

TUGAS AKHIR

**ANALISA PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK
MEMINIMALKAN *MAKESPAN* DENGAN PERBANDINGAN
METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH* DAN *BRANCH AND
BOUND***

(Studi Kasus PT. Kalla Beton)

OLEH:

HENDRA CITRA

D221 14 003



DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

**ANALISA PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK
MEMINIMALKAN *MAKESPAN* DENGAN PERBANDINGAN
METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH* DAN *BRANCH AND
BOUND***

(Studi Kasus PT. Kalla Beton)

OLEH:

HENDRA CITRA

D221 14 003

SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat ujian
guna memperoleh gelar Sarjana Teknik
pada Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



**DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2021

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir:

ANALISA PENJADWALAN PRODUKSI UNTUK MEMINIMALKAN MAKESPAN DENGAN PERBANDINGAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH* DAN *BRANCH AND*

(Studi Kasus: PT. Bumi Sarana Beton)

Disusun oleh:

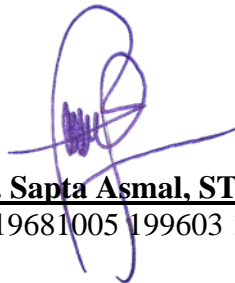
HENDRA CITRA

D221 14 003

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

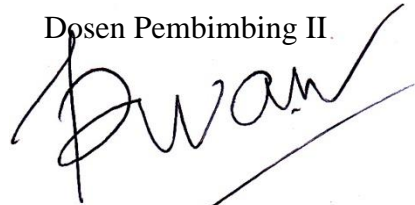
Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Dosen Pembimbing I



Dr. Ir. Sapta Asmal, ST., MT
NIP. 19681005 199603 1 002

Dosen Pembimbing II



Dr. Eng. Ir. Irwan Setiawan, ST., MT
NIP. 19760602 200501 1 022

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin



Dr. Ir. Saiful, ST., MT., IPM
NIP. 19810606 200604 1

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda – tangan dibawah ini:

NAMA : Hendra Citra
NIM : D221 14 003
JUDUL SKRIPSI : Analisa Penjadwalan Produksi Untuk Meminimalkan *Makespan* Dengan Perbandingan Metode *Campbell Dudek Smith* dan Metode *Branch and Bound* (Studi Kasus: PT. Kalla Beton)

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil penelitian, pemikiran, dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan-bahan yang telah di publikasi sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Hasanuddin atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Hasanuddin.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan dari pihak manapun.

Gowa, 26 Februari 2021



Hendra Citra

NIM. D221 14 003

ABSTRAK

PT Kalla Beton menawarkan bata ringan yang di produksi dengan sistem *Autoclave Aerated Concrete* (ACC) dengan pusat produksi berada di Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan kapasitas 300 M3 per hari dengan size 60x20x7,5, 60x20x10, 60x20x12,5, 60x20x15, 60x20x20 (dimensi) atau sesuai dengan permintaan pelanggan.

Berdasarkan hasil observasi dan pengamatan penjadwalan produksi melalui proses permesinan pada PT Kalla Beton, diketahui bahwa PT. Kalla Beton belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal dimana dalam hal ini masih mengalami proses yang cukup lama dalam pembuatan produk. Oleh karena itu dilakukan perbandingan beberapa metode penjadwalan untuk mengoptimalkan penjadwalan yaitu dengan metode *Campbell Dudek Smith* dan metode *Branch and Bound*

Hasil perbandingan dari perhitungan pengolahan data yang dilakukan dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* dan Merode *Branch and Bound*, kedua metode tersebut memiliki *makespan* yang berbeda dan lebih kecil apabila dibandingkan dengan metode yang digunakan oleh perusahaan. Perusahaan PT Kalla Beton memiliki 5 *job* dengan mengambil data yang ada pada dimensi atau ukuran jenis bata ringan dan 6 proses permesinan, dari 6 proses permesinan tersebut diperoleh *makespan* dari tiap-tiap metode yaitu *Campbell Dudek Smith* dengan urutan *job* J5-J4-J3-J2-J1, hasil *makespan* yang diperoleh sebesar 27.304,98 menit,

sedangkan metode *Branch and Bound* dengan urutan job J5-J3-J4-J2-J1, hasil makespan yang diperoleh sebesar 275.62,54 menit.

Kata Kunci: Penjadwalan Produksi, Bata Ringan AAC, *Campbell Dudek Smith, Branch and Bound*

ABSTRACT

PT Kalla Beton offers lightweight bricks which are produced with the Autocalve Aerated Concrete (ACC) system with the production center located in the Makassar Industrial Estate (KIMA) with a capacity of 300 M3 per day with sizes 60x20x7,5, 60x20x10, 60x20x12,5, 60x20x15, 60x20x20 (dimension) or according to customer request.

Based on the results of observations and observations of production scheduling through the machining process at PT Kalla Beton, it is known that PT. Kalla Beton has not done optimal production scheduling, which in this case is still undergoing a long process in manufacturing the product. Therefore, a comparison of several scheduling methods to optimize scheduling is carried out, namely the Campbell Dudek Smith method and the method. Branch and Bound

The comparison results from the calculation of data processing carried out using the method Campbell Dudek Smith and the Branch and Bound, method both methods have makespan different and smaller when compared to the method used by the company. The company PT Kalla Beton has 5 jobs by taking existing data on dimensions or sizes of light brick types and 6 machining processes, from the 6 machining processes, they obtained makespan from each method, namely Campbell Dudek Smith with the order job J5-J4-J3-J2 -J1, the makespan result obtained is 27.304.98 minutes, while the method Branch and Bound with the job order J5-J3-J4-J2-J1, the makespan result obtained is 275.62.54 minutes.

***Keywords: Production Scheduling, AAC Light Brick, Campbell Dudek Smith,
Branch and Bound***

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya kepada penulis, sehingga Penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Shalawat dan salam senantiasa tercurah kepada Rasulullah SAW yang mengantarkan manusia dari zaman kegelapan ke zaman yang terang benderang ini. Penulisan Tugas Akhir ini dimaksudkan untuk memenuhi salah satu syarat guna mencapai gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan tanpa dukungan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun secara tidak langsung. Oleh karena itu, Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penulisan tugas akhir ini kepada:

1. Kedua orang tua penulis, ayahanda tercinta Hasbi Hama. dan ibunda tersayang Heriani Pabo, S.Pd. yang telah memberikan dukungan baik moril maupun materil serta doa yang tiada henti-hentinya kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Bapak Dr. Ir. Saiful, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan juga menjadi salah satu dosen yang sangat memperhatikan kami Mahasiswa Teknik Industri 2014
4. Bapak Dr. Ir. Saptas Asmal, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah membimbing dan mengarahkan Penulis secara langsung untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Dr. Eng. Ir. Irwan Setiawan, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang juga telah membimbing dan mengarahkan Penulis secara langsung untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Industri yang telah menurunkan ilmu dan pengetahuan akademiknya selama masa perkuliahan.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Staf di lingkup Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, dan Universitas Hasanuddin yang telah membantu Penulis untuk memenuhi segala keperluan administrasi kemahasiswaan.
8. Pihak PT Bumi Sarana Beton, terutama bapak Muh. Shobir, bapak Ahmad Biadi, dan bapak Suardi yang telah memberikan izin penelitian/studi kasus dan meluangkan waktu untuk membantu penulis dalam mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
9. Seluruh Keluarga dan Kerabat yang telah memberikan dorongan dan semangat kepada Penulis untuk mengakhiri status mahasiswanya secepat mungkin.
10. Saudara-saudara dalam lingkup organisasi maupun yang telah memberi saya masukan dalam menjalani kehidupan kemahasiswaan, Teknik Industri 2014, RAD14TOR, IPMIL RAYA UNHAS, Ikatan Alumni Sman 01 Unggulan Kamanre, OKFT-UH, dan juga seluruh mahasiswa teknik
11. Kanda-kanda Senior Teknik yang telah banyak menginspirasi Penulis dan memberikan pengetahuan kemahasiswaannya serta Adinda-adinda Junior yang telah banyak membantu saya.
12. Himpunan Mahasiswa Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (HMM FT-UH), Himpunan Mahasiswa Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas

Hasanuddin (HMTI FT-UH), yang telah menjadi wadah pengembangan diri Penulis.

13. Mas Adi alias Muh Jayadi HB, selaku partner penelitian yang telah menemani Penulis dari awal penelitian Tugas Akhir sampai memperoleh gelar Sarjana Teknik.
14. Serta seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah turut andil dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna dikarenakan terbatasnya pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki Penulis. Oleh karena itu, Penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan bahkan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak khususnya dalam bidang ilmu Teknik Industri.

