

BAB II

STUDI LITERATUR

2.1. Pendahuluan

Pada bab dua ini akan diterangkan tentang kajian literatur studi. Literatur studi yang dilakukan dalam dua tahapan, tahapan pertama adalah kajian induktif dan yang kedua adalah kajian deduktif. Kajian induktif adalah kajian yang diperoleh dari makalah atau hasil-hasil penelitian yang mendahuluinya. Sedangkan kajian deduktif adalah kajian yang diperoleh dari buku (*textbook*) tentang teori-teori mendasar yang dapat digunakan dalam menyelesaikan / mengembangkan permasalahan yang diungkap dalam skripsi ini.

2.2. Kajian Deduktif

Kemampuan bersaing sebuah perusahaan dapat dilakukan dengan menurunkan biaya manufaktur, peningkatan kualitas, menjaga ketepatan pengiriman dan lain-lain. Menurunkan biaya manufaktur atau biaya produksi dapat dilakukan diantaranya dengan cara mengoptimalkan kerja mesin produksi yang ada diantaranya dengan menata ulang mesin produksi dan menjadwalkan produksinya (Wahyu.A dan Widodo I A, 2003).

Tata letak proses lay-out yang digunakan untuk melakukan kegiatan produksi seringkali mengakibatkan munculnya berbagai permasalahan, diantaranya adalah sulit untuk melakukan pengaturan pada lantai produksi baik pengaturan aliran material maupun jadwal produksi. Hal ini diakibatkan oleh

beragamnya proses permesinan sehingga aliran material bersifat acak ke seluruh system (Ma'ruf A dan Winarti, 2001).

Permasalahan keseimbangan dalam lini perakitan sederhana atau yang sering disebut *simple assembly line balancing problem* (SALBP) dideskripsikan sebagai berikut, sebuah produk yang memiliki N elemen kerja yang harus dikerjakan memerlukan suatu desain lini perakitan yang seimbang karena jika keseimbangan tidak dapat dicapai maka keterlambatan (*delays*) akan terjadi sebagai akibat dari penumpukan material di salah satu stasiun kerja (*bottleneck*) (Leksmana S dan Hartono M, 2003)

Pada industri dibidang perakitan dengan menggunakan komponen atau suku cadang yang diperoleh dari unit sebelumnya baik dari unit perakitan dalam maupun luar perusahaan yang merupakan subkontrak dari perusahaan lain sehingga pada proses perakitan akhir produk harus menjaga selalu menjaga kelancaran masing-masing unit. Hal ini dapat diperhatikan dari proses yang dilakukan untuk mendukung proses perakitan ini, jangan sampai terjadisuku cadang tidak sesuai dengan jadwal yang ada.

2.3. Kajian Induktif

Pada umumnya merencanakan suatu keseimbangan didalam suatu lintasan produksi usaha yang bertujuan untuk mencapai suatu kapasitas optimal, dimana tidak terjadi penghamburan kapasitas.

Dalam proses transportasi bahan baku menjadi produk jadi, perusahaan senantiasa harus menekan biaya produksi seefisien mungkin tanpa mengabaikan

unsur mutu suatu produk dan berusaha proses transportasi berjalan dengan lancar dengan aliran lintasan yang baik sesuai dengan kapasitas jadwalnya.

Untuk melakukan proses produksi dengan baik dan lancar serta menghasilkan produk sesuai dengan yang diharapkan maka perlu memperhatikan beberapa faktor. Diantaranya yaitu menyusun lintasan pada lini perakitan. Lintasan produksi sering diartikan sebagai aktivitas yang ditujukan untuk meningkatkan nilai masukan jadi keluaran.

2.3.1. Sistem Manufaktur

Istilah manufaktur banyak digunakan di kalangan industri dan akademis, namun pengertian manufaktur masih rancu hingga saat ini. Pengertian manufaktur adalah sebagai berikut :

- Manufaktur (*manufacturing*) adalah kumpulan operasi dan aktivitas yang saling berhubungan untuk membuat suatu produk, meliputi: perancangan produk, pemilihan material, perencanaan proses, perencanaan produksi, produksi, inspeksi, manajemen, dan pemasaran.
- Produksi (*manufacturing production*) adalah serangkaian proses yang dilakukan untuk membuat produk.
- Proses-produksi manufaktur (*manufacturing process*) adalah aktivitas sistem manufaktur terkecil yang dilakukan untuk membuat produk, yaitu proses permesinan maupun proses pembentukan lainnya.
- Rekayasa manufaktur (*manufacturing engineering*) adalah kegiatan perancangan, operasi, dan pengendalian proses manufaktur.

