

**MINIMISASI STASIUN KERJA *PACKING LINE* DENGAN
METODE *BRANCH AND BOUND (BB)*, *RPW*,
ACO DAN *COMSOAL*
(Studi Kasus pada Sebuah Perusahaan
Food & Beverage di Jakarta)**

***PACKING LINE WORKSTATION REDUCTION USING
BRANCH AND BOUND (BB) METHOD, RPW, ACO, AND
COMSOAL (A CASE STUDY AT A FOOD & BEVERAGE
COMPANY IN JAKARTA)***

Hernawati Dewi¹, Meriastuti Ginting², Budi Marpaung³

Program Studi Teknik Industri
Universitas Kristen Krida Wacana
Jalan Tanjung Duren Raya No.4, Jakarta Barat
¹Cecilia.h.dewi@gmail.com, ²meriastuti.ginting@ukrida.ac.id,
³budi.marpaung@ukrida.ac.id

Abstrak

Sebuah perusahaan manufaktur yang bergerak pada industri makanan di Indonesia masih menggunakan mesin manual dalam proses *packing*. Proses ini membutuhkan lebih banyak tenaga kerja dan masih terdapat kondisi *bottleneck*. Perusahaan perlu meningkatkan efisiensi lini produksi, terutama pada *packing line*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah dari stasiun kerja optimal dengan menggunakan metode terbaik, dan menentukan perencanaan yang optimal dari *packing line*. Kriteria evaluasi untuk metode terbaik adalah *output* dan proses, dan kriteria evaluasi untuk garis keseimbangan adalah garis efisiensi dan jumlah stasiun kerja. Empat pendekatan berbeda yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan analitis (*Branch and Bound method*), pendekatan heuristik (*Rank Position Weight System method*), pendekatan metaheuristik (*Ant Colony Optimization method*) dan pendekatan simulasi (metode *COMSOAL*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi jalur meningkat 12% dan jumlah stasiun kerja menurun menjadi 11 stasiun kerja. Perusahaan dapat mengurangi biaya tenaga kerja sebesar Rp 6.006.000 per bulan dengan perencanaan yang optimal.

Kata kunci: *Line Balancing, Efficiency Line, Branch and Bound, Rank Position Weight System method, Ant Colony Optimization, COMSOAL*

Abstract

A manufacturing company engaged in food industry in Indonesia is still using manual machines in the packing process. This process requires more manpower, and bottleneck still occurs. The company needs to increase the efficiency in production line, specifically the packing line. This study aims to determine the optimal number of work stations by applying the best method, and to determine the optimal planning for the packing line. The evaluation criteria for the best method were output and process, whereas the evaluation criteria for balance line were the efficiency line and the number of work stations. Four different approaches used in this study were analytical approach (Branch and Bound method), heuristic approach (Rank Position Weight System method), metaheuristic approach (Ant Colony Optimization method) and simulation approach (COMSOAL)

method). The results showed that the line efficiency increased to 12% and the number of work stations decreased to 11 units. The company can reduce labor costs up to IDR6.006.000 per month by applying the optimal planning.

Keywords: Line Balancing, Efficiency Line, Branch and Bound, Rank Position Weight System, Ant Colony Optimization, COMSOAL

Tanggal Terima Naskah : 04 April 2017

Tanggal Persetujuan Naskah : 17 April 2017

1. PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur tertentu, ketidakseimbangan jalur produksi masih sering ditemukan. Proses pengerjaan manual oleh tenaga kerja manusia tidak dapat mengimbangi kecepatan kerja mesin, sehingga terjadi *bottleneck*. Dalam proses produksi yang tergolong padat karya, *bottleneck* dipengaruhi waktu tugas yang selalu tidak pasti, karena tergantung pada keahlian masing-masing karyawan, lingkungan kerja, kelelahan, dan faktor lainnya [1]. Selain itu dengan metode simulasi stokastik ditemukan beberapa faktor lain yang menjadi faktor utama dalam waktu tugas, yaitu penghentian mesin karena pergantian *shift*, absensi, hingga keadaan ruang *buffer* [2]. Fakta lain yang ditemukan menjelaskan bahwa orang bekerja pada kecepatan yang berbeda, artinya masing-masing individu memiliki waktu yang berbeda dalam menyelesaikan tugasnya. Selain itu, sifat dari jenis pekerjaan juga menyebabkan perbedaan dalam waktu pengerjaan.

Sebuah industri manufaktur *food and beverage* ternama di Indonesia yang memasarkan produknya ke dalam dan luar negeri, dalam prosesnya sering tidak mencapai jumlah target produksi yang telah ditentukan. Hal ini dikarenakan proses *packing* produk tersebut sepenuhnya dilakukan oleh tenaga manusia. Kondisi *packing* yang ada saat ini tidak beraturan karena beberapa produk yang ada dalam jalur *conveyor* dikeluarkan dari jalur untuk mengatasi penumpukan di tugas (*task*) berikutnya. Selain itu, kondisi departemen *packing* khusus produk *export* tersebut belum menetapkan pembagian *task* ke dalam beberapa stasiun kerja yang optimal, sehingga beberapa tenaga kerja ada yang sibuk, namun ada juga yang menganggur.

Penelitian ini bertujuan meminimalisasi jumlah stasiun kerja untuk meningkatkan efisiensi *packing line* dengan memanfaatkan empat pendekatan, diwakili oleh satu metode. Pendekatan analitik diwakili oleh metode *Branch and Bound* (BB), pendekatan heuristik diwakili oleh metode *Rank Positional Weight* (RPW), pendekatan metaheuristik diwakili oleh metode *Ant Colony Optimization* (ACO), dan pendekatan simulasi dengan *Computer Method Squencing Operation for Assembly Line* (COMSOAL).

2. KONSEP DASAR

2.1 Line of Balancing

Line of Balancing (LOB) merupakan pembagian aktivitas kerja berurutan dalam stasiun kerja dalam upaya untuk mendapatkan pemanfaatan tenaga kerja yang tinggi, peralatan dan fasilitas untuk meminimalkan waktu menganggur. LOB merupakan sebuah masalah dalam penugasan operasi untuk masing-masing stasiun di sepanjang jalur produksi agar menjadi optimal [4]. Oleh karena itu, LOB merupakan sebuah alat yang efektif untuk memperbaiki *throughput* dalam *assembly line* dengan mengurangi *cycle time*, hingga tenaga kerja antarstasiun. Selain itu, LOB juga dapat mengurangi aktivitas *material handling*, pembagian tugas lebih merata, kemacetan berkurang, serta memacu

operator untuk selalu bekerja mencapai target yang harus dicapai. Dengan konsep LOB perusahaan dapat membuat suatu lintasan yang seimbang sehingga dapat mencapai nilai efisiensi jalur yang tinggi. Tahapan dalam LOB, seperti menentukan waktu siklus, menghitung jumlah stasiun kerja minimum, dan menyeimbangkan lintasan dengan membebaskan pekerjaan ke stasiun kerja masing-masing [5].