Gowa, Januari 2021

(Hendra Citra)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian.....	4
I.4 Batasan Masalah.....	5
I.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
II.1 Penjadwalan	7
II.1.1 Pengertian Penjadwalan	10
II.1.2 Tujuan Penjadwalan	12
II.2 Istilah-Istilah Dalam Penjadwalan	13
II.3 Jenis-jenis Penjadwalan	16
II.4 Faktor-faktor Penjadwalan.....	19
II.5 <i>Input dan Output</i> Sistem Penjadwalan	20
II.5.1 <i>Input</i> Sistem Penjadwalan.....	20
II.5.2 <i>Output</i> Sistem Penjadwalan	21
II.6 Pengurutan (<i>Squencing</i>)	23
II.7 Pengukuran Waktu	24
II.8 Pengukuran Waktu Jam Henti	26
II.9 Metode Branch and Bound	30
II.9.1 Persamaan dalam Metode <i>Branch And Bound</i>	31
II.9.2 Langkah-langkah Penyelesaian Metode <i>Branch and Bound</i> ...	33
II.10 Metode Campbell Dudek Smith.....	35
II.10.1 Metode Jhonson	38
II.10.2 Langkah-langkah Penyelesaian Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> (CDS)	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
III.1 Waktu dan Tempat Penelitian	41

III.2	Jenis dan Sumber Data.....	41
III.3	Metode Pengumpulan Data.....	42
III.4	Studi Dokumentasi.....	43
III.5	Diagram Flow Chart.....	46
BAB IV	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	46
IV.1	Pengumpulan Data	47
IV.1.1	Data Waktu Produksi.....	47
IV.1.2	Proses Produksi	48
IV.1.3	Data Jenis Produk	53
IV.2	Pengolahan Data	53
IV.2.1	Pengukuran Waktu Dengan Metode Jam Henti	53
IV.2.2	Penjadwalan Dengan Metode Perusahaan	67
IV.2.3	Penjadwalan Dengan Menggunakan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i>	69
IV.2.4	Penjadwalan Dengan Menggunakan Metode <i>Branch And Bound</i>	76
BAB V	ANALISA DAN PEMBAHASAN	96
V.1	Analisa	96
V.1.1	Analisa Perhitungan Penjadwalan Produksi dengan Metode Perusahaan.....	96
V.1.2	Analisa Perhitungan Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i>	96
V.1.3	Analisa Perhitungan Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Barnch and Bound</i>	98
V.2	Pembahasan	100
V.2.1	Perbandingan Hasil Nilai <i>Makespan</i>	100
BAB VI	PENUTUP	102
VI.1	Kesimpulan	102
VI.2	Saran.....	103
VI.2.1	Saran Untuk Perusahaan	103
VI.2.2	Saran Untuk Penelitian Selanjutnya	104
DAFTAR PUSTAKA		105
LAMPIRAN		107
Lampiran 1		1

Lampiran 2	2
Lampiran 3	3
Lampiran 4	4

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pola Aliran kerja <i>Job Shop</i>	14
Gambar 2.2 Pola Aliran <i>Flow Shop</i> Murni.....	16
Gambar 2.3 Pola Aliran <i>Flow Shop</i> Umum	16
Gambar 2.7 <i>Input</i> Sistem Penjadwalan.....	19
Gambar 2.9 Langkah-langkah Sistematis dalam Kegiatan Pengukuran Kerja dalam Jam Henti (<i>Stopwatch Time Study</i>)	25
Gambar 2.10 Sistem Urutan Pekerjaan.....	39
Gambar 4.1 Mesin <i>Ball Mill</i>	49
Gambar 4.2 Mesin <i>Mixer</i>	49
Gambar 4.3 <i>Percuring Stage</i>	50
Gambar 4.4 Moulding.....	51
Gambar 4.5 Mesin <i>Crane</i>	51
Gambar 4.6 Mesin <i>Cutting</i>	52
Gambar 4.7 Mesin <i>Auto Clave</i>	53
Gambar 4.8 Diagram Pohon Branch and Bound	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Posisi Penelitian	8
Tabel 4.1 Data Mesin yang Diteliti	53
Tabel 4.2 Data Jenis Produk	54
Tabel 4.3 Data Hasil Uji Kecukupan Data.....	55
Tabel 4.4 <i>Rating Factor</i> Operator.....	58
Tabel 4.5 <i>Allowance</i> Operator Mesin 1	60
Tabel 4.6 <i>Allowance</i> Operator Mesin 2	60
Tabel 4.7 <i>Allowance</i> Operator Mesin 3	60
Tabel 4.8 <i>Allowance</i> Operator Mesin 4	61
Tabel 4.9 <i>Allowance</i> Operator Mesin 5	61
Tabel 4.10 <i>Allowance</i> Operator Mesin 6	61
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Waktu Normal.....	62
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Waktu Baku.....	64
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Waktu Baku Tiap Produk	65
Tabel 4.14 Data Demand Waktu Proses Perusahaan	66
Tabel 4.15 Waktu Perhitungan Untuk Setiap Proses	67
Tabel 4.16 Data Waktu Perhitungan dengan Metode Perusahaan	67
Tabel 4.17 Perhitungan Untuk Menentukan Urutsn <i>Job</i> Dengan Metode CDS.....	70
Tabel 4.18 Perhitungan Untuk Menentukan Urutsn <i>Job</i> Dengan Metode CDS.....	70
Tabel 4.19 Perhitungan Untuk Menentukan Urutsn <i>Job</i> Dengan Metode	

CDS.....	70
Tabel 4.20 Perhitungan Untuk Menentukan Urutsn <i>Job</i> Dengan Metode	
CDS.....	71
Tabel 4.21 Perhitungan Untuk Menentukan Urutsn <i>Job</i> Dengan Metode	
CDS.....	71
Tabel 4.22 Data Waktu Perhitungan Dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i>	
(CDS)	72
Tabel 4.23 Waktu Proses Tiap Mesin Untuk Iterasi 1.....	74
Tabel 4.24 Hasil Perhitungan <i>Partial Squance</i>	75
Tabel 4.25 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Setiap <i>Job</i>.....	76
Tabel 4.26 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 2,3,4,5	76
Tabel 4.27 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 1,3,4,5	77
Tabel 4.28 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 1,2,3,5	77
Tabel 4.29 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 1,2,3,4	77
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan <i>Lower Bound</i> Untuk Setiap <i>Job</i>.....	77
Tabel 4.31 Paartial <i>Squance</i> Iterasi 1.....	78
Tabel 4.32 <i>Lower Bound</i> Iterasi 1	78
Tabel 4.33 Waktu Proses Tiap Mesin Untuk Iterasi 2.....	79
Tabel 4.34 Hasil Perhitungan <i>Partial Squance</i>	80
Tabel 4.35 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Setiap <i>Job</i>.....	80
Tabel 4.36 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 2,3,4	81
Tabel 4.37 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 1,3,4,	81
Tabel 4.38 Hasil Penjumlahan Waktu Pada <i>Job</i> 1,2,3,	81

Tabel 4.39 Penjumlahan Waktu Pada Masing-masing <i>Job</i>	81
Tabel 4.40 Hasil Perhitungan <i>Lower Bound</i> Untuk Setiap <i>Job</i>	82
Tabel 4.41 <i>Partial Squance</i> Iterasi 2	82
Tabel 4.42 <i>Lower Bound</i> Iterasi 2	82
Tabel 4.43 Waktu Proses Tiap Mesin Untuk Iterasi 3.....	83
Tabel 4.44 Hasil Perhitungan <i>Partial Squance</i>	84
Tabel 4.45 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Setiap <i>Job</i>	84
Tabel 4.46 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Job 2,4,	85
Tabel 4.47 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Job 1,4,	85
Tabel 4.48 Penjumlahan Waktu Pada Masing-masing <i>Job</i>	86
Tabel 4.49 Hasil Perhitungan <i>Lower Bound</i> Untuk Setiap <i>Job</i>	86
Tabel 4.50 <i>Partial Squance</i> Iterasi 3	86
Tabel 4.51 <i>Lower Bound</i> Iterasi 3	87
Tabel 4.52 Waktu Proses Tiap Mesin Untuk Iterasi 4.....	87
Tabel 4.53 Hasil Perhitungan <i>Partial Squance</i>	88
Tabel 4.54 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Setiap <i>Job</i>	88
Tabel 4.55 Hasil Penjumlahan Waktu Pada Job 1,2	89
Tabel 4.56 Penjumlahan Waktu Pada Masing-masing <i>Job</i>	89
Tabel 4.57 Hasil Perhitungan <i>Lower Bound</i> Untuk Setiap <i>Job</i>	90
Tabel 4.58 <i>Partial Squance</i> Iterasi 2	90
Tabel 4.59 <i>Lower Bound</i> Iterasi 2	91
Tabel 4.60 Data Waktu Perhitungan Dengan Metode <i>Branch and Bound</i> (B&B).....	92