- Sistem manufaktur (*manufacturing system*) adalah suatu organisasi yang melaksanakan berbagai kegiatan manufaktur yang saling berhubungan, dengan tujuan menjembatani fungsi produksi dengan fungsi-fungsi lain di luar fungsi produksi, agar dicapai performansi produktivitas total sistem yang optimal, seperti: waktu produksi, ongkos, dan utilisasi mesin. Aktivitas sistem manufaktur termasuk perancangan, perencanaan, produksi, dan pengendalian. Fungsi lain di luar sistem manufaktur adalah: akuntansi, keuangan, dan personel.

Sistem manufaktur menurut strategi respon terhadap permintaan pelanggan dapat diklasifikasikan dalam lima kategori sebagai berikut [Gaspersz, 1998] :

1. *Design-to-Order (Engineer-to-Order)*
2. *Make-to-Order*
3. *Assemble-to-Order*
4. *Make-to-Stock*

Sistem manufaktur juga dapat dibagi berdasarkan bentuk proses produksi atau sistem produksinya, yaitu [Fogarty *et al.*, 1991] :

a. Flow Shop

Sistem produksi *flow shop* menyusun stasiun-stasiun kerja (*work stations*) dalam urutan-urutan operasi yang membuat produk, sehingga kadang-kadang disebut sebagai *product flow*, karena produk mengalir mengikuti langkah-langkah sekuensial yang sama dalam proses produksi. Sistem produksi ini dibagi lagi menjadi :

- **Continuous Flow Shop**

Sistem produksi ini biasanya digunakan untuk memproduksi atau memproses material cair, bahan kimia cair, dan pengilangan minyak.

- **Dedicated Repetitive Flow**

Sistem produksi ini memproduksi satu jenis produk tertentu secara terus menerus. Namun masih diijinkan untuk adanya variasi produk, seperti variasi warna yang tidak memerlukan pemuluran waktu *set-up* di bagian *assembly* atau proses manufakturnya.

Karakteristik khusus dari sistem produksi ini adalah material akan diproses di beberapa stasiun kerja yang melakukan berbagai proses produksi dengan waktu proses yang hampir sama. Peralatan di setiap stasiun kerja dikhususkan untuk melakukan satu atau beberapa proses tertentu.

- **Mixed -Model Repetitive Flow**

Sistem produksi ini digunakan untuk memproduksi dua atau beberapa model produk sekaligus. Namun demikian, waktu *set-up* untuk berubah dari produk yang satu ke produk yang lain hampir tidak ada. Karena terjadi proses produksi untuk beberapa produk sekaligus, maka peralatan yang digunakan fungsi yang relatif umum dan pekerja yang mampu mengerjakan beberapa tugas.

- **Batch Flow**

Sistem produksi ini pada dasarnya sama *continuous repetitive flow*, hanya saja pada sistem manufaktur ini dua atau lebih produk diproses sekaligus.

Set-up mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk perubahan dari satu produk ke produk yang lainnya, sehingga perlu ditentukan ukuran *batch* produksi yang menghasilkan waktu proses per unit yang minimum.

b. Job Shop

Sistem produksi *job shop* mengorganisasikan sejumlah peralatan berdasarkan fungsinya (seperti *milling*, *drilling*, *turning*, *forging*, dan *assembly*) . Proses yang dialami setiap produk di setiap stasiun kerja berbeda-beda. Oleh karena itu, peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang umum. Peralatan disusun berdasarkan proses produksi yang dilakukan sehingga sistem produksi ini sering dikenal mempunyai tata letak berdasarkan proses (*process layout*).

c. Fixed Site

Sistem produksi ini mempunyai karakteristik membawa material, peralatan-peralatan, dan personel, dibawa ke lokasi tempat produk akan diproduksi, karena ukuran produk yang dihasilkan sangat besar. Contoh produk yang diproduksi dengan sistem produksi ini adalah kapal laut, pesawat terbang, jembatan, dan produk lainnya yang sulit untuk dipindahkan dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja yang lainnya.

2.3.2. Keseimbangan Lintasan Produksi

Lintasan produksi adalah suatu urutan proses pengerjaan yang diperlukan untuk menghasilkan produk tertentu. Dalam suatu lintasan produksi diperlukan perencanaan produksi terutama dalam pengaturan operasi yang akan

5. Waktu SK

Didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan oleh sebuah stasiun kerja untuk mengerjakan semua elemen kerja yang didistribusikan pada stasiun kerja tersebut. Besarnya waktu SK tidak boleh melebihi CT.

6. Delay time

Didefinisikan sebagai selisih antara CT dengan waktu SK. *Delay time* merupakan waktu menganggur yang terjadi di setiap stasiun kerja.

