

Penjadwalan Produksi Dengan Algoritma Dannenbring dan Branch and Bound pada Produksi Atap Galvalum Di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia

Production Scheduling for Galvalum Roof with Dannenbring and Branch and Bound Algorithm at PT NS Bluescope Lysaght Indonesia

Muhammad Irsyad Nuriza, Teguh Oktiarso

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung,
Jl. Villa Puncak Tidar Blok N No. 1, Kampus Universitas Ma Chung, Malang, Indonesia 65151

Abstrak

PT NS Bluescope Lysaght Indonesia memiliki permasalahan yaitu masih terjadi keterlambatan dalam menyelesaikan pemesanan untuk memenuhi permintaan konsumen. Maka dari itu, diperlukannya penjadwalan yang paling optimal digunakan sebagai urutan proses produksi, sehingga dapat mengurangi resiko keterlambatan penyelesaian produk pesanan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan hasil terbaik dengan nilai makespan terkecil dari hasil urutan menggunakan metode Branch and Bound dan Dannenbring, sehingga dapat menentukan metode terbaik diantara kedua metode dan dapat diterapkan di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia. Pengolahan berawal dari data yang telah diuji keseragaman dan uji kecukupan data serta performance rating untuk mendapatkan waktu standar sebagai dasar, yang selanjutnya dihitung menggunakan metode Branch and Bound dan Dannenbring. Berdasarkan penjadwalan yang telah dilakukan dengan metode Branch and Bound menghasilkan nilai makespan yang lebih kecil dari pada metode Dannenbring sebesar 639,580 detik dengan urutan proses 1-4-3-2. Metode ini, mampu mengurangi makespan 80,420 detik atau mampu mengurangi 11,169% dari kondisi awal. Dengan demikian metode ini dapat diterapkan oleh PT NS Bluescope Lysaght Indonesia untuk menyusun penjadwalan produksinya pada pembuatan galvalum jenis Krip-Lok, Trimdek Optima, Spandek, dan Smartdek dan dapat diterapkan juga menyusun penjadwalan produksi pada jenis produk yang lain untuk mengurangi waktu produksi.

Kata kunci: *branch and bound; dannenbring; flow shop; penjadwalan produksi*

Abstract

PT NS Bluescope Lysaght Indonesia has a problem with delay in completing the consumer's order. Optimal scheduling is needed as a sequence of production processes, to reduce the risk of delaying ordered product completion. This study aims to get the best result with the smallest makespan's value from the sequences using the Branch and Bound and Dannenbring methods. The method with the best result between the two methods will be applied at PT NS Bluescope Lysaght Indonesia. The process starts from data that has been processed with the uniformity test, data adequacy test, and performance rating to get the standard time as a basis. The standard time would be calculated using the Branch and Bound and Dannenbring methods. Based on the scheduling that has been done, the makespan using Branch and Bound method is smaller than the Dannenbring method that is 639,580 seconds from the 1-4-3-2 sequence. This method can decrease makespan up to 80.420 seconds or it has been reduced 11.169% from the initial condition. Thus, this method can be applied by PT NS Bluescope Lysaght Indonesia to arrange the production schedule of Krip-Lok galvalume, Trimdek Optima, Spandek, and Smartdek. It also can be applied to arrange the schedule for the other types of products to reduce the production time.

Keywords: *branch and bound; dannenbring; flow shop; production scheduling*

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi dan adanya perdagangan bebas saat ini membuat setiap usaha dituntut untuk mampu bersaing. Perusahaan-perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur biasanya menerapkan strategi-strategi respon produksi yang berbeda-beda dalam memenuhi permintaan konsumen sesuai dengan waktu dan jumlah yang diperlukan, salah satunya penerapan strategi MTO (*make to order*). Strategi MTO adalah strategi yang membuat perusahaan melakukan proses produksi apabila menerima konfirmasi pesanan dari konsumen atau pelanggan untuk produk tertentu (Nasution dan Prasetyawan, 2008).

PT NS Bluescope Lysaght Indonesia merupakan perusahaan produsen baja untuk pasar domestik Australia, Selandia Baru dan Amerika Serikat dan merupakan pemasok internasional terkemuka untuk produk baja dan merupakan solusi mendasar bangunan dan konstruksi industri global. PT NS Bluescope Lysaght Indonesia adalah pemasok terbesar ketiga di dunia untuk baja lapis dan produk produk baja berwarna untuk pasar bangunan dan konstruksi, terutama difokuskan pada daerah Oceania dan Asia Pasifik dan pemasok global terkemuka dunia untuk solusi bangunan bagi pasar industri dan komersial juga memiliki teknologi pelapisan dan pewarnaan serta memiliki merek yang unggul termasuk *Colorbond steel* dan *Zincalume steel*. PT NS Bluescope Lysaght Indonesia mempekerjakan sekitar 17,000 tenaga kerja dan mengoperasikan 100 pabrik di 17 negara di seluruh dunia.

Permasalahan yang terjadi di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia adalah masih mengalami keterlambatan dalam penyelesaian pemesanan untuk memenuhi permintaan konsumen. PT NS Bluescope Lysaght Indonesia mempunyai empat produk andalan yaitu Krip-Lok, Trimdek Optima, Spandek, dan Smartdek. Berdasarkan hasil observasi dan data yang diperoleh, keempat jenis produk ini sering kali mengalami permasalahan keterlambatan pengiriman produk akibat jumlah untuk empat jenis produk ini tinggi. Proses produksi pembuatan galvalum mengikuti tipe penjadwalan *flow shop*, serta setiap galvalum memiliki bentuk profil yang berbeda dengan waktu proses yang berbeda-beda menyebabkan waktu proses untuk setiap jenis produk menjadi lama sehingga perlu adanya penjadwalan produksi yang tepat agar meminimasi *makespan*.