Penelitian LOB telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti, diantaranya pada perusahaan manufaktur di India dengan mengidentifikasi *Non-Value Added Activities* (NVA), untuk meningkatkan efisiensi jalur perakitan model tunggal dengan mengurangi kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah, sehingga dapat menekan waktu siklus yang ada [4]. Metode ini menimbulkan peningkatan efisiensi dengan menghilangkan kegiatan yang tidak memberikan nilai tambah dan mengurangi waktu siklus yang tersedia. Penelitian yang telah dilakukan ini memiliki perbedaan signifikan dengan penelitian lain dalam hal identifikasi nilai yang tidak memberikan nilai tambah dalam jalur produksi. Namun keterbatasan penelitian ini, tidak menggambarkan keseimbangan dari jalur perakitan dengan *layout* yang baru.

Penelitian sejenis yang berusaha mengurangi waktu produksi dilakukan juga untuk mengurangi waktu proses produksi perencanaan dua tahap *gearbox* [6]. Dengan membandingkan ketiga metode dalam metode heuristik, diantaranya *Largest Candidate Rule* (LCR), *Kilbridge and Wester* (KWC), dan *Ranked Positional Weight* (RPW), menghasilkan pengembangan untuk tiga jenis *layout* proses jalur perakitan, yaitu jalur lurus, melingkar, dan kombinasi. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode RPW lebih baik dibandingkan metode LCR dan metode KWC. Di sisi lain, penelitian ini memiliki keterbatasan tidak menghitung waktu masing-masing antarstasiun kerja dalam semua lini dan total biaya yang dihasilkan.

Di Indonesia, penelitian mengenai LOB telah dilakukan untuk memperbaiki proses-proses produksi yang mengalami hambatan/*bottleneck* dengan menyeimbangkan setiap lintasan produksinya dalam perusahaan pembuat mesin pertanian [7]. Penelitian ini telah menghasilkan stasiun-stasiun baru yang sesuai untuk semua jenis produk dan mengetahui kebutuhan mesin perusahaan per bulan. Penelitian ini menarik karena menunjukkan bahwa *Balanced Delay* Gabungan yang dihasilkan dengan perhitungan *Software Lingo* lebih buruk dibanding dengan perhitungan *Balanced Delay* per masing-masing stasiun. Namun, penelitian ini terbatas pada perusahaan perakitan yang bersifat *semi job order*.

Keberhasilan dari berbagai metode dalam menyeimbangkan jalur produksi menunjukkan bahwa pemilihan metode LOB yang sesuai dengan jenis perusahaan merupakan hal penting dalam menyeimbangkan jalur produksi. Untuk itu, dapat dilakukan penelitian yang mengkaji kondisi keseimbangan lintasan produksi, dengan melakukan berbagai metode. Empat metode tersebut, akan menyajikan satu perwakilan metode penyeimbangan jalur produksi untuk memberikan usulan peningkatan nilai efisiensi suatu jalur produksi yang ada.

2.2 Pendekatan Analitik

Pendekatan analitik atau pendekatan matematis merupakan metode yang pertama kali digunakan untuk memecahkan masalah LOB. Namun hal tersebut kemudian dinilai menjadi tidak ekonomis [8]. Pendekatan analitik digunakan untuk mendapatkan kerugian yang diperoleh dan menemukan penyebab produktivitas jalur perakitan [5]. Dengan menggunakan model matematika, peneliti menemukan penyebab peningkatan produktivitas jalur perakitan, diantaranya teknologi, indek teknis, manajerial, dan organisasi dari proses produksi. Peneliti mampu menampilkan kerugian yang dialami dan penyebab yang terjadi [5]. Namun kelemahannya, tidak dilakukan analisis terhadap metode kontruksi, teknologi, dan struktural.

Penelitian dengan menggunakan model matematika atau program matematika juga dilakukan untuk model *simple assembly line* [9]. Dengan membagi kendala kemampuan ke dalam tiga kendala, yaitu *low skill constraints*, *high skill constraints*, dan *exclusive skill constraints*. Penelitian ini menyimpulkan bahwa *low skill constraints* tepat untuk pekerjaan *simple*, *high skill constraints* untuk pekerjaan yang kompleks, dan *exclusive skill constraints* untuk pekerjaan spesial. Namun, penelitian ini tidak menjelaskan alasan mengapa menggunakan *simple skill constraints* dan kenapa tidak mengaplikasikan *complex skill constraints* atau *high skill constraints*.

Penelitian pendekatan analitik dengan menggunakan *Mixed Integer Programming* untuk menentukan tingkat otomatisasi yang dapat meminimalkan total biaya investasi, tenaga kerja, dan operasi sementara, sekaligus menentukan konfigurasi optimal dari jalur perakitan untuk kendaraan yang diproduksi oleh produsen otomotif di Turki [10]. *Mixed Integer Programming* menghasilkan pembagian tugas yang sesuai per masing-masing stasiun kerja, yang menghasilkan angka target volume produksi, hubungan tugas sesama *precedence*, dan meminimalisasi total biaya (biaya operasi dan investasi). Penelitian ini tergolong maju karena kendala yang dibuat memuaskan semua sistem, mulai dari jumlah target produksi, penugasan optimal, hingga tipe stasiun kerja. Penelitian ini memiliki keterbatasan karena tidak menunjukkan dampak dari adanya perubahan permintaan dan parameter kunci biaya seperti biaya tenaga kerja terhadap solusi optimal.

2.3 Pendekatan Heuristik

Pendekatan heuristik merupakan suatu cara yang praktis, mudah dimengerti, dan mudah diterapkan. Dalam penelitian terdahulu, telah dilakukan penyelidikan secara rinci tentang *Mixed-Model Assembly Line Balancing* (MMALB) dalam sistem jalur yang memiliki hubungan dengan nilai volume produksi, termasuk nilai efisiensi dari jalur [11]. Untuk mencapai tujuannya, mereka menggunakan pendekatan heuristik. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa jumlah stasiun kerja lebih sedikit dibanding yang ada saat ini. Oleh karena itu, perlu dilakukan perancangan ulang stasiun kerja agar mencapai nilai efisiensi yang optimal. Penelitian ini tergolong maju karena mempertimbangkan aspek biaya. Namun penelitian ini tidak melakukan perhitungan terhadap waktu masing-masing jalur yang ada.

MMALB dikembangkan untuk mengidentifikasi masalah desain jalur perakitan dengan kombinasi pengurutan pekerjaan di Finlandia [12]. Metodologi terpadu tersebut, menghasilkan nilai efisiensi *line* untuk sebagian besar stasiun kasus model tunggal. *Smoother line* diperoleh dengan mengurangi persediaan proses, seperti mengurangi beban kerja. Kondisi ideal ditunjukkan oleh MMALB-2 dengan jumlah stasiun kerja empat. Uniknyanya penelitian ini, selain dapat mengoptimasi waktu *shift* untuk beberapa kombinasi model, juga ditemukan beberapa faktor penting yang dibutuhkan perancang jalur dalam merancang jalur perakitan, seperti orientasi jalur, metode produksi, karakteristik jalur, indeks prestasi dan stasiun kerja, definisi masalah keseimbangan dan pengurutan produk sesuai dengan fungsi objektif. Namun, penelitian ini tidak mengidentifikasi masalah yang tiba-tiba terjadi saat sistem dijalankan, seperti terjadinya kegagalan stasiun, stasiun *overload*, dan waktu menganggur berlebihan.

