

BAB III

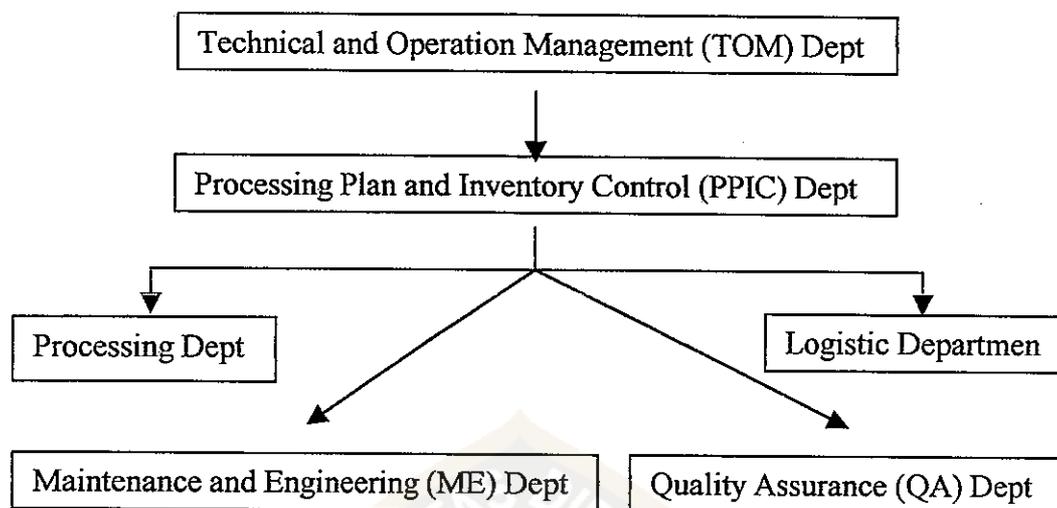
SISTEM PENJADWALAN DI PT CCBI SEMARANG

3.1. Tinjauan Umum Sistem Produksi

PT Coca Cola Bottling Indonesia Semarang merupakan produsen produk-produk PT Coca Cola Internasional untuk memenuhi kebutuhan pasar wilayah Jawa Tengah dan DIY ditambah sebagian wilayah Jawa Timur. Produk-produk yang dihasilkan adalah dalam kemasan botol yaitu : Coca Cola ukuran 193 ml, 295 ml, dan 1000 ml ; Sprite dan Fanta masing-masing dalam ukuran 200 ml, 295 ml, dan 1000 ml. Untuk Fanta ada beberapa jenis rasa yaitu *strawberi, orange, pineapple, fruity punk*, dan *soda water*. Semua produk di atas merupakan minuman ringan berkarbonat (*Carbonating Soft Drink : CSD*). Selain itu juga memproduksi sebuah produk baru yaitu Frestea dalam ukuran 295 ml.

Untuk memenuhi kebutuhan pasar *Processing Departmen* sebagai departemen produksi mempunyai empat buah line produksi, masing-masing adalah : *line 150 Bottles Per Minute (BPM)* khusus untuk memproduksi CSD ukuran 1000 ml, *line 300 BPM* untuk produksi Frestea, *line 600 BPM* dan *800 BPM* untuk CSD ukuran 193 ml, 200 ml, 295 ml. Dari keempat *line* produksi tersebut hanya *line 800 BPM* yang semi otomatis, sedang *line* yang lainnya masih bersifat konvensional. Untuk menjalankan operasi *line* semi otomatis biasanya didukung oleh 10 – 15 orang, sedang untuk *line* konvensional dibutuhkan 20 – 25 orang.

Berikut adalah struktur organisasi departemen operasi :



Gambar 11: Struktur Departemen Operasi.

3.1.1. Proses Produksi

Fokus produk merupakan istilah yang tepat bagi proses produksi PT CCBI Semarang. Fokus produk merupakan salah satu dari tiga strategi proses mempunyai ciri-ciri seperti berikut :

- Proses dilakukan dalam jumlah besar namun mempunyai variasi yang sedikit.
- Peralatan produksinya diatur seputar produk dan proses dilakukan secara terus-menerus dalam waktu yang lama.

Alur Proses Pengerjaan Job

Setelah job disepakati maka dipersiapkan beberapa sumber yang dibutuhkan antara lain suplai botol kosong, bahan sirup, kesiapan mesin, personel operasional dan lain-lain.

Pertama-tama yang dilakukan adalah pembuatan sirup (*making syrup*). Sirup sebagai adonan yang akan dibotolkan dibuat secara terpisah dengan line produksi dan harus selesai sebelum rencana produksi dilaksanakan. Waktu pengerjaan sirup membutuhkan waktu sekitar empat jam dan dibuat dengan mempertimbangkan batas kadaluwarsa sirup itu layak untuk dibotolkan. Berikut adalah daftar batas kadaluwarsa sirup produk CSD siap dibotolkan dari awal sirup jadi :

24 jam : Fanta

48 jam : Sprite dan Fanta Soda Water

64 jam : Coca Cola

Untuk menyiapkan kondisi *line* melakukan pembotolan maka harus dilakukan langkah-langkah sanitasi (untuk sterilisasi) yang dibarengi penyetelan seting mesin sesuai jenis dan ukuran job. Berikut langkah-langkah sanitasi :

1. Bilas seluruh *line* produksi sampai bebas sirup dengan *treated water* (TW).
2. Pompakan larutan $NaOH$ 1 % ke *carbo cooler* kemudian dialirkan ke *filler* hingga selanjutnya dilakukan perendaman selama 20 menit. Lakukan pula *steaming* selama 10 menit pada suhu di atas $85^{\circ}C$.
3. Bilas seluruh *line* produksi dengan TW hingga terbebas $NaOH$.
4. Pompakan *chlorine* 50 ppm ke *carbo cooler* kemudian dialirkan ke *filler* hingga penuh kemudian lakukan perendaman selama 30 menit.
5. Bilas seluruh *line* dengan TW hingga terbebas *chlorine*.

Lakukan pendinginan apabila siap dipakai produksi dan bila over night encerkan hingga 10-20 menit.

Dalam sistem produksi di PT CCBI dilakukan proses sanitasi 1, 3, dan 5 langkah. Sanitasi 1 langkah dilakukan bila hanya terjadi perubahan ukuran (*cange size*), yaitu membilas dengan *treated water* (TW), sanitasi 3 dan 5 langkah dilakukan untuk pergantian rasa (*cange flavour*).

Proses sanitasi 5 langkah dibutuhkan waktu sekitar 90 menit, sanitasi 3 langkah dibutuhkan waktu sekitar 60 menit, sedang untuk sanitasi 1 langkah hanya dibutuhkan waktu sekitar 30 menit yang semuanya sudah termasuk penyetulan seting mesin.