Prasasti (2003) telah melakukan penelitian yang bergerak pada perusahaan manufaktur dalam bidang industri logam, dengan aktivitas penjadwalan FCFS (*First Come First Serve*) yaitu *job* yang pertama kali datang maka yang pertama akan dilayani. dengan kesimpulan bahwa jadwal yang optimal atau hasil *makespan* yang paling minimum yaitu dengan metode Dannenbring dengan urutan pengerjaan *job* J5-J1-J3-J4 -J2 yaitu *Seat Belt, Jaw Plate, Tougle Block, Tougle Plate, Body Swing Jaw* dengan nilai *makespan* sebesar 96.7195 jam, karena *makespan*-nya lebih kecil dibandingkan kondisi pada perusahaan yaitu sebesar 109.1255 jam, sehingga terjadi penghematan nilai *makespan* sebesar 11.4 % dari kondisi awal.

Lesmana (2016) telah melakukan penelitian yang bergerak di bidang industri manufaktur dengan aktivitas FIFO (*First In First Out*), dengan kesimpulan bahwa jadwal yang optimal atau hasil *makespan* yang paling minimum yaitu dengan metode Branch and Bound dengan waktu pengerjaan lebih singkat daripada menggunakan metode perusahaan. Hal ini ditunjukkan hasil pada bulan Februari 2016 jika menggunakan metode perusahaan maka waktu penyelesaian yang didapat adalah 10.584,385 menit. Apabila menggunakan metode Branch and Bound waktu penyelesaian bisa diperkecil sebesar 789,66 menit sehingga menjadi 9.794,719 menit, atau 1,8 hari lebih cepat dibanding dengan menggunakan metode perusahaan.

Berdasarkan gambaran di atas, terbukti bahwa metode Dannenbring dan Branch and Bound mampu menghasilkan *makespan* yang lebih kecil pada studi kasus yang dihasilkan oleh penelitian terdahulu. Penelitian ini menggunakan lebih dari satu metode yaitu metode Dannenbring dan Branch and Bound di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia agar hasil kombinasi urutan *job* dapat lebih bervariasi dengan nilai *makespan* terpendek.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Model Penjadwalan

Terdapat beberapa jenis model instrumen penjadwalan yang biasa digunakan baik untuk proyek yang berskala kecil hingga besar, formal hingga non-formal. Menurut Baker (1974) dalam Ginting (2009), model penjadwalan dapat dibedakan menjadi 4 jenis keadaan, yaitu:

1. Mesin yang digunakan dapat berupa proses dengan mesin tunggal atau proses dengan mesin majemuk. Pada keadaan ini, sejumlah mesin dapat dibedakan atas mesin tunggal dan mesin majemuk. Model mesin tunggal adalah mesin dasar dan biasanya dapat diterapkan pada kasus mesin majemuk.
2. Pola aliran proses dapat berupa aliran identik atau sembarang. Pada keadaan ini, pola aliran dapat dibedakan atas *flow shop* dan *job shop*. Pada *flow shop* dijumpai pola aliran proses dari urutan tertentu yang sama. *Flow shop* terbagi lagi menjadi *pure flow shop* dan *general flow shop*. Pada *pure flow shop* berbagai pekerjaan akan mengalir pada lini produksi yang sama dan tidak dimungkinkan adanya variasi. Pada *general flow shop* dimungkinkan adanya variasi antara pekerjaan atau pekerjaan yang datang tidak harus dikerjakan di semua mesin. Sedangkan pada *job shop*, setiap pekerjaan memiliki pola aliran kerja yang berbeda.
3. Pola kedatangan pekerjaan statis atau dinamis. Pada keadaan ini, pola kedatangan pekerjaan dapat dibedakan atas pola kedatangan statis atau dinamis. Pada pola statis, pekerjaan datang bersamaan pada waktu nol dan siap dikerjakan atau kedatangan pekerjaan bisa tidak bersamaan tetapi saat kedatangan telah diketahui sejak waktu nol. Pada pola dinamis mempunyai sifat kedatangan pekerjaan tidak menentu, artinya terdapat variabel waktu sebagai faktor yang berpengaruh.
4. Sifat informasi yang diterima dapat bersifat deterministik atau stokastik. Pada keadaan ini, perilaku elemen-elemen penjadwalan dapat dibedakan atas deterministik dan stokastik. Model deterministik memiliki kepastian informasi tentang parameter dalam model, sedangkan model stokastik mengandung unsur ketidakpastian.

2.2 Kriteria Penjadwalan

Terdapat beberapa kriteria dalam penjadwalan. Menurut Baker (1974) dalam Ginting (2009), hasil penjadwalan pada kasus deterministik dapat dievaluasi dengan menggunakan beberapa kriteria berikut:

- a. *Processing time*, taksiran peramalan tentang berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu tugas. Taksiran meliputi *setup time* yang mungkin dibutuhkan, yang diasumsikan bebas. Pada pembahasan ini, *processing time* untuk tugas i dinyatakan dengan t_i .
- b. *Completion time* (C_i), rentang antara awal dari tugas pada pekerjaan pertama, dimana waktunya mengacu pada $t = 0$, dengan waktu ketika tugas selesai. Rentang waktu dinyatakan dengan C_i .
$$C_i = F_i + r_i$$
- c. *Flow time* dinyatakan dengan F_i , rentang waktu antara satu titik dimana tugas tersedia untuk diproses dengan suatu titik ketika tugas tersebut selesai. Sehingga, *flow time* sama dengan *processing time* dijumlahkan dengan waktu ketika tugas menunggu sebelum diproses.
$$F_i = C_i - r_i$$
- d. *Due date*, batas waktu yang ditentukan untuk tugas yang telah lewat, yang akan dinyatakan dengan terlambat. Denda akan diberikan bila terlambat. *Due date* dinyatakan dengan d_i .
- e. *Waiting time*, yaitu waktu yang menunggu *order* i sejak saat suatu proses selesai dikerjakan sampai saat mulai operasi berikutnya.
- f. *Slack*, ukuran perbedaan antara waktu sisa dari batas waktu tugas dengan waktu prosesnya (*processing time*). *Slack* dinyatakan dengan Sl_i .
$$Sl_i = d_i - t_i$$
- g. *Lateness*, $L_i = C_i - d_i$, yaitu waktu antara saat selesai dan *due date* (d_i) suatu pesanan i . *Lateness* dapat bernilai negatif (*earliness*) dan positif (*tardiness*).
$$L_i = C_i - d_i$$
- h. *Earliness*, yaitu waktu selesai pesanan i sebelum target.

