yang diperlukan pada pada prosedur *Modified SLP*. Tahapan ini dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperlukan, yaitu produk dan komponen pada setiap produk, proses yang dilakukan, dan mesin yang digunakan.

B. Aliran Material

Aliran material merupakan tahapan yang digunakan untuk mengidentifikasi proses produksi suatu produk yang di dalamnya memuat informasi terkait dengan operasi dan mesin yang digunakan. *Tools* aliran material yang digunakan adalah *Operation Process Chart (OPC)*, *Routing Sheets*, *MPPC*, dan *MHPS*

C. Hubungan Aktivitas

Hubungan aktivitas merupakan tahapan yang digunakan sebagai penentu keterkaitan pada setiap departemen. *Tools* yang digunakan pada tahapan ini adalah *Activity Relationship Diagram (ARC)*. Penggunaan dari *ARC* dilakukan dengan mempertimbangkan kepentingan kedekatan departemen.

D. Diagram Hubungan Aktivitas atau Aliran

Kedekatan aktivitas pada setiap departemen digambarkan atau diilustrasikan pada tahapan ini. *Tools* yang digunakan pada tahapan ini adalah *Activity Relationship Diagram (ARD)* yang menggunakan garis untuk melambangkan kedekatan pada setiap departemen.

E. Kebutuhan Ruangan

Kebutuhan ruangan merupakan tahapan untuk mempertimbangkan *space* yang dibutuhkan pada area kerja. Data yang diperlukan pada tahapan ini adalah dimensi material dan mesin, jenis kelamin pekerja, dan *allowance* area kerja yang digunakan untuk pergerakan atau kegiatan yang dilakukan. *Tools* yang digunakan adalah *Workreamath*.

F. Ketersediaan Ruangan

Ketersediaan ruangan merupakan tahapan yang dilakukan dengan menggali informasi terkait dengan dimensi objek yang akan digunakan sebagai batasan dalam melakukan perancangan *layout* fasilitas produksi.

G. Diagram Hubungan Ruangan

Diagram hubungan ruangan merupakan tahapan yang mirip dengan tahapan hubungan aktivitas, tetapi tahapan ini dijalankan dengan mempertimbangkan *space* yang dalam membuat hubungan antar departemen. *Tools* yang digunakan pada tahapan ini adalah *Space Relationship Diagram (SRD)*.

H. Metode Analisis dan Optimasi

Tahapan metode analisis dan optimasi dilakukan untuk memperoleh hasil perancangan tata letak fasilitas terbaik berdasarkan peletakan departemen sebuah fasilitas produksi sesuai dengan ketersediaan *space*. *Tools* yang digunakan pada tahapan ini adalah *Blocplan* dan *CRAFT*.

I. Modifikasi Hasil Rancangan

Tahapan modifikasi hasil rancangan merupakan tahapan yang digunakan untuk memodifikasi hasil rancangan dengan mempertimbangkan kebutuhan yang diperlukan dan mungkin untuk diimplementasikan.

J. Batasan-Batasan

Batasan-batasan merupakan pertimbangan yang digunakan dalam melakukan perancangan tata letak fasilitas produksi. Dengan demikian, hasil perancangan fasilitas produksi dapat sesuai dengan kebutuhan dan kondisi objek.

K. Pengembangan Alternatif Tata Letak

Pengembangan alternatif merupakan tahapan yang digunakan untuk melakukan pengembangan usulan tata letak dengan memperhatikan batasan-batasan yang teridentifikasi. Dengan demikian, implementasi dari usulan perancangan tata letak fasilitas produksi dapat memberikan hasil yang sesuai dengan kondisi objek.

L. Evaluasi dan Pemilihan Alternatif Tata Letak Terbaik

Dilakukan evaluasi pada tahapan alternatif tata letak fasilitas produksi terpilih. Evaluasi dilakukan dengan melakukan pengembangan hasil rancangan yang bertujuan untuk memperoleh hasil rancangan yang sesuai dengan tujuan dilakukannya perancangan *layout*.