Berikut daftar proses sanitasi 1, 3, 5 langkah:

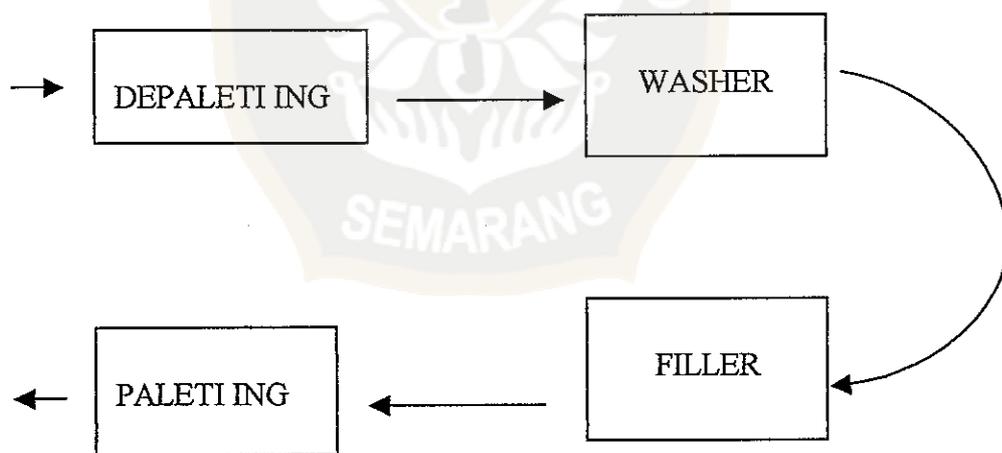
dari ke	Coca Cola	Fanta Pine apple	Fanta Fruity punch	Fanta Straw beri	Fanta Orange	Sprite	Fanta Soda Water
Coca Cola	1	3	3	3	3	3	3
Fanta Pine apple	5	1	5	5	5	5	5
Fanta Fruity punch	5	5	1	5	5	5	5
Fanta Straw beri	5	5	5	1	5	5	5
Fanta Orange	5	3	3	3	1	3	3
Sprite	5	3	3	3	3	1	3
Fanta Club	1	1	1	1	1	1	1

Tabel 2 : Langkah Sanitasi

Secara umum proses pembotolan pada *line* 600 BPM mengikuti alir sebagai berikut :

1. Botol kosong datang pada stasiun kerja *depaleti ing*. Botol-botol diangkat dari kemasan *palet* (satu *palet* berisi 24 krat / *cases*) untuk dibawa oleh *conveyor* menuju ke *bottle washer*.
2. Botol kosong masuk ke mesin *bottle washer* untuk proses sterilisasi.
3. Selanjutnya botol menuju *filler* untuk pengisian / pembotolan.
4. Setelah menjadi botol isi lalu masuk ke stasiun kerja *paleti ing* untuk dikemas dalam ukuran *palet*.

Dalam alir proses produksi di atas biasanya dibutuhkan 20 – 25 personel.



Gambar 12 : Skema alir *line* 600 BPM

3.1.2. Kondisi Permintaan Pasar

Dalam kondisi tingkat permintaan normal biasanya *Processing Departmen* mengoperasikan dua atau tiga *line* produksi dalam setiap harinya,

untuk kondisi tingkat permintaan yang tinggi bisa semua line beroperasi namun hal ini jarang terjadi, sedang jika permintaan rendah hanya satu yang beroperasi.

Dalam masa observasi yang penulis lakukan mulai Januari - Maret terdapat suatu fenomena bahwa permintaan cenderung rendah yaitu berkisar 20.000 sampai 30.000 *cases* per hari dan bahkan pernah terjadi pada kisaran di bawah 15.000 *cases* per hari.

3.2. Proses Penjadwalan

Sistem penjadwalan produksi PT CCBI Semarang lebih menekankan pada sistem prioritas, yaitu sistem penjadwalan yang mendahulukan job dengan tingkat permintaan tertinggi. Hal ini berarti proses pemenuhan produksi menganut pola *make to order*.

Dalam kondisi tertentu (tingkat permintaan rendah) dengan mempertimbangkan pola *make to order* (MTO) dan (*make to stock*), maka penjadwalan efektif sangat tepat diterapkan guna mendukung JIT untuk mengurangi kesia-siaan dan mencapai keoptimalan. Sistem penjadwalan efektif dapat dilakukan dengan cara meminimalkan total waktu proses (*makespan*) yang merupakan inti penulisan skripsi ini.

Sistem penjadwalan ini bertujuan untuk meminimalkan total waktu setup. Waktu setup dalam kenyataan di PT CCBI Semarang merupakan waktu yang diperlukan saat pergantian job (*cange over*) untuk masa persiapan dengan dilakukan proses sanitasi dan penyetingan mesin.

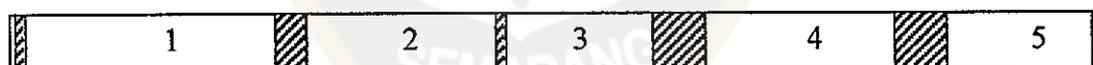
3.2.1. Alasan Tujuan Penjadwalan

- Dengan C_{max} yang minimal mengimplikasikan suatu utilisasi yang tinggi pada sumber-sumber.
- Meningkatkan efisiensi mesin / line.
Dengan C_{max} yang minimal berarti usia kerja mesin menjadi berkurang.
- Dengan pengurangan total waktu penyelesaian sejumlah job diharapkan terjadi penghematan pada banyak sisi.

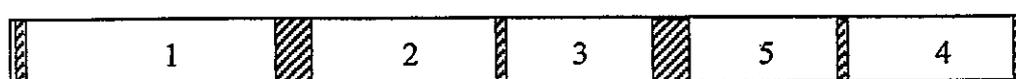
3.2.2. Hipotesis

Hipotesis dari sistem penjadwalan ini adalah akan terjadinya pengurangan *makespan* sehingga akan memberikan suatu efisiensi waktu dan efektifitas produksi. Berikut gambaran hipotesis sistem penjadwalan dari lima buah job.

Penjadwalan S (awal) :



Penjadwalan S' (baru) :



Gambar 13 : Penjadwalan bergantung setup (S') menghasilkan *makespan* yang lebih kecil dibanding penjadwalan awal (S).

Keterangan Gambar :

 : waktu setup

 : waktu proses

3.2.3. Alasan Pemilihan Model

1. Tujuan penjadwalan yang meminimalkan *makespan* dapat dilakukan dengan sistem penjadwalan yang bergantung waktu setup.
2. Sistem penjadwalan yang bergantung waktu setup (s_{jk}) dapat diselesaikan pendekatan model TSP.

Waktu setup dalam pergantian job sebagai representasi bobot (waktu) dalam TSP dan job-job sebagai representasi kota-kota.

3. Algoritma *Eastman* dengan metode *Branch and Bound* dapat menyelesaikan model TSP dengan hasil yang optimal.

3.2.4. Alasan Sistem Penjadwalan pada Line 600 BPM

Line 600 merupakan line dengan utilisasi (LU) yang cenderung lebih rendah dibanding *line* produksi lainnya.

3.2.5. Asumsi Penyelesaian

Dalam menyelesaikan sistem penjadwalan yang bergantung waktu setup maka diperlukan asumsi-asumsi permasalahan yang menegaskan prosedur penjadwalan, sebagai berikut :

1. Waktu sanitasi dalam *cange over* termasuk bagian proses setup dianggap sebagai waktu tunggu (*delay*) untuk proses berikutnya.
3. Waktu setup ditambahkan dengan waktu proses job untuk menghitung waktu penyelesaian satu periode proses produksi.
4. Penjadwalan tidak memperbolehkan adanya *preemptions*.
5. *Breakdown* merupakan kejadian tidak terduga (yang bisa terjadi tiba-tiba).

3.2.6. Pengaruh Penjadwalan terhadap Unsur Lainnya

Dari penjadwalan baru yang telah dibuat, akan dilanjutkan untuk mengetahui pengaruh terhadap salah satu parameter sistem produksi yang lebih umum, yaitu tingkat penggunaan / utilisasi mesin (*Line Utilization* : LU). LU merupakan faktor penting dalam sistem produksi karena LU mengindikasikan sebuah nilai / tingkat efisiensi sumber (*line*), semakin tinggi LU maka semakin tinggi pula efisiensi penggunaan sumber, sehingga diharapkan memberi suatu penghematan biaya produksi perusahaan.