7. Precedence diagram

Diagram yang menggambarkan urutan dan keterkaitan antar elemen kerja perakitan sebuah produk.

2.3.4. Permasalahan Keseimbangan Lintasan Produksi

Salah satu masalah dalam perencanaan lintasan produksi adalah mengalokasikan pekerjaan pada setiap stasiun kerja sehingga total pengerjaan pada setiap stasiun kerja mendekati sama.

Sebelum memasuki pembahasan mengenai lintasan produksi, terlebih dahulu dibahas mengenai lintasan produksi (*assembly line*) yang merupakan sarana penerapan kerja dalam keseimbangan lintasan. Lintasan perakitan menurut elsayed (1994) adalah suatu lintasan produksi dimana bahan baku bergerak secara kontinyu pada tingkat rata-rata yang seragam dalam serangkaian stasiun kerja yang berurutan dimana proses perakitan dikerjakan. Misalnya perakitan mobil, sepeda motor, televisi, radio dan lain-lain.

Stasiun kerja adalah sebuah lokasi lintasan perakitan dimana suatu elemen kerja dikerjakan pada sebuah produk.

Metode yang umum digunakan adalah mendistribusikan elemen-elemen pekerjaan / operasi pada setiap stasiun kerja sesuai dengan jalur perakitannya sehingga total waktu operasi dari masing-masing stasiun kerja tersebut seimbang.

Lintasan perakitan akan berlanjut menjadi sebuah bagian terbesar dalam berbagai manufaktur dan operasi-operasi perakitan, walaupun tenaga kerjanya telah digantikan dengan tenaga kerja mesin (robot). Dalam lintasan produksi ada dua inti permasalahan yang diselesaikan menurut elsayed (1994) :

1. keseimbangan stasiun kerja
2. Menjaga lintasan produksi tetap kontinyu.

Lini perakitan yang baik adalah lini perakitan yang dapat memenuhi dua kriteria di atas. Secara teknis, usaha untuk memenuhi dua kriteria di atas adalah dengan mendistribusikan elemen kerja ke setiap stasiun kerja dengan acuan waktu siklus / *Cycle Time* (CT). Apabila hal ini tercapai secara sempurna, maka lini perakitan akan menjadi seimbang untuk setiap stasiun kerjanya (yaitu selama CT) dan beroperasi secara kontinyu, yaitu dengan laju sebesar CT.

Cycle Time didefinisikan sebagai rata – rata waktu yang dibutuhkan untuk merakit satu unit produk jadi. Pengukuran CT dilakukan dengan kondisi bahwa pekerja bekerja dengan normal. Pada lini perakitan, salah satu *tool* yang digunakan dalam *material handling* adalah konveyor. Tipe – tipe konveyor yang sering dipakai dalam lini perakitan adalah konveyor sabuk, rantai, *overhead*, dan *screw*. [Elsayed *et al.*, 1994]

2.3.5. Tujuan Keseimbangan Lintasan

Pada umumnya merencanakan suatu keseimbangan lintasan suatu lintasan produksi meliputi usaha yang bertujuan untuk mencapai suatu kapasitas optimal, sehingga tidak terjadi penghamburan fasilitas. Tujuan tersebut dapat dicapai apabila :

1. Lintasan produksi bersifat seimbang dimana setiap stasiun kerja mendapat tugas yang sama nilainya diukur dengan waktu.
2. Stasiun-stasiun kerja berjumlah minimum.
3. Jumlah waktu menganggur di setiap stasiun kerja sepanjang lintasan produksi minimum.

Dengan demikian kriteria yang umum digunakan dalam suatu keseimbangan lintasan produksi adalah :

1. Minimasi waktu menganggur (*idle time*)
2. Minimasi keseimbangan waktu senggang (*balance delay*)
3. Maksimasi efisiensi

Berdasarkan uraian diatas, maka dapat dikatakan bahwa keseimbangan lintasan produksi tersebut didasarkan pada hubungan antara:

1. Kecepatan produksi (*production rate*).
2. Operasi yang diperlukan dan urutan ketergantungan.
3. Jumlah operator yang melakukan operasi tersebut.
4. Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap operasi

2.3.6. Pembatasan Dalam Penyelesaian Masalah keseimbangan Lintasan

Untuk menyeimbangkan suatu lintas perakitan / produksi, ada beberapa faktor yang menjadi pembatas yaitu:

1. Pembatas teknologi.

Pembatas ini disebut juga precedence constraint, yaitu pembatas proses pengerjaan yang telah tertentu. Sebagai contoh: suatu proses yang tidak mungkin dikerjakan apabila proses sebelumnya belum dikerjakan atau suatu proses harus dilakukan langsung setelah penyelesaian suatu proses tertentu.