Melalui Metode *Modified Systematic Layout Planning* (SLP) dilakukan modifikasi prosedur oleh Selvia (2020), yaitu penambahan penggabungan dengan Prosedur Perancangan *Layout* Meyers sehingga menghasilkan Metode *Mixed Modified Systematic Layout Planning* (SLP) yang dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Perbandingan Metode SLP dan Prosedur Perancangan *Layout* Meyers

<i>Systematic Layout Planning</i>	Prosedur Perancangan <i>Layout</i> Meyers
Input data dan aktivitas	a. Menentukan produk
	b. Menentukan jumlah produksi yang akan diproses
	c. Menentukan <i>part make</i> dan <i>part buy</i>
	d. Menentukan cara produksi pada setiap <i>part</i>
	f. Menentukan waktu pada setiap proses operasi
	g. Menentukan seberapa cepat proses produksi diperlukan
	h. Menentukan jumlah mesin yang digunakan
	1. Aliran Material
i. Menyeimbangkan area proses produksi	
j. Mempelajari pola aliran material	
p. Memilih penggunaan <i>material handling</i>	
2. Hubungan Aktivitas	k. Menentukan hubungan atau keterkaitan pada setiap proses operasi
3. Diagram hubungan aktivitas	j. Mempelajari pola aliran material
	k. Menentukan hubungan atau keterkaitan pada setiap proses operasi
4. Kebutuhan ruangan	m. Melakukan identifikasi kebutuhan ruangan area kerja dan material
	n. Melakukan identifikasi <i>allowance aisle</i> yang dibutuhkan
5. Ketersediaan ruangan	m. Melakukan identifikasi kebutuhan ruangan area kerja dan material

Tabel 2.4. Lanjutan

Systematic Layout Planning	Prosedur Perancangan Layout Meyers
6a. Diagram hubungan ruangan	q. Mengalokasikan ruangan yang dibutuhkan dan hubungan aktivitas
6b. Metode analisis dan optimasi	Pada tahapan ini tidak ada
7. Modifikasi hasil rancangan	u. Memperoleh persetujuan, saran, dan melakukan perubahan jika diperlukan
8. Batasan-batasan	t. Memperoleh masukan dan menyesuaikannya
9. Pengembangan alternatif tata letak	i. Menyeimbangkan area proses produksi
	n. Melakukan identifikasi <i>allowance aisle</i> yang dibutuhkan
	o. Melakukan pengembangan syarat lanjutan ruangan
	r. Mengembangkan alternatif posisi ruangan
	s. Mengkonstruksi <i>master plan layout</i>
	v. Menerapkan pada <i>layout</i>
10. Evaluasi dan pemilihan alternatif tata letak terbaik	w. Memulai kegiatan produksi
	x. Melakukan penyesuaian kebutuhan <i>layout</i> dengan alternatif terbaik dan menyelesaikan laporan proyek

2.2.12. Metode Cellular Manufacturing

Cellular Manufacturing sebagai metode perancangan tata letak yang identik pada pembagian fasilitas industri menjadi *cell* kecil dengan memperhatikan pembagian tugas yang didesain pada logika proses produksi dan aliran kerja. Perancangan menggunakan Metode *Cellular Manufacturing* diawali dengan beberapa tahapan, yaitu *Group Technology* (GT), *analysis cluster*, dan pembentukan *cell*.

Menurut Singh dan Rajamani (1996), *Group Technology* (GT) adalah pengelompokan komponen atau *part* yang serupa pada urutan penggunaan untuk memaksimalkan penggunaan dengan satu kali *setup* sehingga proses *setup* dapat dikurangi untuk menghasilkan satu jenis kelompok komponen atau *part*. Pemanfaatan mesin yang dimaksimalkan dengan penggunaan satu kali *setup* maka dapat terjadi peningkatan waktu aktual di atas 40% (Jacson, 1978). Menurut

dasar pengelompokan komponen atau *part* yang diproduksi adalah sebagai berikut:

A. Atribut Desain

- Kemiripan bentuk atau geometry.
- Kesamaan kompleksitas proses produksi.
- Kemiripan ukuran atau dimensi.
- Bentuk dan jenis material sama.

