

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pada sub bab tinjauan pustaka akan membahas tentang penelitian yang sudah pernah dilakukan sebelumnya sebagai referensi untuk penelitian yang akan dilakukan. Referensi penelitian terdahulu akan diambil dari 8 tahun lalu, berikut daftar penelitian terdahulu yang diambil sebagai referensi penelitian ini.



Tabel 2.1. Tinjauan Pustaka

No	Judul	Penulis & Tahun	Masalah/Tujuan	Metode	Hasil
1	Usulan Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas guna Meminimalisir Jarak <i>Material Handling</i>	(Fitranto & Murnawan, 2022)	Letak mesin produksi tidak teratur yang menyebabkan proses <i>material handling</i> tidak efisien dan adanya penumpukan <i>material work in process</i>	<i>Systematic Layout Planning</i>	Perbaikan tata letak fasilitas produksi yang memperkecil jarak dan waktu proses <i>material handling</i>
2	Perancangan Ulang Tata Letak Fasilitas pada PT. Kharisma Plastik Indo	(Soerijayudha & Rahayu, 2021)	Proses <i>material handling</i> memiliki jarak yang jauh dan terdapat area kerja operator yang timpang tindih dengan <i>aisle</i>	<i>Activity Relationship Chart</i> (ARC) dan <i>From To</i>	Desain tata letak fasilitas produksi dengan momen perpindahan material yang lebih rendah
3	<i>Eucalytus Oil Plant Layout Design in Timor Tengah Utara Regency Using Activity Relationship Chart (ARC) Method</i>	(Kolo et al., 2021)	Re-desain tata letak perusahaan menjadi lebih efisien	<i>Activity Relationship Chart</i> (ARC)	Tata letak produksi yang mempunyai aliran U dimana setiap departemen yang berkaitan dapat berinteraksi dengan lebih efisien

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis & Tahun	Masalah/Tujuan	Metode	Hasil
4	Analisis Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> (CDS), PT. ISM TBK. Divisi Bogasari <i>Flour Mills</i> Jakarta	(Purwati & Sari, 2020)	Pengalokasian sumber daya yang efisien untuk menghindari keterlambatan penyelesaian pesanan	FCFS, SPT, LPT, EDD dan CDS	Perhitungan penjadwalan produksi dengan berbagai metode. Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan penjadwalan dengan metode CDS menghasilkan <i>makespan</i> dan <i>flowtime</i> yang minimum
5	Penjadwalan Produksi untuk Meminimalkan Waktu Produksi dengan Menggunakan Metode <i>Branch and Bound</i>	(Lesmana, 2017)	Keterlambatan penyelesaian pesanan	<i>Branch and Bound</i>	Meminimumkan waktu produksi sehingga mengurangi waktu keterlambatan penyelesaian
6	Penjadwalan Produksi <i>Job Shop</i> Mesin Majemuk Menggunakan Algoritma <i>Non Delay</i> untuk Meminimalkan <i>Makespan</i>	(Wahyudi et al., 2021)	Penerapan metode LPT perusahaan menyebabkan penumpukan di beberapa stasiun kerja dan keterlambatan saat variasi pesanan masuk tinggi	<i>Non Delay Algorithm</i>	Berdasarkan hasil analisis dengan <i>non delay algorithm</i> , proses produksi dapat diselesaikan dengan waktu yang lebih singkat walau masih terdapat mesin menganggur

Tabel 2.1. Lanjutan

No	Judul	Penulis & Tahun	Masalah/Tujuan	Metode	Hasil
7	Perancangan Sistem Penjadwalan Produksi Kaos Sablon dengan Metode <i>Earliest Due Date</i> pada Usaha Konveksi Nolabel Sablon Langsa	(Pradana et al., 2020)	Penentuan prioritas pekerjaan yang kurang tepat sehingga mengakibatkan keterlambatan dalam penyelesaian pesanan <i>customer</i>	<i>Earliest Due Date</i>	Hasil perhitungan menunjukkan jumlah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan tiap pesanan. Dari data tersebut diolah kembali menggunakan metode EDD yang menghasilkan tidak ada keterlambatan penyelesaian
8	Usulan Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> pada Produk <i>Personal Care</i> di PT. LF Beauty Manufacturing Indonesia	(Sari, 2020)	Penentuan jadwal produksi yang efektif dengan hasil data ramalan permintaan di waktu mendatang	<i>Master Production Schedule</i> dan <i>Campbell Dudek Smith</i>	Data ramalan permintaan 5 bulan ke depan serta penurunan waktu <i>makespan</i> untuk menyelesaikan permintaan tersebut
9	Perencanaan dan Penjadwalan Produksi <i>Green Tea</i> dengan Pendekatan <i>Theory of Constraint</i> pada PT. XYZ	(Napitupulu et al., 2018)	<i>Bottleneck</i> pada stasiun kerja menyebabkan hasil produksi perusahaan tidak dapat memenuhi permintaan	<i>Theory of Constraint</i> dan <i>Drum Buffer Rope</i> (DBR)	Data ramalan permintaan produk 1 tahun ke depan serta penambahan <i>time buffer</i> pada stasiun kerja yang mengalami <i>bottleneck</i>

