

# Perancangan Lintasan Perakitan Garmen dengan Menggunakan “*Ranked Positional Weight Technique*”

Oleh :

**Totong, Sajinu Agus Priyono, Irwan**  
Staf Pengajar Sekolah Tinggi Teknologi Tekstil,

## ABSTRACT

*Design assembly line has a main objective increasing the line efficiency by maximizing the ratio between the throughput and cost. Making the assembly line requires a substantial investment because it involves the provision of machinery, production room, and preparation of layout. To optimize the financial cost in making the necessary preparation of the assembly line balancing design of the optimal production path with minimal cost and can respond to consumer demand as well. Assembly line must be made in such a way so as to have a good balance and in accordance with a cycle time of customer demand so that customer demand can be met according to its due date. There are various ways to make the balance of the assembly line, the methods used in this paper is "Ranked Positional Weight Technique". After applying the Rangked Positional Weight Technique turns out this method is a method that is easy to apply and generate high efficiency of the assembly line. Based on the results of data processing making shorts (trunks) obtained results, ie line efficiency (E) 97.34% and station idle time (I) 0.20 minutes.*

## INTISARI

Desain lintasan perakitan mempunyai tujuan utama meningkatkan efisiensi lintasan dengan memaksimalkan rasio antara *throughput* dan *cost*. Pembuatan lintasan perakitan memerlukan investasi yang besar karena menyangkut penyediaan mesin, ruangan produksi, dan penyusunan *layout*. Untuk mengoptimalkan biaya yang harus disediakan dalam pembuatan lintasan produksi maka diperlukan penyusunan desain lintasan produksi yang optimal yaitu dengan biaya minimal dan dapat merespon permintaan konsumen dengan baik. Lintasan perakitan harus dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai keseimbangan yang baik (*balance*) dan sesuai dengan *cycle time* dari permintaan pelanggan sehingga permintaan pelanggan dapat terpenuhi sesuai *due date*-nya. Ada berbagai cara untuk membuat keseimbangan lintasan perakitan, cara yang dipakai dalam tulisan ini adalah “*Ranked Positional Weight Technique*”. Setelah menerapkan Metoda Bobot Posisi (*Rangked Positional Weight Technique*) ternyata metoda ini merupakan metoda yang mudah untuk diterapkan dan menghasilkan efisiensi lintasan perakitan yang tinggi. Berdasarkan hasil pengolahan data pembuatan celana pendek diperoleh hasil, yaitu Efisiensi lintasan perakitan = 97,2 % dan total waktu *idle* = 0,20 menit.

## I. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Industri garmen di Indonesia berkembang pesat, persaingan diantara industri-industri garmen semakin ketat. Untuk dapat bertahan hidup dan berkembang terus, tuntutan untuk QCD (*quality, cost dan delivery*) yang efektif dan efisien tidak dapat dihindarkan lagi. Usaha untuk meningkatkan kualitas terus menerus harus dibarengi usaha untuk menekan biaya produksi dan *delivery* yang tepat sesuai pesanan konsumen. Ujungnya adalah industri harus bisa menghasilkan produk yang berkualitas tinggi dengan biaya seefisien mungkin dan produk bisa sampai ke konsumen sesuai *due date* yang ditetapkan.

Proses produksi di perusahaan garmen berdasarkan pola aliran kerjanya merupakan sistem produksi dengan sistem *flow shop*. Sistem *flow shop* merupakan suatu sistem produksi dimana proses tersusun mengalir mengikuti pola aliran produk. Strategi respon terhadap pasar umumnya menggunakan strategi *make to order* (MTO). Dalam sistem *make to order*, perusahaan membuat perencanaan dan pengendalian produksi berdasarkan pesanan (*order*) yang masuk saja, sehingga perusahaan tidak membuat produk berdasarkan hasil ramalan (*forecasting*), peramalan hanya dilakukan untuk memperkirakan kebutuhan bahan baku dan *accessories* saja.

Permintaan garmen umumnya bersifat spesifik, jadi hanya dibuat untuk satu jenis/merek tertentu saja karena desainnya yang khusus untuk merek tertentu. Konsekuensinya adalah jika terjadi kelebihan produk, kelebihan produk tersebut tidak boleh dijual ke konsumen lain dan jika terjadi kekurangan produk maka perusahaan akan terkena denda dan tetap harus memenuhi jumlah pesanan yang sesuai dengan perjanjian yang dibuat. Disamping itu kualitas produk dan *due date* pengiriman hasil produk sangat ketat.

Informasi tentang permintaan dapat dijadikan dasar untuk membuat desain lintasan perakitan. Desain lintasan perakitan mempunyai tujuan utama meningkatkan efisiensi lintasan dengan memaksimalkan rasio antara *throughput* dan *cost*. Pembuatan lintasan perakitan memerlukan investasi yang besar karena menyangkut penyediaan mesin, ruangan produksi, dan penyusunan *layout*. Untuk mengoptimalkan biaya yang harus disediakan dalam pembuatan lintasan produksi maka diperlukan penyusunan desain lintasan produksi yang optimal yaitu dengan biaya minimal dan dapat merespon permintaan konsumen dengan baik. Lintasan perakitan harus dibuat sedemikian rupa sehingga mempunyai keseimbangan yang baik (*balance*) dan sesuai dengan *cycle time* dari permintaan pelanggan sehingga permintaan pelanggan dapat terpenuhi sesuai *due date*-nya. Ada berbagai cara untuk membuat keseimbangan lintasan perakitan, cara yang dipakai dalam tulisan ini adalah "*Ranked Positional Weight Technique*"

### 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, dapat dirumuskan permasalahan pada penelitian ini adalah "Bagaimana merancang lintasan perakitan garmen optimal dengan menggunakan "*Ranked Positional Weight Technique*?"

### 1.3 Tujuan

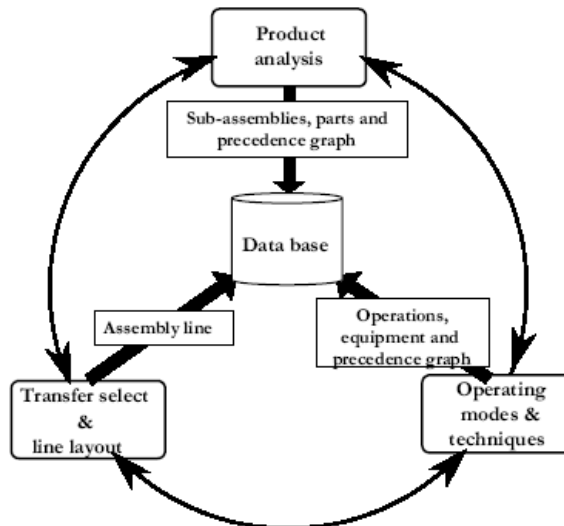
Tujuan penelitian ini adalah merancang lintasan perakitan garmen optimal dengan menggunakan "*Ranked Positional Weight Technique*".