2. Pembatas fasilitas.

Pembatasan disini adalah akibat adanya fasilitas produksi yang tidak dapat dipindahkan.

3. Pembatas posisi.

Membatasi pengelompokan elemen-elemen kerja karena orientasi produk terhadap operator sudah tertentu.

4. Pembatas Zona (zoning constraint).

Pembatas zona terdiri atas positive zoning constraint (PZC) dan Negative zoning constraint (NZC). PZC berarti elemen-elemen pekerjaan tertentu harus ditempatkan saling berdekatan dalam stasiun kerja yang sama, sedangkan NZC berarti elemen-elemen pekerjaan tertentu harus ditempatkan saling berjauhan.

2.3.7. Kriteria – Kriteria Performansi

Pada usaha penyeimbangan lini perakitan, kriteria – kriteria yang digunakan sebagai pembanding antara kondisi awal dengan kondisi setelah usaha penyeimbangan tersebut dilakukan adalah [Elsayed *et al.*, 1994] :

1. Efisiensi Lini

Efisiensi lini didefinisikan sebagai rasio antara waktu yang digunakan dengan waktu yang tersedia. Dari definisi ini, dapat dikatakan bahwa apabila waktu yang digunakan sama dengan waktu yang tersedia, maka efisiensi lini akan mencapai 100%. Sebaliknya, apabila waktu yang digunakan lebih kecil dari waktu yang tersedia, maka di dalam lini terjadi *idle*.

Sebelum lini diseimbangkan, dari *precedence diagram*, dapat diketahui besarnya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua elemen kerja. Berkaitan dengan waktu yang tersedia, lini akan mencapai keseimbangan apabila setiap daerah pada lini mempunyai waktu yang sama, sehingga rumus untuk menghitung efisiensi lini sebelum diseimbangkan adalah :

$$Eff = \frac{\sum t_i}{R \times T} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dengan : t_i = waktu proses elemen kerja yang ada di jalur terpanjang

R = jumlah daerah yang terbentuk dari *precedence diagram*

T = waktu terbesar dari semua elemen kerja.

Pendistribusian elemen kerja = elemen kerja yang ada sehingga membentuk stasiun kerja dilakukan dengan berdasarkan waktu siklus (CT),

sehingga waktu yang tersedia di setiap stasiun kerja adalah sebesar CT, dan waktu yang tersedia dalam lini perakitan secara total adalah CT dikalikan dengan stasiun kerja yang terbentuk, sehingga rumus untuk menentukan efisiensi lini perakitan setelah diseimbangkan adalah :

$$\text{Eff} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT \times N} \times 100\% \quad (2.2)$$

dengan : n = jumlah elemen kerja yang ada

CT = *Cycle Time* atau waktu siklus

N = jumlah stasiun kerja yang terbentuk

Usaha penyeimbangan yang baik adalah usaha yang dapat menaikkan efisiensi lini perakitan bila dibandingkan dengan sebelum diseimbangkan, atau dengan kata lain, efisiensi setelah diseimbangkan lebih besar dari efisiensi sebelum diseimbangkan.

2. Balance delay

Balance delay didefinisikan sebagai rasio antara waktu *idle* dalam lini dengan waktu yang tersedia. Nilai *balance delay* semakin mendekati 0, semakin baik, karena hal ini menunjukkan bahwa waktu *idle* yang terdapat dalam lini perakitan juga semakin mendekati 0.

Sebelum lini diseimbangkan, rumus untuk menentukan *balance delay* lini perakitan adalah :

$$BD = \frac{RxT - \sum t_i}{RxT} \times 100\% \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan : t_i = waktu proses elemen kerja yang ada di jalur terpanjang.

R = jumlah daerah yang terbentuk dari *precedence diagram*

T = waktu terbesar dari semua elemen kerja.

Setelah diseimbangkan, maka waktu yang tersedia dalam lini perakitan adalah sama dengan CT dikalikan dengan jumlah stasiun kerja yang terbentuk. Sehingga rumus untuk menentukan *balance delay* lini perakitan setelah diseimbangkan adalah sebagai berikut :

$$BD = \frac{CT \times N - \sum_{i=1}^n t_i}{CT \times N} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

dengan : n = jumlah elemen kerja yang ada

CT = *Cycle Time* atau waktu siklus

N = jumlah stasiun kerja yang terbentuk

Usaha penyeimbangan yang baik adalah usaha yang dapat menurunkan *balance delay* lini perakitan bila dibandingkan dengan sebelum diseimbangkan, atau dengan kata lain, *balance delay* setelah diseimbangkan lebih kecil dari *balance delay* sebelum diseimbangkan.