Tabel 5.1 Perbandingan Waktu Dengan Metode Perusahaan dan Metode <i>Cmpbell Dudek Smith</i>.....	94
Tabel 5.2 Perbandingan Waktu Dengan Metode Perusahaan dan Metode <i>Branch and Bound</i>	96

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 <i>Gant Chart</i> Dengan Metode Perusahaan	68
Grafik 4.2 <i>Gant Chart</i> Dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i>	73
Grafik 4.3 <i>Gant Chart</i> Dengan Metode <i>Branch and Bound</i>	92
Grafik 5.1 Hasil Perbandingan Nilai <i>Makespan</i>	97

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Teknologi bahan bangunan terus berkembang, salah satunya adalah beton ringan aerasi (*Autoclaved Aerated Concrete*) atau sering disebut juga bata ringan. Bata ringan AAC terbuat dari beberapa pencampuran material yang membentuk struktur satuan pada bata ringan jenis *Autoclaved Aerated Concrete*, diantaranya yaitu pasir silika sebanyak 65%, *gypsum* 5%, semen 20%, CaO atau kapur aktif 15%, zat adiktif aluminium powder 0,1% dan selebihnya adalah air, yang kemudian dibuat mengembang dengan suhu 200 derajat *celcius* pada mesin *auto clave*. Proses pencampuran tersebut sesuai dengan hasil wawancara yang di lakukan. PT Kalla Beton menawarkan bata ringan yang di produksi dengan sistem *Autocalve Aerated Condrete* (ACC) dengan pusat produksi berada di Kawasan Industri Makassar (KIMA) dengan kapasitas 300 M3 per hari dengan size 60x20x7,5, 60x20x10, 60x20x12,5, 60x20x15, 60x20x20 (dimensi) atau sesuai dengan permintaan pelanggan.

Proses operasional produksi bata ringan pada PT. Kalla Beton melibatkan 6 jenis komponen mesin untuk memproduksi bata ringan. Pada proses pencampuran material pasir dan *gypsum* menggunakan mesin *Ball mill*, hasil dari pencampuran mesin tersebut menghasilkan material yang dinamakan *slurry*, kemudian *slurry* dicampurkan dengan material lainnya menggunakan mesin *mixing*, setelah melalui tahapan pencampran material

mentah di masukkan ke tahap pengembangan sementara dengan menggunakan ruangan khusus yaitu *Per curing Stage*, selanjutnya adonan bataringan akan di potong sesuai ukuran yang telah ditentukan menggunakan mesin *cutting*, namun sebelum itu adonan terlebih dahulu di lepas dari cetakan atau *Moulding* dengan menggunakan mesin *Crane*, dan tahapan terakhir dari proses produksi bata ringan yang menjadi proses inti dari pembuatan bata ringan adalah proses pemadatan dan pengembangan kembali menggunakan mesin *Auto clave*

Berdasarkan hasil observasi dan pengamatan penjadwalan produksi melalui proses permesinan pada PT Kalla Beton, diketahui bahwa PT. Kalla Beton belum melakukan penjadwalan produksi secara optimal dimana dalam hal ini masih mengalami proses yang cukup lama dalam pembuatan produk. Aktivitas produksi yang kurang efektif dapat mempengaruhi kepuasan pada pelanggan. Penjadwalan yang tidak efektif akan menghasilkan tingkat penggunaan yang rendah dari kapasitas yang ada. Fasilitas, tenaga kerja dan peralatan akan menunggu (*idle*) untuk waktu tertentu karena tidak ada jadwal. Sebagai akibatnya, biaya produksi membengkak. Ini dapat menurunkan efektivitas kerja dan daya saing perusahaan. Meskipun kapasitas keseluruhan di desain agar biaya sumber daya minimal, penjadwalan yang tidak tepat dapat menyebabkan menurunnya tingkat pelayanan dan banyak hal lain secara tidak langsung. Untuk itu pada penelitian kali ini digunakan perbandingan metode dalam mengefisienkan permasalahan tersebut dengan perbandingan antara metode

perusahaan, metode *Campbell Dudek Smith*, dan metode *Branch and Bound*, nantinya dari perbandingan ke tiga metode tersebut akan dilihat hasil *makespan* terendah dan yang paling optimal untuk di gunakan pada PT. Kalla Beton.

Metode *Campbell Dudek Smith*, digunakan pada penelitian ini dikarenakan metode ini sangat cocok digunakan untuk menyelesaikan penjadwalan produksi dengan tipe *Flow Shop*, Dimana dalam jurnal *review Penerapan Metode Campbell Dudek Smith (CDS) Pada Jadwal Perawatan Dan Jadwal Produksi*, yang di tulis oleh Teuku Anggara, Pratikto, dan Achmad As'ad Sonief pada tahun 2019 dikatakan“ Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) banyak digunakan para penuntut ilmu bidang Teknik Mesin terutama penjadwalan perawatan dan produksi, karena penerapannya banyak diperlukan untuk menjadwalkan perawatan sebuah mesin yang mana metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) juga dapat menentukan jadwal produksi mesin pada sebuah perusahaan agar mendapatkan nilai *makespan* terbaik, tentunya antara jadwal produksi dan jadwal perawatan mesin dapat berjalan beriringan tanpa harus memprioritaskan antara jadwal perawatan dengan proses produksi. Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) sendiri dapat dikombinasikan dengan metode lainnya seperti *Palmer*, *Dennenbring*, *Nawaz Enscore Ham* (NEH) dan masih banyak lagi dengan harus memperhatikan teori-teori (data yang ada) dengan keadaan saat ini dan situasi yang tepat”. Sedangkan metode *Branch and Bound* digunakan karena

metode ini dapat digunakan tidak hanya pada tipe penjadwalan *Flow Shop*, namun juga dapat digunakan pada tipe *Job Shop*.

Penelitian yang di lakukan untuk menentukan nilai *makespan* terkecil dengan membandingkan metode perusahaan dengan dua metode usulan yang digunakan. *Makespan* itu sendiri adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh *job* pada proses penjadwalan. Dari kedua metode usulan ini nantinya diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam meminimalkan waktu proses produksi perusahaan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat disusun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbandingan hasil perhitungan metode *Campbell Dudek Smith* dan *Branch and Bound*, dengan metode perusahaan pada PT. Kalla Beton dalam menentukan nilai *makespan* dalam mengurutkan *job* ?
2. Dari kedua metode usulan yaitu metode *Campbell Dudek Smith* dan metode *Branch and Bound* yang manakah metode paling optimal digunakan pada PT. Kalla Beton ?
3. Bagaimana saran dan rekomendasi untuk meningkatkan produktivitas pada PT. Kalla Beton ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui hasil perbandingan dari perhitungan metode *Campbell Dudek Smith*, *Branch and Bound*, dan metode yang digunakan oleh

perusahaan untuk menentukan nilai *makespan* terkecil dari hasil perhitungan.

2. Menentukan metode penjadwalan yang paling optimal dan sesuai untuk digunakan pada perusahaan PT. Kalla Beton.
3. Memberikan saran dan rekomendasi pada PT. Kalla Beton untuk meningkatkan produktivitas produksi perusahaan.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian mengarah pada tujuan yang diharapkan maka untuk permasalahan diatas maka ditetapkan pembatasan sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan dalam analisis penjadwalan produksi ini adalah metode yaitu *Campbell Dudek Smith* dan *Branch and Bound*.
2. Kriteria penjadwalan yang dilakukan adalah menentukan nilai *makespan* dan melakukan pengurutan proses pengerjaan dalam 1 bulan.
3. Perhitungan mesin dilakukan dengan menggunakan *batch*, dimana dalam penentuan produksinya didalam 1 batch terdapat 60 *moulding* (cetakan bataringan).
4. Penelitian hanya dilakukan pada produk bata ringan yang ada pada PT. Kalla Beton dengan sistem produksinya *make to stock*.
5. Penjadwalan produksi bata ringan PT. Kalla Beton yang melewati *Flow Procces* permesinan.
6. Data yang diolah berdasarkan data *demand* Tahun 2020.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis

Mampu menerapkan dan mengaplikasikan ilmu selama proses studi di Teknik Industri Universitas Hasanuddin serta dengan penelitian ini diharapkan dapat lebih meningkatkan pengetahuan yang dimiliki.