Tabel 2.1. Lanjutan

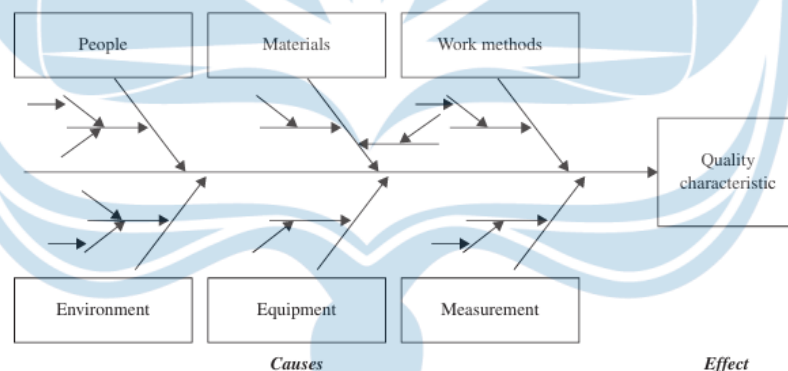
No	Judul	Penulis & Tahun	Masalah/Tujuan	Metode	Hasil
10	<i>A Branch and Bound Algorithm for a Parallel Machine Scheduling Problem in Green Manufacturing Industry Considering Time Cost and Power Consumption</i>	(Xiao et al., 2021)	Menjadwalkan proses produksi pada mesin paralel dengan <i>flow time</i> dan konsumsi energi yang minimum	<i>Branch and Bound Algorithm</i>	Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa perbandingan total cost antara <i>exponential energy consumption</i> lebih besar dibandingkan dengan <i>linear energy consumption</i>
11	<i>A Branch and Price Algorithm to Perform Single Machine Scheduling for Additive Manufacturing</i>	(Yu et al., 2023)	Meminimasi <i>makespan</i> proses produksi tanpa adanya <i>overlap</i> produk	<i>Branch and Price Algorithm</i> (B&P)	Penggunaan metode <i>branch and price</i> menunjukkan hasil penjadwalan yang optimal. Pengujian hasil B&P pada Gurobi yang merupakan <i>mix integer programming</i> modern juga menunjukkan hasil yang serupa dan identik

2.2. Dasar Teori

Pada sub bab ini akan dibahas tentang teori-teori yang akan digunakan dalam penelitian. Sumber dasar teori akan diambil dari beberapa buku, jurnal, artikel ilmiah dan lainnya. Berikut merupakan dasar teori yang digunakan.

2.2.1. Fishbone Diagram

Fishbone diagram atau *cause effect diagram* merupakan suatu diagram yang berbentuk tulang ikan. *Fishbone diagram* pertama kali dipopulerkan oleh Kaoru Ishikawa pada tahun 1960-an yang saat ini sering digunakan untuk melakukan identifikasi masalah (Nadiyah & Dewi, 2022). Dalam melakukan pengidentifikasian masalah dengan *fishbone diagram*, terdapat beberapa elemen utama yang menjadi penyebab masalah yaitu *people*, *equipment*, *material*, *method*, *measurement* dan *environment*. Penggalan informasi untuk mencari penyebab masalah umum hingga yang spesifik pada tiap elemen dilakukan dengan cara *brainstorming* (Besterfield et al., 2012). Informasi penyebab masalah yang telah diuraikan pada tiap elemen akan mempermudah dalam melakukan pencarian solusi. Berikut merupakan gambar dari *fishbone diagram*.



Gambar 2.1. Fishbone Diagram

Sumber : Besterfield (2012)

2.2.2. Peta Proses Operasi

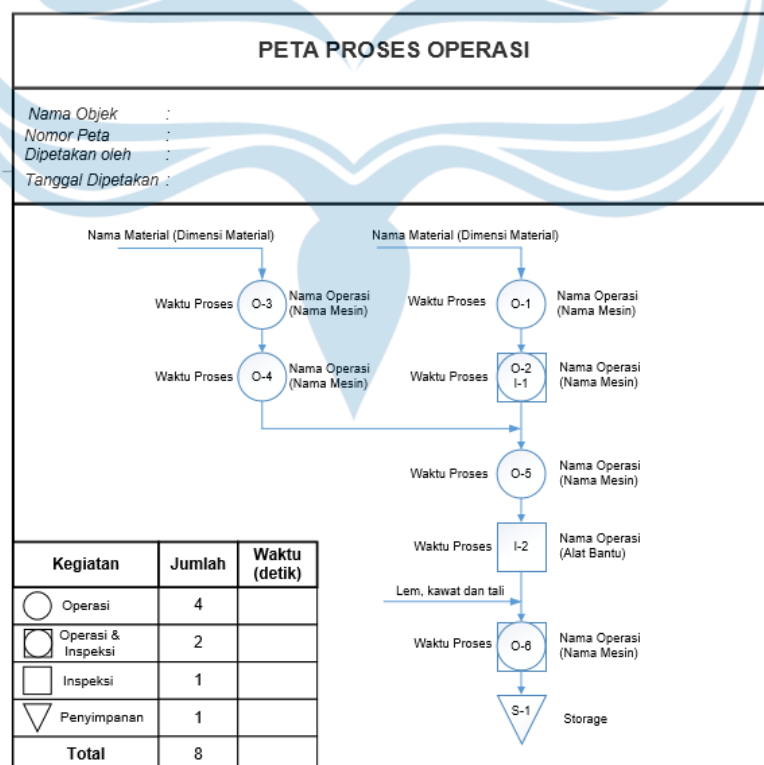
Proses produksi suatu produk yang melalui banyak proses rentan menimbulkan *miss information* pada operator kerja. Untuk meminimalkan resiko tersebut, perusahaan harus menetapkan suatu aliran proses yang jelas. Salah satu *tools* yang dapat digunakan ialah peta kerja. Peta kerja merupakan *tools* atau alat sistematis yang digunakan untuk berkomunikasi serta mendapatkan informasi terkait proses produksi (Sutalaksana, 2006). Terdapat banyak jenis peta kerja

yang umum digunakan saat ini, namun salah satu peta yang sangat penting dipakai adalah peta proses operasi. Peta proses operasi menggambarkan aliran operasi yang harus dilakukan dalam mengerjakan suatu produk. Penjelasan terkait kegiatan yang dilakukan diilustrasikan dengan beberapa simbol pada peta ini yakni sebagai berikut:

Simbol	Kegiatan	Contoh
○	Operasi	Memotong, mengebor, memaku
□	Inspeksi	Memeriksa warna, menguji kualitas
▽	Penyimpanan	Dokumen stok barang
◻	Operasi & Inspeksi	Memotong dan mengukur hasil potongan

Gambar 2.2. Jenis Simbol Peta Proses Operasi

Selain informasi terkait jenis kegiatan yang dilakukan, peta proses operasi juga memvisualisasikan informasi terkait waktu kegiatan, nama mesin, material yang dipakai serta informasi dimensi dan jumlah material yang dipakai. Informasi tersebut bertujuan untuk mengetahui kebutuhan mesin dan material/bahan baku. Berikut contoh gambar peta proses operasi



Gambar 2.3. Contoh Peta Proses Operasi

2.2.3. From To Chart

From to chart merupakan suatu metode analisis aliran yang divisualisasikan dalam bentuk tabel. *From to chart* termasuk dalam salah satu metode yang paling baik dibandingkan dengan *string diagram* dan *multicolumn process chart* karena mempertimbangkan total beban dalam perpindahan material (Meyers, 2004).