3. Idle time :

Idle time didefinisikan sebagai waktu menganggur yang terkandung dalam lini perakitan. Besarnya *idle time* dapat dihitung dengan cara mengurangi waktu yang tersedia dengan waktu yang digunakan. Sebelum diseimbangkan, penentuan besarnya *idle time* lini perakitan menggunakan formula :

$$Idle = R \times T - \sum_i t_i \quad \dots \dots \dots (2.5)$$

dengan : t_i = waktu proses elemen kerja yang ada di jalur terpanjang

R = jumlah daerah yang terbentuk dari *precedence diagram*

T = waktu terbesar dari semua elemen kerja.

Sedangkan formula untuk menentukan *idle time* lini perakitan setelah diseimbangkan adalah :

$$Idle = CT \times N - \sum_{i=1}^n t_i \quad \dots \dots \dots (2.6)$$

dengan : n = jumlah elemen kerja yang ada

CT = *Cycle Time* atau waktu siklus

N = jumlah stasiun kerja yang terbentuk

Usaha penyeimbangan yang baik adalah usaha yang dapat menurunkan *idle time* lini perakitan bila dibandingkan dengan sebelum diseimbangkan, atau dengan kata lain, *idle time* setelah diseimbangkan lebih kecil dari *idle time* sebelum diseimbangkan.

2.3.8. Metode Penyeimbangan Lini Perakitan

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyeimbangkan lini perakitan. Secara umum dibagi menjadi 2 metode dasar yaitu :

1. Metode Analitik

Merupakan metode yang dapat menghasilkan suatu solusi yang optimal.

2. Metode Heuristik

Metode yang dapat menghasilkan solusi yang baik.

Beberapa metode Heuristik yang umum digunakan :

- Metode Kilbridge -- Wester Heuristic
- Metode Moodie -- Young
- Metode Helgeson -- Birnie / Positional -- Weight Technique

2.3.8.1. Mixed Model Assembly Line Balancing

Perbedaan karakteristik antara *mixed model* modern dan model tradisional dapat dijelaskan seperti di bawah ini :

1. Precedence diagram dari seluruh tipe model dapat diakumulasikan dalam satu kombinasi *precedence diagram*.
2. Setiap elemen kerja dari kombinasi *precedence diagram* dikerjakan sedikitnya satu model.
3. Durasi elemen kerja diketahui dan tergantung dari tipe model.
4. Selang waktu pada lini perakitan tidak sama, namun pengeblokan dan pengurangan dapat dilakukan.

5. Stasiun pertama tidak pernah kekurangan dan stasiun terakhir tidak pernah di *block*.
6. Kebijakan pada lini produksi adalah *Make-to-Order*
7. Sebuah elemen kerja yang digunakan bersama-sama untuk beberapa model, dibatasi dengan kasus yang nyata untuk stasiun yang sama pada seluruh model.

Asumsi – asumsi yang digunakan pada *Mixed Model Assembly Line* adalah:

- Asumsi yang pertama menyatakan bahwa sekelompok model yang sama dirakit dalam lini perakitan.
- Asumsi yang kedua mendefinisikan tentang kombinasi *precedence diagram* yang merupakan gabungan dari seluruh elemen kerja yang dibutuhkan oleh seluruh model
- Asumsi yang ketiga berhubungan dengan penentuan karakteristik dari sebuah model, dimana waktu elemen kerja diketahui dan dapat berbeda untuk model yang berbeda pula.
- Asumsi yang keempat berhubungan dengan penjabaran teori (lini *topology*) Produk bergerak sepanjang lini perakitan dalam selang waktu yang tidak sama, yang berarti bahwa waktu pada stasiun kerja tidak dibatasi oleh *cycle time* di luar lini yang dapat mengeblok dan mengurangi.

- Asumsi yang kelima memungkinkan lini perakitan untuk beroperasi tanpa adanya pengaruh dari luar, yaitu selalu ada bahan baku untuk stasiun pertama dan selalu ada tempat penyimpanan untuk produk akhir.
- Asumsi keenam, urutan kedatangan dari beberapa model lini perakitan ditentukan oleh pesanan konsumen.
- Asumsi ketujuh, yaitu perakitan pada *line balancing* dengan *traditional mixed model* mengasumsikan bahwa sebuah elemen kerja yang digunakan bersama-sama untuk beberapa model selalu dikerjakan pada stasiun yang sama.