2. Bagi perusahaan

Sebagai masukan dan sumbangan pemikiran bagi pihak perusahaan PT. Kalla Beton agar dapat melakukan penjadwalan produksi secara optimal sehingga dapat meningkatkan produktifitas perusahaan.

3. Bagi Akademik

- a. Menjalin kerjasama yang baik dalam bidang pengembangan teknologi antara pihak perusahaan dengan pihak perguruan tinggi dalam hal ini Universitas Hasanuddin.

- b. Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan rujukan atau referensi bagi akademik untuk penelitian sejenis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penjadwalan merupakan suatu topik yang telah banyak dilakukan dan dikembangkan oleh peneliti. Sebagaimana dalam pengoptimalan laju tiap mesin sebuah metode terus terus di kembangkan. Dalam beberapa penelitian mengatakan bahwa metode yang paling optimal dalam menjadwalkan suatu mesin yaitu dengan menggunakan metode *Branch and Bound*, dan *Campbell Dudek Smith*. Ada banyak metode yang bisa digunakan dalam penjadwalan produksi sebuah mesin seperti metode *Nawaz Enscore Ham (NEH)*, *Heuristic Pour*, *Palmer* dan masih banyak metode yang lainnya. Dalam penelitian yang dilakukan ada beberapa penelitian yang menjadi bahan acuan atau beberapa pandangan dalam bentuk penelitian dan jurnal yang menjadi bahan pertimbangan dalam penulisan skripsi ini, adapun penelitian terdahulu yang dimaksud tergambar dalam tabel seperti dibawah ini

Tabel 2.1 Posisi Penelitian

No	Peneliti	Judul	Metode	Hasil
1	Saiful Manggenre, Amrin Rapi, Wendy Flannery (2013)	Jurnal: Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Branch and Bound</i> pada PT. XYZ	<i>Branch and Bound</i>	<ul style="list-style-type: none">• Metode penjadwalan yang diterapkan oleh PT. XYZ menghasilkan nilai <i>makespan</i> sebesar 324,87 menit.• Penjadwalan produksi dengan menggunakan metode <i>Branch and</i>

				<p><i>Bound</i> dapat meminimasi <i>makespan</i> sebesar 61,45 menit atau sebesar 18,91% jika dibandingkan dengan metode yang diterapkan perusahaan.</p>
2	Riko Ervil, Dela Nurmayuni (2018)	Jurnal : Penjadwalan Produksi dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> (cde) untuk Meminimumkan Total Waktu Produksi (<i>makespan</i>)	<i>Campbell Dudek Smith</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Pada penjadwalan produksi dengan metode CDS didapatkan nilai <i>makespan</i> sebesar 47 hari, sedangkan dengan metode FCFS yang digunakan oleh perusahaan saat ini didapat nilai <i>makespan</i> sebesar 76 hari. Jadi metode CDS mempunyai penyelesaian produksi tercepat dari pada metode FCFS yang digunakan oleh perusahaan. • Dari keenam iterasi hanya pada iterasi ketiga yang tidak terdapat <i>job</i> yang terlambat. Berikut urutan kerja yaitu: <i>job 2 – job 3 – job 4 – job 5 – job 1</i> dengan total waktu produksinya berlangsung selama 47 hari untuk menyelesaikan seluruh pesanan (<i>job</i>).

3	Nindya Oktarina K.S	Penjadwalan Produksi Vulkanisir Ban menggunakan Metode <i>Branch and Bound</i> dan <i>Campbell Dudek Smith</i> di CV. Nuansa Baru	<i>Branch and Bound</i> dan <i>Campbell Dudek Smith</i>	Setelah dilakukan pengolahan data dan analisis data maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut : Penjadwalan <i>job</i> yang diperoleh dengan menggunakan metode <i>Campbell Dudek Smith</i> adalah <i>job 2 – job 1</i> , diperoleh nilai <i>makespan</i> sebesar 432 menit atau sama dengan 7 jam,12 menit. Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> merupakan metode yang optimal karena metode ini memenuhi setiap kriteria yang telah ditetapkan yaitu, memiliki nilai <i>makespan</i> paling minimum. Selisih antara strategi perusahaan dengan menggunakan metode <i>Campbell Dudek Smith</i> sebesar 400 menit atau sama dengan 6 jam 40 menit dengan <i>persentase</i> 48,07 %.
---	---------------------	---	---	--

Dari Tabel 2.1 diatas dapat dilihat bahwa pada penelitian Saiful Manggenre, Amrin Rapi, Wendy Flannery (2013) dengan judul penelitian jurnal Penjadwalan Produksi dengan Metode *Branch and Bound* pada PT. XYZ, penelitian ini juga menggunakan metode yang sama yaitu metode

Branch and Bound penelitian ini diambil sebagai penelitian terdahulu dikarenakan penelitian ini hanya berfokus pada metode *Branch and Bound* dengan begitu kita dapat melihat kelebihan metode *Branch and Bound* secara spesifik dengan mempertimbangkan efisiensi penggunaannya. Pada penelitian selanjutnya diambil dari jurnal Riko Ervil dan Dela Nurmayuni (2018) dengan judul Penjadwalan Produksi dengan Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS) untuk Meminimumkan Total Waktu Produksi (makespan) penelitian ini juga diambil karena penelitian ini juga hanya berfokus pada metode *Campbell Dudek Smith*. Sedangkan penelitian yang terakhir diambil karena metode ini juga membandingkan metode *Branch and Bound* dengan metode *Campbell Dudek Smith*, dari sini nantinya akan dilihat apakah ada kelebihan tertentu yang dimiliki oleh salah satu metode ataukah penelitian yang digunakan juga memberikan hasil yang sama dengan penelitian terdahulu ini.

2.2 Penjadwalan

2.2.1 Pengertian Penjadwalan

Penjadwalan (*scheduling*) didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Secara rinci dapat dijabarkan bahwa penjadwalan merupakan sebuah fungsi pengambilan keputusan, yaitu dalam menentukan jadwal yang paling tepat atau merupakan sebuah teori yang berbasis kumpulan prinsip, model, teknik dalam pengambilan keputusan. Penjadwalan produksi didefinisikan sebagai pengaturan urutan kerja

serta pengalokasian sumber baik waktu, fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan (Mangnggenre, Rapi, & Flannery, 2014)

Pengertian penjadwalan secara umum dapat diartikan seperti pengalokasian sumber daya yang terbatas untuk mengerjakan sejumlah pekerjaan. Permasalahan muncul apabila pada tahapan operasi tertentu beberapa atau seluruh pekerjaan itu membutuhkan stasiun kerja yang sama. Dengan dilakukannya pengurutan pekerjaan ini unit-unit produksi (*resources*) dapat dimanfaatkan secara optimum. Pemanfaatan ini antara lain dilakukan dengan jalan meningkatkan utilitas unit-unit produksi melalui usaha-usaha mereduksi waktu menganggur (*idle time*) dan unit-unit yang bersangkutan. Pemanfaatan lainnya dapat juga dilakukan dengan cara meminimumkan *in process inventory* melalui reduksi terhadap waktu rata-rata pekerjaan yang menunggu (antri) dalam baris antrian pada unit-unit produksi.

Pengertian penjadwalan di atas tidak terbatas hanya untuk penjadwalan mesin saja sebagai faktor utama dalam penentuan penjadwalan tetapi meliputi unit-unit produksi (*resources*) yang berkaitan langsung pada proses produksi, setiap aktivitas yang diminta pada jenis sumber daya untuk sebuah waktu yang disebut waktu proses. Sumber daya juga memiliki bagian-bagian yang disebut mesin, sel, transportasi, penundaan dan sebagainya. hal ini menunjukkan bahwa penjadwalan tidak hanya terbatas pada mesin saja tetapi setiap elemen kerja yang membutuhkan waktu (Ginting, 2009).

Menurut Widodo (2014) Penjadwalan sebagai pengambilan keputusan tentang penyesuaian aktivitas dan sumber daya dalam rangka menyelesaikan sekumpulan pekerjaan agar tepat pada waktunya dan mempunyai kualitas seperti yang diinginkan. Keputusan yang dibuat dalam penjadwalan meliputi :

- 1) pengurutan pekerjaan (*sequencing*),
- 2) waktu mulai dan selesai pekerjaan (*timing*), dan
- 3) urutan operasi untuk suatu pekerjaan (*routing*).

Persoalan penjadwalan timbul apabila terdapat beberapa *job* yang harus diproses secara bersamaan, sedangkan jumlah mesin dan peralatan yang dimiliki terbatas. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki diperlukan adanya penjadwalan sumber-sumber tersebut secara efisien. (Magal, 2017).