Tabel 2.2. From To Chart

From/To	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	Total
A													
B													
C													
D													
E													
F													
G													
H													
I													
J													
K													
L													
Total													

Pada tabel di atas, simbol A, B, dst merupakan kode dari stasiun kerja atau departemen kerja. Simbol yang berada pada sumbu y adalah stasiun asal material sedangkan simbol yang berada pada sumbu x merupakan stasiun tujuan material. Beban perpindahan material pada antar stasiun/departemen kerja akan diisi pada kolom dan baris yang sesuai dengan asal dan tujuan material. Total keseluruhan beban akan diketahui sehingga mempermudah dalam melakukan analisis aliran.

2.2.4. Activity Relationship Chart (ARC)

Activity relationship chart (ARC) merupakan metode kualitatif dalam analisis tata letak dengan mempertimbangkan derajat kedekatan atau keterkaitan. Metode ini memiliki 6 simbol derajat kedekatan dengan nilai kepentingan yang berbeda-beda yakni A (mutlak), E (sangat penting), I (penting), O (biasa), U (tidak perlu) dan X (tidak diharapkan) (Azizah et al., 2023). Setiap simbol pada metode ini memiliki nilai proporsional tertentu. Nilai proporsional simbol ARC dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (2.1)$$

Dimana:

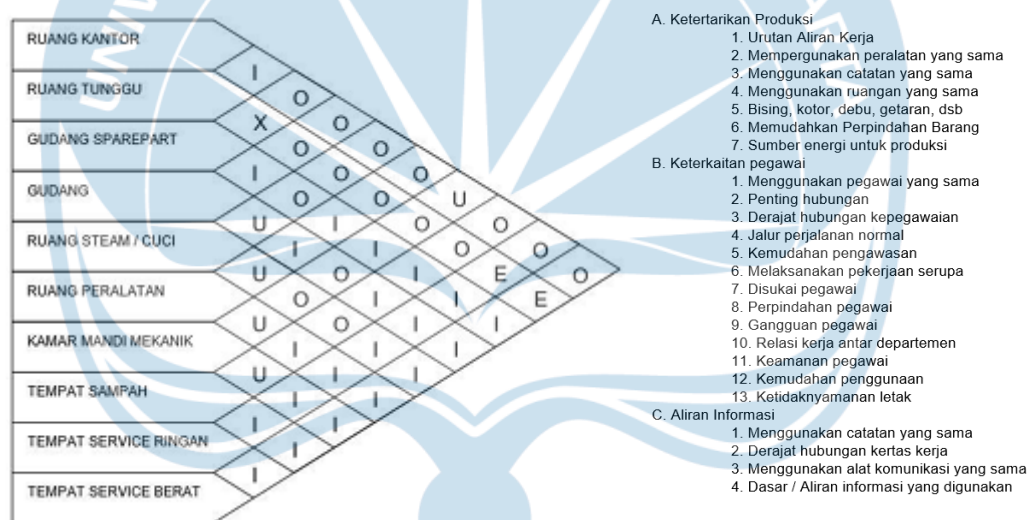
n = jumlah stasiun/departemen kerja

Nilai proporsional simbol ialah sebagai berikut:

Tabel 2.3. Nilai Proporsional Simbol ARC

Simbol	Nilai Proporsional
A	5% dari nilai N
E	10% dari nilai N
I	15% dari nilai N
O	25% dari nilai N

Seluruh simbol tersebut kemudian disusun pada *activity relationship chart* sesuai dengan jumlah proporsionalnya. Untuk menentukan simbol hubungan keterkaitan antar stasiun/departemen kerja harus berdasarkan alasan tertentu. Berikut merupakan gambar *activity relationship chart* beserta daftar alasan hubungan keterkaitannya.



Gambar 2.4. Alasan Keterkaitan ARC

Metode ini mempunyai kelebihan karena kesederhanaan dalam praktek tetapi mempunyai kekurangan dalam konsistensi keakuratannya (Jamalludin et al., 2020). Hal ini disebabkan karena metode ini sangat bergantung pada subjektivitas penggunaannya. Untuk meminimalisir tingkat subjektivitas tersebut, metode ini dapat dikombinasikan dengan metode lainnya.

2.2.5. Computerized Relative Allocation of Facilities Technique (CRAFT)

Metode CRAFT merupakan sebuah metode optimasi tata letak fasilitas yang bertujuan untuk meminimalkan biaya *material handling* antar berbagai departemen atau stasiun kerja. Metode ini menggunakan pendekatan iteratif berbasis

computer untuk mengoptimalkan tata letak fasilitas dengan mempertimbangkan aliran material atau produk antara departemen-departemen yang berbeda. Adapun tahapan penggunaan metode CRAFT ialah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data terkait aliran material atau produk antar departemen atau stasiun kerja. Data yang dikumpulkan berupa jarak antar departemen atau stasiun kerja dan biaya perpindahan material.
2. Membuat desain tata letak awal dengan pendekatan yang sederhana.
3. Evaluasi tata letak dengan menghitung total biaya transportasi pada desain tata letak awal berdasarkan aliran material, jarak dan biaya perpindahan material.
4. Pertukaran departemen atau stasiun kerja untuk mengevaluasi perubahan biaya dan jarak yang dihasilkan.
5. Melakukan iterasi pertukaran departemen atau stasiun kerja sampai menemukan hasil yang terbaik.

Metode ini mempunyai kelebihan dalam optimasi biaya dan efisiensi komputasi yang menggunakan computer. Sedangkan kelemahan dari metode ini terletak pada kompleksitas implementasi dan ketergantungan pada kualitas dan akurasi data.