B. Atribut Manufacturing

- Similaritas langkah proses operasi sebuah produk.
- Urutan operasi atau proses permesinan.
- Keakurasian *finished part*.

Salah satu metode yang digunakan untuk *Group Technology* adalah *Production Flow Analysis* (PFA). Metode PFA merupakan metode yang digunakan untuk melakukan identifikasi *part family* berdasarkan urutan proses operasi yang identik atau sama pada setiap *part* yang kemudian digunakan untuk membentuk *manufacturing cell* (*cluster analysis*). Gambar 2.16 merupakan gambar dari PFA chart.

Part #	Machine #				
	1	2	3	4	5
1	1		1		
2	1				
3		1		1	1
4	1		1		
5		1			
6				1	1

Gambar 2.16. Formulasi *Production Flow Analysis* (PFA) (Tompkins, dkk, 2010)

Analysis cluster merupakan metode formulasi matriks *machine-part* yang digunakan untuk mengelompokkan *part family* menjadi satu *cell* berdasarkan faktor beban kerja dan presentase operasi dari *part* yang diproses dalam *cell*. Algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan *analysis cluster* adalah *Direct Cluster Algorithm* (DCA), *Rank Order Clustering* (ROC), *Similarity Coefficient*

Method (SC), Row and Coloumn Masking (R&CM), dan Cluster Identification Algorithm (CIA).

A. *Direct Cluster Algorithm (DCA)*

Menurut Tompkins, dkk (2010), *Direct Cluster Algorithm (DCA)* merupakan algoritma yang memiliki prosedur sederhana, yaitu berdasarkan matriks *machine-part* dengan angka 1 yang menunjukkan sebuah *part* memerlukan proses operasi pada sebuah mesin, sedangkan angka 0 menunjukkan mesin tidak digunakan dalam proses operasi *part* tersebut. Langkah-langkah yang harus dilakukan dalam menggunakan *Direct Cluster Algorithm (DCA)* adalah senagai berikut:

- i. Langkah 1
 - Lakukan penjumlahan pada semua angka 1 di setiap baris dan kolom.
 - Urutkan baris dari atas ke bawah dengan nilai penjumlahan 1 dari yang terbesar sampai terkecil (menurun).
 - Urutkan kolom dari kiri ke kanan dengan nilai penjumlahan 1 dari yang terkecil sampai terbesar (menaik).
 - Jika terdapat kesamaan nilai penjumlahan, susun berdasarkan urutan *part* atau mesin menurun.
- ii. Langkah 2
 - Urutkan kolom dengan menggeser ke kiri berdasarkan semua kolom yang memiliki nilai 1 pada baris pertama.
 - Lakukan proses pengurutan kolom sampai tidak ada kemungkinan pergeseran kolom.
- iii. Langkah 3
 - Urutkan baris yang memiliki nilai 1 paling kiri dan geser ke atas.
 - Lakukan proses pengurutan baris sampai tidak ada kemungkinan pergeseran baris.
- iv. Langkah 4
 - Berdasarkan hasil dari proses pengurutan baris dan kolom, lakukan pembentukan *cell* dengan mencari kemungkinan semua *part* ada dalam satu *cell*.

B. Rank Order Clustering (ROC)

Menurut Singh dan Rajamani (1996), *Rank Order Clustering* (ROC) merupakan algoritma pengelompokan *part-machine* yang dikembangkan oleh King pada tahun 1980. Teknik yang digunakan adalah memberikan bilangan biner pada setiap baris dan kolom. Bilangan biner digunakan untuk mengurutkan baris dan kolom sampai setiap posisi elemen tidak dapat digantikan. Langkah-langkah dalam penggunaan *Rank Order Clustering* (ROC) adalah sebagai berikut:

i. Langkah 1

- Memberikan bilangan biner pada setiap baris.
- Menghitung bobot setiap baris.

ii. Langkah 2

- Urutkan baris dari bobot terbesar sampai terkecil (menurun), $m= 1, 2, \dots, M$.