2.2.2 Tujuan Penjadwalan

Beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan adalah sebagai berikut:

- 1) Meningkatkan penggunaan sumberdaya atau mengurangi waktu tunggunya, sehingga total waktu proses dapat berkurang, dan produktivitas dapat meningkat.
- 2) Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumberdaya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain. Teori

Baker mengatakaru jika aliran kerja suatu jadwal konstan, maka antrian yang mengurangi rata-rata waktu alir akan mengurangi rata-rata persediaan barang setengah jadi.

- 3) Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimisasi *penalty cost* (biaya kelambatan).
- 4) Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan. (Ginting, 2009)

2.3 Istilah-Istilah Dalam Penjadwalan

Didalam penjadwalan ada beberapa istilah yang sering digunakan untuk menyelesaikan beberapa persoalan dengan metode *scheduling*, istilah-istilah tersebut adalah sebagai berikut:

1) *Processing time* (t_i)

Adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan suatu pekerjaan. Dalam waktu proses ini sudah termasuk waktu yang dibutuhkan untuk persiapan dan pengaturan (*set-up*) selama proses berlangsung.

- *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 .

2) *Due-date* (d_i)

Adalah batas waktu di mana operasi terakhir dari suatu pekerjaan harus selesai.

- *Due date*, batas waktu yang ditentukan untuk tugas yang telah lewat, yang akan dinyatakan dengan terlambat. Diasumsikan bahwa akan diberikan denda bila terlambat. *Due date* dinyatakan dengan d_i .

3) *Slack time* (SL_i)

Adalah waktu tersisa yang muncul akibat dari waktu prosesnya lebih kecil dari *due-date*-nya.

$$SL_i = d_i - t_i \dots\dots\dots(1)$$

- *Slack*, ukuran perbedaan antara waktu sisa dari batas waktu tugas dengan waktu prosesnya (*processing time*). *Slack* dinyatakan dengan

$$SL_i: SL_i = d_i - t_i \dots\dots\dots(2)$$

4) *Flow time* (F_i)

Flow time, rentang waktu antara satu titik di mana tugas tersedia untuk diproses dengan suatu titik ketika tugas tersebut selesai. Jadi, *flow time* sama dengan *processing time* dijumlahkan dengan waktu ketika tugas menunggu seberum diproses. *Flow time* dinyatakan dengan F_i

5) *Completion time* (C_i)

Adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan mulai dari saat tersedianya pekerjaan ($t = 0$) sampai pada pekerjaan tersebut selesai dikerjakan.

- *Completion time*, rentang antara awal dari tugas pada pekerjaan pertama, dimana waktunya mengacu pada $t = 0$ dengan waktu ketika tugas selesai, Simbol dinyatakan dengan C_i .

6) *Lateness* (L_i)

Adalah selisih antara *Completion time* (C_i) dengan *due-date*-nya (d_i). suatu pekerjaan memiliki *lateness* yang bernilai positif apabila pekerjaan tersebut diselesaikan setelah *due-datenya*, pekerjaan tersebut akan memiliki keterlambatan yang negatif. sebaliknya jika pekerjaan diselesaikan setelah batas waktunya, pekerjaan tersebut memiliki keterlambatan yang positif.

7) *Tardiness* (T_i)

Adalah ukuran waktu terlambat yang bernilai positif jika suatu pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat dari *due-date*-nya, pekerjaan tersebut akan memiliki keterlambatan yang negatif. sebaliknya jika pekerjaan diselesaikan setelah batas waktunya, pekerjaan tersebut memiliki keterlambatan yang positif.

- *Tardiness*, 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 .
Tardiness dinyatakan dengan T_i , dimana T_i adalah maksimum dari $\{0, L_i\}$

8) *Makespan* (M)

Adalah total waktu penyelesaian pekerjaan-pekerjaan mulai dari urutan pertama yang dikerjakan pada mesin atau *work center* pertama sampai kepada urutan pekerjaan terakhir pada mesin atau *work center* terakhir.

9) *Heuristic*

Prosedur penyelesaian suatu masalah atau aturan ibu jari (*rule of thumb*) yang ditunjukkan untuk memproduksi hasil yang baik tetapi tidak menjamin hasil yang optimal.

2.4 Jenis-jenis Penjadwalan

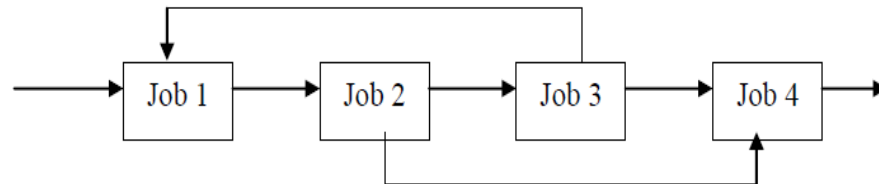
Penjadwalan secara garis besar dapat dibedakan dalam penjadwalan untuk *job shop* dan *flow shop*. Permasalahan yang membedakan antara *job shop* dan *flow shop* adalah pola aliran kerja yang tidak memiliki tahapan-tahapan proses yang sama. Untuk dapat melakukan penjadwalan dengan baik maka waktu proses kerja setiap mesin serta jenis pekerjaannya perlu diketahui, waktu tersebut dapat diperoleh melalui pengukuran waktu kerja, jenis serta jumlah pekerjaan diperoleh dengan melakukan pengamatan dari operator pada bagian tertentu. setelah mengetahui jenis serta waktu proses kerja setiap mesin yang akan dijadwalkan maka proses penjadwalan baru dapat dilakukan.

Berdasarkan urutan produksi, penjadwalan produksi memiliki dua tipe, yaitu sebagai berikut :

1. Penjadwalan Produksi Tipe *Job Shop*

Penjadwalan *job shop* adalah pola alir dari N *job* melalui M mesin dengan pola alir sembarang. Selain itu penjadwalan *job shop* dapat berarti

setiap *job* dapat dijadwalkan pada satu atau beberapa mesin yang mempunyai pemrosesan sama atau berbeda. Aliran kerja *job shop* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Pola Aliran Kerja Job Shop
(Masruroh, 2008)

Penjadwalan *job shop* berbeda dengan penjadwalan *flow shop*, hal ini disebabkan karena (Arman, 1999) :

- *Job shop* menangani variasi produk yang sangat banyak, dengan pola aliran yang berbeda-beda melalui pusat-pusat kerja.
- Peralatan pada *job shop* digunakan secara bersama-sama oleh bermacam-macam order dalam prosesnya, sedangkan peralatan pada *flow shop* digunakan khusus hanya satu jenis produk.
- *Job-job* yang berbeda mungkin ditentukan oleh prioritas yang berbeda pula. Hal ini mengakibatkan order tertentu yang dipilih harus diproses seketika pada saat order tersebut ditugaskan pada suatu pusat kerja. Sedangkan pada *flow shop* tidak terjadi permasalahan seperti diatas karena keseragaman output yang diproduksi untuk persediaan. Prioritas order *flow shop* dipengaruhi terutama pada pengirimannya dibandingkan tanggal pemrosesan.

Pada penjadwalan *job shop*, sebuah operasi dinyatakan sebagai triplet (i,j,k) yang berarti operasi ke j , *job* ke- i , membutuhkan mesin ke- k .
uksi dengan pola *job shop*.

Dalam penjadwalan produksi tipe *job shop* terdapat metode-metode yang dapat digunakan guna menyelesaikan masalah penjadwalan tipe ini ada dua macam yaitu Metode penjadwalan *Active* dan Metode penjadwalan *Non Delay*.

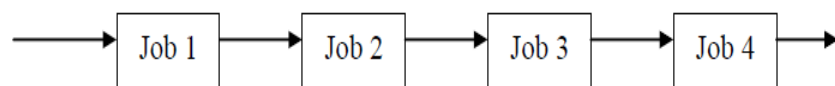
2. Penjadwalan Produksi Tipe *Flow Shop*

Penjadwalan *flow shop* adalah pola alir dari N buah *Job* yang melalui proses yang sama (searah). Model *flow shop* merupakan sebuah pekerjaan yang dianggap sebagai kumpulan dari operasi-operasi dimana diterapkannya sebuah struktur presenden khusus.