- $E_i = \min\{L_i, 0\}$
- i. *Tardiness*, $T_i = \max\{0, L_i\}$, yaitu waktu keterlambatan saat selesai suatu *order* i . Atau ukuran dari *lateness* positif. Jika tugasnya selesai cepat, maka akan memiliki *lateness* negatif tetapi *tardiness* = 0. Jika tugas memiliki *lateness* positif, maka akan memiliki *tardiness* positif juga.
 $T_i = \max\{0, L_i\}$
 - j. *Makespan*, yaitu waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan semua pekerjaan (*job*) yang ada di *shop*, yang terdiri dari waktu *setup* antar *job* ($S[i-1], [i]$) dan waktu proses per *job* (t_i). Untuk n buah *job* diperoleh rumus *makespan* sebagai berikut:

$$M = \sum_{i=1}^{n+1} S[i-1], [i] + \sum_{i=1}^n t_i$$
 - k. *Manufacturing lead time*, yaitu waktu suatu *job* berada di *shop floor*, yang terdiri dari waktu *setup*, waktu operasi, dan waktu non operasi.

2.3 Algoritma Dannenbring

Ginting (2009) dalam Mazda (2018) menjelaskan metode ini dikembangkan oleh D.G. Dannenbring dengan prosedur yang disebut *rapid access* yang pada prinsipnya mengkombinasi metode CDS dan konsep *slope index* yang dikembangkan oleh Palmer. Langkah-langkah pada metode Dannenbring adalah sebagai berikut:

1. Menghitung waktu proses seolah-olah untuk mesin pertama

$$P_{i1} = \sum (-j + 1) \cdot t_{ij}$$

Menghitung waktu proses seolah-olah untuk mesin kedua

$$P_{i2} = \sum (j) \cdot t_{ij}$$

Untuk $i = 1, 2, \dots, n$

Dimana P_{i1} = waktu proses *job* ke- i dalam mesin ke-1

P_{i2} = waktu proses *job* ke- i dalam mesin ke-2

i = *job* yang diproses ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

j = mesin yang digunakan untuk proses *job* i

2. Penentuan *idle time* dan *makespan*

$$t_{ij}; i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$$

$$I_{ij} = \max\{0, (\sum t_{ij} + t_{i(j+1)} - I_{ij})$$

$$t_{new(i),n} = (t_{i2} - I_{i1})$$

Keterangan:

i = *job* yang diproses ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)

j = mesin yang digunakan untuk proses *job* i ($j = 1, 2, 3, \dots, n$)

3. Menghitung total waktu penyelesaian *job*.

2.4 Algoritma Branch and Bound

Algoritma *Branch and Bound* merupakan “A useful method for solving many combinatorial problems”. Menurut Mercado dan Bard (1997) pada Kusuma Wijaya (2017), *root* akan dicabangkan sebanyak *job* yang mungkin akan diasumsikan bernilai nol karena merupakan *empty schedule*. Setiap cabang pada *tree diagram* dihubungkan dengan U akan menjadi urutan parsial (S_k) selanjutnya, dimana U merupakan *job* yang belum dijadwalkan.

Menurut Mangnggenre dkk. (2013), langkah-langkah penjadwalan metode *Branch and Bound* adalah:

1. Daftarkan semua *job* yang akan dikerjakan dan waktu penyelesaiannya di setiap mesin.
2. Menghitung waktu proses yang dibutuhkan *job* yang terdaftar.

$$TIME M_j (J_r) = \sum_{i=1}^{J_r} t_{ij}$$

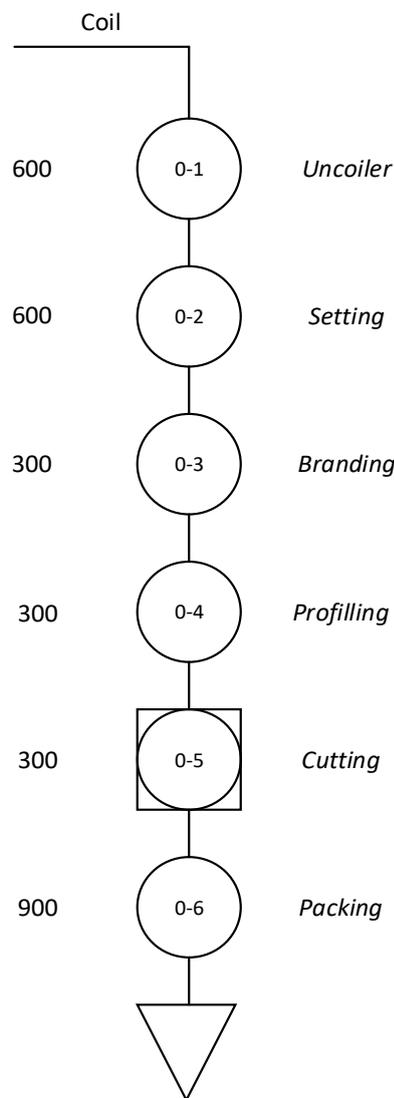
3. Menghitung *lower bound* pada setiap *job* dan urutan *job*.

$$LB(Jr) = \max \left\{ \begin{array}{l} TIME M1 (Jr) + \sum_{Jr} t_{i1} + \min(t_{i2} + t_{i3}) \\ TIME M2 (Jr) + \sum_{Jr} t_{i2} + \min(t_{i3}) \\ TIME M3 (Jr) + \sum_{Jr} t_{i3} \end{array} \right.$$

4. Mencari percabangan dari urutan *job* berdasarkan nilai *lower bound* terendah.
5. Menghitung waktu penyelesaian *job*.