$$C_m = \sum_{p=1}^P 2^{P-p} \times a_{pm}, (a_{pm} = 0 \text{ atau } 1) \quad (2.1.)$$

iii. Langkah 3

- Memberikan bilangan biner pada setiap kolom
- Menghitung bobot setiap kolom

iv. Langkah 4

- Urutkan kolom dari bobot terbesar sampai terkecil (menurun), $p=1, 2, \dots, P$.

$$C_m = \sum_{m=1}^M 2^{M-m} \times a_{pm}, (a_{pm} = 0 \text{ atau } 1) \quad (2.2.)$$

v. Langkah 5

- Ulangi langkah 1 – 4 sampai setiap elemen tidak dapat diubah atau digantikan.

C. Similarity Coefficient Method (SC)

Menurut Heragu (2008), *Similarity Coefficient Method* (SC) merupakan algoritma yang diturunkan dari *numerical taxonomy* dan pengukuran dilakukan antara setiap pasangan mesin atau *part*. Kebanyakan algoritma ini menggunakan indeks Jaccard SC. Sebagian besar SC melakukan pengukuran kesamaan antar mesin menggunakan persamaan 2.3.

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ki} a_{kj}}{\sum_{k=1}^n (a_{ki} + a_{kj} - a_{ki} a_{kj})} \quad (2.3.)$$

$$a_{ik} = \begin{cases} 1, & \text{Jika part } k \text{ mengunjungi mesin } I \\ 0, & \text{Jika part tidak mengunjungi mesin } i \end{cases}$$

Langkah-langkah Algoritma *Similarity Coefficient Method* (SC) sebagai berikut:

- i. Langkah 1
 - Bentuk matriks *machine-part* dengan memasukkan angka 1 jika mesin dilewati *part* dan angka 0 jika mesin tidak dilewati *part*.
- ii. Langkah 2
 - Hitung koefisien kesamaan pada setiap pasangan mesin yang dilanjutkan dengan membuat matriks kesamaan. Elemen dalam matriks ini mencerminkan kesamaan antara dua mesin.
- iii. Langkah 3
 - Bentuk *cell* berdasarkan nilai koefisien kesamaan. Koefisien kesamaan yang tinggi akan dikelompokkan menjadi satu *cell*.

D. *Row and Column Masking* (R&CM)

Menurut Heragu (2008), *Row and Column Masking* (R&CM) merupakan algoritma pengelompokan yang diawali dengan melakukan pemilihan baris secara *random* dan *masking* semua kolom yang terdapat nilai 1 pada baris tersebut. Prosedur terus dilakukan pengulangan sampai terbentuk *cluster* mesin dan *part* serta diulangi untuk membentuk *cluster* lainnya. Langkah-langkah algoritma R&CM dapat dilihat sebagai berikut:

- i. Langkah 1
 - Pilih baris secara *random* dan pilih satu *entry* yang melaluinya hanya satu baris, kemudian gambar garis horizontal.
- ii. Langkah 2
 - Jika *entry* memiliki garis horizontal dilanjutkan ke langkah 2a dan *entry* yang memiliki garis vertikal dilanjutkan ke langkah 2b.
- iii. Langkah 2a
 - Gambar garis vertikal pada *entry* 1 tersebut muncul.
- iv. Langkah 2b
 - Gambar garis horizontal pada *entry* 1 tersebut muncul.

- v. Langkah 3
 - Ulangi ke langkah 2 jika masih terdapat *entry* yang tersisa pada baris yang dilewati.
- vi. Langkah 4
 - Lanjutkan dengan memilih baris secara *random* yang tidak ada garisnya, jika tidak ada berhenti.
 - Jika ada, tarik garis secara horizontal dan pilihlah satu *entry* yang hanya melalui satu garis. Lanjutkan ke langkah 2.