## II. Studi Literatur

### 1. Perancangan lintasan perakitan (*designing assembly lines*)

Lintasan perakitan merupakan metoda paling umum digunakan dalam lingkungan produksi massal. Metoda ini memungkinkan perakitan produk dilakukan oleh pekerja dengan keterbatasan pelatihan dan dengan mesin yang *dedicated* dan atau dengan robot. Tujuan utama dari sistem perakitan adalah meningkatkan efisiensi lintasan dengan memaksimalkan rasio antara *throughput* dan *cost*. Mendesain lintasan perakitan meliputi mendesain produk, proses dan *layout* pabrik sebelum konstruksi lintasan itu sendiri dibuat. Analisis produk bertujuan untuk *mereview* desain produk berdasarkan pada aturan desain klasik perakitan dan *precedence constraint* diantara tugas/pekerjaan. Cara pengoperasian dan modul teknik bertujuan untuk menentukan teknik perakitan yang mungkin dilakukan (manual, otomatis, dan atau robotik) untuk setiap tugas. *Layout* lintasan modular memasukan tugas/pekerjaan pada sekumpulan stasiun dan memutuskan posisi stasiun dan sumberdaya pada lantai pabrik (P. De Lit dan A. Delcambre, 2003)

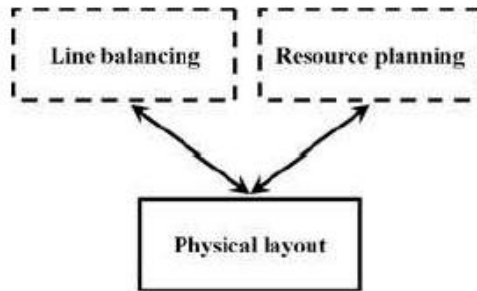
#### 1. Mendesain lintasan perakitan



Gambar 2.1 Metodologi dan Aliran informasi desain lintasan perakitan

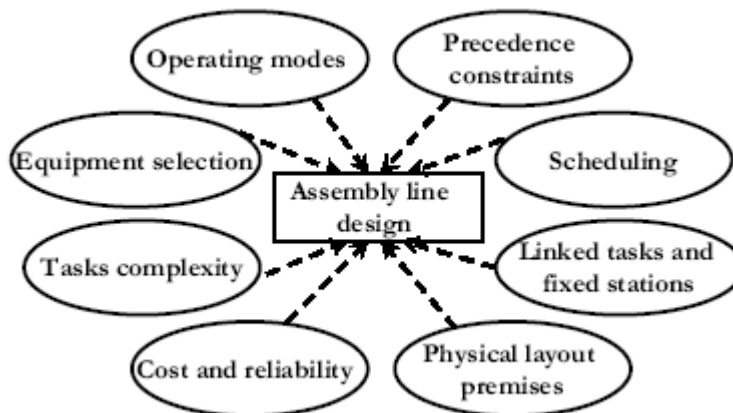
(P. De Lit at all, 1999)

Banyak perusahaan yang sukses telah mengadaptasi beberapa cara kerja dan alat yang disebut *concurrent engineering* (CE) untuk memperbaiki pengembangan produknya. Tujuan utama CE adalah untuk mengintegrasikan pengembangan produk dan proses untuk mengurangi waktu proses desain dan kualitas dan ongkos.



Gambar 2.2 Masalah lintasan layout

Masalah *layout* lintasan terdiri dari *logical layout* dan *physical layout* (Delcambre, 1996). *Logical layout* terdiri dari distribusi tugas diantara stasiun sepanjang lintasan, sedangkan *physical layout* menentukan disposisi stasiun, sumber daya, *conveyor*, *buffer* dan lain-lain di atas *shop floor*. *Logical layout* lintasan menyusun keseimbangan lintasan perakitan (*assembly line balancing*) dan perencanaan sumber daya (*resources planning*) (gambar 2.2). Penyeimbangan lintasan perakitan manual bertujuan untuk menyeimbangkan beban kerja stasiun, sedangkan untuk hibrid lintasan produksi perencanaan sumberdaya menugaskan sumberdaya untuk tugas/pekerjaan dan tugas/pekerjaan pada stasiun. Tujuan *logical layout* adalah untuk meminimasi total ongkos dari lintasan bersama-sama dengan integrasi desain (*stasiun space, cost, dll*), isu operasi (*cycle time, precedence constraint, availability, dll*) dan keinginan desainer (*task, complexity, dll*)



Gambar 2.3 Concurrent design lintasan perakitan

## 2. Perancangan atau optimisasi

Terdapat tahap umum desain yang dilakukan desainer (G. Pahl dan W. Beitz, 1996), yaitu :

1. Formulasi masalah yang akan dipecahkan
2. Memecah/membagi masalah menjadi beberapa sub-masalah
3. Kelompokkan gagasan yang harus didiskusikan
4. Evaluasi dan redesain (jika diperlukan) terhadap desain yang ada dan
5. Implementasikan model yang diusulkan

Dalam bentuk umum perancangan adalah proses spesifikasi penjelasan dari sebuah objek (produk, program, dll) yang dapat memenuhi sekumpulan pembatas. Bentuk pembatas selalu mempunyai arti sesuatu yang bisa dipenuhi atau tidak. Ini adalah sifat dari banyak masalah desain yang pembatas baru yang muncul sebagai keputusan yang dibuat (P.J Bentley, 1996 dan M. Gen and R.Cheng, 1997).

### 1. Pendekatan desain

*Concurrent Engineering* (CE) adalah mendapat orang yang tepat bersama-sama pada saat yang tepat untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah desain (E.B. Dean dan R.Unal, 1992), seperti digambarkan dalam gambar 2.4 konsep CE terdiri dari :

#### 1. Analisis Produk

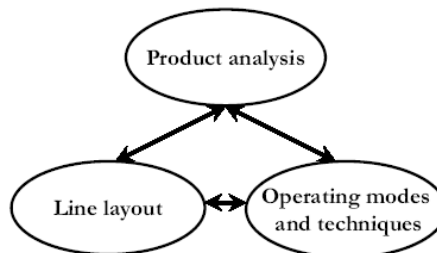
Analisis produk berdasarkan aturan desain klasik untuk perakitan dan usulan *review* desain produk awal dan dekomposisi awal produk menjadi sub perakitan (G. Boothroyd, 1992). Hal ini merupakan kelanjutan dari *precedence* antara komponen-komponen produk.

#### 2. Cara dan teknik operasi (*Operating moduls and techniques*)

Mengusulkan teknik perakitan dan cara yang mungkin (manual, otomatis, robotik) untuk setiap operasi (J.F. Mare dkk, 1999)

#### 3. *Layout* lintasan

Memasukan tugas/pekerjaan pada stasiun dan menentukan posisi stasiun dan konveyor.



Gambar 2.4 *Flow chart CE*

### 1. Pendekatan pencarian dan desain

Proses dimulai dengan identifikasi dan analisis masalah dan meneruskan melalui urutan struktural dimana informasi diteliti dan gagasan di eksplor dan dievaluasi hingga solusi optimal didapat.

### 2. Gap antara teori dan praktek

Berikut alasan yang menjadi kesulitan menghubungkan antara metoda akademik dengan metoda terapan:

#### 1. Input data

Kebanyakan metoda terapan di industri untuk mendesain masalah diperoleh dari sejumlah data yang dimiliki desainer untuk di masukan, sedangkan algoritma yang dimiliki akademisi membutuhkan sedikit input data untuk diinput dan tidak dapat digunakan untuk masalah industri (F. Petit, 1999).

## 2. Masalah multiobjektif

Desain lintasan perakitan dirumuskan sebagai masalah multiobjektif tidak hanya sekedar jumlah stasiun dan ketidakseimbangan antar stasiun. Metoda desain lintasan perakitan yang efisien harus dapat menyelesaikan konflik objektif dan mempertimbangkan preferensi pemakai.