3. Pembahasan

Proses pembuatan dari setiap jenis produk di PT NS Bluescope Lysaght melalui jalur produksi yang sama. Perbedaan proses produksi dari setiap tipe hanya pada bagian *profiling* serta *branding*. Proses produksi untuk keempat jenis produk tersebut dapat dilihat pada OPC di bawah ini:



Gambar 1. OPC untuk proses produksi galvalum

Setiap proses yang ada pada OPC di atas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Uncoiler

Uncoiler berfungsi untuk melepas gulungan lembaran plat logam baja sebelum masuk ke mesin selanjutnya untuk menjadi produk yang diinginkan. Biasanya gulungan plat logam akan dipotong dengan sesuai lebar yang diinginkan. Pada saat akan digunakan, gulungan plat

PENJADWALAN PRODUKSI (Muhammad I. N., dkk.)

logam dipasang pada *uncoiler* untuk menjaga lembaran *coil* tetap lurus dan tidak melengkung.

2. *Setting*

Setting merupakan kegiatan yang dilakukan setelah *coil* masuk kedalam mesin akan dilakukan proses input data serta melakukan persiapan baik ukuran serta profil yang diinginkan sehingga dapat melakukan proses selanjutnya.

3. *Branding*

Pemberian gambar logo PT NS Bluescope Lysaght Indonesia, yang dibuat dengan tujuan untuk mengidentifikasi produk berbeda dengan produk pesaing, serta bagian promosi karena diletakkan pada bagian yang dapat dilihat.

4. *Profilling*

Merupakan proses pembentukan profil atau lengkungan berbentuk U yang digunakan untuk menyatukan setiap galvalum saat dipasang dengan perbedaan bentuk jenis lengkungan setiap produk.

5. *Cutting*

Proses pemotongan menggunakan sebuah alat potong yang bertujuan untuk memotong galvalum sesuai dengan ukuran panjang yang diinginkan.

6. *Packing*

Setiap benda yang membungkus suatu produk di dalamnya. Pada proses ini merupakan proses terakhir sebelum pengiriman suatu produk yaitu dengan cara ditata mulai dari 3-4 ton dalam satu *pack* bertujuan untuk mengantisipasi agar saat proses pengiriman galvalum tidak rusak atau profilnya ada yang terkena benturan dan lainnya.

Pembuatan lembar atap galvalum memiliki perbedaan pada waktu proses akibat perbedaan profil. Adapun bahan baku pembuatan galvalum yaitu lembaran *coil* yang digunakan untuk membuat keempat jenis produk yang diproduksi PT Bluescope Lysaght Indonesia. Target produksi yang ditetapkan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Target produksi per hari untuk setiap jenis

| Proses / Jenis | Unit Per Hari |
|--------------------|---------------|
| Krip-Lok (KLK) | 160 |
| imdek Optima (TDO) | 240 |
| Spandek (KLS) | 200 |
| Smartdek (SMD) | 160 |

Pengamatan waktu kerja pada masing-masing proses dilakukan dengan bantuan *stopwatch* secara manual. Pengukuran waktu dilakukan untuk mendapatkan data waktu awal. Pengukuran awal untuk pengambilan sampel waktu kerja dilakukan sebanyak sepuluh kali untuk setiap jenis galvalum pada masing-masing proses. Dengan menggunakan asumsi bahwa *performance rating* rata-rata dari setiap operator pada setiap stasiun kerja adalah 0,15, maka hasil dari pengukuran waktu proses pada enam stasiun kerja adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Data Pengukuran Waktu Proses pada setiap stasiun kerja

| Stasiun Kerja | | Jenis Galvalum | | | |
|---------------|-----------------|----------------|---------|---------|---------|
| | | KLK | TDO | KLS | SMD |
| Uncoiler | Waktu rata-rata | 206,2 | 199,9 | 213 | 208,9 |
| | Waktu normal | 235,068 | 227,886 | 242,82 | 238,146 |
| | Waktu Standar | 270,328 | 262,068 | 279,243 | 273,867 |
| Setting | Waktu rata-rata | 318,4 | 321,1 | 307,4 | 317,4 |
| | Waktu normal | 372,528 | 375,687 | 359,658 | 371,358 |
| | Waktu Standar | 428,407 | 432,040 | 413,606 | 427,061 |
| Branding | Waktu rata-rata | 80 | 90,9 | 81,8 | 82,2 |
| | Waktu normal | 91,2 | 103,626 | 93,252 | 93,708 |
| | Waktu Standar | 104,88 | 119,169 | 107,239 | 107,764 |
| Profilling | Waktu rata-rata | 199,6 | 306,6 | 420,8 | 305,9 |
| | Waktu normal | 237,524 | 364,854 | 500,752 | 364,021 |

Tabel 2. Data Pengukuran Waktu Proses pada setiap stasiun kerja (Lanjutan)

| Stasiun Kerja | | Jenis Galvalum | | | |
|---------------|-----------------|----------------|---------|---------|---------|
| | | KLK | TDO | KLS | SMD |
| Cutting | Waktu Standar | 273,152 | 419,582 | 575,864 | 418,624 |
| | Waktu rata-rata | 69,9 | 77 | 73,4 | 81,3 |
| | Waktu normal | 81,783 | 90,09 | 85,878 | 95,121 |
| Packing | Waktu Standar | 94,0504 | 103,603 | 98,759 | 109,389 |
| | Waktu rata-rata | 303,1 | 306 | 414,1 | 429,4 |
| | Waktu normal | 363,72 | 367,2 | 496,92 | 515,28 |
| | Waktu Standar | 418,278 | 422,28 | 571,458 | 592,572 |

3.1 Penjadwalan dengan Algoritma Branch an Bound

Data waktu awal yang diperlukan untuk menemukan waktu *makespan* adalah waktu standar untuk pengerjaan pada masing-masing stasiun kerja. Waktu proses per unit akan dikalikan dengan target produksi dari masing-masing jenis produk. Waktu proses keseluruhan per hari untuk keempat jenis produk tersebut adalah:

Tabel 3. Data Waktu Standar Pembuatan tiap jenis Galvalum (detik)

| | J1 | J2 | J3 | J4 |
|----|--------|---------|---------|--------|
| M1 | 43.800 | 63.480 | 56.400 | 44.440 |
| M2 | 69.080 | 104.280 | 83.400 | 68.920 |
| M3 | 17.100 | 28.860 | 21.700 | 17.580 |
| M4 | 43.980 | 100.860 | 115.300 | 67.340 |
| M5 | 15.340 | 25.260 | 20.100 | 17.740 |
| M6 | 67.780 | 102.180 | 115.100 | 95.780 |

Galvalum jenis KLK (Krip-Lok) diasumsikan sebagai *job 1* (J1), Galvalum jenis TDO (Trimdek Optima) diasumsikan sebagai *job 2* (J2), Galvalum jenis KLS (Spandek) diasumsikan sebagai *job 3* (J3), Galvalum jenis SMD (Smartdek) diasumsikan sebagai *job 4* (J4).