Pada model usulan ini (*mixed model modern*) batasannya tidak valid untuk seluruh elemen kerja, tetapi membatasi elemen kerja yang nyata sesuai dengan beberapa faktor yang nanti akan dibahas. Alasan untuk menerapkan batasan ini pada sistem tradisional adalah :

1. Spesialisasi, pembagian pekerjaan di antara para pekerja dimana setiap pekerja mengerjakan sebuah pekerjaan yang kecil. Kesimpulan dari batasan ini adalah pekerjaan yang memuaskan dari setiap stasiun kerja akan menjaga kekonstanan (sejauh mungkin).
2. Pembelajaran, jumlah elemen kerja perakitan untuk setiap pekerja tetap kecil / sedikit sehingga perbaikan pengerjaan dapat dilaksanakan dalam waktu yang relatif singkat, jika pembelajaran lebih cepat.
3. Biaya peralatan, penugasan dari elemen kerja perakitan yang sama untuk sebuah stasiun tunggal mengurangi penggandaan perakitan peralatan.

Formulasi Matematis

Notasi :

- d_{jk} durasi dari elemen kerja k ($k = 1, \dots, K$) dari model j ($j = 1, \dots, J$)
- p_{ij} durasi dari model j pada stasiun i
- $\underline{P}$ himpunan dari durasi model pada stasiun yang berbeda $\underline{P} = \{p_{ij}\}$
- IP_k himpunan dari *immediate predecessors* dari elemen kerja k
- E himpunan dari elemen kerja dimana setiap elemen kerja hanya dapat tugaskan pada satu stasiun kerja yang sama untuk setiap model.
- M parameter yang nilainya besar
- x_{ijk} *zero-one variable* (biner) yang bernilai 1 jika elemen kerja k dari model j ditugaskan pada stasiun kerja i ($i = 1, \dots, I$) dan 0 jika tidak.
- TP *Assembly line throughput*.

Fungsi Tujuan : *Maximasi Line Throughput*

$$\text{Max } \{TP = f(P)\}$$

Constraint 1. Memastikan penugasan dari setiap elemen kerja k dari model j hanya pada satu stasiun i .

$$\sum_{i=1}^I x_{ijk} = 1 \quad j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; \quad (2.7)$$

Constraint 2. *Precedence Constraint.* Yang menjamin jika satu elemen kerja k tertentu ditugaskan pada stasiun i , setiap *predecessors* telah ditugaskan pada stasiun h atau stasiun sebelumnya.

$$j = 1, \dots, J; k = 1, \dots, K; i = 1, \dots, I; h \in IP_k \quad \dots(2.8)$$

Constraint 3. Setiap waktu stasiun dari setiap model dihitung.

$$P_{ij} = \sum_{k=1}^K x_{ijk} d_{jk} \quad i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; \dots(2.9)$$

Constraint 4. *Assignment constraint*, berkaitan dengan penugasan dari elemen kerja E . Jika Setiap elemen kerja E harus ditugaskan pada stasiun yang sama untuk semua tipe model yang membutuhkan elemen kerja ini. Sesuai dengan *constraint* ini, jika elemen kerja g adalah tipe elemen E , ditugaskan pada stasiun i untuk model j , maka tidak boleh ditugaskan pada stasiun yang lain untuk semua model.

$$M(1 - x_{ijg}) - \sum_{l=1}^I \sum_{l \neq i} x_{l j g} \geq 0 \quad \forall g \in E; i = 1, \dots, I; j = 1, \dots, J; l = 1, \dots, I; \dots(2.10)$$

Constraint 5.

$$x_{ijk} \in (0,1) \quad \dots(2.11)$$

2.3.8.1.1. Ukuran Performansi Dari *Mixed Model Assembly Line Balancing*

2.8.1.1.1. *Smoothed Station*

Ukuran dari tingkat fluktuasi waktu *assembly* yang dibutuhkan oleh tiap model pada stasiun yang berbeda-beda selama *shift*

$$\min \sum_{i=1}^I N \sum_{j=1}^J |P_{ij}^* - P_{ij}| \quad \dots(2.12)$$

2.3.8.2. Minimum Idle Time

- Shift duration constraint

$$\sum_{j=1}^J N_j p_{ij} \leq T \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

- Total waktu *assembly*, W_t

$$W_t = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J N_i p_{ij} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

- Idle Time

$$IT = I * T - W_t \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

2.3.8.3. Station CV (Coefficient of Variation)

Ukuran variasi waktu pada stasiun kerja diantara model yang berbeda-beda

- Proporsi model j

$$\alpha_j = \frac{N_j}{\sum_{k=1}^K N_k} \quad \dots\dots\dots (2.16)$$

- Bobot waktu rata-rata model pada stasiun i

$$p_i^* = \sum_{j=1}^J \alpha_j p_{ij} \quad \dots\dots\dots (2.17)$$

- *Coefficient of Variation* pada stasiun I

$$CV_i = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j=1}^J (\alpha_j p_{ij} - p_i^*)^2}{J}}}{p_i^*} \dots\dots\dots (2.18)$$