E. *Cluster Identification Algorithm* (CIA)

Menurut Singh dan Rajamani (1996), *Cluster Identification Algorithm* (CIA) merupakan algoritma yang memiliki konsep melakukan identifikasi *block diagonals* sempurna dengan menggunakan teknik *masking*. Artinya, proses *cluster* dilakukan pada baris mana pun dan semua kolom yang memiliki nilai 1 akan di-*masking*. Berdasarkan nilai 1 yang berada di kolom tersebut, dilanjutkan dengan *masking* semua baris yang memiliki nilai 1 di kolom tersebut. Apabila tidak ditemukan *block diagonals* yang sempurna maka matriks tersebut merupakan satu *block*. Langkah-langkah menggunakan algoritma CIA adalah sebagai berikut:

- i. Langkah 1
 - Pilih salah satu baris dan kemudian tarik garis secara horizontal.
- ii. Langkah 2
 - Setiap angka 1 yang berada di garis horizontal (langkah 1) ditarik garis secara vertikal.
- iii. Langkah 3
 - Setiap angka 1 yang berada di garis vertikal (langkah 2) ditarik garis secara horizontal.
- iv. Langkah 4
 - Lakukan pengulangan pada langkah 2 dan 3 hingga tidak ditemukan nilai 1 yang bersilangan pada garis horizontal dan vertikal.
- v. Langkah 5
 - Lakukan iterasi lanjutan dengan menghilangkan grup mesin dan *part* yang diidentifikasi pada langkah 4.

vi. Langkah 6

- Jika semua elemen pada matriks tidak tersisa, hentikan iterasi.
- Jika masih ada elemen tersisa, pertimbangkan matriks dan dilanjutkan ke langkah 1.

Perbandingan tingkat kualitas solusi yang diperoleh, dilakukan pengukuran performansi *Grouping Efficiency*, *Grouping Efficacy*, dan *Grouping Measure* yang formulanya dapat dilihat pada formula 2.4 sampai 2.12.

A. *Grouping Efficiency* (η)

Grouping Efficiency merupakan langkah pertama yang digunakan untuk melakukan evaluasi hasil akhir dari algoritma yang digunakan. Hasil *efficiency* dari perancangan bergantung pada pemanfaatan mesin dan pergerakan antar *cell*.

$$H = w\eta_1 + (1-w)\eta_2 \quad (2.4.)$$

$$\eta_1 = \frac{o-e}{o-e-v} \quad (2.5.)$$

$$\eta_1 = \frac{MP-o-v}{MP-o-v+e} \quad (2.6.)$$

B. *Grouping Efficacy* (τ)

Grouping Efficacy merupakan pengukuran performa yang merujuk pada seberapa efektif algoritma yang digunakan dan tidak dipengaruhi oleh matriks *machine-part*.

$$T = \frac{1-\psi}{1+\phi} = \frac{o-e}{o+v} \quad (2.7.)$$

$$\psi = \frac{e}{o} \quad (2.88.)$$

$$\phi = \frac{v}{o} \quad (2.9.)$$

C. *Grouping Measure* (η_g)

Grouping Measure merupakan pengukuran performa kualitas atau efektivitas algoritma dalam mendapatkan hasil akhir dari matriks *machine-part* yang dikelompokkan berdasarkan kriteria tertentu.

$$H_g = \eta_u - \eta_m, \text{ untuk } -1 \leq \eta_g \leq 1 \quad (2.10.)$$

$$\eta_u = \frac{d}{(d+v)}, \text{ untuk } 0 \leq \eta_u \leq 1 \quad (2.11.)$$

$$\eta_m = 1 - \frac{d}{o}, \text{ untuk } 0 \leq \eta_m \leq 1 \quad (2.12.)$$

Keterangan:

O= Jumlah nilai 1 di dalam matriks *machine-part*

d= Jumlah nilai 1 di dalam diagonal

e= Banyaknya *exceptional element* di matriks *machine-part*

v= Banyaknya *voids* di matriks *machine-part*

M= Banyaknya mesin

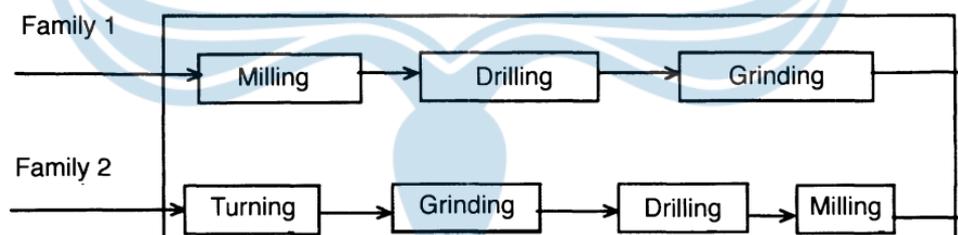
P= Banyaknya *part*

W= *Weighted average* (0.5)