## 3. Keragaman

Kebanyakan parameter desain lintasan perakitan dapat diprediksi dengan akurat oleh engineer dalam bentuk nilai rata-rata (seperti rata-rata waktu proses, rata-rata *cycle time*, rata-rata reliabiliti peralatan dll). Dalam beberapa kasus memasukan operator yang cepat dalam perakitan manual pada operasi yang mempunyai variabilitas tinggi dapat meningkatkan produktifitas.

## 4. Penjadwalan

Kebanyakan penelitian tentang lintasan perakitan mempertimbangkan masalah penjadwalan. Keseimbangan lintasan perakitan dan jenis pemesanan untuk *mixed production* dipertimbangkan sebagai sesuatu yang terpisah tetapi saling berhubungan.

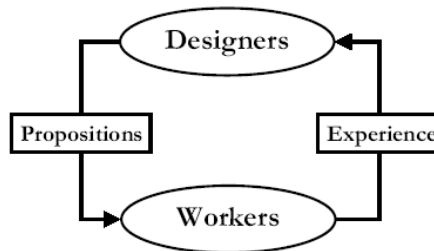
## 5. Layout

Masalah desain untuk mengorganisir lintasan perakitan ke dalam *work center* dalam sebuah pabrik diketahui sebagai masalah *layout* fasilitas. Posisi tiap *work center* menentukan biaya transportasi dan penyimpanan. Solusi lebih baik dapat ditemukan menggunakan pemikiran *physical layout* sebagai input data untuk *layout* lintasan atau sebaliknya.

## 1. Kualitas suatu desain

Evaluasi unjuk kerja umumnya meliputi 2 aspek, yaitu : Model matematika dan model solusi. Oleh karena jumlah yang banyak dari komponen, merupakan hal yang sulit untuk memperoleh model yang sederhana. Untuk alasan tersebut maka digunakan model simulasi, dimana tujuannya adalah mengembangkan model matematika yang menyerupai semirip mungkin dengan kondisi nyata.

Desainer mengusulkan alternatif lintasan perakitan kemudian operator memberikan pengalamannya dan kritik untuk sebuah solusi, seperti dapat dilihat pada gambar 2.5, hal ini untuk mengurangi gap diantara yang sering diungkapkan tentang faktor manusia dalam lintasan perakitan dan kondisi aktual.

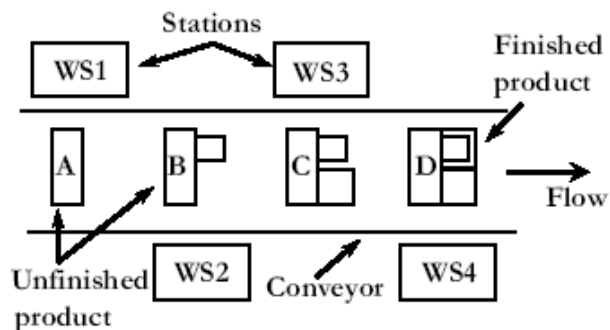


Gambar 2.5 Interaksi antara desainer dengan operator

## 2. Sistem lintasan perakitan

Henry Ford menemukan lintasan perakitan yang revolusioner yaitu cara mobil dibuat dan berapa banyak ongkos yang diperlukannya. Dia yang pertama memperkenalkan belt sebagai penggerak dalam pabrik. Pekerja dapat “*build cars one piece at a time instead of one car at a time*”. Prinsipnya disebut “*division of labour*” yang mengijinkan pekerja untuk fokus melakukan satu aktifitas dengan baik daripada bertanggung jawab sejumlah tugas.

Konsep dari bentuk lintasan adalah sederhana : sejumlah stasiun (4 pada gambar 2.6, yaitu WS1 sampai WS 4) yang dihubungkan dengan konveyor dan setiap stasiun mengerjakan 1 atau lebih tugas (menambah komponen atau inspeksi dll.) pada produk setengah jadi yang ada dihadapannya. Tugas/pekerjaan dilakukan oleh sekelompok pekerja terlatih menggunakan mesin atau robot. Setelah lewat waktunya yang disebut *cycle time* (C), konveyor bergerak sehingga produk berada pada stasiun kerja berikutnya.



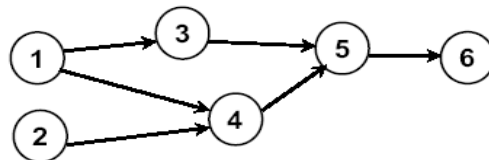
Gambar 2.6 Konsep lintasan perakitan

## 3. Notasi dan definisi

1. Perakitan (*assembly*), adalah proses mengepaskan secara bersama-sama bermacam-macam *part* dalam rangka membuat produk akhir. *Part* dapat dibagi menjadi komponen-komponen dan sub assembly. Unit produk yang belum jadi disebut “*work in process*” (WIP).
2. Lintasan perakitan (*assembly line*), adalah sistem aliran lintasan produksi yang tersusun dari sejumlah stasiun kerja (N) yang disusun sepanjang sistem konveyor
3. Tugas/pekerjaan (*task*), adalah satu bagian dari sejumlah pekerjaan dalam sebuah proses perakitan. Waktu yang diperlukan untuk melakukan

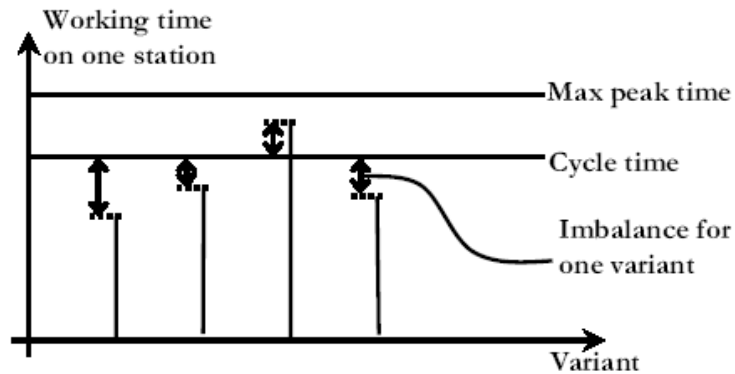
pekerjaan disebut "process time". Task diperhitungkan secara individu dan tidak dapat dipisah elemen pekerjaan yang lebih kecil tanpa pekerjaan yang tidak dibutuhkan.

4. *Precedence constraint*, merupakan perintah yang mana yang harus dilakukan (hambatan teknologi). Sebagian perintah dari *task* dapat diilustrasikan dengan arti sebuah "*precedence graph*" (E.D. Sacerdoti, 1977). Tanda yang menunjukkan task dan arah (*i,j*) merupakan *precedence relationship*, contoh pada gambar 2.7, task 4 didahului oleh task 1 dan 2.