2.2.6. Penjadwalan Produksi

Penjadwalan mempunyai peran penting dalam menjalankan suatu perusahaan. Pengaplikasian penjadwalan yang tepat dapat membantu perusahaan dalam menyelesaikan masalah maupun meningkatkan kinerja perusahaan. Dalam prakteknya, penjadwalan digunakan untuk mengalokasikan sumber daya dan aktivitas yang akan dikerjakan pada sektor manufaktur dan jasa (Pinedo, 2009).

Pada industri manufaktur, sumber daya yang dimiliki ialah operator mesin, alat *material handling* (truk, *hand truck*, pallet) dan lainnya sedangkan aktivitas berupa pengoperasian mesin produksi dan melakukan perpindahan material. Untuk membuat penjadwalan yang efisien, perusahaan harus menentukan prioritas tiap pekerjaan dan menentukan tujuan yang ingin dicapai. Terdapat beberapa metode penjadwalan sesuai dengan prioritas pekerjaan dan tujuan yang ingin dicapai, yakni:

1. *First Come First Serve* (FCFS)

Sesuai dengan namanya maka metode ini menjadwalkan pekerjaan (*job*) berdasarkan waktu masuknya *job* tersebut. *Job* yang pertama masuk akan

dikerjakan terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan *job* yang masuk kedua. Metode ini umum dijumpai di lingkungan sekitar seperti antrian pelanggan yang ingin memesan makanan, antrian pengisian bahan bakar di SPBU dan lainnya. Pelanggan pertama yang mengantri akan dilayani terlebih dahulu dan dilanjut dengan antrian kedua dan seterusnya. Pengaplikasiannya yang sederhana membuat kelebihan tersendiri dari metode ini namun ketika terdapat perbedaan waktu yang signifikan dalam mengerjakan *job* yang satu dengan lainnya, metode ini akan menyebabkan waktu tunggu yang besar.

2. *Shortest Processing Time (SPT)*

Shortest processing time (SPT) merupakan teknik penjadwalan yang memprioritaskan *job* dengan waktu proses yang paling rendah. Metode ini bertujuan untuk meminimasi *flow time* rata-rata suatu pekerjaan sehingga waktu tunggu pada proses produksi menjadi kecil. Kelemahan metode ini ialah tidak mempertimbangkan *due date* dari suatu *job*. Ketika terdapat *job* yang memiliki waktu proses yang rendah (*due date* lama) dengan *job* yang memiliki waktu proses yang lama (*due date* dekat), algoritma metode ini tetap memprioritaskan *job* dengan waktu proses yang rendah. Kondisi ini menyebabkan metode SPT rentan menimbulkan keterlambatan (*tardiness*) untuk menjadwalkan *job* yang mempunyai *due date* yang spesifik. Sesuai dengan tujuannya yaitu meminimasi *flow time*, maka perhitungan *flow time* dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$F_i = s_i - r_i + p_i \quad (2.2)$$

$$\bar{F} = \frac{\sum F_i}{T_j} \quad (2.3)$$

Dimana:

F_i = *flow time job* ke *i*

s_i = waktu mulai *job* ke *i*

r_i = *ready time job* ke *i*

p_i = waktu proses *job* ke *i*

T_j = total *job*

$\bar{F}$ = *flow time* rata-rata

3. *Longest Processing Time (LPT)*

Metode *longest processing time (LPT)* adalah kebalikan dari metode *shortest processing time (SPT)*. Metode LPT memprioritaskan *job* dengan

waktu proses terlama untuk dikerjakan terlebih dahulu. Metode ini digunakan pada mesin paralel identik maupun non identik dengan bertujuan untuk meminimasi *makespan* serta mendistribusikan beban kerja yang cenderung merata. Kelemahan penerapan metode LPT ialah dapat meningkatkan *flow time* karena *job* dengan waktu proses singkat akan diproses terakhir. Selain itu, metode LPT juga rentan mengalami *tardiness* sebab tidak menghiraukan *due date* yang dekat.

4. *Earliest Due Date* (EDD)

Penjadwalan metode EDD (*earliest due date*) memprioritaskan *job* berdasarkan *due date* yang terdekat. Metode EDD bertujuan untuk meminimasi maksimum *tardiness* (T_{max}) pada penjadwalan mesin paralel sedangkan pada penjadwalan mesin tunggal, metode EDD bertujuan untuk meminimasi maksimum *tardiness* (T_{max}) dan maksimum *lateness* (L_{max}).

2.2.7. Uji Keseragaman dan Kecukupan Data

Pengujian keseragaman data bertujuan untuk melihat apakah terdapat data yang menyimpang dengan data lainnya. Pada pengujian ini akan dicari nilai batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB) dari keseluruhan data. Data yang berada diluar dari nilai BKA dan BKB merupakan data yang menyimpang dan harus dikeluarkan dari kumpulan data. Berikut merupakan tahap-tahap untuk menghitung nilai BKA dan BKB dari keseragaman data:

1. Pengelompokan data ke dalam subgrup

$$k = 1 + 3.33 \log N \quad (2.4)$$

Sumber : Sitalaksana (2006)

Dimana:

k = jumlah subgrup

N = jumlah data yang diambil

2. Menghitung nilai rata-rata subgrup

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{k} \quad (2.5)$$

Sumber : Sitalaksana (2006)

3. Menghitung standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (2.6)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (2.7)$$

Sumber : Sitalaksana (2006)

Dimana:

n = jumlah data tiap subgrup

4. Menentukan batas kendali atas dan batas kendali bawah

$$BKA = \bar{x} + 3\sigma_{\bar{x}} \quad (2.8)$$

$$BKB = \bar{x} - 3\sigma_{\bar{x}} \quad (2.9)$$

Sumber : Sitalaksana (2006)

Setelah melakukan uji keseragaman data dan didapatkan hasil data yang seragam maka selanjutnya dilakukan uji kecukupan data. Uji kecukupan data merupakan salah satu cara pengujian untuk mengetahui data yang diambil dapat mewakili/cukup sehingga dapat diolah dalam suatu penelitian. Untuk melakukan pengujian kecukupan data, pengukur terlebih dahulu melakukan pengukuran pendahuluan. Pengukuran pendahuluan merupakan kegiatan pengambilan data dengan jumlah data yang ditentukan oleh pengukur (Sitalaksana, 2006). Data yang telah diambil kemudian di uji apakah mencukupi atau tidak, apabila belum mencukupi maka pengukur akan melakukan pengambilan data lagi hingga data yang terkumpul mencukupi (Nasrullah et al., 2023). Pengujian kecukupan data dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$N' = \left(\frac{\frac{K}{S} \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \quad (2.10)$$

Sumber : Sitalaksana (2006)

Keterangan:

N' = jumlah data yang dibutuhkan

N = jumlah data yang diambil

K = tingkat keyakinan

S = tingkat ketelitian

Xi = data

Pada persamaan di atas, apabila hasil perhitungan $N' < N$ maka jumlah data yang diambil sudah cukup dan sebaliknya.