Pendekatan heuristik yang lain dikembangkan menggunakan konsep *Eliminate, Combine, Rearrange, and Simplify* (ECSR) [1]. Konsep ini telah dikembangkan dalam perusahaan besar yang memproduksi ayam beku di Thailand untuk meningkatkan produktivitas. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa produktivitas dan daya saing dapat ditingkatkan dengan mengurangi jumlah operator dalam lini produksi. Penelitian yang dilakukan ini tergolong unik karena aspek-aspek kecil, seperti absensi dianalisis untuk dikelompokkan dalam penerapan konsepnya [1]. Namun penelitian ini tidak menjelaskan secara rinci proses penentuan jumlah stasiun kerja yang diamati.

Penelitian lainnya menggunakan pendekatan heuristik untuk meminimalisasi biaya produksi [13]. Penelitian ini bertujuan untuk memecahkan masalah orientasi biaya keseimbangan jalur perakitan dalam meminimalisasi total biaya produksi. Untuk mencapai tujuan tersebut, peneliti membandingkan tiga metode heuristik, diantaranya *Heizmann*, *HWR*, dan *Proposed*. Hasil yang menunjukkan bahwa total biaya produksi yang paling minimum diperoleh dengan metode *Proposed*. Walaupun menggunakan data dari literatur lain, penelitian ini berhasil menemukan metode terbaik diantara beberapa metode yang diusulkan dengan kriteria biaya.

Dalam *22nd International Conference on Production Research* dipaparkan penelitian dengan melakukan evaluasi delapan metode dari MMALB [14]. Delapan metode tersebut adalah *maximum task time*, *number of immediate followers*, *COMSOAL*, *incremental utilization*, *positional weight*, *number of followers*, *backward positional weight*, dan *number of predecessors*. Hasil dari delapan metode tersebut menunjukkan variasi *utilization* tidak jauh berbeda. Penelitian ini berhasil membandingkan delapan metode MMALB secara bersamaan dan tidak membandingkan dengan pendekatan analitik, simulasi, atau metaheuristik.

2.4 Pendekatan Metaheuristik

Metaheuristik adalah metode yang memadukan interaksi prosedur pencarian lokal dan strategi yang lebih tinggi untuk mencari solusi yang optimal [15]. Penelitian dengan tujuan untuk mengenalkan masalah keseimbangan jalur pembongkaran dengan mempertimbangkan susunan dilakukan dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization (ACO)* [16]. Penelitian ini berhasil meminimalkan jumlah stasiun kerja pembongkaran, total menganggur dari stasiun kerja, dan memaksimalkan susunan dalam pembongkaran [16]. Penelitian yang dilakukan di Turkey ini mampu menunjukkan bahwa metode yang digunakan mampu mengatasi masalah *Sequence-Dependent Disassembly Line Balancing Problem (SDDLBP)*. Namun di sisi lain, penelitian ini tidak mencoba menggunakan teknik optimasi kombinatorial yang berbeda.

Jauh berbeda dengan penelitian yang lain, Petropoulos dan Nearchou menyelidiki penggunaan algoritma *Particle Swarm Optimization (PSO)* pada *Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP)* dengan beberapa kriteria *performance* [17]. Penelitian ini menunjukkan kinerja yang lebih tinggi untuk algoritma PSO dalam hal kualitas solusi untuk masalah *Assembly Line Balancing (ALB)* yang dihasilkan. Penelitian ini unik karena mengembangkan algoritma PSO untuk menyeimbangkan model jalur perakitan tunggal saat mengevaluasi jalur keseimbangan yang menggunakan lebih dari satu kriteria kinerja. Namun, penelitian ini hanya cocok dalam bentuk *single-model* deterministik *Assembly Line Balancing Problem (ALBP)*.

Penelitian yang melakukan kombinasi metode analitik dengan metaheuristik telah dilakukan dengan menggunakan metode *Branch and Bound (BB)* dan *Robust Optimization* [18]. Kombinasi ini dilakukan untuk meminimalkan jumlah stasiun kerja yang diperlukan dengan mempertimbangkan operasi yang didahulukan, pengecualian, dan kendala waktu siklus. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini berupa interval jumlah stasiun kerja, diantaranya jumlah stasiun kerja CPU *smallsize* kurang dari tiga, CPU *medium* lebih dari delapan tetapi kurang dari 13, dan jumlah stasiun kerja CPU *large* lebih dari 18 tetapi kurang dari 28. Walaupun penelitian ini tidak dapat menentukan batas bawah dan batas atas *task time*, namun berhasil memutuskan jumlah stasiun kerja dengan tingkat variabilitas *task time*.

Baykasoglu dan Dereli telah melakukan penelitian dengan menggunakan metode ACO [19]. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana ACO dapat digunakan untuk mengatasi masalah LOB bentuk U. Hasilnya menunjukkan bahwa ACO mampu menyelesaikan masalah LOB bentuk U dengan efektif.

2.5 Pendekatan Simulasi

Das melakukan penelitian untuk mengevaluasi fenomena mangkok dan mengalokasikan pada akhir stasiun dengan waktu operasi lebih besar/variabilitas operasi yang tinggi [20]. Penelitian ini dilakukan berdasarkan metode simulasi dengan metode simulasi komputer. Metode simulasi komputer menunjukkan bahwa waktu operasi jalur perakitan berdistribusi normal dan bisa dikembangkan dalam fenomena mangkok, dan penempatan waktu operasi di akhir baris tidak menghasilkan kebaikan. Hasil *output* dari simulasi yang menunjukkan hasil sesuai kondisi merupakan kelebihan dari penelitian yang dilakukan oleh Das. Namun, penelitian ini juga memiliki keterbatasan karena hanya bisa diterapkan dalam enam stasiun jalur perakitan.

Simulasi komputer juga digunakan dalam melakukan penyelidikan pada dampak dari ketidakseimbangan koefisien variasi dalam sebuah ketidaklayakan *unpaced line* dan mencari manfaat relatif dari pola yang berbeda dari ketidakseimbangan pada kinerja dalam hal *Idle Time* (IT), *Throughput* (TR), dan *Average Buffer Levels* (ABL) [3]. Penelitian ini menunjukkan bahwa tidak hanya ketidakseimbangan yang menyebabkan efek merusak, saat menyimpan *inventory*, melainkan peningkatan kinerja dalam beberapa kasus juga merupakan penyebab terjadinya kerusakan dalam penyimpanan. Pola kinerja terbaik, *bowl shaped* pola P7 menunjukkan penurunan cukup hingga 67,68% di tingkat penyangga rata-rata bila dibandingkan dengan jalur yang seimbang. Penelitian ini memiliki nilai penting karena efek ketidakseimbangan *coefficients of variation* (CV) pada jalur diteliti lebih detail, dan menempatkan stasiun kerja dengan variabilitas yang berbeda-beda. Namun, penelitian ini tidak membandingkan *reliable* dengan *unreliable lines unbalanced* dengan terfokus pada koefisien variasi.