Gambar 2.7 *Precedence graph*

5. Waktu siklus teoritis, *C (theoretical cycle time)*, adalah waktu diantara keluarnya dua buah produk yang berurutan dari lintasan. Hal ini mewakili jumlah maksimal pekerjaan yang diproses oleh tiap stasiun. *C* yang diinginkan adalah apa yang diminta oleh departemen perencanaan, ketika efektif *C* (*EC*) adalah *C* yang sebenarnya yang dapat dioperasikan oleh lintasan.
6. *Capacity Suply (WT) = n C* didefinisikan sebagai total waktu yang tersedia untuk merakit tiap produk. *CS* lebih besar atau sama dengan jumlah *process time* untuk semua tugas atau *work content*, tergantung dari sistem pemindahan dari lintasan perakitan.
7. *Makespan*, adalah waktu penyelesaian maksimum yang dibutuhkan untuk memproses semua operasi untuk satu set produk.
8. *Maximum peak time*, diperkenalkan untuk menghadapi multiproduk lintasan perakitan dan mengijinkan beberapa macam *process time* terletak dalam interval (*C,2C*). Hal ini tidak boleh dilebihi oleh *process time* dalam stasiun yang telah ditentukan, ketika *cycle time* harus tidak melebihi rata-rata waktu kerja.
9. Ketidakseimbangan (*Imbalance*), lintasan perakitan multiproduk adalah seimbang secara rata-rata. Demikian, *process time* tiap stasiun tergantung pada macam produk. Ketidakseimbangan diukur dengan perbedaan antara *C* dan total durasi dari task mengenai varian yang ditentukan pada tiap stasiun, seperti pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Durasi task adalah variabel sesuai varian

10. *Work content* (WA), adalah jumlah dari *process time* ( $T_i$ ) untuk semua task.
11. *Station time*, *work content* dari stasiun dianggap sebagai *workload*, total *process time* sebagai *station time* (ST). Jumlah *station time* dari keseluruhan lintasan perakitan adalah total *assembly time*. *Process time* dari *task* mempunyai interval ( $t_{min}$ ,  $t_{max}$ ).
12. *Line efficiency* (E), mengukur utilitas kapasitas dari lintasan.  $E = WA/WT$ . Kapasitas yang tidak terpakai dicerminkan dengan "*balance delay time*", yang didefinisikan dengan  $BD = WT - WA$ .
13. *Station idle time*, perbedaan positif antara *cycle time* dan *station time*. Jumlah *station idle time* (I) =  $WT - WA$ , jumlah waktu *idle* semua stasiun disebut waktu *delay*.
14. *Throughput time*, rata-rata waktu interval antara memasukan benda kerja pada lintasan dan pengambilan produk akhir dari lintasan.
15. *Smoothness Index* (SX), Mengukur standar deviasi dari distribusi pekerjaan diantara stasiun.

$$SX = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=n} (T_i - ST)^2}$$

## 1. Masalah keseimbangan lintasan

### a. Model lintasan perakitan

Peramalan dalam industri perakitan atau manufaktur tergantung pada jumlah unit produk yang harus dibuat tiap periode. Kesesuaian antara permintaan menghasilkan kebutuhan untuk orang, peralatan, dan sumberdaya lain. Ada 3 tipe proses produksi, yaitu :

1. Lintasan perakitan produk tunggal (*single product assembly line*)  
Lintasan produksi yang hanya membuat atau merakit satu jenis produk
2. Lintasan produksi campuran (*mixed production assembly line*)  
Lintasan produksi yang membuat beberapa jenis produk yang tergolong produk famili, seperti mobil dengan varian yang berbeda-beda.

### 3. Lintasan produksi *batch*

Lintasan ini dipakai untuk membuat *multy different product*, atau famili produk, yang berbeda secara signifikan dalam proses produksi.

#### b. Keragaman waktu proses

Waktu proses tugas merupakan hal penting dalam penyusunan lintasan perakitan. Jenis-jenis waktu proses, yaitu :

1. Waktu deterministik, dalam kasus manual lintasan produksi, waktu penyelesaian tugas hanya tergantung pada kualitas dan motivasi operator.
2. Waktu stokastik, dalam kasus mesin otomatis, variasi jumlah produksi dihasilkan oleh mesin *breakdown*. Variasi yang signifikan tergantung pada pekerja yang tidak mampu, motivasi pekerja, kurangnya pelatihan, dll.
3. Waktu tersembunyi (*hidden time*), Waktu proses tidak selalu merupakan penjumlahan dari waktu operasi tiap peralatan karena adanya waktu tersembunyi (*hidden time*).

Waktu proses dapat dibagi menjadi 2 kategori, yaitu :

4. *visible time*, komponen yang tidak dapat dirakit secara bersamaan (*simultaneously*),
5. *hidden time*, komponen yang dapat dirakit secara paralel.
6. Waktu dinamik, Waktu proses tidak selalu tetap, misalnya dalam kasus pekerja manusia, karena kemampuan belajar maka tugas baru yang diberikan akan menghasilkan waktu yang berbeda karena lama-lama lebih familier.

#### c. Konfigurasi lintasan

Konfigurasi lintasan perakitan terdiri dari :

1. Lintasan seri
2. Lintasan berbentuk U
3. Stasiun paralel
4. Lintasan paralel

#### d. Masalah desain lintasan perakitan

Enam tipe Masalah keseimbangan lintasan perakitan (*Assembly line balancing problem/ALBP*) yang diusulkan :

1. *Simple ALBP-1*, terdiri dari penugasan tugas pada stasiun sehingga jumlah stasiun diminimasi. Dikhususkan pada satu produk dengan waktu proses deterministik dan lintasan seri.
2. *SALBP-2*, Tujuannya adalah untuk meminimasi jumlah waktu *idle* untuk jumlah stasiun yang ditetapkan. Digunakan dalam kasus satu produk, waktu proses deterministik dan lintasan seri.

3. SALBP-E, tujuannya meminimasi jumlah waktu *idle* dengan jumlah produksi tetap dan jumlah stasiun tetap, merupakan generalisasi dari SALBP-1 dan SALBP-2.
4. *Equal piles for ALBP* (EPALBP, Jumlah stasiun ditentukan  $N$ ,  $T$  dapat dibagi menjadi  $N$  subset  $S_j$ ? SALBP-2 meminimalkan *cycle time* sementara EPALP menyamakan beban stasiun (Rekiek, dkk., 1999). Yang pertama dapat menyebabkan lintasan yang tidak seimbang (dengan meminimalkan waktu *idle* maksimal), sedangkan yang kedua menyebabkan lintasan seimbang.
5. ALBP dengan jumlah stasiun tetap (ALBPF), distribusi frekwensi ditetapkan dan rata-rata duarasi tiap tugas  $L_i$ , distugaskan pada tiap node  $T_i$ , dan  $N$  stasiun dapat  $T$  dipartisi kedalam  $N$  himpunan bagain  $S_j$ ?
6. Multiple *workcenter ALBP* (MWkCALBP), Ditentukan satu set  $W$  diarahkan non-siklik grafik  $G_i = (T_i, P_i)$ , satu set  $N_i$ , satu *set link* antara grafik  $T_i$  grafik masing-masing dapat dipartisi menjadi subset  $N_i S_{mi}$ . Tujuannya adalah untuk menyeimbangkan satu set *workcentres* menggunakan *link* yang berbeda antara mereka.
7. *Multiple objective ALBP* (MOALBP), Desainer AL menangani tujuan seperti efisiensi lintasan, indeks kelancaran, dan ketidakseimbangan (VM. Chow, 1990), dan tujuannya adalah untuk mengoptimalkan satu set tujuan tersebut.