2.2.8. Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu dilakukan untuk mendapatkan data waktu penyelesaian saat melakukan proses operasi. Secara umum teknik pengukuran waktu dibagi menjadi

2 yaitu pengukuran langsung dan pengukuran tidak langsung (Sutalaksana, 2006). Pengukuran langsung dilakukan dengan cara mengukur waktu secara langsung di lokasi tempat pengukuran. Sedangkan pengukuran tidak langsung, pengukur dapat melakukan pengukuran waktu dengan melakukan perhitungan data yang telah didokumentasikan (pengukur tidak perlu berada di lokasi pengukuran). Sebelum melakukan pengukuran, pengukur harus memilih salah satu operator yang akan diukur saat bekerja. Setiap operator biasanya memiliki kemampuan yang berbeda-beda bergantung dari *skill* dan pengalaman dari operator tersebut. Untuk mendapatkan hasil pengukuran yang dapat mewakili keseluruhan operator, pengukur harus memilih operator yang mempunyai kemampuan sedang sehingga data yang didapatkan akan berdistribusi normal (Sutalaksana, 2006). Untuk mendapatkan hasil data waktu yang baik, operator yang terpilih harus bekerja seperti biasanya (wajar) dan operator yang terpilih memiliki sikap kooperatif. Pengukuran terhadap operator yang terpilih dapat dilakukan dengan alat bantu seperti *stopwatch*, lembar pengamatan dan alat tulis. Data yang telah diukur dengan *stopwatch* kemudian dicatat pada lembar pengamatan hingga jumlah data yang terkumpul telah mencukupi. Sesuai dengan tujuan pengukuran waktu yaitu untuk mendapatkan data waktu penyelesaian maka data yang telah terkumpul melalui pengukuran akan diolah guna mendapatkan waktu baku. Terdapat 3 tahap yang dilakukan untuk mencari nilai waktu baku yaitu menentukan waktu siklus, waktu normal kemudian waktu baku. Berikut persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan nilai waktu tersebut:

1. Waktu Siklus

Waktu siklus merupakan waktu rata-rata dari keseluruhan data waktu yang telah dikumpulkan pada proses pengukuran. Adapun rumus waktu siklus ialah sebagai berikut:

$$W_s = \frac{\sum x_i}{N} \quad (2.11)$$

Dimana:

W_s = waktu siklus

x_i = data waktu

N = jumlah data waktu

2. Waktu Normal

Waktu normal ditentukan dengan memasukkan variabel penyesuaian. Hal ini dimaksudkan agar waktu yang telah dihitung merupakan waktu normal yang

dapat dilakukan oleh seluruh pekerja. Berikut persamaan untuk menentukan nilai waktu normal:

$$W_n = W_s * p \quad (2.12)$$

Dimana:

W_n = waktu normal

W_s = waktu siklus

p = faktor penyesuaian

3. Waktu Baku

Waktu baku merupakan data waktu yang dapat dipercaya sebagai waktu penyelesaian suatu proses. Data waktu ini dapat dipercaya karena memasukkan variabel kelonggaran dimana pekerja dapat melakukan aktivitas pribadi seperti buang air dan lainnya. Berikut merupakan persamaan untuk mencari nilai waktu baku:

$$W_b = W_n(1 + a) \quad (2.13)$$

Dimana:

W_b = waktu baku

W_n = waktu normal

a = *allowance* (kelonggaran)

2.2.9. Faktor Penyesuaian

Faktor penyesuaian adalah variabel yang digunakan pengukur untuk menentukan performa suatu pekerja. Hal ini bertujuan untuk mengklasifikasikan performa pekerja apakah wajar (normal) atau tidak. Untuk menentukan kewajaran pekerja saat bekerja, pengukur harus melakukan pengamatan terhadap pekerja terlebih dahulu. Pengukur akan menilai apakah pekerja lambat atau cepat dalam melakukan pekerjaan sesuai dengan apa yang dirasakan pengukur saat mengamati pekerja. Penilaian ini ditentukan berdasarkan subjektivitas pengukur sehingga nilai penyesuaian akan berbeda-beda antar pengukur yang satu dengan lainnya. Untuk menghindari hasil penilaian yang terlalu ekstrim, pengukur dapat menggunakan beberapa metode yang umum digunakan yaitu metode shumard dan metode westinghouse.

Pada metode shumard, faktor penyesuaian dibagi ke dalam beberapa kelas dimana setiap kelas mempunyai nilai yang berbeda-beda. Berikut merupakan klasifikasi kelas penyesuaian menurut shumard.

PENYESUAIAN MENURUT CARA SHUMARD.