Formulasi Rumus :

1. Total waktu proses (*Makespan* : C_{max})

$$C_{max} = \max(C_1, C_2, \dots, C_n), j = 1, \dots, n$$

$$C_j (\text{completion time}) = C_1 + C_2 + \dots + C_n, j = 1, \dots, n$$

Sedangkan,

$$T_{ij} = w_{ij} + p_j, \text{ untuk } i = 0, 1, \dots, n \text{ dan } j = 1, \dots, n$$

$$T_j = \sum_{i=0}^n \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

$$\begin{aligned} T &= t_{0j1} + \sum_{i=1}^{p-1} t_{ijk+1} + t_{jn0} \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} w_{ijk+1} + \sum_{j=0}^n p_j + w_{jn0} + w_{oj1} \end{aligned}$$

di mana $\sum_{j=0}^n p_j = \text{waktu proses job } j = \text{konstan}$

$\sum_{k=1}^{n-1} w_{jk+1} = \text{bobot (waktu) antara job } j_k \text{ dan } j_{k+1}$

Dari pengertian *completion time* (C_j) dan *makespan* (C_{max}), maka :

$$C_j = T_j \text{ dan } C_{max} = \max(C_1, \dots, C_j) = T = \max(T_1, \dots, T_j)$$

2. Line Utilization (LU)

$$LU = \frac{\text{Earned Time}}{\text{Paid Time}} \times 100 \%$$

Di mana :

$$\text{Earned Time} = \frac{(\text{saleable cases} + 0.578 \%) 24}{600} \text{ menit}$$

Dengan :

- *Earned Time* adalah waktu normal dari *makespan* yang diharapkan untuk menyelesaikan job tanpa adanya hambatan apapun dalam sistem, sedangkan *paid time* adalah waktu kenyataan yang dihabiskan untuk menyelesaikan job.
- 0,578 % adalah angka prosentase produk yang tidak layak jual (*product wastage*) pada *line* 600 BPM (diambil dari data *Performance Production* tahun 2002).
- 24 adalah jumlah botol dalam satu krat (*cases*)
- 600 adalah kecepatan mesin / line (*Bottles Per Minute* : BPM)

3.3. Penjadwalan Bergantung Waktu Setup

Permasalahan penjadwalan mesin tunggal dengan semua waktu rilis ($r_j = 0$) dan barisan / urutan job yang tidak bergantung waktu setup, maka *makespan*-nya adalah bebas, tidak bergantung urutan, dan merupakan hasil penjumlahan seluruh waktu proses. Pertukaran urutan pekerjaan pada kasus ini merupakan *interchange adjacent*. Ketika suatu urutan barisan pekerjaan bergantung waktu setup, maka *makespan*-nya bergantung pada urutan.

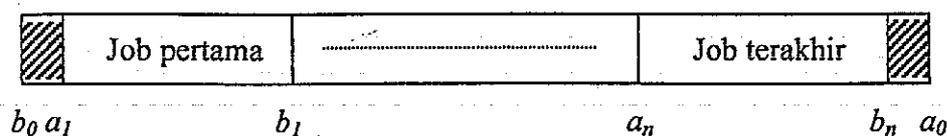
Penjadwalan mesin tunggal yang bergantung waktu setup dinotasikan dengan $I |s_{jk}| c_{max}$, dalam kenyataannya sering dipertimbangkan dalam penyusunan jadwal pekerjaan.

Berikut adalah deskripsi penjadwalan yang bergantung waktu setup. Dua parameter, sebut sebagai a_j dan b_j merupakan bagian yang digabung dalam job j , sehingga $s_{jk} = |a_k - b_j|$. Struktur waktu setup digambarkan sebagai berikut; Setelah job j selesai dikerjakan, maka mesin harus dipastikan dalam kondisi b_j , untuk dapat melanjutkan pekerjaan ke job k , mesin harus dibawa ke dalam kondisi a_k . Waktu setup diperlukan untuk membawa kondisi mesin dari b_j ke a_k di mana terjadi perbedaan yang mutlak antara kedua kondisi tersebut. Di PT Coca Cola kondisi tersebut terjadi pada proses sanitasi dan penyetingan mesin, yang disebut *cange over*.



Gambar 14 : Proses perpindahan job

Dengan asumsi, bahwa kondisi awal mesin melakukan pekerjaan adalah b_0 dan selesai melakukan seluruh pekerjaan adalah a_0 . Kondisi awal sebagai masa persiapan periode penjadwalan produksi (*preparation / startup*) dan kondisi akhir sebagai *shutdown*.



Gambar 15 : Kondisi awal dan kondisi akhir periode produksi.

Penjadwalan dari sisi urutan barisan pengerjaan job secara lebih mudah dan sederhana dapat didekati dengan algoritma *Traveling Salesman Problem* (TSP). Algoritma TSP dipresentasikan dengan $n + 1$; Penambahan kota disebut dengan kota 0 dengan parameter a_0 dan b_0 , dan tanpa menghilangkan makna secara umum, perlu diambil asumsi sedemikian sehingga $b_0 \leq b_1 \leq \dots \leq b_n$.

Definisi 3.3.1.

Perjalanan salesman dari kota j menuju kota k ekuivalen dengan pengerjaan job j yang dilanjutkan ke pengerjaan job k yang dinotasikan dengan $k = \Phi(j)$.

Definisi 3.3.2.

Sebuah perjalanan dinotasikan dengan Φ , merupakan sebuah vektor yang memetakan setiap elemen $\{0, 1, 2, \dots, n\}$ secara *bijektif* dengan setiap elemen *unique* $\{0, 1, 2, \dots, n\}$ dengan relasi $k = \Phi(j)$.

Definisi tersebut menunjukkan ekuivalensi kunjungan salesman ke kota k setelah dari kota j . Setiap pemetaan tersebut merupakan pemetaan permutasi. Dari semua pemetaan permutasi akan menghasilkan suatu TSP yang fisibel dan tidak fisibel. Suatu misal, $\{0, 1, 2, 3\}$ yang dipetakan *bijektif* menghasilkan $\{2, 3, 1, 0\}$ adalah suatu TSP yang fisibel. Lain halnya jika $\{0, 1, 2, 3\}$ yang dipetakan *bijektif* menghasilkan $\{2, 1, 3, 0\}$ adalah suatu TSP yang tidak fisibel. Pemetaan *bijektif* dari $\{0, 1, 2, 3\}$ menjadi $\{2, 1, 3, 0\}$ tidak fisibel karena akan dihasilkan dua buah subtur, yang pertama adalah subtur $0 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 0$ dan yang kedua adalah subtur $1 \rightarrow 1$ yang merupakan kunjungan antar satu kota (lihat gambar 16).

Definisi 3.3.3.

Definisi $k = \Phi(k)$ diartikan sebagai tur *redundant* yaitu tur dari dan menuju k .



Gambar 16 : Pemetaan permutasi.