Peningkatan efisiensi tata letak *Group Technology* (GT) dapat ditingkatkan dengan menggunakan *group layout*. Klasifikasi tata letak *cellular* dibedakan menjadi tiga, yaitu *GT Flow Line Layout*, *GT Cell Layout*, dan *GT Center Layout*.

A. *GT Flow Line Layout*

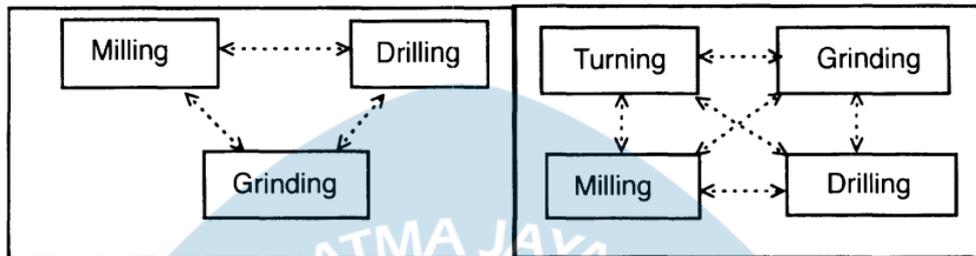
GT Flow Line Layout merupakan tata letak *cellular* yang ditujukan pada proses produksi dengan urutan mesin yang sama dari *group* yang dibuat. Gambar 2.17 merupakan gambar dari *GT Flow Line Layout*.



Gambar 2.17. *GT Flow Line Layout* (Singh dan Rajamani,1996)

B. GT Cell Layout

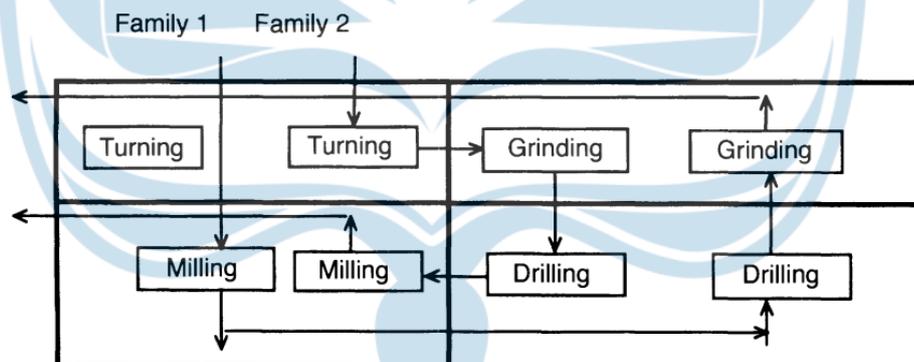
GT Cell Layout merupakan tata letak *cellular* yang memiliki aliran tidak searah, tetapi perancangan peletakan mesin diletakkan secara berdekatan. Gambar 2.18 merupakan gambar dari GT Cell Layout



Gambar 2.18. GT Cell Layout (Singh dan Rajamani,1996)