KELAS	PENYESUAIAN	KELAS	PENYESUAIAN
Superfast	100	Good -	65
Fast +	95	Normal	60
Fast	90	Fair +	55
Fast -	85	Fair	50
Excellent	80	Fair -	45
Good +	75	Poor	40
Good	70		

Gambar 2.5. Faktor Penyesuaian Shumard

Nilai penyesuaian dengan metode ini didapatkan dengan menentukan kelas penyesuaian sesuai dengan performa pekerja. Jika kelas penyesuaian telah ditentukan maka nilai penyesuaian dengan metode ini dapat dicari dengan persamaan berikut:

$$p = \frac{C}{60} \quad (2.14)$$

Dimana:

p = faktor penyesuaian

C = nilai kelas penyesuaian

Berbeda dengan metode shumard, metode westinghouse menguraikan penilaian terhadap 4 faktor yaitu keterampilan (*skill*), usaha (*effort*), kondisi kerja (*condition*) dan konsistensi (*consistency*). Setiap faktor terbagi menjadi beberapa kelas dengan nilai yang berbeda-beda juga. Berikut pembagian kelas penyesuaian menurut westinghouse:

Skill			Effort		
+0.15	A1	Superskill	+0.13	A1	Excessive
+0.13	A2		+0.12	A2	
+0.11	B1	Excellent	+0.10	B1	Excellent
+0.08	B2		+0.08	B2	
+0.06	C1	Good	+0.05	C1	Good
+0.03	C2		+0.02	C2	
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.05	E1	Fair	-0.04	E1	Fair
-0.10	E2		-0.08	E2	
-0.16	F1	Poor	-0.12	F1	Poor
-0.22	F2		-0.17	F2	
Conditions			Consistency		
+0.06	A	Ideal	+0.04	A	Perfect
+0.04	B	Excellent	+0.03	B	Excellent
+0.02	C	Good	+0.01	C	Good
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.03	E	Fair	-0.02	E	Fair
-0.07	F	Poor	-0.04	F	Poor

Gambar 2.6. Faktor Penyesuaian Westinghouse

Setiap faktor di atas, westinghouse memberikan uraian yang lebih mendetail untuk membantu pengklasifikasian pekerja. Berikut uraian detail terkait keterampilan (*skill*):

Super skill:

1. Secara bawaan cocok sekali dengan pekerjaannya.
2. Bekerja dengan sempurna.
3. Terlihat terlatih dengan sangat baik.
4. Gerakan halus dan sangat cepat sehingga sangat sulit diikuti.
5. Kadang terkesan seperti gerakan mesin.
6. Perpindahan dari satu elemen pekerjaan ke elemen lainnya tidak terlihat karena lancarnya.
7. Terkesan tidak ada gerakan berpikir dan merencanakan yang sedang dikerjakan.
8. Secara umum pekerja dapat dikatakan pekerja yang sangat baik.

Excellent skill:

1. Percaya pada diri sendiri.
2. Tampak cocok dengan pekerjaannya.
3. Terlihat telah terlatih baik.
4. Bekerja dengan teliti sehingga tidak banyak pengukuran atau pemeriksaan.
5. Gerakan kerja serta urutannya dilakukan tanpa kesalahan.
6. Memakai peralatan dengan baik.
7. Bekerja cepat tanpa mengorbankan mutu.
8. Bekerja cepat dan halus.
9. Bekerja berirama dan terkoordinasi.

Good skill:

1. Kualitas hasil baik.
2. Bekerja lebih baik dibandingkan kebanyakan pekerja lainnya.
3. Dapat memberi petunjuk pada pekerja yang keterampilannya lebih rendah.
4. Tampak seperti pekerja yang cakap.
5. Tidak perlu banyak pengawasan.
6. Bekerja tanpa keraguan.
7. Bekerja dengan stabil.
8. Gerakannya terkoordinasi dengan baik.

9. Gerakannya cepat.

Average skill:

1. Tampak ada kepercayaan pada diri sendiri.
2. Gerakannya cepat.
3. Terlihat adanya merencanakan pekerjaan.
4. Tampak seperti pekerja yang cakap.
5. Gerakannya cukup terlihat tidak ada keraguan.
6. Koordinasi tangan dan pikiran cukup baik.
7. Tampak cukup terlatih dan mengetahui pekerjaannya.
8. Bekerja cukup teliti.
9. Secara keseluruhan cukup memuaskan.

Fair skill:

1. Terlihat terlatih namun masih kurang baik.
2. Mengetahui peralatan dan lingkungan secukupnya.
3. Tampak ada perencanaan sebelum melakukan pekerjaan.
4. Kurang percaya diri.
5. Terlihat tidak cocok dengan pekerjaannya namun telah lama dipekerjakan.
6. Tampak kurang yakin dengan pekerjaan yang dilakukan.
7. Terdapat waktu yang terbuang karena kesalahan.
8. Jika tidak bekerja sungguh-sungguh, *output* yang dihasilkan rendah.
9. Biasanya tidak ragu saat melakukan gerakan.

Poor skill:

1. Koordinasi tangan dan pikiran buruk.
2. Gerakannya kaku.
3. Kelihatan tidak yakin pada urutan gerakan.
4. Tampak seperti tidak terlatih.
5. Terlihat tidak cocok dengan pekerjaannya.
6. Ragu-ragu saat melakukan pekerjaannya.
7. Melakukan banyak kesalahan.
8. Tidak percaya diri.
9. Tidak memiliki inisiatif sendiri.

Pada faktor usaha (*effort*), westinghouse memberikan uraian pada tiap kelas sebagai berikut:

Excessive effort:

1. Kecepatan bekerja sangat berlebihan.
2. Berusaha dengan sangat gigih namun membahayakan kesehatannya.
3. Kecepatan bekerja tidak dapat bertahan sepanjang hari kerja.

Excellent effort:

1. Terlihat kecepatan bekerja sangat tinggi.
2. Gerakannya ekonomis dibandingkan operator biasa.
3. Fokus pada pekerjaannya.
4. Banyak memberi saran.
5. Menerima saran dengan senang.
6. Sangat jarang melakukan gerakan yang salah.
7. Bangga dengan kelebihannya.
8. Perpindahan elemen kerja tidak terlihat karena lancarnya.
9. Bekerja dengan sistematis.

Good effort:

1. Bekerja berirama.
2. Waktu menganggur sangat sedikit.
3. Fokus pada pekerjaannya.
4. Senang melakukan pekerjaannya.
5. Kecepatan bekerja dapat bertahan sepanjang hari.
6. Menerima saran dengan senang.
7. Dapat memberi saran untuk perbaikan.
8. Area kerjanya tertata dengan rapi.
9. Memakai peralatan dengan baik.
10. Menjaga kondisi peralatan dengan baik.