Penjadwalan *flow shop* dicirikan oleh adanya aliran kerja yang satu arah dan tertentu. Pada dasarnya ada beberapa macam pola *flow shop* yaitu:

a. *Flow shop* murni

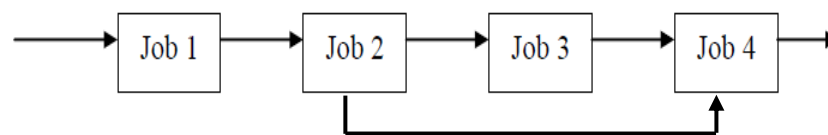
Kondisi dimana sebuah *job* diharuskan menjalani satu kali proses untuk tiap-tiap tahapan proses. Misalnya, masing-masing *job* melalui mesin 1, kemudian mesin 2, mesin 3 dan seterusnya sampai dengan mesin pada proses yang paling akhir. Dibawah ini diberikan gambaran sistem produksi dengan *flow shop* murni :



Gambar 2.2 Pola Aliran *Flow Shop* Murni
(Masruroh, 2008)

b. *Flow shop* umum

Kondisi dimana sebuah *job* boleh melalui seluruh mesin produksi, dimana mulai awal sampai dengan yang terakhir. Dan selain itu sebuah *job* boleh melalui beberapa mesin tertentu, yang mana mesin tersebut masih berdekatan dengan mesin-mesin lainnya dan masih satu arah lintasannya. Berikut ini contoh sistem produksi dengan pola *flow shop* umum :



Gambar 2.3 Pola Aliran *Flow Shop* Umum
(Masruroh, 2008)

2.5 Faktor-faktor Penjadwalan

Menurut Conway (2001:56), masalah penjadwalan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor. Berikut dijelaskan faktor-faktor tersebut.

- 1) Jumlah mesin, berdasarkan jumlah mesin yang bekerja dibagi menjadi dua bagian yaitu:
 - a. penjadwalan pada mesin tunggal, dan
 - b. penjadwalan pada mesin ganda.
- 2) Pola kedatangan *job*, berdasarkan pola kedatangan *job* dibagi menjadi dua bagian yaitu:
 - a. statik, semua *job* datang secara bersamaan dan siap dikerjakan pada mesin-mesin yang tidak bekerja, dan

b. dinamik, *job* datang secara acak selama diadakan penjadwalan.

3) Sistem informasi, berdasarkan sistem informasi dibagi menjadi dua bagian yaitu:

a. informasi bersifat deterministik, dan

b. informasi bersifat stokastik.

Informasi ini meliputi informasi yang berhubungan dengan karakteristik *job*, yaitu saat kedatangan, batas waktu penyelesaian, perbedaan kepentingan di antara *job-job* yang dijadwalkan, banyaknya operasi, serta waktu proses tiap operasi. Disamping itu terdapat pula informasi yang menyangkut karakteristik mesin, seperti jumlah mesin, kapasitas, fleksibilitas serta efisiensi penggunaan yang berbeda untuk *job* yang berbeda.

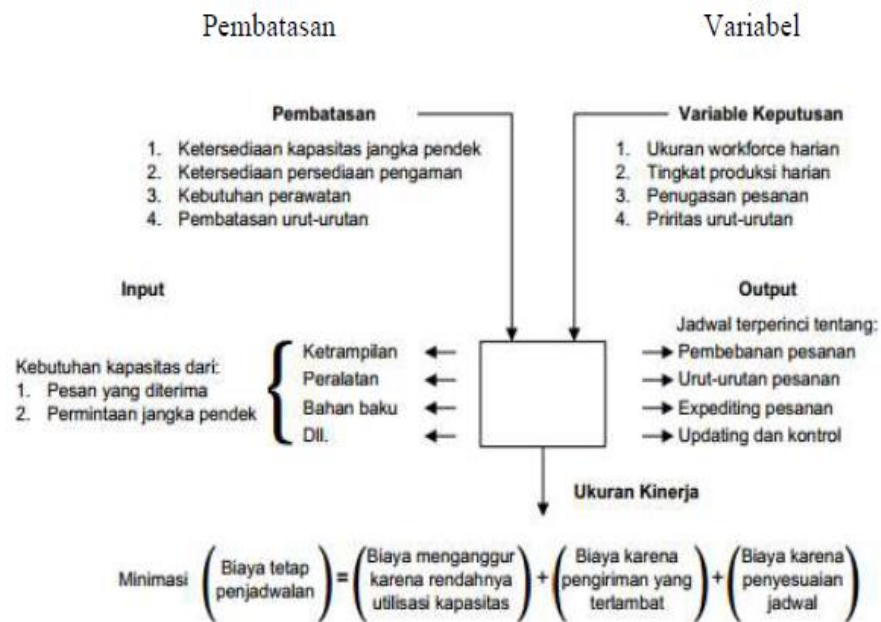
2.5 *Input dan Output Sistem Penjadwalan*

2.5.1 *Input Sistem Penjadwalan*

Pekerjaan-pekerjaan yang berupa alokasi kapasitas untuk *order-order*, penugasan prioritas *job*, dan pengendalian jadwal produksi membutuhkan informasi terperinci, dalam informasi-informasi tersebut akan menyatakan input dari sistem penjadwalan. Pada bagian ini, kita harus menentukan kebutuhan-kebutuhan kapasitas dari *order-order* yang dijadwalkan dalam hal macam dan jumlah sumber daya yang digunakan. Untuk produk-produk tertentu, informasi ini diperoleh dari lembar kerja operasi (berisi ketrampilan dan peralatan yang dibutuhkan, waktu standar, dan lain-lain) dan BOM (berisi kebutuhan-kebutuhan

akan komponen, sub komponen, dan bahan pendukung). Kualitas dari keputusan-keputusan penjadwalan sangat dipengaruhi oleh ketepatan estimasi input-input diatas. Oleh karena itu, pemeliharaan catatan terbaru tentang status tenaga kerja dan peralatan yang tersedia dan perubahan kebutuhan kapasitas yang diakibatkan perubahan desain produk atau proses menjadi sangat penting.

Apabila digambarkan, maka elemen-elemen output input, prioritas-prioritas dan ukuran kinerja dari sistem penjadwalan akan tampak seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.4 Input Sistem Penjadwalan
(Ginting, 2009)

2.5.2 Output Sistem Penjadwalan

Untuk memastikan bahwa suatu aliran kerja yang lancar melalui tahapan produksi, maka sistem penjadwalan harus membentuk aktivitas-aktivitas *output* sebagai berikut:

1. Pembebanan (*loading*)

Pembebanan melibatkan penyesuaian kebutuhan kapasitas untuk order-order yang diterima atau diperkirakan dengan kapasitas yang tersedia. Pembebanan dilakukan dengan menugaskan order-order pada fasilitas-fasilitas, operator-operator, dan peralatan tertentu.

2. Pengurutan (*sequencing*)

Pengurutan ini merupakan penugasan tentang order-order mana yang diprioritaskan untuk diproses dahulu bila suatu fasilitas harus memproses banyak *job*.

3. Prioritas *Job* (*dispatching*)

Prioritas *job* merupakan prioritas kerja tentang *job-job* mana yang diseleksi dan diprioritaskan untuk diproses.

4. Pengendalian kinerja penjadwalan

Pengendalian kinerja penjadwalan dilakukan dengan:

- Meninjau kembali status *order-order* pada saat melalui sistem tertentu.
- Mengatur kembali urutan-urutan, misalnya *expediting* order-order yang jauh di belakang atau mempunyai prioritas utama.

5. *Up-dating* jadwal

Up-dating jadwal dilakukan sebagai refleksi kondisi operasi yang terjadi dengan merevisi prioritas-prioritas. (Ginting, 2009)

2.6 Pengurutan (*Squencing*)

Menurut Nasution (1999), aturan prioritas memberikan panduan urutan-urutan pekerjaan yang harus dilaksanakan. Aturan prioritas mencoba untuk mengurangi waktu penyelesaian, jumlah pekerjaan dalam sistem, dan keterlambatan kerja sementara penggunaan fasilitas bisa maksimum. Ada beberapa cara penentuan prioritas yang dapat digunakan sebagai simulasi untuk menetapkan pedoman *dispatching* prioritas yang terbaik. Beberapa pedoman atau metode yang dapat digunakan adalah sebagai berikut:

- a. FCFS (*First Come First Serve*) adalah metode yang melakukan urutan penyelesaian waktu proses produksi berdasarkan urutan kedatangannya, dimana *job* yang datang pertama akan dilayani dahulu.
- b. EDD (*Earliest Due Date*) adalah metode yang melakukan urutan penyelesaian waktu proses produksi berdasarkan tanggal dimana barang harus diselesaikan. Diurutkan berdasarkan due date yang terkecil.
- c. SPT (*Shortest Processing Time*) adalah sebuah metode yang mendahulukan penyelesaian proses produksi berdasarkan waktu proses yang tercepat.
- d. LPT (*Longest Processing Time*) adalah sebuah metode yang mendahulukan penyelesaian proses produksi berdasarkan waktu proses yang paling lama.
- e. LS (*Least Slack*) Waktu longgar didefinisikan sebagai waktu tersisa sampai tanggal penyelesaian dikurangi dengan waktu pemrosesan.