C. GT Center Layout

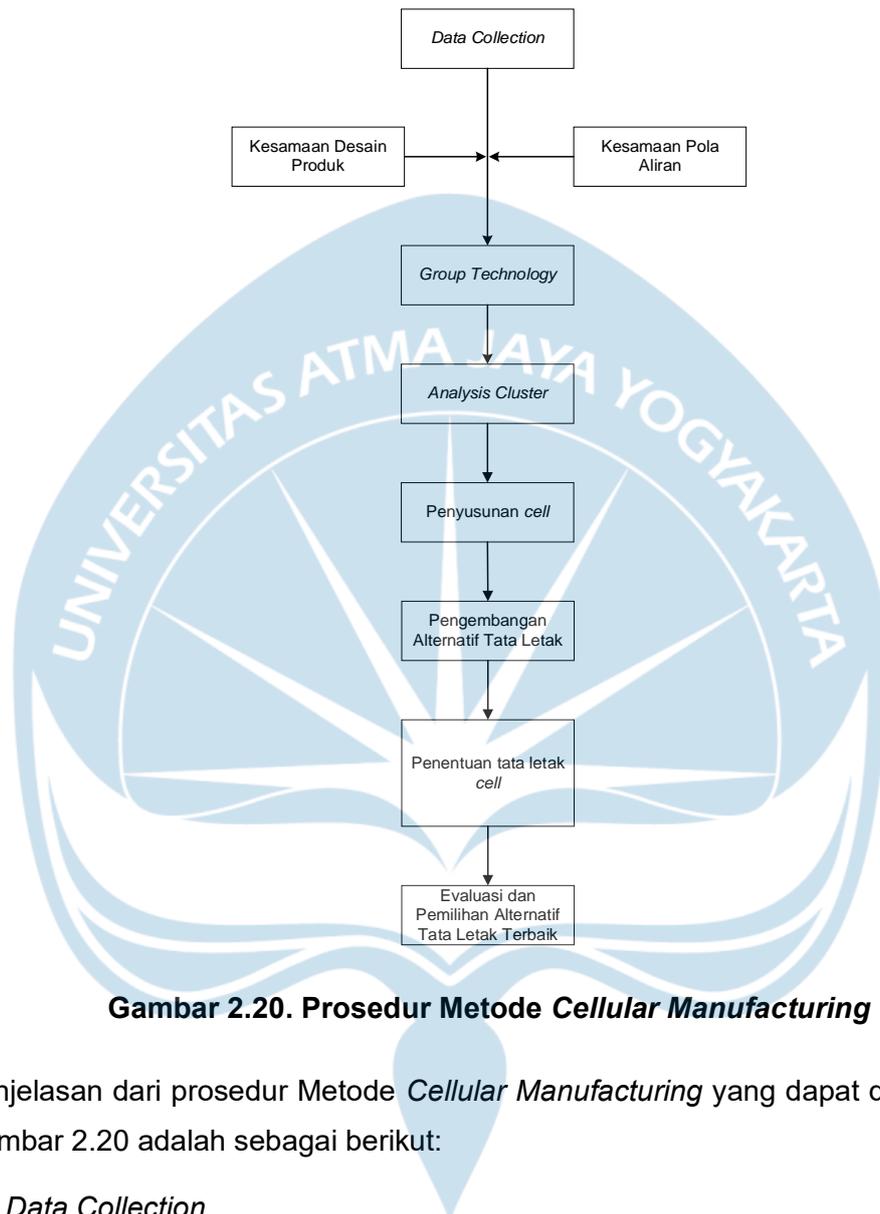
GT Center Layout merupakan tata letak *cellular* yang didasarkan pada fungsional mesin yang ditujukan pada *part family* tertentu. Gambar 2.19 merupakan gambar dari GT Center Layout



Gambar 2.19. GT Center Layout (Singh dan Rajamani,1996)

Menurut Tompkins, dkk (2010), kesuksesan dari implementasi *Cellular Manufacturing* perlu adanya penanganan *selection, design, operation, dan control*. *Selection* mengacu pada identifikasi mesin dan tipe *part* yang dikelompokkan dalam *cell* tertentu. *Design* mengacu pada perancangan tata letak fasilitas produksi yang mengacu pada syarat penanganan material. *Operation* melibatkan beberapa hal, yaitu penjadwalan, ukuran lot, jumlah dan jenis operator, serta tipe pengendalian produksi yang digunakan (*pull* atau *push*). *Control* merupakan metode yang digunakan untuk melakukan pengukuran performansi kinerja *cell*.

Berikut merupakan tahapan metode *Cellular Manufacturing* yang dapat dilihat pada Gambar 2.20.