Algoritma Branch and Bound akan menghitung terlebih dahulu waktu yang diperlukan untuk setiap stasiun kerja. Algoritma Branch and Bound dimulai dari cabang nol (0). Kemudian dilanjutkan dengan *job 1, 2, 3, dan 4*. Sebelum menentukan *lower bound*, dibutuhkan perhitungan mengenai waktu penyelesaian untuk masing-masing *job* pada mesin adalah sebagai berikut :

Tabel 4. Waktu Penyelesaian Masing-masing *Job* pada M1 sampai M3 (dalam Detik)

| M1 | | M2 | | M3 | |
|------------|--------|------------|---------|------------|--------|
| TIME M1(1) | 43.800 | TIME M2(1) | 69.080 | TIME M3(1) | 17.100 |
| TIME M1(2) | 63.480 | TIME M2(2) | 104.280 | TIME M3(2) | 28.860 |
| TIME M1(3) | 56.400 | TIME M2(3) | 83.400 | TIME M3(3) | 21.700 |
| TIME M1(4) | 44.440 | TIME M2(4) | 68.920 | TIME M3(4) | 17.580 |

Tabel 5. Waktu Penyelesaian Masing-masing *Job* pada M4 sampai M6 (dalam Detik)

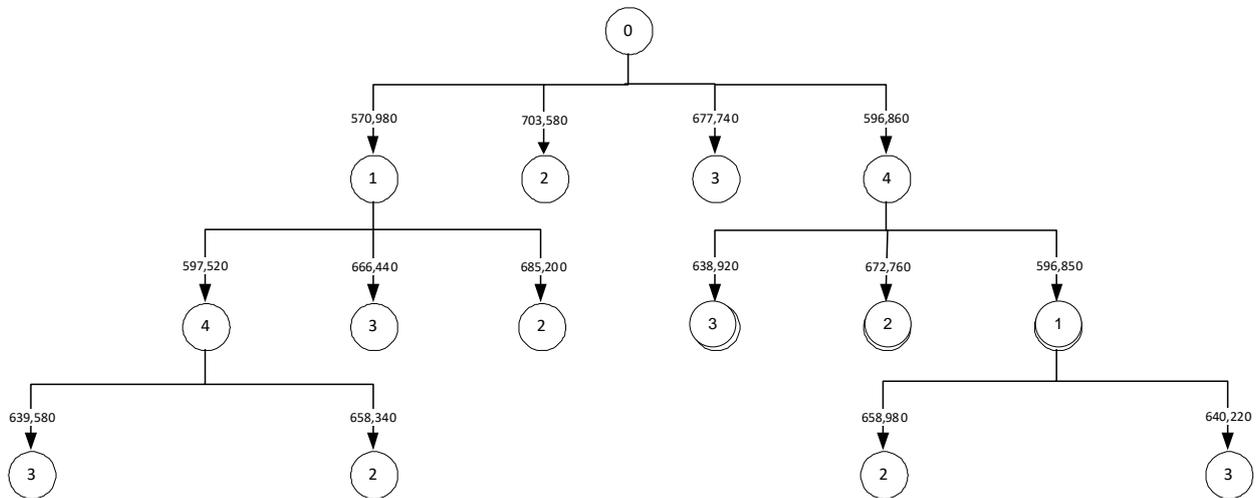
| M4 | | M5 | | M6 | |
|------------|---------|------------|--------|------------|---------|
| TIME M4(1) | 43.980 | TIME M5(1) | 15.340 | TIME M6(1) | 67.780 |
| TIME M4(2) | 100.860 | TIME M5(2) | 25.260 | TIME M6(2) | 102.180 |
| TIME M4(3) | 115.300 | TIME M5(3) | 20.100 | TIME M6(3) | 115.100 |
| TIME M4(4) | 67.340 | TIME M5(4) | 17.740 | TIME M6(4) | 95.780 |

Data di atas menghasilkan *lower bound* untuk urutan 1, 2, 3 dan 4 adalah 570.990 detik, 703.580 detik, 677.740 detik dan 596.960 detik. Hasil penghitungan ini menunjukkan bahwa produk 1 menjadi urutan pertama dalam penjadwalan produk. Hasil penghitungan berikutnya adalah untuk mencari *lower bound* urutan 1,2; 1,3; dan 1,4. Contoh perhitungan dapat dilihat pada bagian lampiran.

Hasil dari penghitungan untuk *lower bound* 1,2; 1,3; dan 1,4 adalah 685.200 detik, 666.640 detik dan 597.520 detik. *Lower bound* 4 ternyata lebih kecil yaitu 596.960 detik yang menyebabkan urutan produk berubah dengan diawali pembuatan produk nomor 4. Urutan penjadwalan berubah menjadi 4,1; 4,2; dan 4,3. Hasil penghitungan *lower bound* untuk ketiga pilihan tersebut adalah: 596.860 detik, 672.760 detik dan 638.920 detik. Hasil ini menunjukkan urutan 4,1 menjadi prioritas karena menghasilkan angka *lower bound* terkecil dibandingkan urutan 1,4.