Pekerjaan dengan waktu longgar paling kecil atau nol akan diproses terlebih dahulu.

- f. PCO (*Preferred Customer Order*) adalah sebuah metode yang memilih pekerjaan berdasarkan pada prioritas pentingnya langganan bagi perusahaan.
- g. RS (*Random Selection*) Pekerjaan berikutnya yang akan diproses dipilih secara acak.
- h. CR (*Critical Ratio*) aturan ini akan mengurutkan pekerjaan dengan menghitung waktu sisa sampai dengan batas waktu pengerjaannya. (Nasution, 1999)

2.7 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu kerja merupakan aktivitas yang dilakukan untuk mengamati pekerja dan mencatat waktu kerja termasuk waktu siklus dengan menggunakan alat ukur yang sesuai. Waktu yang diukur adalah waktu siklus pekerjaan, yakni waktu penyelesaian satu satuan pekerjaan mulai bahan diproses di unit pengolahan hingga keluar dari unit tersebut. Umumnya pengukuran waktu dapat dibagi dalam dua bagian, yaitu :

a. Pengukuran Waktu Secara Langsung

Pengukuran waktu yang dilakukan di tempat pekerjaan di mana pekerjaan bersangkutan dijalankan. Metode pengukuran secara langsung dapat dibagi menjadi dua

1. Metode *Sampling*

Pekerjaan pengamat tidak harus menetap di tempat kerja, melainkan melakukan pengamatan secara sesaat pada waktu yang telah ditentukan secara acak/*random*.

Untuk itu biasanya satu hari kerja dibagi ke dalam satuan-satuan waktu yang besarnya ditentukan oleh pengukur. (Wignjosoebroto, 2008)

2. Metode Waktu Jam Henti/*Stopwatch*

Pada pengukuran waktu henti dilakukan dengan tiga metode:

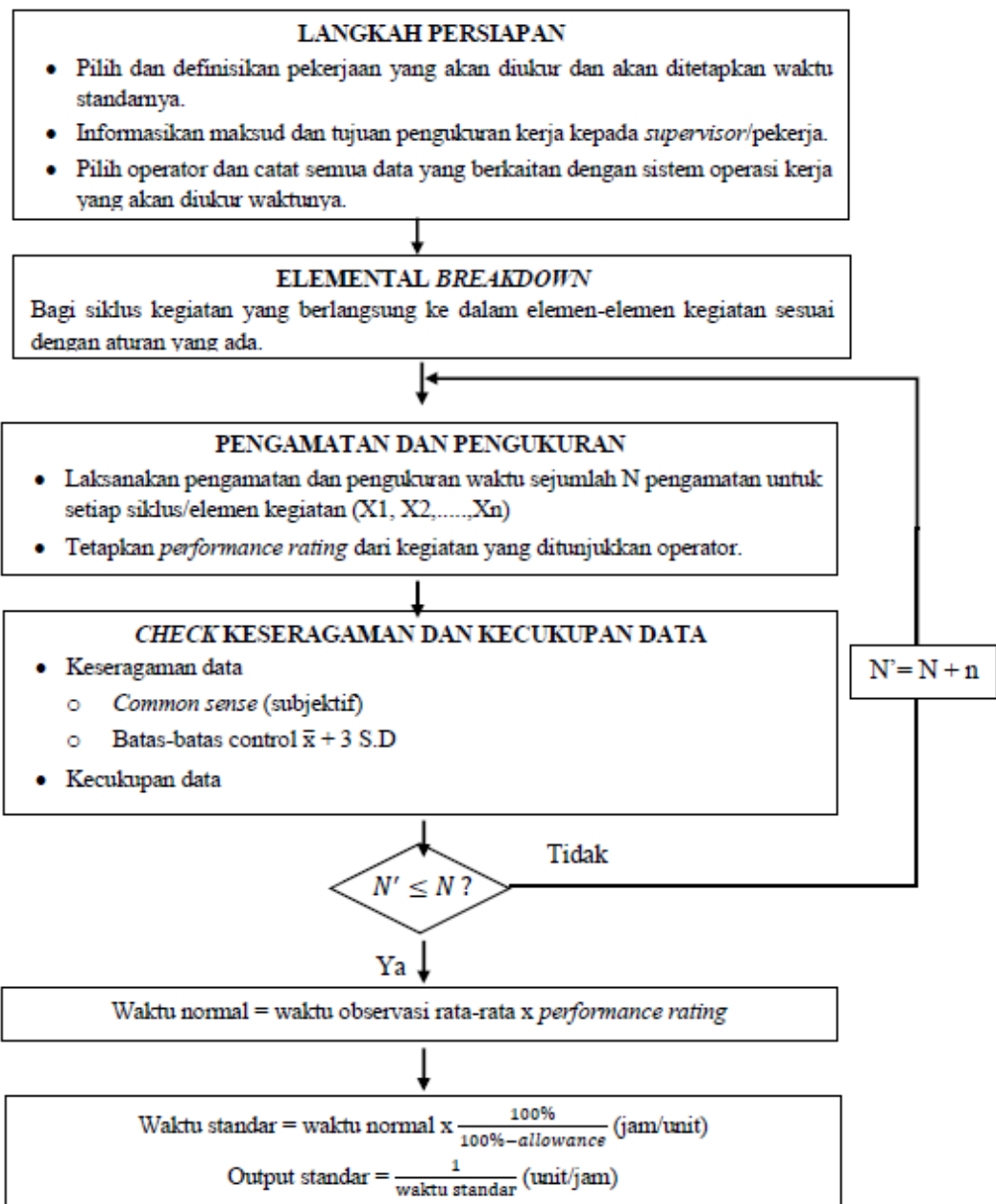
- a) Metode Berulang (*Snap Back Method*), yaitu pengukuran waktu secara berulang, stopwatch dijalankan dan pada akhir elemen kerja *stopwatch* dibaca dan dicatat. Untuk mengukur elemen lainnya jarum *stopwatch* dikembalikan pada titik nol
 - b) Metode Kontinu (*Continious Method*), yaitu stopwatch dijalankan pada permulaan pengamatan hingga elemen kerja terakhir selesai. Pembacaan dan pencatatan terhadap waktu kumulatif dilakukan setiap akhir dari masing-masing elemen pekerjaan.
 - c) Metode Akumulatif (*Accumulative Method*), yaitu pengukuran waktu yang dilakukan dengan menggunakan dua *stopwatch* yang digabungkan sedemikian rupa, sehingga jika *stopwatch* yang pertama dijalankan maka *stopwatch* yang kedua berhenti secara otomatis dan sebaliknya. Pengukuran waktu secara akumulatif memungkinkan pembacaan langsung dari masing-masing elemen kerja. (Wignjosoebroto, 2008)
- b. Pengukuran Waktu Secara Tidak Langsung

Pengukuran waktu yang dilakukan tanpa harus ada di tempat pekerjaan. Hal ini dilakukan dengan membaca tabel/grafik yang tersedia, asalkan mengetahui jalannya pekerjaan melalui elemen-elemen pekerjaan atau elemen-elemen gerakan, misal data waktu baku dan data waktu gerakan. (Wignjosoebroto, 2008)

2.8 Pengukuran Waktu Jam Henti

Pengukuran waktu kerja dengan jam henti (*stopwatch time study*) diperkenalkan pertama kali oleh Frederick W. Taylor sekitar abad 19 yang lalu. Metode ini terutama sekali baik diaplikasikan untuk pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang-ulang (*repetitive*). Dari hasil pengukuran maka akan diperoleh waktu baku untuk menyelesaikan suatu siklus pekerjaan, yang mana waktu ini akan dipergunakan sebagai standar penyelesaian pekerjaan bagi semua pekerja yang akan melaksanakan pekerjaan yang sama. (Wignjosoebroto, 2008)

Gambar 2. 5 Langkah-langkah Sistematis dalam Kegiatan Pengukuran Kerja dalam Jam Henti



Gambar 2.5 Langkah-langkah Sistematis dalam Kegiatan Pengukuran Kerja dalam Jam Henti (*Stopwatch Time Study*) (Wignjosoebroto, 2008)

Berdasarkan langkah-langkah terlihat bahwa pengukuran kerja dengan jam henti ini merupakan cara pengukuran yang objektif karena disini waktu ditetapkan berdasarkan fakta yang terjadi dan tidak cuma sekedar diestimasi secara subjektif. Menurut Wignjosoebroto (2008), suatu pekerjaan akan

dikatakan diselesaikan secara efisien apabila waktu penyelesaiannya berlangsung paling singkat. Secara garis besar, langkah-langkah untuk pelaksanaan pengukuran waktu kerja dengan jam henti ini dapat secara sistematis, seperti berikut ini

1. Pengukuran pendahuluan

Dalam kegiatan pengukuran yang pertama dilakukan adalah melakukan pengukuran pendahuluan dimana bertujuan untuk mengetahui berapa kali pengukuran harus dilakukan untuk tingkat ketelitian dan keyakinan yang diinginkan.