2.6 Posisi Penelitian

Berdasarkan *review* berbagai penelitian, diperoleh kesenjangan penelitian (*research gap*) bahwa belum ada penelitian yang membandingkan keempat pendekatan yang ada untuk mengatasi masalah keseimbangan jalur produksi atau *packing*. Penggunaan keempat metode tersebut, secara bersama-sama menjadi penting untuk memastikan metode apa yang terbaik untuk menyelesaikan masalah LOB. Penelitian ini adalah penelitian pertama yang melakukan studi komparasi empat metode sekaligus dalam rangka meningkatkan nilai efisiensi *packing line* dengan meminimalkan jumlah stasiun kerja yang ada. Kriteria evaluasi yang dilakukan untuk keseimbangan *packing line* adalah jumlah stasiun kerja dan nilai efisiensi jalur. Kriteria untuk evaluasi metode terbaik adalah berdasarkan *output* dan prosesnya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan cara analisis dokumen, observasi, dan wawancara. Pengambilan waktu siklus dilakukan sebanyak 15 kali dengan pengamatan langsung. Data ini akan digunakan untuk menentukan waktu baku dengan proses berikut:

a. Uji Keseragaman Data

Sebelum menghitung batas kontrol atas (BKA) ataupun bawah (BKB), terlebih dahulu diperlukan menghitung standar deviasi *sample* data, dengan menggunakan persamaan (1).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{N - 1}} \dots\dots\dots(1)$$

N adalah jumlah pengamatan yang telah dilakukan
 xi adalah waktu penyelesaian yang teramati selama pengukuran pendahuluan yang telah dilakukan.

BKA dan BKB dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$BKA = \bar{x} + 3 \cdot \sigma$$

$$BKB = \bar{x} - 3 \cdot \sigma$$

b. Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data dilakukan untuk menentukan bahwa jumlah *sample* data yang diambil cukup untuk proses pengolahan data selanjutnya. Uji kecukupan data dihitung dengan menggunakan persamaan [21]:

$$N' = \left[\frac{40 \sqrt{(N \sum (xi)^2) - (\sum xi)^2}}{\sum xi} \right]^2 \dots\dots\dots(2)$$

Adapun N' adalah jumlah pengamatan yang telah dilakukan. Persamaan ini menggunakan tingkat ketelitian 5% dan tingkat keyakinan 95%. Apabila jumlah pengukuran yang diperlukan ternyata masih lebih besar daripada jumlah pengukuran yang dilakukan atau N' > N, maka harus dilakukan pengukuran ulang hingga N' < N.

c. Menghitung Waktu Baku (Wb)

Waktu siklus dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$W_s = \frac{\sum X_i}{N} \dots\dots\dots(3)$$

Waktu Normal (Wn)

Waktu baku dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Waktu Normal} = \text{Waktu Siklus} \times \text{Penyesuaian} \dots\dots\dots(4)$$

Perhitungan penyesuaian berdasarkan *Westinghouse* dengan *Performance Rating*. Metode *Westinghouse* mampu memberikan penilaian terhadap empat faktor yang dianggap menentukan kewajaran dalam bekerja [22].

Waktu Baku (Wb)

Setelah melakukan perhitungan waktu normal, tahap selanjutnya adalah menghitung Wb. Wb merupakan waktu yang digunakan untuk menentukan operasi dari masing-masing proses. Waktu baku diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$W_b = W_n (1 + l) \dots\dots\dots(5)$$

l merupakan simbol dari faktor kelonggaran.

3.2 Metode Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan empat pendekatan masing-masing satu metode sebagai berikut :

a. *Branch and Bound* (BB)

Kendala dibagi menjadi empat bagian [23].

i. Assignment constraints

$$\sum_{k \in E_i} V_{ik} = 1 \quad \text{for } i = 1, \dots, N \quad \dots\dots\dots(6)$$

ii. Precedence constraints

$$\sum_{k \in E_a} k \cdot V_{ak} - \sum_{k \in E_b} k \cdot V_{bk} \leq 0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

iii. Cycle time constraints

$$\sum_{i \in W_{km}} t_{im} \cdot V_{ik} \leq C_m, \quad k = 1, \dots, K, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots\dots\dots(8)$$

iv. Stations constraints

$$\sum_{i \in W_{km}} V_{ik} - \|W_{km}\| X_{km} \leq 0 \quad \text{for } k = 1, \dots, K, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$\sum_{m=1}^P X_{km} - P \cdot A_k = 0 \quad \text{for } k = 1, \dots, K \quad \dots\dots\dots(10)$$

Dengan fungsi objektif

$$\text{Min } \sum_{k=1}^K A_k \quad \dots\dots\dots(11)$$

Penjelasan notasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

- N : jumlah tugas dalam masalah
- K : jumlah stasiun
- P : jumlah model (produk)
- PR_i : bagian dari semua tugas yang mendahului tugas i = 1, ..., N.
- S_i : bagian dari semua tugas yang mengikuti tugas
- t_{im} : waktu kinerja tugas i model m, m = 1, ..., P
- C_m : waktu siklus model m, m = 1, ..., P
- E_{im} : awal tugas stasiun i model m dapat ditugaskan
- L_{im} : tugas stasiun terbaru i model m dapat ditugaskan
- V_{ik} : 1 jika tugas i ditugaskan untuk stasiun k; sebaliknya 0
- X_{km} : 1 jika stasiun k digunakan untuk model m; sebaliknya 0
- A_k : 1 jika stasiun k digunakan untuk model m; sebaliknya 0
- W_{km}: bagian dari semua tugas yang dapat ditugaskan untuk stasiun k model m
- || W_{km} || : jumlah tugas dalam set W_{km}

b. Ranked Positional Weight (RPW)

i. Menghitung kecepatan lintasan

$$\text{Kecepatan lintasan} = \frac{\text{Waktu produksi}}{\text{Target jumlah produksi yang diproduksi}} \quad \dots\dots\dots(12)$$

ii. Membuat matrik keterdahuluan (*precedence matrix*) berdasarkan *precedence diagram*.

Angka 1: Operasi di kolom harus mengikuti operasi baris

Angka 0: Tidak berhubungan keterdahuluan

- iii. Hitung bobot posisi tiap operasi
 Bobot posisi = waktu operasi tersebut + waktu operasi - operasi pengikut.....(13)
- iv. Mengurutkan operasi-operasi dari bobot posisi terbesar sampai terkecil.
 Membebani operasi pada stasiun kerja, mulai dari bobot posisi terbesar sampai terkecil dengan kriteria total waktu operasi lebih kecil atau sama dengan kecepatan lintasan yang ditentukan.
- v. Hitung efisiensi rata-rata stasiun kerja

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Jumlah waktu operasi total}}{(\text{Jumlah stasiun aktual} \times W_s)} \dots\dots\dots(14)$$
- vi. *Trial & error* digunakan untuk mencari pembebanan yang menghasilkan efisiensi rata-rata lebih besar.

c. *Ant Colony Optimization* (ACO)

Tahap-tahap algoritma ACO adalah sebagai berikut [15]:

- i. *Step 1*
 Asumsikan jumlah produk sebanyak N. Tentukan nilai diskrit sebanyak p yang akan digunakan untuk mencari nilai variabel yang ada pada *problem*. Nilai dinyatakan sebagai $x_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip}$ ($i = 1, 2, \dots, n$), dimana n adalah banyaknya variabel. Tentukan jumlah *pheromone* τ_{ij}^1 yang sama untuk semua ruas yang ada pada *network multi-layer*. Notasi 1 pada τ menunjukkan iterasi ke 1.