Urutan pekerjaan 4,1 dilanjutkan ke urutan 4,1,2 dan 4,1,3. Hasil penghitungan untuk *lower bound* adalah 658.980 detik dan 640.220 detik. Angka ini lebih besar dibandingkan angka *lower bound* untuk proses urutan penjadwalan 1,4 yang menghasilkan 597.520 detik. Langkah selanjutnya adalah melanjutkan penjadwalan 1,4,2 dan 1,4,3. Hasil penghitungan *lower bound* adalah 658.340 detik dan 639.580 detik. Hasil ini ternyata menunjukkan bahwa urutan penjadwalan produk 1-4-3 menghasilkan angka *lower bound* terkecil yaitu 639.580 detik.

Berdasarkan hasil perhitungan *lower bound* dari masing-masing urutan proses, dapat diketahui urutan pekerjaan yang menghasilkan nilai *makespan* yang paling minimal. Berikut adalah gambar percabangan yang memungkinkan untuk job 1, 2, 3, dan 4.



Gambar 2. Urutan Penjadwalan dengan Algoritma Branch and Bound

Hasil perhitungan untuk urutan *job* dengan melihat *lower bound* setiap urutan *job* yang memungkinkan, dihasilkan nilai *makespan* terendah yaitu 639.580 detik atau 177,66 jam dengan urutan produksi yang pertama yaitu KLK, yang kedua yaitu SMD, ketiga yaitu KLS, dan yang terakhir yaitu TDO. Tabel berikut menunjukkan hasil urutan *job* yang terpilih pada algoritma Branch and Bound ini

Tabel 6. *Makespan* untuk Algoritma Branch and Bound

| Urutan Job | <i>Makespan</i> |
|----------------|-------------------|
| 1-4-2-3 | 182,87 jam |
| 1-4-3-2 | 177,66 jam |
| 4-1-2-3 | 183,05 jam |
| 4-1-3-2 | 177,84 jam |

3.2 Penjadwalan dengan Algoritma Dannenbring

Menurut Ginting (2009) dalam Mazda (2018), metode Dannenbring ini mengikuti prosedur *rapid access* dimana prinsipnya mengkombinasikan metode CDS dan konsep *slope index* yang dikembangkan oleh Palmer. Dengan menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada bagian studi literatur, maka hasil penghitungan awal untuk penjadwalan dengan Algoritma Dannenbring adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Waktu Standar Produk/Job di Setiap Mesin (dalam Detik)

| Produk | job | Mesin(Detik) | | | | | |
|--------|-----|--------------|---------|--------|---------|--------|---------|
| | | M1 | M2 | M3 | M4 | M5 | M6 |
| KLK | 1 | 43.800 | 69.080 | 17.100 | 43.980 | 15.340 | 67.780 |
| TDO | 2 | 63.480 | 104.280 | 28.860 | 100.860 | 25.260 | 102.180 |
| KLS | 3 | 56.400 | 83.400 | 21.700 | 115.300 | 20.100 | 115.100 |
| SMD | 4 | 44.440 | 68.920 | 17.580 | 67.340 | 17.740 | 95.780 |

Dengan demikian Hasil perhitungan P_{i1} dan P_{i2} tersaji dalam tabel berikut ini:

Tabel 8. Perhitungan P_{i1} dan P_{i2} (dalam Detik)

| Job | P_{i1} | P_{i2} |
|-----|-----------|-----------|
| 1 | 1.542.480 | 892.560 |
| 2 | 2.974.440 | 1.501.440 |
| 3 | 3.296.000 | 1.540.600 |
| 4 | 2.806.200 | 1.167.760 |

Berdasarkan tabel di atas diketahui bahwa nilai waktu terkecil ada pada P_{i2} , maka job diletakkan pada posisi terakhir. Dengan demikian, urutan pengerjaan job tersebut kemudian dihitung untuk mencari nilai *makespan*.

Dari urutan penjadwalan yang telah dihasilkan melalui metode Dannenbring, kemudian dihitung *idle time* I_{ij} dan *makespan* $t_{new(i),j}$

Tabel 9. Perhitungan *Makespan* di Mesin 1-3 untuk Urutan 3-2-4-1 (dalam Detik)

| Posisi deret | Urutan job | $t_{(i,1)}$ | $t_{(i,2)}$ | $I_{(i,2)}$ | $t_{new(i),2}$ | $t_{(i,3)}$ | $I_{(i,3)}$ | $t_{new(i),3}$ |
|---------------|------------|-------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 3 | 56.400 | 83.400 | 56.400 | 139.800 | 21.700 | 139.800 | 161.500 |
| 2 | 2 | 63.480 | 104.280 | 0 | 104.280 | 28.860 | 82.580 | 111.440 |
| 3 | 4 | 44.440 | 68.920 | 0 | 68.920 | 17.580 | 40.060 | 57.640 |
| 4 | 1 | 43.800 | 69.080 | 0 | 69.080 | 17.100 | 51.500 | 68.600 |
| Jumlah | | 208.120 | 325.680 | 56.400 | 382.080 | 85.240 | 313.940 | 399.180 |

Tabel 10. Perhitungan *Makespan* di Mesin 4 dan 5 untuk Urutan 3-2-4-1 (dalam Detik)

| Posisi deret | Urutan job | $t_{(i,4)}$ | $I_{(i,4)}$ | $t_{new(i),4}$ | $t_{(i,5)}$ | $I_{(i,5)}$ | $t_{new(i),5}$ |
|---------------|------------|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 3 | 115.300 | 161.500 | 276.800 | 20.100 | 276.800 | 296.900 |
| 2 | 2 | 100.860 | 0 | 100.860 | 25.260 | 80.760 | 106.020 |
| 3 | 4 | 67.340 | 0 | 67.340 | 17.740 | 42.080 | 59.820 |
| 4 | 1 | 43.980 | 0 | 43.980 | 15.340 | 26.240 | 41.580 |
| Jumlah | | 325.680 | 161.500 | 488.980 | 78.440 | 425.880 | 504.320 |

Tabel 11. Perhitungan *Makespan* di Mesin 6 untuk Urutan 3-2-4-1 (dalam Detik)

| Posisi deret | Urutan job | $t_{(i,6)}$ | $I_{(i,6)}$ | $t_{new(i),6}$ |
|---------------|------------|-------------|-------------|----------------|
| 1 | 3 | 115.100 | 296.900 | 412.000 |
| 2 | 2 | 102.180 | 0 | 102.180 |
| 3 | 4 | 95.780 | 0 | 95.780 |
| 4 | 1 | 67.780 | 0 | 67.780 |
| Jumlah | | 325.680 | 296.900 | 677.740 |

Hasil dari penjadwalan dengan menggunakan algoritma Dannenbring didapatkan urutan job 3-2-4-1 dengan *makespan* selama 677.740 detik atau 188,262 jam.