## 2. Metode Penyeimbangan Lintasan

Penyeimbangan lintasan bertujuan untuk meningkatkan efisiensi tiap stasiun kerja dan menyeimbangkan lintasan. Metode-metode yang telah dikembangkan selama ini antara lain metoda analitik, metoda heuristik dan pendekatan lainnya serta metode simulasi. Metoda heuristik yang dikembangkan adalah Metoda Bobot Posisi (*Ranked positional weigh/RPW*), Metoda Pembebanan Berurut Dan Metoda Pendekatan Wilayah.

Pneliti pertama mengusulkan heuristik adalah *ranked positional weigh /RPW* adalah Helgeson (1961). Gagasan utama dari heuristik RPW, penugasan *task* pertama adalah yang membentuk rantai terpanjang dari *task*. Pendekatan ini menggunakan sistem *ranking*, menjumlahkan seluruh waktu untuk operasi seperti disebut sebagai bobot posisi, dan *ranking* operasi yang diurutkan berdasarkan penurunan bobot posisi.

Langkah-langkah penyelesaian dengan menggunakan metode RPW ini adalah sebagai berikut :

1. Menghitung *cycle time* teoritis sesuai dengan target produksi dan waktu produksi per hari. *Cycle time* aktual adalah waktu siklus yang diinginkan/ditetapkan atau waktu operasi terbesar jika waktu operasi terbesar itu lebih besar dari *cycle time* yang diinginkan.
2. Membuat matrik pendahulu berdasarkan jaringan kerja perakitan.
3. Menghitung bobot posisi tiap operasi berdasarkan jumlah waktu operasi tersebut dan operasi-operasi yang mengikutinya.

4. Mengurutkan operasi-operasi mulai dari bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil.
5. Melakukan pembebanan operasi pada stasiun kerja dimulai dari operasi dengan bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil, dengan kriteria total waktu operasi lebih kecil dari *cycle time* teoritis.
6. Menghitung efisiensi stasiun kerja yang terbentuk.

## 2.7 Waktu baku

### 2.7.1 Pengukuran Waktu Kerja dengan Metode Pengukuran Langsung

Pengukuran waktu kerja berhubungan dengan usaha untuk menetapkan waktu baku yang digunakan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, dengan demikian pengukuran waktu adalah pekerjaan mengamati dan mencatat waktu-waktu kerja baik setiap elemen ataupun siklus dengan menggunakan alat-alat yang telah disiapkan (Sutalaksana, 2005).

Pengukuran kerja secara langsung dilakukan ditempat pekerjaan tersebut dilaksanakan dengan menggunakan metode jam henti (*stop watch*). Pengukuran ini merupakan aktivitas yang mengawali dan menjadi landasan untuk kegiatan-kegiatan pengukuran selanjutnya.

### 2.7.2 Konsep Waktu Baku Operasi

Waktu baku suatu operasi yaitu waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja normal untuk menyelesaikan satu siklus operasi, yaitu waktu untuk menyelesaikan operasi jika dilaksanakan pada dasar kerja yang berlaku umum (waktu yang wajar) untuk semua kegiatan dalam perusahaan.

Dasar kerja ini selanjutnya disebut sebagai “keadaan normal”, yaitu :

1. Dasar kerja yang ditetapkan oleh suatu perusahaan sebagai keadaan normal.
2. Dasar kerja yang dipilih itu biasanya adalah bagian yang dapat dilaksanakan oleh sebagian besar karyawan tanpa usaha yang berlebihan.
3. Keadaan normal itu :
  1. Bukan dasar kerja optimum.
  2. Bukan tingkat rata-rata dari keadaan pada suatu bagian pabrik, industri atau bangsa, bukan pula berasal dari populasi tertentu karyawan.
  3. Tidak menyeluruh, ada perbedaan jelas dan nyata tentang dasar kerja yang ditetapkan sebagai keadaan normal oleh berbagai perusahaan yang berbeda.

Keadaan normal di atas, mengandung dugaan adanya pekerja normal yang dapat bekerja secara konsisten sepanjang waktu. Dugaan ini sebenarnya tidak mungkin, karena untuk jangka panjang tidak ada seorang pun dapat mengulangi atau melaksanakan suatu operasi tanpa dipengaruhi oleh faktor-faktor lain seperti kelelahan, konsistensi, keadaan kerja dan lain-lain yang tidak dapat dihindari.

Waktu baku suatu operasi harus memperhatikan *delay* atau waktu keterlambatan yang mempengaruhi diluar kemampuan operator. Waktu baku ini memungkinkan seorang operator yang mahir untuk bekerja dalam kondisi normal secara tidak terbatas tanpa merasa kelelahan yang berarti.

### 2.7.3 Perhitungan Waktu Baku

Waktu baku adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan memperhitungkan *allowance time* dan *performance rating*. Waktu baku dapat dirumuskan sebagai berikut (Sutalaksana, 2005).

Waktu baku =  $W_n + (W_n \times \% \text{ allowance})$

WN = Waktu Normal

*Performance rating* digunakan untuk menormalkan waktu kerja yang diperoleh dari hasil pengukuran kerja sebagai akibat perubahan kecepatan kerja operator. Waktu normal dapat dihitung dengan rumus :

Waktu normal = rata-rata *cycle time* aktual x PR

Keterangan :

PR = *Performance Rating*

*Performance rating* diperhitungkan jika pengukur berpendapat pekerja tidak bekerja secara wajar, sehingga hasil perhitungan waktu perlu disesuaikan atau dinormalkan terlebih dahulu, agar didapatkan *cycle time* rata-rata yang wajar. Jika pekerja bekerja wajar maka nilai PR adalah 1 dan jika terlalu lambat maka harus diberi harga PR < 1 sedangkan pekerja bekerja yang bekerja cepat PR > 1.

Hal yang perlu diperhatikan sebelum menentukan waktu baku adalah menambah kelonggaran atas waktu normal yang telah didapatkan. Kelonggaran waktu diberikan untuk memberikan toleransi kepada operator untuk melakukan keperluan pribadi, istirahat karena kelelahan dan alasan-alasan lain diluar kendalinya.

Kelonggaran waktu yang diberikan dikelompokkan menjadi tiga hal yaitu :

1. Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi (*personal allowance*),
2. Kelonggaran untuk menghilangkan rasa lelah (*fatigue allowance*)
3. Kelonggaran untuk hambatan-hambatan tak terhindarkan (*unavoidable delay allowance*)

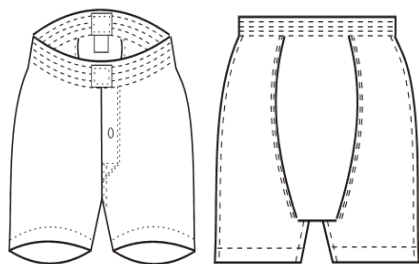
## III. Data dan Pengolahan Data

### 1. Data Proses Pembuatan Celana Pendek (*Trunks*)

Jenis proses operasi penjahitan yang diamati, sebagai berikut :

Jenis pakaian jadi	:	celana pendek
Jumlah proses operasi penjahitan	:	14 proses
Target produksi per hari	:	1 970 <i>pieces</i>
Waktu kerja produktif per hari	:	6 jam/hari x 60 menit/jam = 360 menit/hari