- ii. *Step 2*
 Hitung probabilitas (p_{ij}) untuk memilih ruas atau nilai diskret x_{ij} menggunakan:

$$P_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{\sum \tau_{ij}} ; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, p \dots\dots\dots(15)$$

Ruas tertentu akan dipilih oleh semut k berdasarkan bilangan *random* dalam *range* (0, 1). Sehingga harus menentukan *range* probabilitas kumulatif yang berkaitan dengan pilihan ruas. Jadi jika ada p kemungkinan nilai variabel, maka akan ada p pilihan *range* probabilitas. Ruas khusus yang dipilih oleh semut k ini ditentukan dengan menggunakan proses lingkaran lotere (*roulette-wheel selection*).

- iii. *Step 3*
 Bangkitkan N bilangan *random* r_1, r_2, \dots, r_3 dalam *range* (0,1), satu untuk setiap semut. Tentukan nilai diskret yang mewakili ruas untuk semut k untuk variabel 1 dengan menggunakan bilangan *random* dari step 2 dan area probabilitas kumulatif dalam lingkaran lotere.

Ulangi step 3(1) untuk semua variabel $i = 1, 2, \dots, n$.
 Evaluasi nilai fungsi tujuan dengan cara memasukan nilai x_{ij} yang sudah dipilih untuk semua variabel $i = 1, 2, \dots, n$ oleh semut k, $k = 1, 2, \dots, N$; $f_k = f(X(k))$; $k = 1, 2, \dots, N$. Tentukan lintasan terbaik dan terburuk diantara N ruas atau lintasan yang sudah dipilih oleh semut-semut yang berbeda:

$$f_{\text{best}} = \min_{k=1,2,\dots,N} \{f_k\} \dots\dots\dots(16)$$

$$f_{\text{worst}} = \max_{k=1,2,\dots,N} \{f_k\} \dots\dots\dots(17)$$

- iv. *Step 4*
 Uji konvergensi dari proses. Jika belum konvergensi, koloni semut akan kembali ke sarang dan memulai pencarian makanan lagi. Set iterasi, $t = t + 1$, dan *update* *pheromone* untuk setiap ruas dengan:

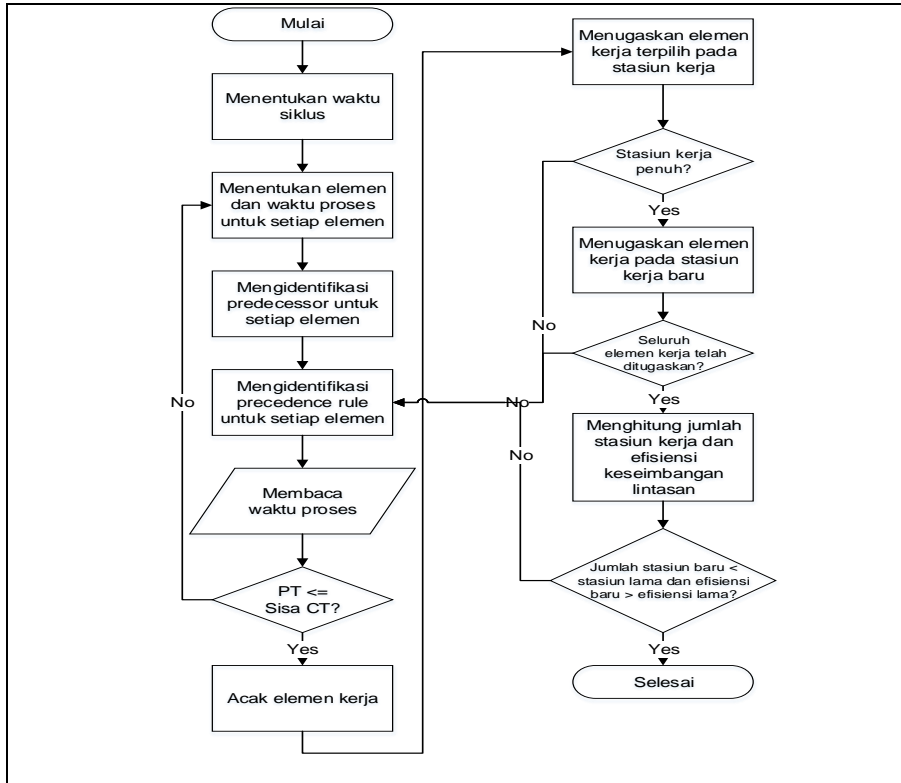
$$\tau_{ij}^{(t)} = \tau_{ij}^{\text{old}} + \sum_k \Delta \tau^{(k)} \dots\dots\dots(18)$$

Dimana τ_{ij}^{old} menyatakan jumlah *pheromon* dari iterasi sebelumnya yang tertinggal setelah penguapan.

$$\tau_{ij}^{\text{old}} = (1-p) \tau_{ij}^{(t-1)} \dots\dots\dots(19)$$

d. Algoritma COMSOAL

Gambar 1 merupakan tahapan dalam algoritma COMSOAL [24].



Gambar 1. Tahapan Algoritma COMSOAL

e. Perhitungan Efisiensi Jalur

Efisiensi jalur adalah perbandingan dari total waktu per stasiun kerja terhadap keterkaitan waktu siklus terpanjang dengan jumlah stasiun kerja yang dinyatakan dalam persentase. Tingkat efisiensi untuk setiap proses kerja diperoleh dengan persamaan:

$$LE = \frac{\sum Wb}{(K)(CT)} \times 100\% \dots\dots\dots(20)$$

LE: *Line efficiency*

Wb: Waktu sebenarnya pada setiap stasiun

K: Jumlah total stasiun kerja

CT: *Cycle time* atau waktu siklus terpanjang

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Waktu Normal dan Waktu Baku

Setelah mendapatkan data waktu siklus, tahapan selanjutnya adalah menentukan waktu normal dan waktu baku untuk setiap elemen kerja, data waktu baku tersebut kemudian disesuaikan dengan jumlah kaleng produk dalam satu karton.

Tabel 1. Perhitungan Waktu Baku Akhir

| Elemen Kerja | Operasi | Kaleng | Jumlah Tenaga Kerja | Wb akhir (detik) |
|--|---------|--------|---------------------|------------------|
| Memasukan wafer ke dalam <i>box container</i> A | 1 | 4 | 2 | 67.76 |
| Memasukan wafer ke dalam <i>box container</i> B | 2 | 4 | 2 | 67.09 |
| Memasukan wafer dari <i>box container</i> ke Alufoil | 3 | 12 | 6 | 43.14 |
| Penimbangan Alufoil | 4 | 12 | 2 | 60.76 |
| Proses <i>foot sealer</i> | 5 | 12 | 3 | 43.90 |
| Proses <i>prepare tin</i> dan <i>bubble</i> | 6 | 12 | 1 | 43.31 |
| Memasukan Alufoil ke kaleng | 7 | 12 | 2 | 35.63 |
| Menutup kaleng | 8 | 12 | 1 | 25.55 |
| Mengelem kaleng | 9 | 12 | 2 | 34.33 |
| Kodifikasi kaleng | 10 | 12 | 1 | 22.04 |
| Memasukan kaleng ke dalam karton | 11 | 12 | 2 | 66.83 |
| Melakban karton | 12 | 1 | 2 | 28.05 |
| <i>Best pack</i> | 13 | 1 | 1 | 65.54 |
| Jumlah | | | 27 | 603.95 |

4.2 Perhitungan Waktu Baku Line Balancing dan Penentuan Jumlah Stasiun Kerja

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa waktu baku tertinggi terdapat pada elemen pertama, yaitu sebesar 67,76 detik. Oleh karena itu, *cycle time* yang akan digunakan untuk menyeimbangkan lintasan adalah *cycle time* berdasarkan waktu baku elemen kerja tertinggi, yaitu 67,76 detik. Jumlah stasiun kerja berada dalam $range\ 9 \leq JSK \leq 13$. Perhitungan ini berdasarkan persamaan 2.

$$JSK = (603.95 / 67.76) = 8.9 \approx 9 \dots\dots\dots(21)$$

4.3 Analisis Keseimbangan Lintasan

Departemen *packing* PT XYZ saat ini terdiri atas 13 stasiun kerja sesuai proses yang ada, dengan waktu baku 67,76 detik. Adapun nilai efisiensi lini (EL) adalah sebesar 69%. Pada penelitian ini digunakan *software* WinQSB untuk menyelesaikan perhitungan keseimbangan lintasan, dimana metode yang digunakan adalah BB, RPW, ACO, dan COMSOAL.