3.3 Pengurangan *Makespan* terhadap Penjadwalan Awal.

Berdasarkan hasil penghitungan *makespan* antara penjadwalan dengan menggunakan algoritma Branch and Bound serta Dannenbring didapatkan bahwa algoritma Branch and Bound menghasilkan *makespan* terpendek yaitu 177,66 jam dengan urutan job 1-4-3-2. Hasil ini menunjukkan bahwa urutan proses produksi untuk keempat produk dimulai dari produk KLK, dilanjutkan dengan SMD, KLS dan diakhiri oleh TDO. Algoritma Branch and Bound dapat memberikan urutan *job* dengan *makespan* terpendek dikarenakan pada penghitungan *makespan* mempertimbangkan *lower bound* dari setiap urutan pekerjaan. Selain pengaruh *lower bound*, adanya beberapa cabang untuk pilihan urutan *job* mempengaruhi penghitungan *makespan* sehingga akan mendapatkan *makespan* terpendek. Pada penjadwalan produksi di PT NS Bluescope Lysaght Indonesia, diperlukan beberapa kombinasi untuk mendapatkan solusi *makespan* terpendek. Algoritma Dannenbring belum mampu menghasilkan *makespan* terpendek karena pada algoritma ini urutan penjadwalan hanya ada satu pilihan yang dianggap paling baik, tidak mempertimbangkan pilihan lainnya. Dengan waktu proses yang memiliki variasi waktu pengerjaan yang cukup besar, dimungkinkan algoritma yang menghasilkan pilihan urutan *job* lebih banyak akan dapat memberikan hasil *makespan* yang lebih pendek.

Urutan penjadwalan awal adalah 1-2-3-4 dengan total *makespan* adalah 200 jam. Persentase penurunan waktu *makespan* dari urutan proses awal dengan urutan baru dapat didapatkan dari penghitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Persentase penurunan} &= \frac{((200 \times 3600) - 639,580)\text{detik}}{(200 \times 3600)\text{detik}} \times 100\% \\ &= \frac{((720,000) - 639,580)\text{detik}}{720,000 \text{ detik}} \times 100\% \\ &= 11,169\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan yang dihasilkan menunjukkan adanya penurunan *makespan* sebesar 11,169% dari penjadwalan awal dibandingkan dengan urutan penjadwalan 1-4-3-2 yang didapatkan dari algoritma Branch and Bound.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perbandingan antara algoritma Branch and Bound dengan Algoritma Dannenbring pada bagian pembahasan, maka dapat kesimpulan yang didapatkan dari pembahasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan metode Branch and Bound dihasilkan 4 urutan pengerjaan produk, yaitu 1-4-2-3, 1-4-3-2, 4-1-2-3, dan 4-1-3-2 dengan nilai *makespan* 658.340 detik, 639,580 detik, 658,980 detik, dan 640.220 detik. Maka urutan yang menghasilkan *makespan* paling kecil yaitu 1-4-3-2 dengan nilai *makespan* 639.580 detik. Penjadwalan yang dihasilkan adalah urutan pengerjaan *job* 1-4-3-2 atau dengan urutan produk Krip-Lok, Smartdek, Spandek, dan Trimdek Optima.
2. Berdasarkan metode Dannenbring dihasilkan urutan pengerjaan produk yang menghasilkan nilai *makespan* paling kecil, yaitu 3-2-4-1 dengan nilai *makespan* 677,740 detik. Dengan metode ini, mampu menghasilkan 42,260 detik atau 5,869% telah terjadi penurunan *makespan* dengan adanya penjadwalan dengan urutan pengerjaan *job* 3-2-4-1. Urutan produk sesuai dengan urutan pengerjaan *job* adalah: Spandek, Trimdek Optima, Smartdek, dan Krip-Lok.
3. Penjadwalan yang telah dilakukan dengan metode Branch and Bound menghasilkan nilai *makespan* yang lebih kecil daripada metode Dannenbring. Dengan demikian metode ini dapat diterapkan oleh PT NS Bluescope Lysaght Indonesia untuk menyusun penjadwalan produksinya pada pembuatan galvalum jenis Krip-Lok, Trimdek Optima, Spandek, dan Smartdek dan dapat diterapkan juga menyusun penjadwalan produksi pada jenis produk yang lain untuk mengurangi waktu proses pembuatan produk.

Daftar Pustaka

Baker, K. R. (1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Willey & Sons Inc, Canada.

Ginting, R. (2009), *Perancangan Produk*, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Kusuma, H. (2009), *Manajemen Produksi*. Andi. Yogyakarta.

Kusumawijaya, V. N. (2017), *Penjadwalan Produksi Recliner untuk Mengalami Makespan Menggunakan Branch and Bound Algoritma di PT. X*, Skripsi, Prodi Teknik Industri Universitas Ma Chung, Malang.

Lesmana, N. I. (2016). *Penjadwalan Produksi Untuk Meminimalkan Waktu Produksi Dengan Menggunakan Metode Branch And Bound*, Jurnal Teknik Industri, Jakarta.

Mangnggenre, S., dkk. (2013), *Penjadwalan Produksi Dengan Metode Branch And Bound Pada PT.XYZ*, Jurnal Teknik Industri, Makassar.

Mazda, C. N. (2018), *Penjadwalan Produksi Flow Shop Menggunakan Metode Dannenbring, Branch And Bound Dan Nawaz, Ensore And HAM (NEH) Pada Pembuatan Tas Kulit di PT M. Joint Exclusive Leathercraft Yogyakarta*, Jurnal Ilmiah Teknik Industri, Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Yogyakarta.