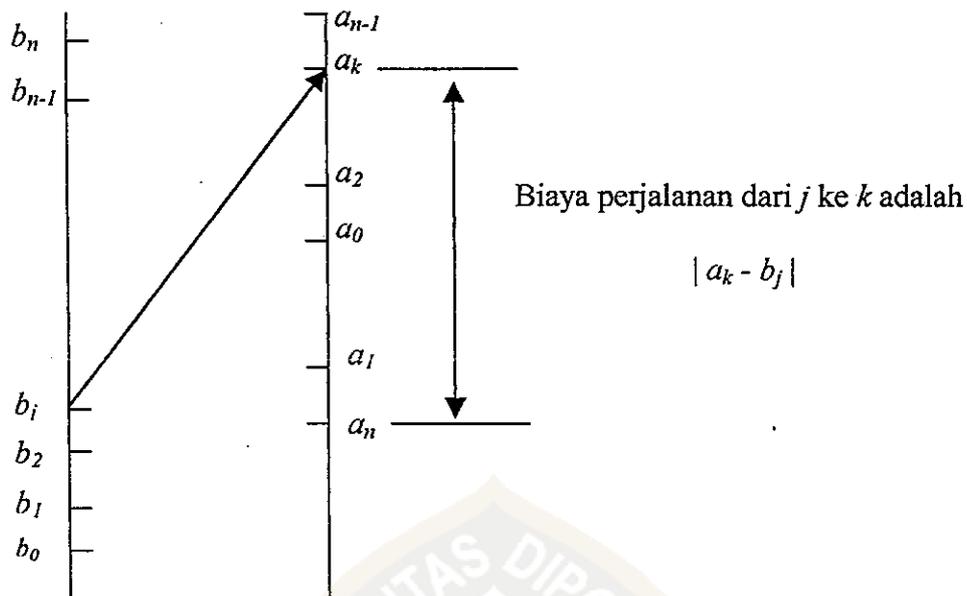
a. $\{0, 1, 2, 3\} \rightarrow \{2, 3, 1, 0\}$

b. $\{0, 1, 2, 3\} \rightarrow \{2, 1, 3, 0\}$

Secara khusus biaya perjalanan dari j ke k , disajikan sebagai garis vertikal dari anak panah yang menghubungkan b_j dengan a_k . Maka, sebarang permutasi pemetaan dapat disajikan sebagai sebuah himpunan anak panah yang menghubungkan b_j ke a_k , untuk $j = 0, \dots, n$ ke a_k , dan $k = 0, \dots, n$, dan jumlah biaya dari setiap pemetaan $n + 1$ anak panah adalah besarnya garis vertikal.

Definisi 3.3.

Definisi sebuah pertukaran (*swap*) $I(j, k)$ sebagai prosedur yang mengaplikasikan pemetaan permutasi Φ menghasilkan pemetaan permutasi Φ' yang lain dan mengakibatkan hanya penugasan dari j ke k dengan mengabaikan pemetaan permutasi yang lain (Φ').



Gambar 17 : Biaya perjalanan dari j ke k .

Transformasi ini tidak ekuivalen dengan *adjacent pairwise interchange* barisan karena pemetaan permutasi Φ tidak selalu menghasilkan sebuah barisan tur yang fisibel. Hal itu hanya mempresentasikan sebuah *swap* dari panah yang keluar dari b_j dan b_k yang mengabaikan semua panah yang lain. *Swap* mempunyai ekuivalensi terhadap pemetaan yang dilakukan untuk mendapatkan alternatif solusi yang fisibel. Dalam subbab berikutnya *swap* dilakukan dengan algoritma *Eastman*.

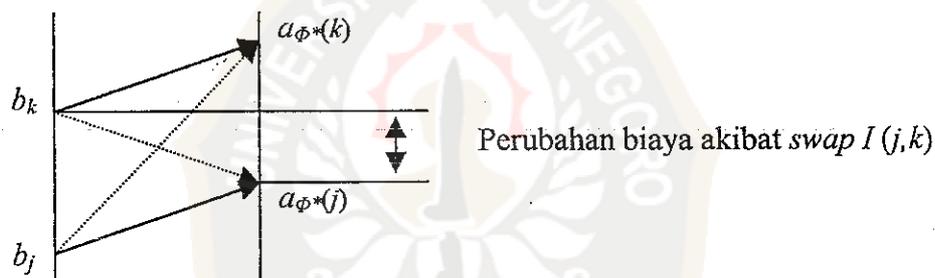
Lemma 3.3.

Sebuah optimal pemetaan permutasi diperbolehkan jika :

$$b_j \leq b_k \rightarrow a_{\phi^*(j)} \leq a_{\phi^*(k)}$$

Pembuktian :

Pernyataan lemma ekuivalen dengan tidak adanya garis yang menyilang dalam gambar di atas. Anggap dua garis adalah menyilang. Sebuah *swap* akan memberikan solusi yang lebih baik dengan menghilangkan garis menyilang. Garis menyilang merupakan akibat pemetaan permutasi yang diabaikan (definisi 3.3).



Gambar 18 : Perubahan biaya akibat *swap* $I(j,k)$.

3.4. Penyelesaian Penjadwalan

Penyelesaian penjadwalan yang didekati dengan model TSP akan disajikan dengan matriks biaya (c_{ij}), dalam kasus di PT CCBI elemen-elemen matriks tersebut diperoleh dari tabel langkah sanitasi yang merupakan proses pergantian job. Untuk menyelesaikannya digunakan algoritma *Eastman* dengan metode *Branch and Bound (B&B)* sebagai metode penyelesaiannya.

3.4.1. Metode *Branch and Bound*

Garis besar dari metode *Branch and Bound* (B&B) penentuan cabang (*branch*) dan batas (*bound*) untuk mencari solusi optimal. Batas yang ditentukan disebut batas atas terkecil untuk kasus maksimisasi dan batas bawah terbesar untuk kasus minimisasi. Berikut adalah *theorema* dasar dari metode B&B.

Theorema 3.4.1.

Suatu perjalanan keliling yang minimal terhadap matrik (c_{ij}) akan juga minimal terhadap matrik (c'_{ij}) , di mana $(c'_{ij} = c_{ij} - p_i - q_j)$ dengan $p_i = \min c_{ij}$ dan $q_j = \min (c_{ij} - p_i)$ untuk $i, j = 1, \dots, n$.

Bukti :

Misal $\Pi = v_1, \dots, v_m, v_1$ suatu perjalanan keliling. Untuk tiap simpul anggota Π katakanlah r , hanya terdapat satu busur / panah yang menuju r dan meninggalkan r . Dapat dilihat bahwa panjang Π terhadap (c'_{jk}) adalah $\sum (p_k + q_k)$ lebih kecil dari panjang Π terhadap (c_{ij}) . Karena panjang tiap perjalanan keliling tereduksi dengan sejumlah panjang yang sama, maka perjalanan kelilingnya tetap tidak berubah. Bila (c_{ij}) ditransformasikan menjadi matriks tereduksi (c'_{ij}) seperti di atas, dikatakan bahwa matriks panjang busur telah tereduksi dengan $C(B) = \sum (p_k + q_k)$. Dalam hal ini elemen-elemen pada baris i dan kolom j masing-masing direduksi dengan p_i dan q_j , di mana $p_i = \min (c_{ij})$ dan $q_j = \min (c_{ij} - p_i)$ untuk $i, j = 1, \dots, n$. Selanjutnya suatu proses reduksi (transformasi) diperbolehkan apabila p_i dan q_j sedemikian sehingga $(c'_{ij}) \geq 0$.

Theorema 2.3.3.