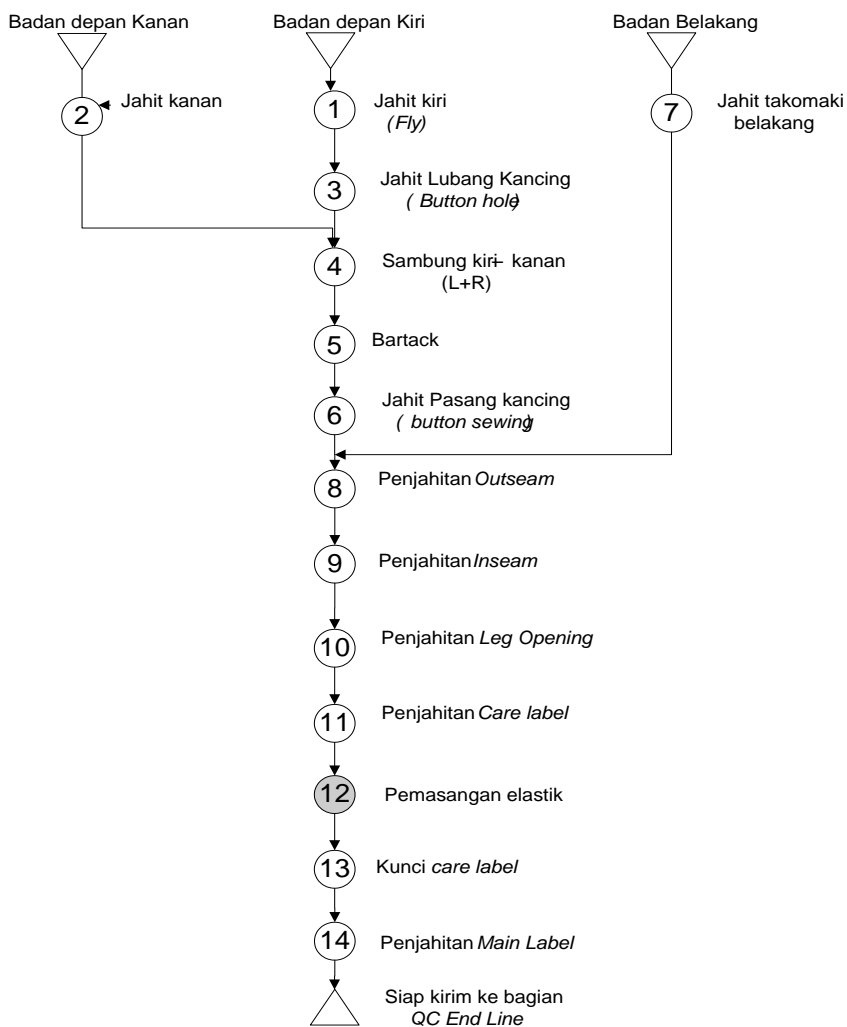
Gambar celana pendek/boxer tampak depan dan tampak belakang seperti gambar 3.1



Tampak depan

Tampak belakang

Gambar 3.1 Model Celana Pendek



Gambar 3.2 Precedence Diagram Penjahitan Celana Pendek

Tabel 3.1 Mesin-Mesin Produksi yang Digunakan Untuk Pembuatan Celana Pendek

No	Proses	Mesin	Keterangan	Waktu Baku (menit)
1	Jahit kiri	Juki DDL 5550-6	<i>Single needle lock stitch</i>	0,729
2	Jahit kanan	Juki DDL 5550-3	<i>Single needle lock stitch</i>	0,511
3	Jahit lubang kancing	Juki 780	<i>Simple automatics machine</i>	0,170
4	Sambung kiri-kanan (L+R)	Juki DDL 5550-3	<i>Single needle loock stitch</i>	1,096
5	Jahit pasang kancing	Juki LK 1851	<i>Simple automatics machine</i>	0,167
6	Bartack	Juki 1850	<i>Simple automatics machine</i>	0,173
7	Jahit <i>takomaki back</i>	Juki MS 1190	<i>Feed off the arm</i>	0,351
8	Jahit <i>outseam</i>	Juki MS 191	<i>Feed off the arm</i>	0,360
9	Jahit <i>inseam</i>	Juki MS 1190	<i>Feed off the arm</i>	0,349
10	Jahit <i>leg opening</i>	Brother DDL SL 737	<i>Single needle lock stitch</i>	0,914
11	Jahit <i>care label</i>	Juki DDL 5550-6	<i>Single needle lock stitch</i>	0,363
12	Pemasangan elastik	Yamato VC 2840P-254-X02D	<i>Overdeck elastic machine</i>	0,888
13	Kunci <i>care label</i>	Juki DDL-8700-7	<i>Single needle lock stitch</i>	0,333
14	Jahit <i>main label</i>	Juki DDL 5550-3	<i>Single needle lock stitch</i>	0,533

## 2. Pengolahan Data dengan Menggunakan Metoda Bobot Posisi (*ranked positional weight/RPW*)

### 1. Menghitung *cycle time* teoritis (C)

*Cycle time* teoritis (C) = Waktu kerja efektif per hari (menit)/target produksi per hari

$$= 360 \text{ menit}/1970 \text{ pcs}$$

$$= 0,183 \text{ menit/pcs}$$

### 2. Membuat matrik pendahulu berdasarkan jaringan kerja perakitan

Matrik pendahulu berfungsi untuk menunjukkan bahwa suatu operasi diikuti oleh operasi apa saja sampai selesai seluruh operasi. Matrik pendahulu dibuat berdasarkan jaringan kerja perakitan (dalam hal ini sesuai gambar 3.2).

Matrik pendahulu berdasarkan jaringan kerja perakitan disajikan pada tabel 3.2

Tabel 3.2 Matrik Pendahulu Berdasarkan Jaringan Kerja Perakitan

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	.	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
2	0	.	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	.	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	0	.	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	.	1	0	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	0	.	0	1	1	1	1	1	1	1
7	0	0	0	0	0	0	.	1	1	1	1	1	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	.	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0	.	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.	1	1	1	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.	1	1	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.	1	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.	1
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	.

Keterangan :

1. Angka pada kolom pertama menunjukkan urutan operasi dari operasi 1 sampai operasi 14.
2. Angka pada baris pertama menunjukkan urutan operasi yang mengikuti operasi yang terdapat pada kolom pertama yang bersesuaian.
3. Angka nol (0) pada kolom dan baris yang bersesuaian menunjukkan bahwa operasi pada baris tidak mengikuti operasi pada kolom pertama yang bersesuaian.
4. Angka nol (1) pada kolom dan baris yang bersesuaian menunjukkan bahwa operasi pada baris mengikuti operasi pada kolom pertama yang bersesuaian.