2.3.8.1.1.4. *Model Variability*

Menyatakan keseimbangan dari satu model terhadap model yang lain. Yang diukur adalah jumlah bobot dari variasi masing-masing model.

$$Min \sum_{j=1}^J \alpha_j \sum_{i=1}^I (p_{ij} - p_i^*)^2 \dots\dots\dots (2.19)$$

Notasi :

P^*j : rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh stasiun pada model j ($j = 1, \dots, J$)

P_{ij} : waktu yang dibutuhkan untuk model j pada stasiun i ($i = 1, \dots, I$)

p^*j : waktu stasiun rata-rata dari model j untuk tiap unit

p_i^* : bobot model rata-rata pada stasiun i untuk tiap unit

p_{ij} : waktu *assembly* yang dialokasikan dari model j pada stasiun i

N_j : jumlah unit dari model j yang dibutuhkan setiap *shift*

T : durasi *shift*

W_i : waktu *assembly* total yang ditugaskan pada *shift*

α_j : proporsi *demand* dari model j

2.4. Penetapan Waktu Kerja.

Penelitian kerja dan analisa metode kerja pada dasarnya akan memusatkan perhatiannya pada bagaimana (how) suatu macam pekerjaan akan diselesaikan.

Dengan mengaplikasikan prinsip dan teknik pengaturan cara kerja yang optimal dalam system kerja tersebut, maka akan diperoleh alternative metode pelaksanaan kerja yang dianggap memberikan hasil yang paling efektif dan efisien. Suatu pekerjaan dikatakan selesai secara efisien apabila waktu penyelesaiannya berlangsung paling singkat. Untuk menghitung waktu baku (standar time) penyelesaian pekerjaan guna memilih alternative metoda kerja yang terbaik, maka perlu diterapkan prinsip-prinsip dan teknik-teknik pengukuran kerja (*work measurement*). Pengukuran waktu kerja ini akan berhubungan dengan usaha-usaha untuk menetapkan waktu baku.

Peralatan yang dibutuhkan untuk aktivitas pengukuran kerja dengan jam henti ini adalah antara lain jam henti (stop watch), papan pengumuman (time study board), lembar pengamatan (time study form) dan alat-alat tulis serta penghitung (calculator).

Pada garis besarnya teknik-teknik pengukuran waktu kerja ini dapt dibagi menjadi dua bagian, yaitu:

1. Pengukuran kerja waktu langsung.

Dinamakan demikian karna pengukurannya dilaksanakan secara langsung yaitu ditempat dimana pekerjaan yang diukur dijalankan.

2. Pengukuran waktu kerja secara tidak langsung.

Dinamakan demikian karena melakukan perhitungan tanpa harus berada ditempat pekerjaan yaitu dengan membaca table-tabel yang tersedia, dengan dasar pengetahuan tentang laju pekerjaan melalui elemen-elemen gerakan.

2.4.1. Pengukuran waktu kerja dengan jam henti.

Pengukuran waktu kerja dengan jam henti pertama kali diperkenalkan oleh FW. Taylor sekitar abad 19 adalah baik sekali diaplikasikan untuk pekerjaan-pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang-ulang (*repetitive*). Dari hasil pengukuran maka akan diperoleh waktu baku untuk menyelesaikan satu siklus pekerjaan yang mana waktu ini akan dipergunakan sebagai standar penyelesaian pekerjaan bagi semua pekerja yang akan melaksanakan pekerjaan yang sama seperti itu.

Secara garis besar langkah-langkah untuk pelaksanaan pengukuran waktu kerja dengan jam henti ini, dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Didefinisikan pekerjaan yang akan diteliti untuk diukur waktunya dan beritahukan maksud dan tujuan pengukuran ini kepada pekerja yang dipilih untuk diamati dan *supervisor* yang ada.
2. Catat semua informasi yang berkaitan erat dengan penyelesaian pekerjaan seperti: lay out, spesifikasi mesin dan lain-lain.
3. Bagi operasi kerja dalam elemen-elemen kerja sedetail-detailnya tapi masih dalam batas-batas kemudahan untuk pengukuran waktunya.