$C(B) = \sum (p_k + q_k)$ merupakan suatu batas bawah dari nilai panjang perjalanan keliling minimal terhadap (c_{ij}) , jika proses transformasi $(c'_{ij}) = (c_{ij} - p_i - q_j)$ dengan $p_i = \min (c_{ij})$ dan $q_j = \min (c_{ij} - p_i)$ untuk $i, j = 1, \dots, n$ merupakan proses yang diperbolehkan.

Bukti :

Oleh karena $(c'_{jk}) \geq 0$, panjang busur minimal perjalanan keliling terhadap matriks (c'_{ij}) harus nonnegative. Jadi $C(B)$ tersebut merupakan batas bawahnya.

Korolari :

$\sum (\min c_{ij}) + \sum \min (c_{ij} - \min c_{ik})$ merupakan suatu batas bawah panjang busur dari perjalanan keliling minimal terhadap (c_{ij}) .

Metode *B&B* digunakan oleh banyak ilmuwan untuk menyusun suatu algoritma yang dapat menyelesaikan secara lebih mudah permasalahan TSP. Algoritma yang akan digunakan dalam penyelesaian TSP sebagai model kasus penjadwalan ini adalah algoritma *Eastman*.

3.4.2. ALGORITMA EASTMAN

Diberikan $D(i,j)$ sebagai jarak dari i ke j untuk $i = 1, \dots, n$ dan $j = 1, \dots, n$, di mana n adalah jumlah kota. Beri $D(i,i) = \infty$ untuk $i = 1, \dots, n$. Sebuah tur merupakan rute lengkap (dari *Hamiltonian Cycle*) sejumlah n kota di mana semua kota dikunjungi hanya satu kali. Kunjungan terhadap kota tertentu dan melanjutkan ke kota berikutnya, memungkinkan terbentuknya suatu subtur. Tentunya hal itu tidak boleh terjadi dalam sebuah rute yang fisibel dalam TSP.

Algoritma Eastman memberikan solusi permasalahan TSP yang lebih mudah dengan memperbolehkan adanya suatu subtur (subtur digambarkan dari *subgraph*) pada langkah awal pada masalah penugasan (*assignment problem*) untuk mendapatkan solusi akhir yang optimal tanpa subtur. Selanjutnya artikan bahwa tur merupakan urutan sejumlah job yang harus dikerjakan, dengan kota sebagai representasi job dan jarak sebagai representasi biaya (langkah sanitasi), serta $D(i,j) = C(i,j)$.

Algoritma Eastman :

1. Berikan *Current Least Upper Bound* (CLUB) sebagai batas atas terkecil pada solusi optimal *Traveling Salesman Problem*.

$$CLUB \leq 10^{10}$$
2. Selesaikan masalah penugasan, di mana jarak $C(i,j)$ adalah elemen-elemen matriks. Solusinya memuat batas bawah pada solusi optimal TSP. Jika ada subtur dalam solusi, lanjutkan langkah 3. Jika solusi optimal dalam masalah penugasan juga sebuah solusi optimal pada TSP maka langkah berhenti.
3. Pilih sebuah subtur dan berikan notasi p sebagai jumlah panah dalam subtur yang dipilih. *Eastman* memilih subtur dengan jumlah panah terkecil (sebuah panah hanya menghubungkan dua kota). Semua subtur yang lain bisa diabaikan.
4. Buat percabangan dalam p submasalah. Jika *subturnya* adalah : $i_1 \rightarrow i_2$
 $\rightarrow \dots i_p \rightarrow i_1$.

Maka submasalah pertama berikan biaya $C(i_1, i_2) = \infty$, submasalah kedua $C(i_2, i_3) = \infty$ dan seterusnya, untuk submasalah p beri $C(i_p, i_1) = \infty$.

5. Selesaikan p masalah penugasan baru. Setiap solusi adalah batas bawah untuk submasalah yang sesuai.
6. Jika ada satu atau lebih solusi fisibel dari langkah 5 dan total biaya paling kecil dari solusi fisibel, maka dinamakan *Smallest Total Distance (STD)*, yang juga lebih kecil dari CLUB, selanjutnya sebutlah CLUB = STD dan simpan solusi fisibel yang sesuai.
7. Jika CLUB kurang dari batas bawah pada semua submasalah yang lain, maka solusi pada CLUB adalah solusi yang optimal pada TSP, dan langkah selesai; Jika tidak lanjut ke langkah 8.
8. Dari semua submasalah nonfisibel (adanya subtur) submasalah dengan batas bawah kurang dari CLUB, dipilih subtur dengan batas bawah paling kecil untuk pencabangan lebih lanjut. Kerjakan langkah 3.

Algoritma masalah penugasan dari langkah 2 dengan metode *Hungarian*.

Langkah penugasan dari metode *Hungarian* adalah dengan memodifikasi matriks biaya (c_{ij}) untuk mendapatkan sebuah nol terpilih dari setiap baris dan kolom dengan harapan diperoleh suatu penugasan lengkap dari korespondensi elemen nol dalam matriks reduksi. Nol terpilih menunjukkan suatu penugasan dari setiap elemen baris ke setiap elemen kolom.

1. Mereduksi matriks (c_{ij}) dengan aturan sebagai berikut :
 - a. Tentukan $p_i = \min c_{ij}$, lalu kurangkan masing-masing elemen baris dengan p_i .