Gambar 2.20. Prosedur Metode *Cellular Manufacturing*

Penjelasan dari prosedur Metode *Cellular Manufacturing* yang dapat dilihat pada Gambar 2.20 adalah sebagai berikut:

A. *Data Collection*

Tahapan awal dari Metode *Cellular Manufacturing* berisikan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk melakukan perancangan tata letak fasilitas produksi. Data yang diperlukan dalam tahapan ini adalah jumlah *part* dan mesin, *routing card* atau *routing sheet*, *layout*, dan aktivitas-aktivitas yang dilakukan dalam proses produksi setiap *part*.

B. Kesamaan Desain Produk

Tahapan ini merupakan identifikasi awal yang diperlukan untuk mengelompokkan *part* berdasarkan kesamaan desain produk. Identifikasi dilakukan dengan

membandingkan desain dua produk atau lebih yang digunakan sebagai penentu kemiripan. Proses perbandingan desain ini penting karena digunakan sebagai salah satu dasar untuk mengelompokkan mesin yang memiliki tugas sesuai dengan *part family*.

C. Kesamaan Pola Aliran

Kesamaan pola aliran atau urutan operasi merupakan salah satu penentu pengelompokan mesin yang ditugaskan pada *cell* tertentu untuk melakukan proses transformasi dari material ke produk jadi. Identifikasi kesamaan pola aliran dapat dilakukan dengan menggunakan Peta Proses Operasi pada setiap produk yang diproduksi.

D. *Group Technology*

Identifikasi kesamaan desain produk dan pola aliran merupakan dasar pengelompokan *part* yang menghasilkan *part family*. Dengan demikian, *Group Technology* berkaitan dengan pengelompokan *part* untuk mendapatkan keuntungan proses produksi berdasarkan kemiripan rancangan dan operasi. Metode yang digunakan di analisis *Group Technology* adalah *Production Flow Analysis* (PFA).

E. *Analysis Cluster*

Analysis cluster merupakan tahapan pengidentifikasian dan pengelompokan mesin atau peralatan yang digunakan dalam proses produksi sesuai dari hasil *Group Technology*. Metode yang digunakan pada tahapan ini adalah *Direct Cluster Algorithm* (DCA), *Rank Order Clustering* (ROC), *Similarity Coefficient Method* (SC), *Row and Column Masking* (R&CM), dan *Cluster Identification Algorithm* (CIA).

F. Penyusunan *Cell*

Penyusunan *cell* merupakan tahapan pengelompokan mesin, peralatan, dan stasiun kerja yang disesuaikan dengan kebutuhan produksi pada setiap *part* yang memiliki karakteristik desain dan operasi yang sama. Penyusunan *cell* dilakukan untuk mengurangi waktu perjalanan di dalam *cell* manufaktur.

G. Pengembangan Alternatif Tata Letak

Pengembangan alternatif adalah tahapan pemilihan atau penentuan alternatif *Cellular Manufacturing* dengan melakukan pengukuran performansi konfigurasi *cell* pada setiap algoritma yang digunakan. Pengukuran performa konfigurasi *cell* meliputi *Grouping Efficiency*, *Grouping Efficacy*, dan *Grouping Measure*.

H. Penentuan Tata Letak *Cell*

Penentuan tata letak *cell* dilakukan setelah pengukuran performansi setiap metode dilakukan hingga terpilih algoritma dengan kondisi paling menguntungkan. Tata letak *cell* perlu dirancang untuk mendukung meningkatkan performansi yang dihasilkan dari rancangan tata letak fasilitas produksi yang diusulkan karena penyusunan dilakukan untuk mengurangi waktu perjalanan antar *cell*. Dengan demikian, penyusunan *cell* dirancang dengan mempertimbangkan pola aliran, urutan aliran, dan klasifikasi tata letak *cellular*.

I. Evaluasi dan Pemilihan Alternatif Tata Letak Terbaik

Evaluasi dan pemilihan alternatif tata letak fasilitas produksi merupakan tahapan yang menunjukkan alternatif perancangan tata letak fasilitas produksi yang paling sesuai dengan tujuan dilakukannya perancangan *layout* dan kondisi di objek penelitian.