4.3.1 Branch and Bound (BB)

Fungsi Objektif:

$$\text{Min } Z = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6 + A_7 + A_8 + A_9 + A_{10} + A_{11} + A_{12} + A_{13}$$

Dengan kendala:

$$\begin{aligned} V_{11} + V_{12} + V_{13} + V_{14} + V_{15} + V_{16} + V_{17} &= 1 \\ V_{21} + V_{22} + V_{23} + V_{24} + V_{25} + V_{26} + V_{27} &= 1 \\ V_{32} + V_{33} + V_{34} + V_{35} + V_{36} + V_{37} + V_{38} &= 1 \\ V_{43} + V_{44} + V_{45} + V_{46} + V_{47} + V_{48} + V_{49} &= 1 \\ V_{54} + V_{55} + V_{56} + V_{57} + V_{58} + V_{59} + V_{510} &= 1 \\ V_{61} + V_{62} + V_{63} + V_{64} + V_{65} + V_{66} + V_{67} + V_{68} + V_{69} + V_{610} &= 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &V_{74} + V_{75} + V_{76} + V_{77} + V_{78} + V_{79} + V_{710} = 1 \\
 &V_{85} + V_{86} + V_{87} + V_{88} + V_{89} + V_{810} + V_{811} = 1 \\
 &V_{95} + V_{96} + V_{97} + V_{98} + V_{99} + V_{910} + V_{911} = 1 \\
 &V_{105} + V_{106} + V_{107} + V_{108} + V_{109} + V_{1010} + V_{1011} + V_{1012} = 1 \\
 &V_{116} + V_{117} + V_{118} + V_{119} + V_{1110} + V_{1111} + V_{1112} = 1 \\
 &V_{127} + V_{128} + V_{129} + V_{1210} + V_{1211} + V_{1212} + V_{1213} = 1 \\
 &V_{138} + V_{139} + V_{1310} + V_{1311} + V_{1312} + V_{1313} = 1 \\
 &V_{11} + 2V_{12} + 3V_{13} + 4V_{14} + 5V_{15} + 6V_{16} + 7V_{17} - 2V_{32} - 3V_{33} - 4V_{34} - 5V_{35} - 6V_{36} - 7V_{37} - \\
 &\quad 8V_{38} \leq 0 \\
 &V_{21} + 2V_{22} + 3V_{23} + 4V_{24} + 5V_{25} + 6V_{26} + 7V_{27} - 2V_{32} - 3V_{33} - 4V_{34} - 5V_{35} - 6V_{36} - 7V_{37} - \\
 &\quad 8V_{38} \leq 0 \\
 &2V_{32} + 3V_{33} + 4V_{34} + 5V_{35} + 6V_{36} + 7V_{37} + 8V_{38} - 3V_{43} - 4V_{44} - 5V_{45} - 6V_{46} - 7V_{47} - 8V_{48} \\
 &\quad - 9V_{49} \leq 0 \\
 &3V_{43} + 4V_{44} + 5V_{45} + 6V_{46} + 7V_{47} + 8V_{48} + 9V_{49} - 4V_{54} - 5V_{55} - 6V_{56} - 7V_{57} - 8V_{58} - 9V_{59} \\
 &\quad - 10V_{510} \leq 0 \\
 &4V_{54} + 5V_{55} + 6V_{56} + 7V_{57} + 8V_{58} + 9V_{59} + 10V_{510} - 4V_{74} - 5V_{75} - 6V_{76} - 7V_{77} - 8V_{78} - \\
 &\quad 9V_{79} - 10V_{710} \leq 0 \\
 &V_{61} + 2V_{62} + 3V_{63} + 4V_{64} + 5V_{65} + 6V_{66} + 7V_{67} + 8V_{68} + 9V_{69} + 10V_{610} - 4V_{74} - 5V_{75} - \\
 &\quad 6V_{76} - 7V_{77} - 8V_{78} - 9V_{79} - 10V_{710} \leq 0 \\
 &4V_{74} + 5V_{75} + 6V_{76} + 7V_{77} + 8V_{78} + 9V_{79} + 10V_{710} - 5V_{85} - 6V_{86} - 7V_{87} - 8V_{88} - 9V_{89} - \\
 &\quad 10V_{810} - 11V_{811} \leq 0 \\
 &5V_{85} + 6V_{86} + 7V_{87} + 8V_{88} + 9V_{89} + 10V_{810} + 11V_{811} - 5V_{95} - 6V_{96} - 7V_{97} - 8V_{98} - 9V_{99} - \\
 &\quad 10V_{910} - 11V_{911} \leq 0 \\
 &5V_{95} + 6V_{96} + 7V_{97} + 8V_{98} + 9V_{99} + 10V_{910} + 11V_{911} - 5V_{105} - 6V_{106} - 7V_{107} - 8V_{108} - 9V_{109} \\
 &\quad - 10V_{1010} - 11V_{1011} - 12V_{1012} \leq 0 \\
 &5V_{105} + 6V_{106} + 7V_{107} + 8V_{108} + 9V_{109} + 10V_{1010} + 11V_{1011} + 12V_{1012} - 6V_{116} - 7V_{117} - \\
 &\quad 8V_{118} - 9V_{119} - 10V_{1110} - 11V_{1111} - 12V_{1112} \leq 0 \\
 &6V_{116} + 7V_{117} + 8V_{118} + 9V_{119} + 10V_{1110} + 11V_{1111} + 12V_{1112} - 7V_{127} - 8V_{128} - 9V_{129} - \\
 &\quad 10V_{1210} - 11V_{1211} - 12V_{1212} - 13V_{1213} \leq 0 \\
 &7V_{127} + 8V_{128} + 9V_{129} + 10V_{1210} + 11V_{1211} + 12V_{1212} + 13V_{1213} - 8V_{138} - 9V_{139} - 10V_{1310} - \\
 &\quad 11V_{1311} - 12V_{1312} - 13V_{1313} \leq 0 \\
 &67.76V_{11} + 67.09V_{21} + 43.31V_{61} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{12} + 67.09V_{22} + 43.14V_{32} + 43.31V_{62} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{13} + 67.09V_{23} + 43.14V_{33} + 60.76V_{43} + 43.31V_{63} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{14} + 67.09V_{24} + 43.14V_{34} + 60.76V_{44} + 43.90V_{54} + 43.31V_{64} + 35.63V_{74} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{15} + 67.09V_{25} + 43.14V_{35} + 60.76V_{45} + 43.90V_{55} + 43.31V_{65} + 35.63V_{75} + \\
 &\quad 25.55V_{85} + 34.33V_{95} + 22.04V_{105} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{16} + 67.09V_{26} + 43.14V_{36} + 60.76V_{46} + 43.90V_{56} + 43.31V_{66} + 35.63V_{76} + \\
 &\quad 25.55V_{86} + 34.33V_{96} + 22.04V_{106} + 66.83V_{116} \leq 67.76 \\
 &67.76V_{17} + 67.09V_{27} + 43.14V_{37} + 60.76V_{47} + 43.90V_{57} + 43.31V_{67} + 35.63V_{77} + \\
 &\quad 25.55V_{87} + 34.33V_{97} + 22.04V_{107} + 66.83V_{117} + 28.05V_{127} \leq 67.76 \\
 &43.14V_{38} + 60.76V_{48} + 43.90V_{58} + 43.31V_{68} + 35.63V_{78} + 25.55V_{88} + 34.33V_{98} + \\
 &\quad 22.04V_{108} + 66.83V_{118} + 28.05V_{128} + 65.54V_{138} \leq 67.76 \\
 &60.76V_{49} + 43.90V_{59} + 43.31V_{69} + 35.63V_{79} + 25.55V_{89} + 34.33V_{99} + 22.04V_{109} + \\
 &\quad 66.83V_{119} + 28.05V_{129} + 65.54V_{139} \leq 67.76 \\
 &43.90V_{510} + 43.31V_{610} + 35.63V_{710} + 25.55V_{810} + 34.33V_{910} + 22.04V_{1010} + 66.83V_{1110} + \\
 &\quad 28.05V_{1210} + 65.54V_{1310} \leq 67.76 \\
 &25.55V_{811} + 34.33V_{911} + 22.04V_{1011} + 66.83V_{1111} + 28.05V_{1211} + 65.54V_{1312} \leq 67.76 \\
 &28.05V_{1213} + 65.54V_{1313} \leq 67.76 \\
 &V_{11} + V_{21} + V_{61} - 3X_{11} \leq 0 \\
 &V_{12} + V_{22} + V_{32} + V_{62} - 4X_{21} \leq 0 \\
 &V_{13} + V_{23} + V_{33} + V_{43} + V_{63} - 5X_{31} \leq 0 \\
 &V_{14} + V_{24} + V_{34} + V_{44} + V_{54} + V_{64} + V_{74} - 7X_{41} \leq 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{15} + V_{25} + V_{35} + V_{45} + V_{55} + V_{65} + V_{75} + V_{85} + V_{95} + V_{105} - 10X_{51} &\leq 0 \\
 V_{16} + V_{26} + V_{36} + V_{46} + V_{56} + V_{66} + V_{76} + V_{86} + V_{96} + V_{106} + V_{116} - 11X_{61} &\leq 0 \\
 V_{17} + V_{27} + V_{37} + V_{47} + V_{57} + V_{67} + V_{77} + V_{87} + V_{97} + V_{107} + V_{117} + V_{127} - 12X_{71} &\leq 0 \\
 V_{38} + V_{48} + V_{58} + V_{68} + V_{78} + V_{88} + V_{98} + V_{108} + V_{118} + V_{128} + V_{138} - 11X_{81} &\leq 0 \\
 V_{49} + V_{59} + V_{69} + V_{79} + V_{89} + V_{99} + V_{109} + V_{119} + V_{129} + V_{139} - 10X_{91} &\leq 0 \\
 V_{510} + V_{610} + V_{710} + V_{810} + V_{910} + V_{1010} + V_{1110} + V_{1210} + V_{1310} - 9X_{101} &\leq 0 \\
 V_{811} + V_{911} + V_{1011} + V_{1111} + V_{1211} + V_{1311} - 6X_{111} &\leq 0 \\
 V_{1012} + V_{1112} + V_{1212} + V_{1312} - 4X_{121} &\leq 0 \\
 V_{1213} + V_{1313} - 2X_{131} &\leq 0 \\
 X_{11} - A_1 &= 0 \\
 X_{21} - A_2 &= 0 \\
 X_{31} - A_3 &= 0 \\
 X_{41} - A_4 &= 0 \\
 X_{51} - A_5 &= 0 \\
 X_{61} - A_6 &= 0 \\
 X_{71} - A_7 &= 0 \\
 X_{81} - A_8 &= 0 \\
 X_{91} - A_9 &= 0 \\
 X_{101} - A_{10} &= 0 \\
 X_{111} - A_{11} &= 0 \\
 X_{121} - A_{12} &= 0 \\
 X_{131} - A_{13} &= 0
 \end{aligned}$$