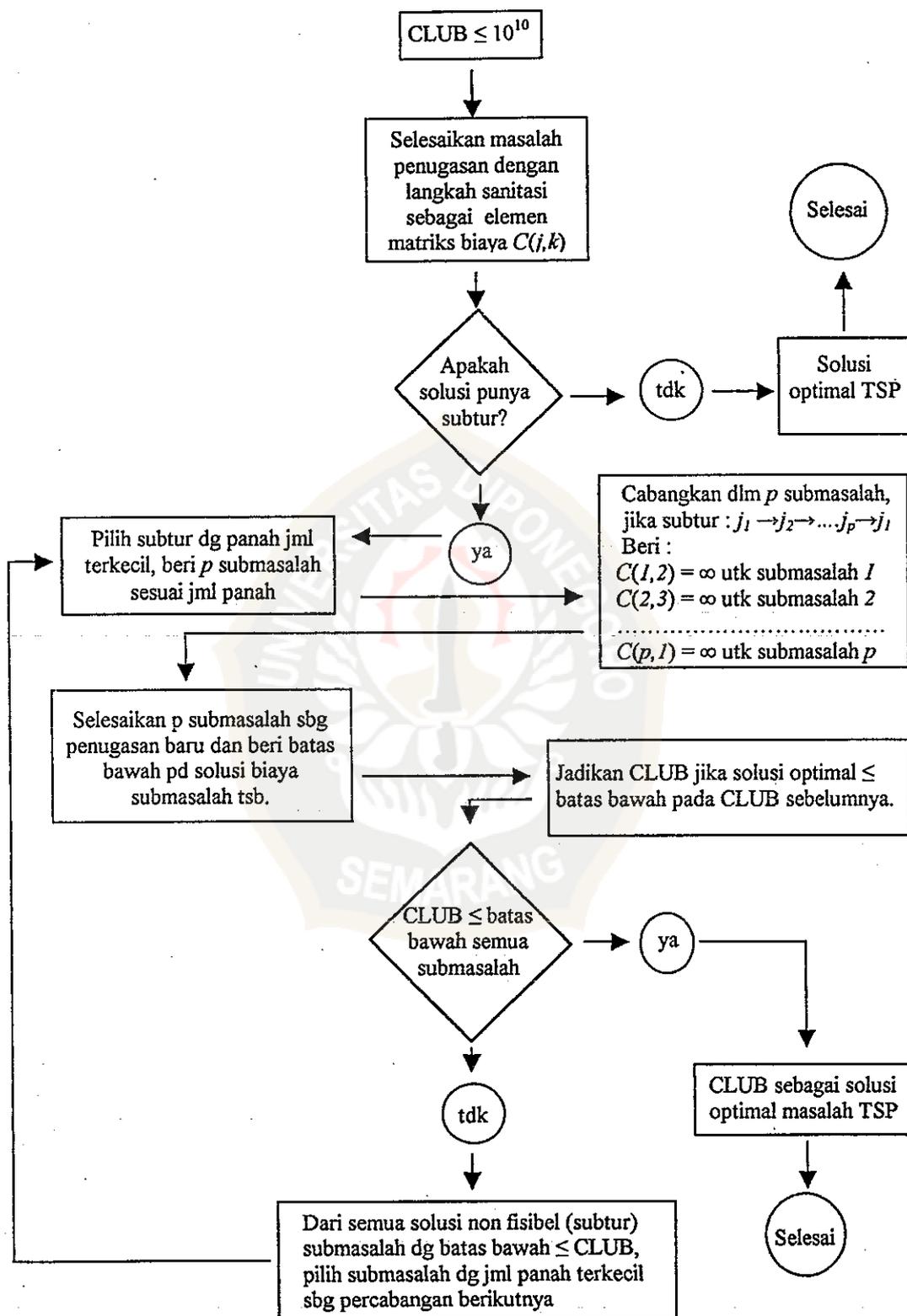
- b. Pilih $q_j = \min (c_{ij}-p_i)$, lalu kurangkan setiap elemen kolom dengan q_j sehingga terbentuk matrik tereduksi $(c'_{ij}) = (c_{ij}-p_i-q_j)$.
2. Langkah kedua adalah mencari penugasan dengan melibatkan elemen nol.
- Selesaikan elemen baris dengan nol tunggal, mulai dari baris terkecil pastikan dan tandailah sebuah nol yang terpilih dengan tanda * dan beri tanda ^ nol yang lainnya pada kolom yang sama.
 - Selesaikan elemen kolom dengan nol tunggal, mulai dari kolom 1 pastikan dan tandailah sebuah nol terpilih dengan tanda * dan beri tanda ^ nol yang lainnya pada baris yang sama.
 - Ulangi cara a dan b sampai dipastikan hanya ada satu elemen nol terpilih pada setiap baris dan kolom.
- Jika belum ditemukan sebuah penugasan lengkap maka lanjutkan ke langkah 3.
3. Untuk melengkapi penugasan, ikutilah langkah-langkah di bawah ini :
- Tandai dengan (@) pada semua baris yang tidak diberi tanda nol terpilih.
 - Tandai dengan (@) pada kolom-kolom di mana nol diberi tanda ^ pada baris yang terdapat tanda @.
 - Tandai @) baris yang mempunyai nol terpilih tetapi kolomnya bertanda @.
 - Ulangi langkah b dan c sampai tanda (@) tidak dapat di buat lagi.
4. Lalu selesaikan elemen yang bertanda @ dengan :

- a. Elemen baris dikurangi dengan elemen terkecil selain nol pada baris yang bertanda @.
- b. Selesaikan kolom yang mempunyai elemen negatif agar semua elemen matriks nonnegative. Lalu lengkapi penugasan dengan langkah 2.

Terbentuklah penugasan baru dengan nol terpilih.

Untuk memperjelas langkah algoritma *Eastman* diberikan flowchart di bawah ini :





Gambar 19 : Flowchart Algoritma *Eastman*.

3.4.3. Penyelesaian Sistem Penjadwalan

Berikut langkah-langkah penyelesaian sistem penjadwalan yang bergantung waktu setup (s_{jk}) pada PT CCBI Semarang :

1. Dari jadwal / urutan job dari PT CCBI Semarang, sajikan ke dalam bentuk matriks sanitasi (c_{ij}).
2. Selesaikan matriks sanitasi dengan algoritma Eastman sebagai pemecahan model TSP untuk masalah penjadwalan.
3. Hitung total waktu proses (*makespan* : C_{max}).
4. Sajikan kedua penjadwalan ke dalam *Gantt Charts*.

Bandingkan masing-masing penjadwalan terhadap C_{max} dan LU.

Contoh :

Diberikan data *Weekly Report Production Line* 600 BPM pada tanggal 17 Maret – 19 Maret 2003 adalah sebagai berikut :

NO	JOB	Production Hour	Saleable Cases
1	Sprite (SP) 200 ml	880 menit	11351 cases
2	Fanta Pineapple (FPA) 200 ml	580 menit	8334 cases
3	Fanta Pineapple (FPA) 295 ml	445 menit	6238 cases
4	Fanta Strawberi (FST) 295 ml	655 menit	9082 cases
5	Fanta Orange (FO) 200 ml	540 menit	6646 cases

Tabel 3 : *Weekly Report Production* 17 – 19 Maret 2003:

Urutan job dari PT CCBI adalah : SP 200 ml (1) → FPA 200 ml (2) → FPA 295 ml (3) → FST 295 ml (4) → FO 200 ml (5). Dengan menambahkan

sebuah elemen sebagai job *dummy* maka urutan job dari PT CCBI Semarang menjadi sebagai berikut : 0 → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 0 atau job *dummy* (0) → SP 200 ml (1) → FPA 200 ml (2) → FPA 295 ml (3) → FST 295 ml (4) → FO 200 ml (5) → job *dummy* (0).

Untuk menyelesaikan penjadwalan, maka dari jenis job di atas disajikan ke dalam matriks sanitasi (c_{ij}) sebagai langkah pertama :

Berikut tabel langkah sanitasi job-job sebagai langkah persiapan untuk pergantian / perpindahan job pada *line* 600 BPM dalam satu periode penjadwalan produksi :

Dari / Ke	Job 0	Job 1	Job 2	Job 3	Job 4	Job 5
Job 0	∞	1	1	1	1	1
Job 1	1	∞	3	3	3	3
Job 2	1	5	∞	1	5	5
Job 3	1	5	1	∞	5	5
Job 4	1	5	5	5	∞	5
Job 5	1	3	3	3	3	∞

Tabel 4 : Langkah sanitasi job-job satu periode penjadwalan.

Carilah urutan pengerjaan job sebagai rencana / jadwal produksi agar mempunyai total langkah sanitasi paling minimal.

Penyelesaian :

Sajikan tabel sanitasi ke dalam matriks biaya (c_{ij})

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & 1 & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & \infty \end{bmatrix}$$

Langkah 1.

Berikan himpunan CLUB $\leq 10^{10}$.

Langkah 2.

Penyelesaian masalah penugasan ;

1. Mereduksi matriks (c_{ij})
 - a. Dengan $p_i = \min(c_{ij})$; $p_1 = 1, p_2 = 1, p_3 = 1, p_4 = 1, p_5 = 1, p_6 = 1$ maka diperoleh matriks (c_{ij}) dengan baris tereduksi ($c_{ij} - p_i$) :

$$(c_{ij} - p_i) = \begin{bmatrix} \infty & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 4 & \infty & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 0 & \infty & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 4 & 4 & \infty & 4 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & \infty \end{bmatrix}$$

- b. Mereduksi kolom, dengan $q_j = \min(c_{ij} - p_i)$; $q_1 = 0, q_2 = 0, q_3 = 0, q_4 = 1, q_5 = 0, q_6 = 0$ maka diperoleh matrik tereduksi $C'_{ij} = (c_{ij} - p_i - q_j)$.

$$C' = \begin{bmatrix} \infty & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \infty & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0 & 4 & \infty & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 0 & \infty & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 4 & 4 & \infty & 4 \\ 0 & 2 & 2 & 2 & 2 & \infty \end{bmatrix}$$

Langkah 2 penugasan.