Average effort:

1. Bekerja stabil.
2. Menerima saran namun tidak menjalankannya.
3. *Set up* dilakukan dengan baik.
4. Terdapat kegiatan perencanaan.

Fair effort:

1. Menerima saran dengan kesal.
2. Kurang fokus terhadap pekerjaannya.
3. Kurang memberikan usaha.
4. Tenaga yang dikeluarkan kurang.
5. Ada sedikit penyimpangan dari cara kerja.
6. Kadang alat yang digunakan kurang tepat.
7. Cenderung kurang fokus terhadap pekerjaannya.
8. Terlalu berhati-hati.
9. Sistematika bekerja sedang.
10. Gerakannya tidak terencana dengan baik.

Poor effort:

1. Banyak membuang waktu.
2. Tidak menunjukkan minat bekerja.
3. Tidak menerima saran.
4. Bekerja dengan malas dan lambat.
5. Melakukan gerakan yang tidak diperlukan.
6. Area kerja berantakan.
7. Tidak memperdulikan peralatan yang digunakan.
8. Sering mengubah letak area kerja.
9. *Set up* kerja tidak bagus.

Salah satu alasan mengapa westinghouse melakukan penguraian yang detail terkait keterampilan dan usaha dalam menentukan nilai penyesuaian adalah karena terdapat beberapa kejadian dimana pekerja yang mempunyai keterampilan yang sangat baik namun memberikan usaha yang biasa-biasa saja saat bekerja. Dengan uraian yang detail, pengukur dapat melakukan penilaian penyesuaian yang lebih baik sesuai dengan kondisi yang diamati.

Selain melakukan penilaian terhadap faktor keterampilan dan usaha, pengukur juga harus melakukan penilaian terhadap kondisi kerja serta konsistensi pekerja. Pada faktor kondisi kerja, pengukur harus mengamati kondisi lingkungan pekerja saat melakukan pekerjaan. Beberapa penilaian penting yang dipertimbangkan seperti kebersihan, pencahayaan, suhu serta kebisingan ruangan kerja. Sedangkan untuk faktor konsistensi, pengukur harus mengamati waktu

penyelesaian yang dihitung saat melakukan pengukuran. Hasil data pengukuran yang bervariasi dan mempunyai selisih nilai yang cukup tinggi akan berpotensi menimbulkan permasalahan. Sehingga faktor konsistensi sangat penting untuk di analisis oleh pengukur saat menentukan nilai penyesuaian yang tepat.

2.2.10. Kelonggaran (*allowance*)

Setiap pekerja akan membutuhkan kelonggaran dalam melakukan pekerjaannya. Kelonggaran ini bertujuan agar pekerja dapat melakukan kegiatan yang lain di luar dari pekerjaan. Secara umum terdapat 3 kelonggaran yang diberikan pada pekerja yaitu kelonggaran untuk kebutuhan pribadi, kelonggaran untuk menghilangkan rasa lelah dan kelonggaran untuk hambatan yang tidak terhindarkan (Sutalaksana, 2006).

Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi berupa aktivitas seperti mengambil minum, buang air ke toilet atau berbincang dengan teman kerja. Kelonggaran akan kebutuhan tersebut tentunya bersifat mutlak sebab hal tersebut diperlukan bagi semua manusia. Kelonggaran untuk menghilangkan rasa lelah merupakan kelonggaran kepada pekerja untuk melakukan istirahat. Pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus oleh pekerja tentunya akan menimbulkan rasa lelah. Apabila kondisi ini tetap dipertahankan oleh pekerja maka performa pekerja pun akan menurun dan akan menimbulkan permasalahan lainnya. Kelonggaran untuk hambatan yang tidak terhindarkan merupakan kelonggaran akan hal-hal yang tidak terduga seperti melakukan kalibrasi mesin, mesin berhenti karena padam listrik, menerima petunjuk cara kerja dari pengawas dan lainnya. Aktivitas-aktivitas tersebut merupakan hal yang tidak dapat terhindarkan sehingga pengukur perlu melakukan perhitungan kelonggaran (*allowance*).

Nilai kelonggaran akan digunakan dalam perhitungan waktu baku sehingga semakin akurat analisis pengukur dalam menghitung kelonggaran maka semakin tinggi pula keandalan waktu baku yang dihasilkan. Untuk mendapatkan nilai kelonggaran, pengukur dapat mengklasifikasikan beban serta lingkungan kerja pekerja sesuai dengan tabel di bawah.

Tabel 2.4. Faktor-Faktor Kelonggaran

Faktor	Contoh Pekerjaan	Ekuivalen Beban	Kelonggaran (%)	
A. Tenaga yang dikeluarkan			Pria	Wanita
1. Dapat diabaikan	Bekerja di meja dengan posisi duduk	tanpa beban	0,0-6,0	0,0-6,0
2. Sangat ringan	Bekerja di meja dengan posisi berdiri	0,00-2,25 kg	6,0-7,5	6,0-7,5
3. Ringan	Seperti menyekop, ringan	2,25-9,00 kg	7,5-12,0	7,5-16,0
4. Sedang	Seperti mencangkul	9,00-18,00 kg	12,0-19,0	16,0-30,0
5. Berat	Mengayun beban yang berat	18,00-27,00 kg	19,0-30,0	
6. Sangat berat	Mengangkat beban	27,00-50,00 kg	30,0-50,0	
7. Luar biasa berat	Mengangkat karung berat	diasas 50 kg		
B. Sikap Kerja				
1. Duduk	Bekerja dengan posisi duduk, ringan		0,00-1,0	
2. Berdiri dengan dua kaki	Posisi badan tegak dan bertumpu dengan 2 kaki		1,0-2,5	
3. Berdiri dengan satu kaki	Salah satu kaki mengendalikan alat kontrol		2,5-4,0	
4. Berbaring	Berbaring dengan salah satu sisi badan		2,5-4,0	
5. Membungkuk	Posisi badan bungkuk dan bertumpu dengan 2 kaki		4,0-10,0	
C. Gerakan Kerja				
1. Normal	Ayunan bebas		0	
2. Cukup terbatas	Ayunan terbatas		0-5	
3. Sulit	Mengangkat beban dengan satu tangan		0-5	
4. Beberapa anggota badan terbatas	Posisi bekerja tangan di atas kepala		5-10	
5. Seluruh anggota badan terbatas	Pekerjaan dilakukan di lorong sempit		10-15	