Dengan total 120 kendala dan 64 iterasi, hasil perhitungan BB dengan menggunakan WinQSB menunjukkan jumlah stasiun kerja optimum adalah 11 stasiun kerja.

4.3.2 Rank Positional Weight (RPW)

Metode RPW adalah metode yang menentukan bobot posisi untuk setiap elemen pekerjaannya dari suatu operasi dengan memperhatikan *precedence diagram*. Hasil perhitungan RPW menunjukkan bahwa nilai efisiensi yang optimum adalah 81% dengan jumlah 11 stasiun kerja.

4.3.3 Ant Colony Optimization (ACO)

Metode ACO diolah secara manual dengan meminimasi fungsi dengan satu variabel dan dengan meminimasi nilai stasiun kerja. Adapun fungsi tersebut adalah:

$$EL = (603.95 / (67.76 \times k)) \times 100\%$$

Dalam interval (11,13) maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Jumlah semut diasumsikan sebanyak tiga dengan jumlah nilai diskret 3. Nilai k yang memungkinkan:

$$k_{11} = 11 \quad k_{12} = 12 \quad k_{13} = 13$$

Proses mencapai konvergensi saat semua semut memiliki lintasan sama. Oleh karena itu, jumlah stasiun yang diperoleh dengan metode ACO adalah 11 dengan nilai fungsi EL sebesar 81%.

4.3.4 COMSOAL

Metode COMSOAL pada dasarnya mencari berbagai alternatif secara acak untuk mendapatkan solusi yang baik. Dari hasil perhitungan WinQSB menggunakan metode COMSOAL dapat terlihat jumlah stasiun kerja menjadi 11 stasiun dengan nilai efisiensi 81%.

4.4 Analisis Output dan Proses

Berdasarkan hasil pengumpulan dan pengolahan data yang diperoleh, jelas bahwa kondisi lini *packing* saat ini memiliki nilai efisiensi yang cukup rendah, yaitu 69%, hal ini disebabkan belum adanya pembagian stasiun kerja yang optimal, jumlah stasiun yang ada saat ini mengikuti banyaknya jumlah operasi pada lini *packing*.

Dengan menggunakan metode BB, RPW, ACO, dan COMSOAL diperoleh jumlah stasiun kerja yang optimum adalah 11 stasiun dengan nilai efisiensi sebesar 81%. Keempat metode ini memberikan nilai optimum yang sama namun berbeda dalam pengelompokan tugas pada masing-masing stasiun kerja yang ada.