4. Amati, ukur dan catat waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk menyelesaikan elemen-elemen kerja tersebut.
5. Tetapkan jumlah siklus kerja yang harus diukur dan dicatat. Teliti apakah jumlah siklus kerja yang dilaksanakan ini sudah memenuhi syarat dan test pula keseragaman data yang diperoleh.
6. Tetapkan *rate of performance* dari operator saat melakukan pekerjaan. Untuk elemen kerja yang dilakukan secara penuh oleh mesin maka *performance* dianggap normal (100%).
7. Sesuaikan waktu pengamatan berdasarkan *performance kerja* yang ditunjukkan oleh operator sehingga akan diperoleh waktu kerja normal.
8. Tetapkan waktu longgar (*allowance time*) guna memberi fleksibilitas. Waktu longgar diberikan untuk kondisi-kondisi seperti: kebutuhan personil yang bersifat pribadi, faktor kelelahan, keterlambatan dan lain-lain.
9. Tetapkan waktu kerja baku (*standard time*) yaitu jumlah total antara waktu normal dan waktu longgar.

Kriteria-kriteria pengukuran kerja dengan jam henti yang harus dipenuhi adalah:

- a. Pekerjaan tersebut harus dilaksanakan secara repetitive dan uniform.
- b. Isi / macam pekerjaan itu harus homogen.
- c. Hasil kerja (output) harus dapat dihitung secara nyata (kuantitatif) baik secara keseluruhan ataupun untuk tiap-tiap elemen kerja yang berlangsung.

- d. Pekerjaan tersebut cukup banyak dilaksanakan dan teratur sifatnya sehingga akan memadai untuk diukur dan dihitung waktu bakunya

Pada kenyataanya, terdapat perbedaan waktu penyelesaian pada tiap elemen gerakannya. Perbedaan tersebut diasumsikan karna faktor serba kebetulan.

Standar deviasi dari harga rata-rata untuk setiap elemen kerja dinyatakan dengan rumus:

$$\text{Standar deviasi} = SD = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana:

X_i = Data waktu yang dibaca oleh stop watch untuk tiap-tiap individu pengamatan.

$\bar{X}$ = Harga rata-rata dari semua data waktu yang dibaca oleh stop watch per elemen kerja.

N = Jumlah sample pengamatan.

$$\text{Karena } \bar{X} = \sum \frac{X_i}{n} \dots\dots\dots (2.21)$$

Didapatkan formula untuk mencari jumlah pengamatan yang seharusnya dilakukan (N') dengan rumus:

$$N' = \left[\frac{k}{s} \sqrt{\frac{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{\sum X_i}} \right]^2 \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

X_i = Waktu Siklus

N = Jumlah data pengamatan

S = Tingkat ketelitian yang dikehendaki dinyatakan dalam angka decimal.

K = Harag indeks yang besarnya tergantung dari tingkat kepercayaan.

Yaitu:

- a. Tingkat kepercayaan 68 % harga K adalah 1
- b. Tingkat kepercayaan 95 % harga K adalah 2
- c. Tingkat kepercayaan 99 % harga K adalah 3

2.4.2. Penentuan Faktor Penyesuaian

Selama pengukuran berlangsung, pengukur harus mengamati kewajaran kerja yang ditunjukkan oleh operator. Ketidakwaaran dapat terjadi misalnya bekerja tanpa kesungguhan, karena menjumpai kesulitan dan lain-lain. Sebab-sebab seperti ini mempengaruhi kecepatan kerja yang berakibat terlalu singkat atau terlalu panjangnya waktu penyelesaian. Hal ini jelas tidak diinginkan karna waktu baku yang dicari adalah waktu baku yang diperoleh dari kondisi dan cara kerja yang baku yang diselesaikan secara wajar.

2.4.3. Kelonggaran

Disamping jumlah pengukuran yang cukup dan penyesuaian, satu hal lain yang kerap kali terlupakan adalah menambahkan kelonggaran atas waktu normal

yang telah didapatkan. Kelonggaran diberikan untuk tiga hal yaitu kebutuhan pribadi, menghilangkan rasa fatigue dan hambatan-hambatan yang tidak dapat dihindarkan. Ketiganya ini merupakan hal-hal yang secara nyata dibutuhkan oleh pekerja dan selama pengukuran tidak diamati secara cermat, diukur, dicatat ataupun dihitung. Karenanya sesuai pengukuran dan setelah mendapatkan waktu normal kelonggaran perlu ditambahkan. Kelonggaran dibagi menjadi tiga bagian:

1. Personal Allowance
2. Fatigue Allowance
3. Delay Allowance

2.4.4. Perhitungan Waktu Baku Dengan Jam Henti.

Untuk memperoleh waktu baku yang digunakan untuk menghitung jumlah tenaga kerja, maka waktu normal kerja harus ditambahkan dengan allowance time. Dengan demikian waktu bisa diperoleh.

Waktu normal = Waktu Observasi x Performance Rating

$$\text{Waktu Baku} = \text{Waktu Normal} \times \frac{100\%}{100\% - \text{Allowance}\%}$$