Tabel 2.4. Lanjutan

D. Kelelahan Mata *)		Cahaya Baik	Buruk	
1. Pandangan terputus-putus	Menggunakan alat ukur	0,0-6,0	0,0-6,0	
2. Pandangan hampir terus-menerus	Pekerjaan yang teliti	6,0-7,5	6,0-7,5	
3. Pandangan terusmenerus fokus tetap	Melakukan pemeriksaan teliti	7,5-12,0	7,5-16,0	
4. Pandangan terus menerus fokus berubah-ubah	Pemeriksaan kecacatan	12,0-19,0	16,0-30,0	
5. Pandangan terus menerus, konsentrasi tinggi		19,0-30,0		
E. Suhu Ruangan Kerja **)		Suhu (°C)	Kondisi Normal	Berlebihan
1. Beku		di bawah 0	di atas 10	di atas 12
2. Rendah		0-13	10-0	12-5
3. Sedang		13-22	5-0	8-0
4. Normal		22-28	0-5	0-8
5. Tinggi		28-38	5-40	8-100
6. Sangat tinggi		di atas 38	di atas 40	di atas 100
F. Keadaan Atmosfer ***)				
1. Baik	Ventilasi ruangan baik dan udara segar			0
2. Cukup	Ventilasi ruangan kurang baik (ada bau-bauan tidak berbahaya)			0-5
3. Kurang Baik	Banyak debu beracun atau tidak beracun			5-10
4. Buruk	Terdapat bau berbahaya dan memakai alat pernapasan			10-20

Tabel 2.4. Lanjutan

G. Keadaan Lingkungan	
1. Bersih, sehat dan kebisingan rendah	0
2. Siklus kerja berulang 5-10 detik	0-1
3. Siklus kerja berulang 0-5 detik	1-3
4. Tingkat kebisingan tinggi	0-5
5. Apabila faktor-faktor mempengaruhi kualitas	0-5
6. Terdapat getaran di lantai	5-10
7. Keadaan luar biasa (kebisingan, kebersihan, dll)	5-15

*) Kontras warna harus diperhatikan

**) Tergantung kondisi ventilasi lingkungan kerja

***) Dipengaruhi oleh ketinggian tempat kerja dari permukaan laut dan keadaan iklim

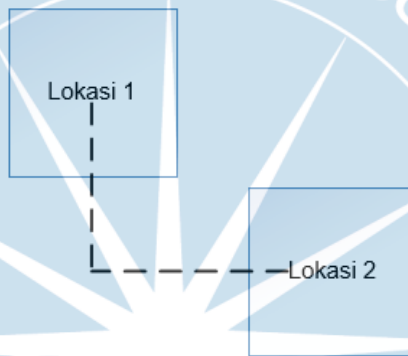
Catatan tambahan : Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi dipengaruhi oleh jenis kelamin

Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi bagi pria berada di antara 0 - 2.5%

Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi bagi wanita berada di antara 2 – 5%

2.2.11. Perhitungan Jarak

Salah satu cara untuk mengukur keefisienan suatu tata letak ialah dengan mengukur jarak yang harus dilalui dalam proses perpindahan material (*material handling*). Tata letak yang mempunyai jarak *material handling* yang rendah dan penumpukan material yang minim dapat dikatakan sebagai desain tata letak yang baik. Terdapat beberapa metode yang umum digunakan untuk mengukur jarak dalam suatu fasilitas produksi seperti *rectilinear distance* dan *euclidean distance*. *Rectilinear distance* atau yang sering disebut jarak manhattan merupakan metode perhitungan jarak dengan menghitung jarak tegak lurus antar lokasi. Metode ini sering digunakan dalam menghitung jarak antar fasilitas di lantai produksi karena merepresentasikan *aisle* lantai produksi. Berikut ilustrasi dari *rectilinear distance*.



Gambar 2.7. Ilustrasi *Rectilinear Distance*

Adapun persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung jarak dengan *rectilinear distance* ialah sebagai berikut:

$$D_{ij} = |X_i - X_j| + |Y_i - Y_j| \quad (2.15)$$

Dimana:

D_{ij} = jarak lokasi i ke lokasi j

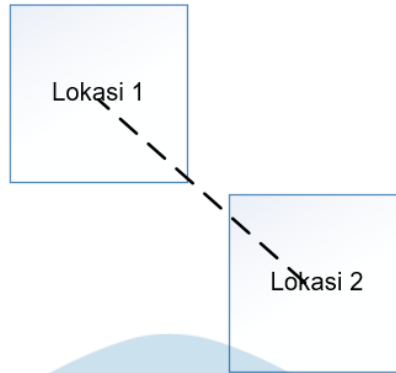
X_i = koordinat sumbu x lokasi i

X_j = koordinat sumbu x lokasi j

Y_i = koordinat sumbu y lokasi i

Y_j = koordinat sumbu y lokasi j

Sedangkan *euclidean distance* atau yang sering disebut *straight line* merupakan metode perhitungan jarak dengan cara mengkalkulasi panjang garis lurus dari titik tengah fasilitas 1 ke titik tengah fasilitas 2. Metode ini umumnya digunakan untuk menghitung jarak jalur distribusi maupun jarak *material handling* menggunakan *conveyor*. Adapun gambar ilustrasi dari *euclidean distance* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.8. Ilustrasi *Euclidean Distance*

Persamaan matematis yang dapat digunakan untuk melakukan perhitungan jarak menggunakan *euclidean distance* ialah sebagai berikut:

$$D_{ij} = \sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \quad (2.16)$$

Dimana:

D_{ij} = jarak lokasi i ke lokasi j

X_i = koordinat sumbu x lokasi i

X_j = koordinat sumbu x lokasi j

Y_i = koordinat sumbu y lokasi i

Y_j = koordinat sumbu y lokasi j