Metode yang paling baik berdasarkan kriteria *output* dan proses adalah ACO. Metode ACO hanya membutuhkan tiga kali iterasi untuk mendapatkan nilai optimum, sedangkan metode BB memakan waktu hingga 50.421,81 detik dengan jumlah iterasi 152.189, dan COMSOAL menggunakan *random seed number* 27437 dan *number of random generation* 100. Keempat metode ini memberikan nilai efisien yang sama namun tidak semuanya baik dari segi proses.

Hasil optimum menunjukkan bahwa stasiun kerja 7 dan 8 serta stasiun kerja 9 dan 10 masing-masing digabung menjadi stasiun kerja. Penggabungan ini dapat dilakukan karena elemen kerja memasukkan alufoil ke kaleng serta menutup kaleng merupakan kegiatan yang dapat dilakukan langsung oleh satu orang tenaga kerja. Demikian juga halnya dengan elemen kerja mengelem kaleng serta kodifikasi kaleng.

Dengan berkurangnya jumlah stasiun kerja, perusahaan dapat mengurangi tenaga kerja dalam lini *packing* sebanyak dua tenaga kerja. Tenaga kerja ini dapat dialihkan kepada bagian lain yang membutuhkan atau mengikuti kebijakan lain dari perusahaan.

5. KESIMPULAN

Dari hasil analisis yang dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Efisiensi *packing line* jika menggunakan stasiun kerja optimum adalah 81%, meningkat 12% dari efisiensi saat ini yang hanya sebesar 69%.
- b. Metode yang paling baik dalam mengatasi masalah keseimbangan lini adalah metode ACO dengan jumlah iterasi sebanyak tiga kali dan dikerjakan secara manual.
- c. Untuk mencapai efisiensi optimal maka elemen kerja memasukkan alufoil ke kaleng harus digabung dengan menutup kaleng menjadi satu stasiun kerja, demikian juga halnya dengan elemen kerja mengelem kaleng serta kodifikasi kaleng harus digabung menjadi satu stasiun kerja.

REFERENSI

- [1]. Ongkunaruk, P., dan Wongsatit, W. "An ECRS-based line balancing concept: a case study of a frozen chicken producer." *Business Process Management Journal* 2014 Vol.20, No.5: 678 - 692.
- [2]. Cohen, Y. "Assembly line segmentation: determining the number of stations per section." *Journal of Manufacturing Technology Management* 2013 Vol.24, No.3: 397 – 412.
- [3]. Shaaban, S., McNamara, T., dan Hudson, S. "The effects of unbalancing operation time variability on the performance of unreliable lines." *Journal of Manufacturing Technology Management* 2013 Vol. 24, No.3: 428 – 447.

- [4]. Amardeep, T.M., dan Gautham, J. "Line Balancing Of Single Model Assembly Line." *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 2013 Vol. 2, No.5: 1678 – 1680.
- [5]. Usubamatov, R., Riza, A.R., dan Murad, M.N. "A Method For Assessing Productivity In Unbuffered Assembly Processes." *Journal of Manufacturing Technology Management* 2013 Vol. 24, No.1: 123 – 139.
- [6]. Hamza, R.M.A., dan Al-Manna, J.Y. "Selection of Balancing Method for Manual Assembly Line of Two Stages Gearbox." *Global Perspectives on Engineering Management* 2013 Vol.2, No.2: 70 – 81.
- [7]. Setyawan, D., Soegiharto, S., dan Agus, J. "Perbaikan Sistem Produksi Dengan Metode Line Balancing Pada Perusahaan Pembuat Mesin Pertanian PT. Agrindo di Gresik." *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Universitas Surabaya* 2012 Vol.1, No.1: 1 – 15.
- [8]. Ginting, R. 2007. *Sistem Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [9]. Koltai, T., dan Tatay, V. "Formulation of Simple Workforce Skill Constraints In Assembly Line Balancing Models." *Social and Management Sciences* 2011 Vol 19, No.1: 43 – 50.
- [10]. Guney, Y., dan Ahiska, S.S. "Automation Level Optimization for an Automobile Assembly Line." *Proceedings of The 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, Turkey.
- [11]. Gupta, S.K., Mahna, V.K., Singh, R.V., dan Kumar, R. "Mixed Model Assembly Line Balancing: Strategic Tool To Improve Line Efficiency In Real World." *International Journal Of Industrial Engineering Research and Development (IJIERD)* 2012 Vol.3, No. 1: 58 – 66.
- [12]. Udin, M.K., Soto, M.C., dan Lastra, J.L.M. "An Integrated Approach To Mixed-Model Assembly Line Balancing And Sequencing." *Assembly Automation* 2010 Vol.30, No.2: 164 – 172.
- [13]. Avikal, S., Ahmed, F., Mishra, P.K., Singh, A.R., dan Sharma, S. "A Heuristic For Cost Oriented Assembly Line Balancing Problems." *IPEDR* 2010 Vol.75, No.35: 180 – 183.
- [14]. Breginski, R.B., Cleto, M.G., dan Junior, J.L.S.. "Assembly Line Balancing Using Eight Heuristics." *22nd International Conference on Production Research 2012*, Brazil.
- [15]. Santosa, B., dan Willy, P. 2011. *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*. Surabaya: Prima Printing.
- [16]. Kalayci, C.B., dan Gupta, S.M. "Ant Colony Optimization For Sequence Depent Disassembly Line Balancing Problem." *Journal of Manufacturing Technology Management* 2013 Vol.24, No.3: 413 – 428.
- [17]. Petropoulos, D.I., dan Nearchou, A.C. "A Particle Swarm Optimization Algorithm for Balancing Assembly Lines." *Assembly Automation* 2011 Vol.31, No.2: 118 – 129.
- [18]. Gurevsky, E., Hazir, O., Battaia, O., dan Dolgui, O. "Robust Balancing of Straight Assembly Lines With Interval Task Times." *Journal of The Operational Research Society* 2013 Vol. 64: 1607 – 1613.
- [19]. Baykasoglu, A., dan Dereli, T. "Simple and U-type Assembly Line Balancing By Using An Ant Colony Based Algorithm." *Mathematical and Computational Application* 2009 Vol.14, No. 1: 1-12.
- [20]. Das, B., Rivas, J.M.S., Diaz, A.G., dan MacDonald, C.A. "A Computer Simulation Approach To Evaluating Assembly Line Balancing With Variable Operation Time." *Journal of Manufacturing Technology Management* 2010 Vol.21, No.7: 872 – 887.
- [21]. Purnomo, H. 2004. *Pengantar Teknik Industri Edisi Kedua*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- [22]. Rahayu, R., Aji, T., dan Perdana, Y.R. “Perhitungan Waktu Baku Proses Loading dan Unloading Pada Distribusi Raskin Gudang Bulog Kalasan Utama Yogyakarta.” *Jurnal Inovasi* 2012 Vol.2, No.1: 24 – 38.
- [23]. Gokcen, H., dan Erel, E. “Binary Integer Formulation For Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem.” *Computers ind. Engng* 1998 Vol.34, No. 2: 451 – 461.
- [24]. Opit, P.F., Kornelis, M.T., dan Mahardini, K.A. “Implementasi Program Komputasi Algoritma Keseimbangan Lintasan Perakitan.” *INASEA* 2012 Vol.13, No.1: 69 – 78.