Memilih elemen nol sebagai penugasan elemen baris ke elemen kolom.

- Mulai baris kedua, tandailah elemen nol terpilih dengan tanda * dan ^ nol yang lain pada kolom pertama.
- Tandai nol terpilih pada baris 3 dan 4 dengan tanda * dan ^ nol yang lain masing-masing pada kolom 4 dan 3.
- Pilih elemen nol pada baris pertama yang tidak bertanda ^ dari kolom terkecil, yaitu baris 1 kolom 2.

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 0^* & \infty & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0^{\wedge} & 4 & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 0^{\wedge} & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^{\wedge} & 4 & 4 & 4 & \infty & 4 \\ 0^{\wedge} & 2 & 2 & 2 & 2 & \infty \end{bmatrix}$$

Karena tidak semua baris dan kolom mempunyai nol terpilih maka harus dilanjutkan dengan langkah untuk melengkapi penugasan.

Langkah 3 penugasan.

- Karena baris 5 dan 6 tidak terdapat nol terpilih, maka tandai masing-masing baris dengan tanda @.
- Dari baris 5 dan 6, tandailah @ pada kolom pertama karena terdapat nol yang tidak terpilih.
- Dari kolom 1, tandailah @ pada baris yang terdapat nol terpilih.

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 0^* & \infty & 2 & 2 & 2 & 2 \\ 0^{\wedge} & 4 & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 0^{\wedge} & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^{\wedge} & 4 & 4 & 4 & \infty & 4 \\ 0^{\wedge} & 2 & 2 & 2 & 2 & \infty \end{bmatrix} \begin{matrix} \\ @ \\ \\ @ \\ @ \end{matrix}$$

Langkah 4 penugasan.

- Pilih elemen terkecil selain nol pada baris-baris dengan tanda (@), ambil $p = 2$.

Kurangkan setiap elemen pada baris dengan tanda (@) dengan $p = 2$.

$$\begin{bmatrix} \infty & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & \infty & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & \infty & 0 & 4 & 4 \\ 0 & 4 & 0 & \infty & 4 & 4 \\ -2 & 2 & 2 & 2 & \infty & 2 \\ -2 & 0 & 0 & 0 & 0 & \infty \end{bmatrix}$$

- Buatlah matriks nonnegatif dengan menambahkan 2 pada kolom pertama. Lalu carilah nol terpilih sebagai penugasan.

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 0^{\wedge} & \infty & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* \\ 2 & 4 & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 2 & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^* & 2 & 2 & 2 & \infty & 2 \\ 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & \infty \end{bmatrix}$$

Didapat penugasannya lengkap yaitu : $1 \rightarrow 2$, $2 \rightarrow 6$, $3 \rightarrow 4$, $4 \rightarrow 3$,
 $5 \rightarrow 1$, $6 \rightarrow 5$ dengan total langkah sanitasi 10. Dari penugasan tersebut
 menghasilkan dua buah subtur masing-masing : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1$
 dan $3 \rightarrow 4 \rightarrow 3$.

Karena solusi penugasan menghasilkan dua buah subtur, maka bukan merupakan solusi TSP. Lanjutkan ke langkah 3 dengan mengambil batas bawah dari masalah tersebut adalah 10.

Langkah 3

Dari dua subtur $1 \rightarrow 2 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ dan $3 \rightarrow 4 \rightarrow 3$. Maka dipilih subtur $3 \rightarrow 4 \rightarrow 3$ karena mempunyai jumlah panah yang lebih kecil yaitu 2.

Langkah 4

Sesuai jumlah panah, maka ambil $p = 2$. Permasalahan dicabangkan kedalam dua submasalah, yaitu dengan $D(3,4) = \infty$ dan $D(4,3) = \infty$

Langkah 5

Menyelesaikan penugasan dengan $D(3,4) = \infty$.

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & \infty \end{bmatrix}$$

Dengan menggunakan penyelesaian matriks langkah penugasan, maka diperoleh penugasan matriks penugasan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge \\ 2 & \infty & 0^\wedge & 0^* & 0^\wedge & 0^\wedge \\ 0^* & 0^\wedge & \infty & \infty & 0^\wedge & 0^\wedge \\ 4 & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & \infty & 0^* \\ 2 & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^* & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan yang menghasilkan dua buah subtur masing-masing : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$ dan $5 \rightarrow 6 \rightarrow 5$, merupakan penugasan dengan total langkah sanitasi 14.

Berikutnya submasalah kedua, dengan $D(4,3) = \infty$

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & 1 & 5 & 5 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks penugasan sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 2 & \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 4 & 4^{\wedge} & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 0^* & 0^{\wedge} & \infty & \infty & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & \infty & 0^* \\ 2 & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan yang menghasilkan dua buah subtur masing-masing : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ dan $5 \rightarrow 6 \rightarrow 5$, merupakan penugasan dengan total langkah sanitasi 14.

Dari penugasan dua submasalah di atas ternyata tidak memberikan solusi fisibel TSP, maka masing-masing submasalah di atas diselesaikan lagi untuk menemukan penugasan tanpa subtur sebagai solusi optimal TSP dari subtur yang mempunyai jumlah panah terkecil.

$$D(3,4) = \infty \text{ dan } D(5,6) = \infty$$

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & \infty \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks penugasan :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge \\ 2 & \infty & 0^\wedge & 0^* & 0^\wedge & 0^\wedge \\ 0^\wedge & 0^\wedge & \infty & \infty & 0^\wedge & 0^* \\ 4 & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^* & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & \infty & \infty \\ 2 & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^\wedge & 0^* & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan dengan sebuah tur : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1$

dengan total langkah sanitasi 14.

$$D(3,4) = \infty \text{ dan } D(6,5) = \infty$$

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & \infty & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks penugasan :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 2 & \infty & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & 0^{\wedge} \\ 0^* & 0^{\wedge} & \infty & \infty & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 4 & 4 & 0^* & \infty & 4 & 4 \\ 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & \infty & 0^* \\ 2 & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & \infty & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan dengan sebuah tur : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1$

dengan total langkah sanitasi 14.

$$D(4,3) = \infty \text{ dan } D(5,6) = \infty$$

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & 1 & 5 & 5 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & \infty \\ 1 & 3 & 3 & 3 & 3 & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks penugasan :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 2 & \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 4 & 4 & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 0 & 0 & \infty & \infty & 0 & 0^* \\ 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & \infty & \infty \\ 2 & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan dengan sebuah tur : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1$

dengan total langkah sanitasi 14.

$$D(4,3) = \infty \text{ dan } D(6,5) = \infty$$

$$C = \begin{bmatrix} \infty & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \infty & 3 & 3 & 3 & 3 \\ 1 & 5 & \infty & 1 & 5 & 5 \\ 1 & 5 & \infty & \infty & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 5 & 5 & \infty & 5 \\ 1 & 3 & 3 & 3 & \infty & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks penugasan :

$$\begin{bmatrix} \infty & 0^* & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} \\ 2 & \infty & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^* & 0^{\wedge} \\ 4 & 2 & \infty & 0^* & 4 & 4 \\ 0^* & 0 & \infty & \infty & 0 & 0^{\wedge} \\ 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & 0^{\wedge} & \infty & 0^* \\ 2 & 0^{\wedge} & 0^* & 0^{\wedge} & \infty & \infty \end{bmatrix}$$

Diperoleh penugasan dengan sebuah tur : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$
dengan total langkah sanitasi 14.