Nasution, A. H. dan Prasetyawan, Y. (2008), *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, Graha Ilmu, Yogyakarta

Prasasti, P. (2013), *Analisis Penjadwalan Produksi dengan Metode Campbell Dudeck Smith, Palmer dan Dannenbring untuk Meminimumkan Makespan di Pt. Madju Warna Steel Surabaya*, Skripsi, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”, Jawa Timur.

Lampiran

1. Penghitungan *makespan* dengan algoritma Branch and Bound
 Penghitungan untuk *Lower Bound* pada job 1,2, 3, dan 4

$$\begin{aligned}
 LB(1) &= \max \left\{ \begin{array}{l} 43,800 + 164,320 + 267,360 = 475,480 \\ 112,880 + 256,600 + 198,440 = 567,920 \\ 129,980 + 68,140 + 180,860 = 378,980 \\ 173,960 + 283,500 + 133,520 = 570,980 \\ 189,300 + 631,00 + 95,780 = 348,180 \\ 257,080 + 313,060 = 570,140 \end{array} \right\} \\
 LB(2) &= \max \left\{ \begin{array}{l} 63,480 + 144,640 + 213,280 = 421,400 \\ 167,760 + 221,400 + 144,200 = 533,360 \\ 196,620 + 56,380 + 127,100 = 380,100 \\ 297,480 + 226,620 + 83,120 = 607,220 \\ 322,740 + 53,180 + 67,780 = 443,700 \\ 424,920 + 278,660 = 703,580 \end{array} \right\} \\
 LB(3) &= \max \left\{ \begin{array}{l} 56,400 + 151,720 + 213,280 = 421,400 \\ 139,800 + 242,280 + 144,200 = 526,280 \\ 161,500 + 63,540 + 127,100 = 352,140 \\ 276,800 + 212,180 + 83,120 = 572,100 \\ 269,690 + 58,340 + 67,780 = 423,020 \\ 412,000 + 265,740 = 677,740 \end{array} \right\}
 \end{aligned}$$

$$LB(4) = \max \left\{ \begin{array}{l} 44,440 + 163,680 + 213,280 = 421,400 \\ 113,360 + 256,760 + 144,200 = 514,320 \\ 130,940 + 67,660 + 127,100 = 325,700 \\ 198,280 + 260,140 + 83,120 = 541,540 \\ 216,020 + 60,700 + 67,780 = 344,500 \\ 311,800 + 285,060 = 596,860 \end{array} \right\}$$

Contoh penghitungan untuk TIMEM1 (1,3)

| | |
|-------------------|---|
| TIMEM1(13) | =TIMEM1(1)+ t_{31} =43,800+56,400 =100,200 |
| TIMEM2(13) | =max{TIMEM1(13)+ t_{32} , TIMEM1(1)+ t_{32} } =max{183,600, 196,280} =196,280 |
| TIMEM3(13) | =max{TIMEM2(13)+ t_{33} , TIMEM2(1)+ t_{33} } =max{217980, 151680} =217,980 |
| TIMEM4(13) | =max{TIMEM3(13)+ t_{34} , TIMEM3(1)+ t_{34} } =max{333,280, 289,260} =333,280 |
| TIMEM5(13) | =max{TIMEM4(13)+ t_{25} , TIMEM4(1)+ t_{25} } =max{353,380, 209,400} =353,380 |
| TIMEM6(13) | =max{TIMEM5(13)+ t_{26} , TIMEM5(1)+ t_{26} } =max{468,480, 372,180} =468,480 |

2. Penghitungan *makespan* dengan algoritma Dannenbring

$$P_{11} = \sum(6 - 1 + 1) \cdot t_{ij} \tag{1}$$

$$= (6 \times 43,800) + (6 \times 69,080) + (6 \times 17,100) + (6 \times 43,980) + (6 \times 15,340) + (6 \times 67,780)$$

$$= 1,542,480 \text{ Detik}$$

$$P_{21} = \sum(6 - 2 + 1) \cdot t_{ij} \tag{2}$$

$$= (7 \times 63,480) + (7 \times 104,280) + (7 \times 28,860) + (7 \times 100,860) + (7 \times 25,260) + (7 \times 102,180)$$

$$= 2,974,440 \text{ Detik}$$

$$P_{31} = \sum(6 - 3 + 1) \cdot t_{ij} \tag{3}$$

$$= (8 \times 56,400) + (8 \times 83,400) + (8 \times 21,700) + (8 \times 115,300) + (8 \times 20,100) + (8 \times 115,100)$$

$$= 3,296,000 \text{ Detik}$$

$$P_{41} = \sum(6 - 4 + 1) \cdot t_{ij} \tag{4}$$

$$= (9 \times 44,440) + (9 \times 68,920) + (9 \times 17,580) + (9 \times 67,340) + (9 \times 17,740) + (9 \times 95,780)$$

$$= 2,806,200 \text{ Detik}$$

Selanjutnya menghitung P_{i2} seperti berikut:

$$P_{12} = \sum(j) \cdot t_{ij} \tag{5}$$

$$= (1 \times 43800) + (2 \times 69080) + (3 \times 17100) + (4 \times 43980) + (5 \times 15340) + (6 \times 67780)$$

$$= 892,560$$

$$\begin{aligned} P_{22} &= \sum(j).t_{ij} && (6) \\ &= (1 \times 63,480) + (2 \times 104,280) + (3 \times 28,860) + (4 \times 100,860) + (5 \times 25,260) + \\ &\quad (6 \times 102,180) \\ &= 1,501,440 \text{ Detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{32} &= \sum(j).t_{ij} && (7) \\ &= (1 \times 56,400) + (2 \times 83,400) + (3 \times 21,700) + (4 \times 115,300) + (5 \times 20,100) + \\ &\quad (6 \times 115,100) \\ &= 1,540,600 \text{ Detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{42} &= \sum(j).t_{ij} && (8) \\ &= (1 \times 44,440) + (2 \times 68,920) + (3 \times 17,580) + (4 \times 67,340) + (5 \times 17,740) + \\ &\quad (6 \times 95,780) \\ &= 1,167,760 \text{ Detik} \end{aligned}$$