**1. Menghitung bobot posisi tiap operasi yang dihitung berdasarkan jumlah waktu operasi tersebut dan operasi-operasi yang mengikutinya**

Bobot posisi berfungsi untuk menunjukkan bobot tiap operasi yang dihitung berdasarkan jumlah waktu operasi tersebut dan operasi-operasi yang mengikutinya. Bobot posisi tiap operasi disajikan pada tabel 3.3

Tabel 3.3 Bobot Posisi Tiap Operasi Berdasarkan Jumlah Waktu Operasi Dan Operasi-Operasi Yang Mengikutinya

Operasi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Jumlah beban
1	0.729	0	0.170	1.096	0.167	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	6.075
2	0	0.511	0	1.096	0.167	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	5.687
3	0	0	0.170	1.096	0.167	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	5.346
4	0	0	0	1.096	0.167	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	5.176
5	0	0	0	0	0.167	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	4.08
6	0	0	0	0	0	0.173	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	3.913
7	0	0	0	0	0	0	0.35	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	4.091
8	0	0	0	0	0	0	0	0.360	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	3.74
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.349	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	3.38
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.914	0.363	0.888	0.333	0.533	3.031
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.363	0.888	0.333	0.533	2.117
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.888	0.333	0.533	1.754
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.333	0.533	0.866
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.533	0.533

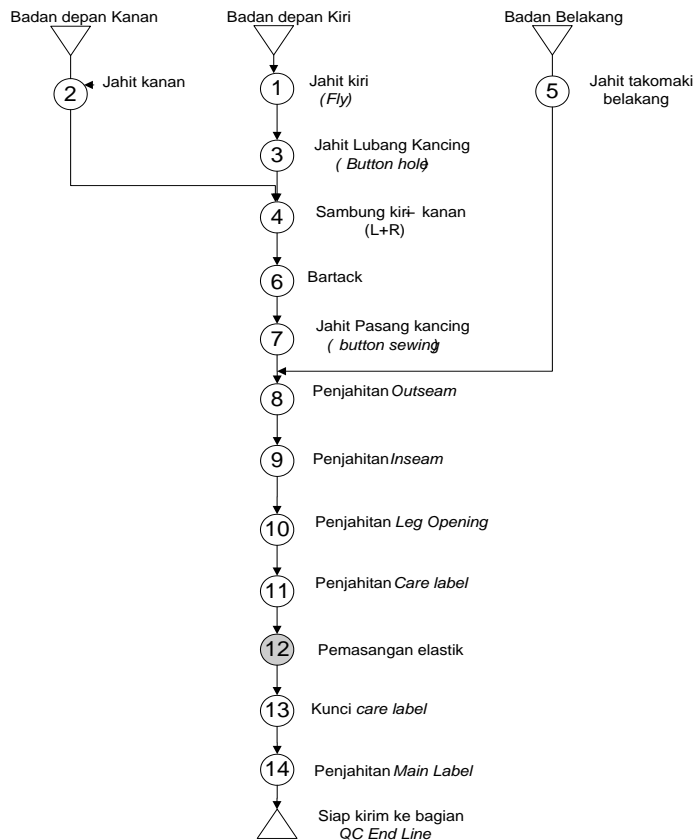
**2. Mengurutkan operasi-operasi mulai dari bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil**

Urutan operasi-operasi mulai dari bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil disajikan pada tabel 3.4

Tabel 3.4 Urutan Operasi-Operasi Mulai Dari Bobot Posisi Terbesar sampai Dengan Bobot Posisi Terkecil

	Urutan operasi	Bobot posisi
1	Jahit kiri	6.075
2	Jahit kanan	5.687
3	Jahit lubang kancing	5.346
4	Sambung kiri-kanan (L+R)	5.176
5	Jahit <i>takomaki back</i>	4.091
6	Jahit pasang kancing	4.08
7	Bartack	3.913
8	Jahit <i>outseam</i>	3.74
9	Jahit <i>inseam</i>	3.38
10	Jahit <i>leg opening</i>	3.031
11	Jahit <i>care label</i>	2.117
12	Pemasangan elastik	1.754
13	Kunci <i>care label</i>	0.866
14	Jahit <i>main label</i>	0.533

Urutan operasi pada proses pembuatan celana pendek berdasarkan perhitungan bobot posisi menjadi seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Precedence Diagram* Penjahitan Celana Pendek

3. Melakukan pembebanan operasi pada stasiun kerja dimulai dari operasi dengan bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil, dengan kriteria total waktu operasi lebih kecil dari *cycle time* teoritis

Pembebanan operasi pada stasiun kerja dimulai dari operasi dengan bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil, dengan kriteria total waktu operasi lebih kecil dari *cycle time* teoritis disajikan pada tabel 3.6

Tabel 3.6 Pembebanan operasi pada stasiun kerja dimulai dari operasi dengan bobot posisi terbesar sampai dengan bobot posisi terkecil

Work station	Operasi	Mesin	Jumlah mesin	Waktu baku aktual (WA)	Waktu baku teoritis (WT)	Idle time (I)
1	Jahit kiri	Juki DDL 5550-6	4	0.729	0.732	0.003
2	Jahit kanan	Juki DDL 5550-3	3	0.511	0.549	0.038
3	Jahit lubang kancing	Juki 780	1	0.170	0.183	0.013
4	Sambung kiri-kanan (L+R)	Juki DDL 5550-3	6	1.096	1.098	0.002
5	Jahit <i>takomaki back</i>	Juki MS 1190	2	0.351	0.366	0.015
6	Jahit pasang kancing	Juki LK 1851	1	0.167	0.183	0.016
7	Bartack	Juki 1850	1	0.173	0.183	0.01
8	Jahit <i>outseam</i>	Juki MS 191	2	0.360	0.366	0.006
9	Jahit <i>inseam</i>	Juki MS 1190	2	0.349	0.366	0.017
10	Jahit <i>leg opening</i>	Brother DDL SL 737	5	0.914	0.915	0.001
11	Jahit <i>care label</i>	Juki DDL 5550-6	2	0.363	0.366	0.003
12	Pemasangan elastik	Yamato VC 2840P-254-X02D	5	0.888	0.915	0.027
13	Kunci <i>care label</i>	Juki DDL-8700-7	2	0.333	0.366	0.033
14	Jahit <i>main label</i>	Juki DDL 5550-3	3	0.533	0.549	0.016
Jumlah			39	6.937	7.137	0.2

Keterangan :

Jumlah mesin teoritis = Waktu baku aktual (WA)/Cycle time teoritis (C) = WA/C  
(Jumlah mesin teoritis dibulatkan ke atas sehingga menjadi tanpa desimal/integer)

Waktu baku aktual (WA) = waktu operasi aktual

Waktu baku teoritis (WT) = cycle time teoritis (C) x jumlah mesin teoritis

Idle time (I) = Waktu baku teoritis (WT) - Waktu baku aktual (WA)

#### 4. Menghitung efisiensi rata-rata stasiun kerja yang terbentuk

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi lintasan perakitan (E)} &= \text{WA/WT} \times 100 \% \\ &= 6,937/7,137 \times 100 \% \\ &= 97,20 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total waktu idle (I)} &= \text{total WT} - \text{total WA} \\ &= 7,137 - 6,937 \\ &= 0,20 \text{ menit} \end{aligned}$$

#### Bab IV Kesimpulan

Metoda bobot posisi (*ranked positional weight technique*) merupakan metoda yang mudah diterapkan untuk menghitung keseimbangan lintasan perakitan dan menghasilkan efisiensi lintasan perakitan yang tinggi. Berdasarkan hasil pengolahan data pembuatan celana pendek diperoleh hasil, sebagai berikut :

1. Pembebanan operasi pada stasiun kerja dan alokasi mesin tiap operasi  
Pembebanan operasi pada stasiun kerja dan alokasi mesin tiap operasi disajikan pada table 4.1