Langkah 6 dan 7.

Dari empat penyelesaian submasalah tersebut memberikan solusi fisibel TSP, sehingga nilai 14 tersebut dianggap sebagai *Smallest Total Distance (STD)*.

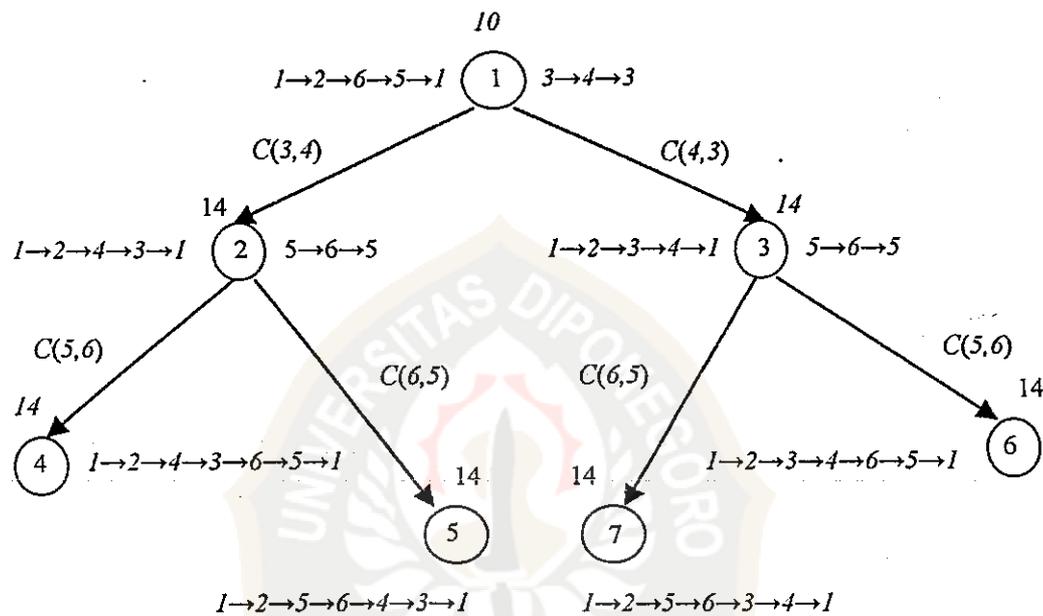
Maka CLUB = STD sebagai solusi optimal TSP.

Jadi, ada empat alternatif pengurutan yang dapat dijadikan sebagai jadwal / rencana produksi, yaitu :

1. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1 = \text{Job } (1 \rightarrow 3 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 4)$.
2. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 = \text{Job } (1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 3 \rightarrow 2)$.

3. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1 = \text{Job } (1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4).$
4. $1 \rightarrow 2 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1 = \text{Job } (1 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 3).$

Alternatif solusi dengan algoritma *Eastman* :



Gambar 20 : Pohon akar solusi TSP.

Selanjutnya dilakukan penghitungan total waktu proses (*makespan* : C_{max}). Karena C_j ekuivalen dengan T_j dan C_{max} ekuivalen dengan T , maka C_{max} dihitung dengan :

$$\begin{aligned}
 T &= t_{0j1} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{jij+1} + t_{jn0} \\
 &= \sum_{i=1}^{n-1} w_{jij+1} + \sum_{j=0}^n p_j + w_{jn0} + w_{0j1}
 \end{aligned}$$

Dengan mengambil proses 1 langkah = 30 menit, 3 langkah = 60 menit, dan 5 langkah = 90 menit, maka struktur waktu proses jadwal awal (PT CCBI)

dengan urutan job : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 6 \rightarrow 1$ dengan total sanitasi $1 + 3 + 1 + 5 + 5 + 1 = 16$ langkah dapat diperlihatkan sebagai berikut :

Job 1 : SP 200 ml : $t_{01} = 30 + p_1 = 880$ menit.

Job 2 : FPA 200 ml : $t_{12} = 60 + p_2 = 580$ menit.

Job 3 : FPA 295 ml : $t_{23} = 30 + p_3 = 445$ menit.

Job 4 : FST 295 ml : $t_{34} = 90 + p_4 = 655$ menit.

Job 5 : FO 200 ml : $t_{45} = 90 + p_5 + 30 = 540$ menit.

Jadi, $C_{max} = T = 3100$ menit.

Sedangkan untuk penjadwalan baru dengan mengambil contoh : $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 6 \rightarrow 5 \rightarrow 1$ maka job yang dikerjakan adalah SP 200 ml \rightarrow FPA 295 ml \rightarrow FPA 200 ml \rightarrow FO 200 ml \rightarrow FST 295 ml dan total langkah sanitasi adalah $(1 + 3 + 1 + 5 + 3 + 1 = 14)$ adalah sebagai berikut :

Job 1 : SP 200 ml : $t_{01} = 30 + p_1 = 880$ menit.

Job 2 : FPA 200 ml : $t_{12} = 60 + p_2 = 580$ menit.

Job 3 : FPA 295 ml : $t_{23} = 30 + p_3 = 445$ menit.

Job 5 : FO 295 ml : $t_{45} = 90 + p_5 = 510$ menit.

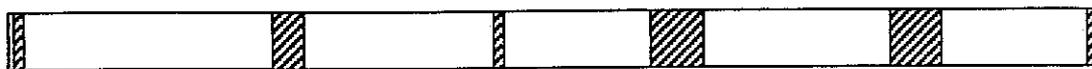
Job 4 : FO 200 ml : $t_{34} = 60 + p_4 + 30 = 655$ menit.

$C_{max} = T = 3070$ menit.

Selanjutnya *makespan* dari penjadwalan awal dan baru disajikan dengan *Gantt Charts* sebagai berikut :

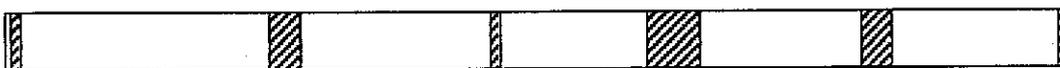
Charts sebagai berikut :

Penjadwalan S (awal) :



$$C_{max} = 3100 \text{ menit}$$

Penjadwalan S' (awal) :



$$C_{max} = 3070 \text{ menit}$$

Gambar 21: *Makespan* penjadwalan awal dan baru.

Menghitung *Line Utiliation* (LU)

$$LU = \frac{\text{Earned Time}}{\text{Paid Time}} \times 100 \%$$

$$\text{Earned Time} = \frac{(\text{saleable cases} + 0.578 \% \text{ saleable cases}) 24}{600} \text{ menit}$$

$$\text{Earned Time} = \frac{(41651 + 240.74) 24}{600} \text{ menit}$$

$$= 1675 \text{ menit.}$$

$$\text{Paid Time } S = 3100 \text{ menit.}$$

$$\text{Paid Time } S' = 3070 \text{ menit.}$$

$$LU S = \frac{1675}{3100} \times 100 \% = 54.05 \%$$

$$LU S' = \frac{1675}{3070} \times 100 \% = 54.56 \%$$