Tabel 4.1 Pembebanan operasi pada stasiun kerja

Work station	Operasi	Mesin	Jumlah mesin
1	Jahit kiri	Juki DDL 5550-6	4
2	Jahit kanan	Juki DDL 5550-3	3
3	Jahit lubang kancing	Juki 780	1
4	Sambung kiri-kanan (L+R)	Juki DDL 5550-3	6
5	Jahit <i>takomaki back</i>	Juki MS 1190	2
6	Jahit pasang kancing	Juki LK 1851	1
7	Bartack	Juki 1850	1
8	Jahit <i>outseam</i>	Juki MS 191	2
9	Jahit <i>inseam</i>	Juki MS 1190	2
10	Jahit <i>leg opening</i>	Brother DDL SL 737	5
11	Jahit <i>care label</i>	Juki DDL 5550-6	2
12	Pemasangan elastik	Yamato VC 2840P-254-X02D	5
13	Kunci <i>care label</i>	Juki DDL-8700-7	2
14	Jahit <i>main label</i>	Juki DDL 5550-3	3
Jumlah mesin			39

2. Efisiensi lintasan perakitan (E) = 97,20 %
3. Total waktu *idle* (I) = 0,20 menit

## DAFTAR PUSTAKA

- A. Delchambre, *CAD method for industrial assembly: concurrent design of products, equipment and control systems*, John Wiley & Sons Inc., Chichester, England, 1996.
- Arman Hakim Nasution dan Yudha Prasetyawan, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2008
- B. Rekiek dan Alain Delchambre, *Assembly line Design, The Balancing of Mixed Model Hybrid Assembly Lines with Genetic Algorithm*, *springer series in advance manufacturing*, Brussels, Belgium, 2006
- B. Rekiek dan A. Delchambre, *ordering variants and simulation in multiproduct assembly lines*, *Proceedings of the VR-Mech'98*, Brussels, Belgium, pages 49–54, 1998.
- B. Rekiek, E. Falkenauer, dan A. Delchambre, *two problems in design and operation of multi-product assembly lines: line balancing and ordering variants*, *Proceedings of the CARS & FOF'98*, Coimbatore, India, pages 234–250, 1998.
- B. Rekiek, P. De Lit, dan A. Delchambre, *designing mixed-model assembly lines*, *Special Issue of the IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 16(3):268–280, 2000.
- B. Rekiek, P. De Lit, F. Pellichero, E. Falkenauer, dan A. Delchambre, *plying the equal piles problem to balance assembly lines*, *Proceedings of the ISATP'99*, Porto, Portugal, pages 399–404, 1999.
- Cecep Budiyo, *Perbaikan Keseimbangan Lintasan Produksi (Line Balancing) Sebagai Upaya Untuk Meningkatkan Pencapaian Target Produksi Pada Proses Perakitan Celana Pendek (Trunks) R676*, Skripsi, Sekolah Tinggi Teknologi Bandung, 2009
- Chi Leung Patrick Hui dan Sau Fun Freny Ng, *A study of the effect of time variations for assembly line balancing in the clothing industry*, *International Journal of Clothing Science and Technology*, Vol. 11 No. 4, 1999, pp. 181-188.
- Desalegn Hailemariam, *Mixed Model Assembly Line Balancing Using Simulation Techniques*, A Thesis Submitted to School of Graduate Studies of Addis Ababa University in Partial Fulfillment of the requirement for the Degree of Masters of Science in Mechanical Engineering (Industrial Engineering Stream), 2009
- E. B. Dean dan R. Unal, *elements of designing for cost*, Presented at The AIAA Aerospace Design Conference, Irvine CA, AIAA-92-1057, 1992.
- F. Petit, *Interactive design of a product and its assembly system*, PhD thesis, Universit'e Catholique de Louvain, 1999.
- G. Boothroyd, *assembly automation and product design*, Marcel Dekker Inc., New York, 1992.
- G. Pahl dan W. Beitz, *engineering design: a systematic approach*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1996.

- Iftikar Z. Sitalaksana, Ruhana Anggawisastra dan Jann H. Tjakraatmaja., *Teknik Perancangan Sistem Kerja*, ITB, Bandung, 2005
- J. Betts dan K.I. Mahmoud, *Assembly Line Balancing in the Clothing Industry Allowing for Varying Skills of Operatives*, International Journal of Clothing Science and Technology. Vol. 4 No. 4, 1992, pp. 28-33. Emerald, 2007
- J.-F. Mare, B. Raucen, dan A. Spineux, *selection of assembly technique and equipment*, Proceedings of ISATP'99, Porto, Portugal, pages 393–398, 1999.
- Ji Xiao-fen, ZHANG Fei, HU Jue-liang, RONG Cheng-lu dan CHEN Wei, *Research on the Optimum Model and Example of Clothing Assembly Line*, 978-1-4244-9698-3/11©2011 IEEE
- Mario Padro'n, Mari'a de los A. Irizarry dan Pedro Resto, Heidi P. Meji'a, *A methodology for cost-oriented assembly line balancing problems*, Journal of Manufacturing Technology Management Vol. 20 No. 8, 2009 pp. 1147-1165 Emerald Group Publishing Limited 1741-038X DOI 10.1108/17410380910997254.
- M. Gen and R. Cheng, *genetic algorithms & engineering design*, John Wiley & Sons Inc, First Edition, Canada, 1997.
- Miao-Tzu Lin, *The single-row machine layout problem in apparel manufacturing by hierarchical order-based genetic algorithm*, International Journal of Clothing Science and Technology Vol. 20 No. 5, 2008 pp. 258-270 q Emerald Group Publishing Limited 0955-6222 DOI 10.1108/09556220810898872
- Mohammad Kamal Uddin, Marian Cavia Soto dan Jose L. Martinez Lastra, *An integrated approach to mixed-model assembly line balancing and sequencing*, Assembly Automation 30/2 (2010) 164–172 q Emerald Group Publishing Limited [ISSN 0144-5154] [DOI 10.1108/01445151011029808]
- Mücella G. Güner dan Can Ünal, *Line Balancing in the Apparel Industry Using Simulation Techniques*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe April / June 2008, Vol. 16, No. 2 (67)
- P. De Lit dan A. Delchambre, *integrated design of a product family and its assembly system*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, Massachusetts, First Edition, 2003.
- P. De Lit, B. Rekiek, F. Pellichero, A. Delchambre, J. Danloy, F. Petit, A. Leroy, J.-F. Mar'ee, A. Spineux, and B. Raucen. 'a new philosophy of design of a product and its assembly line'. Proceedings of ISATP'99, Porto, Portugal, pages 381–386, 1999.
- P. J. Bentley, *Generic evolutionary design of solid objects using a genetic algorithm*, PhD thesis, Division of Computing and Control Systems, School of Engineering, University of Huddersfield, 1996.
- Senem Kursun dan Fatma Kalaoglu, *Simulation of Production Line Balancing in Apparel Manufacturing*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe 2009, Vol. 17, No. 4 (75) pp. 68-71.

- S. H. Eryuruk, F. Kalaoglu dan M. Baskak, *Assembly Line Balancing in a Clothing Company*, FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe January / March 2008, Vol. 16, No. 1 (66)
- W.K.I. Fernando dan D.J.C. Suriyaarachchi, *Efficient Utilization of Employees in the Garment Industry Using Operations Research*, 978-1-4244-2900-4/08©2008 IEEE.
- W.-M. Chow, *assembly line design methodology and applications*, Marcel Dekker Inc., New York, 1990.
- Yoram Koren dan Moshe Shpitalni, *Design of reconfigurable manufacturing systems*, 0278-6125– see front matter © 2011 The Society of Manufacturing Engineers. Published by Elsevier Ltd. All rights reserved. doi:10.1016/j.jmsy.2011.01.001