2. Pengujian kecukupan data

Banyaknya pengamatan yang harus dilakukan dalam sampling kerja akan dipengaruhi oleh dua faktor utama yaitu tingkat ketelitian dari hasil pengamatan dan tingkat keyakinan dari hasil pengamatan. Dengan asumsi bahwa terjadinya kejadian seorang operator akan bekerja atau mengganggu mengikuti pola distribusi normal, maka untuk mendapatkan jumlah pengamatan yang harus dilakukan dapat dicari dengan rumus:

$$N' = \left(\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right)^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana : N'= Jumlah pengamatan yang harus dilakukan

S = Tingkat ketelitian yang dikehendaki (bentuk desimal)

1) S = 0,005 jika derajat ketelitian 5%

2) S = 0,1 jika derajat ketelitian 10%

3) $S = 0,2$ jika derajat ketelitian 20%

x_i = Data waktu

k = Harga indeks yang besarnya bergantung pada tingkat kepercayaan yang diambil

1) Tingkat kepercayaan 68% mempunyai harga $k = 1$

2) Tingkat kepercayaan 95% mempunyai harga $k = 2$

3) Tingkat kepercayaan 99% mempunyai harga $k = 3$

3. Pengujian keseragaman data

Pengujian keseragaman data adalah suatu pengujian yang berguna untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan berasal dari suatu sistem yang sama. Melalui pengujian ini kita dapat mengetahui adanya perbedaan-perbedaan dan data-data yang diluar batas kendali yang dapat kita gambarkan pada peta control. Data-data yang demikian dibuang dan tidak dipergunakan dalam perhitungan selanjutnya. Pengujian keseragaman data dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\text{Batas Kontrol Atas (BKA)} = \text{BKA} = \bar{x} + 3 \text{ SD} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Batas Kontrol Bawah (BKB)} = \text{BKB} = \bar{x} - 3 \text{ SD} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana : \bar{x} = Nilai rata-rata

SD = Standar Deviasi

4. Menyesuaikan waktu kerja dengan *performance rating* yang ditujukan oleh operator tersebut. Untuk menormalkan waktu kerja yang diperoleh dari hasil pengamatan, maka hal ini dilakukan dengan mengadakan

penyesuaian yaitu dengan cara mengalikan waktu pengamatan rata-rata (bisa waktu siklus ataupun waktu untuk tiap-tiap elemen) dengan faktor penyesuaian.

5. Penetapan Kelonggaran (*Allowance*)

Waktu normal untuk suatu pekerjaan adalah untuk menunjukkan bahwa seorang operator yang berkualifikasi baik akan bekerja menyelesaikan pekerjaan pada kecepatan tempo kerja normal. Walaupun demikian pada kenyataannya kita akan melihat bahwa tidaklah bisa diharapkan operator tersebut akan mampu bekerja secara terus-menerus sepanjang hari. Operator akan sering menghentikan kerja dan membutuhkan waktu khusus untuk keperluan seperti kebutuhan pribadi, istirahat untuk melepas lelah dan alasan-alasan lain di luar kontrolnya.

6. Tetapkan waktu kerja baku (*standard time*)

yaitu jumlah total antara waktu normal dan waktu longgar. Waktu baku merupakan waktu yang diperlukan pekerja yang memiliki tingkat kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan diberikan kelonggaran (*allowance*) untuk hal-hal yang diperlukan.

2.9 Metode *Branch and Bound*

Algoritma *Branch and Bound*, atau yang biasa disingkat dengan B&B merupakan metode pencarian solusi di dalam ruang solusi secara sistematis, yang di implementasikan ke dalam suatu pohon ruang status dinamis. Pada algoritma ini, problem digambarkan dalam bentuk diagram pohon dimana masing-masing cabang menggambarkan urutan parsial. Untuk menentukan

bagian mana yang menjadi cabang, dihitung *makespan* terendah (*lower bound*) dari masing-masing cabang. (Mangnggenre, Rapi, & Flannery, 2014)

Metode *Branch and Bound* merupakan salah satu metode yang baik untuk digunakan dalam menyelesaikan masalah kombinasi dengan menggunakan strategi pengurangan jumlah perhitungan yang dilakukan, dalam metode ini terdapat dua prosedur dasar yaitu *branching* (percabangan) dan *bounding* (pembatasan). *Branching* adalah proses pembagian atau percabangan satu masalah yang besar atau rumit menjadi dua atau lebih sub masalah yang lebih kecil atau sederhana, sedangkan *bounding* adalah proses menghitung batas bawah solusi optimal dari sub masalah yang diperoleh dari percabangan (Lesmana, 2016)

2.9.1 Bentuk Persamaan Dalam Metode *Branch And Bound*

Dalam menyelesaikan masalah penjadwalan pada system produksi yang bersifat *flow shop*, menggunakan pendekatan Algoritma Branch and Bound untuk aliran produksi *flow shop* yang dikembangkan oleh Ignall and Scharge, dan Lomnicki. Contoh yang diambil kali ini adalah penjadwalan tiga mesin. Adapun perhitungan untuk tiga mesin adalah sebagai berikut :

Memilih *job* yang terlebih dahulu dikerjakan, kemudian menghitung *lower bound* di mesin 1 (*b1*), *lower bound* di mesin 2 (*b2*), dan *lower bound* di mesin 3 (*b3*)

$$b1 = q1 + \sum_{j \in \sigma} tj1 + \min_{j \in \sigma} \{tj2 + tj3\} \dots\dots\dots (6)$$

Kemudian menghitung b untuk mesin ke dua

$$b_2 = q_2 + \sum_{j \in \sigma} t_{j2} + \min_{j \in \sigma} \{t_{j3}\} \dots\dots\dots (7)$$

Yang terakhir menghitung untuk mesin ke tiga

$$b_3 = q_3 + \sum_{j \in \sigma} t_{j3} \dots\dots\dots (8)$$

kemudian menentukan nilai B

$$B = \max \{b_1, b_2, b_3\} \dots\dots\dots (9)$$

Lakukan langkah yang sama untuk menghitung urutan pengerjaan yang berbeda dan pilih B terkecil, atau jika perhitungan penjadwalan dengan menggunakan m mesin maka dapat memakai rumus.

$$b_i = q_i + \sum_{j \in \sigma} t_{ji} + \min_{j \in \sigma} \{ \sum_{i=i+1}^m t_{ji} \} \dots\dots\dots (10)$$

$$BK = \max_K \{b_i\} \dots\dots\dots (11)$$

$$M = \min_K \{BK\} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

b_i = *lower bound*, adalah hasil perhitungan dari nilai batas bawah pada mesin i.

q_i = jumlah *completion time* yang terakhir pada mesin i.

σ = *job* yang belum dijadwalkan.

t_{ij} = waktu proses *job j* pada mesin i.

m = banyaknya tahapan pengerjaan di mesin.

n = banyaknya *job*

BK = *max lower bound* untuk *partial sequencing* ke-K

$M = \min$ lower bound dari job j (Lesmana, 2016)

2.9.2 Langkah-langkah Penyelesaian Metode *Branch and Bound*

Dalam menyelesaikan persamaan dalam metode *Branch and Bound* ada beberapa langkah-langkah yang harus diselesaikan terlebih dahulu diantaranya :

1. Pencabangan (*Branching*)

Pencabangan dilakukan berdasarkan *job* yang akan dijadwalkan. Pencabangan ini memiliki tujuan untuk mengetahui *node* yang akan mengalami pencabangan selanjutnya (*sub-branching*) dengan nilai maksimum diantara *node-node* yang ada.

2. Penentuan iterasi dan parsial *sequence*

Jumlah maksimum iterasi (n) sesuai dengan jumlah *job* yang akan dijadwalkan. Tujuan dari parsial *sequence* adalah untuk mengetahui penjadwalan yang dijadikan acuan dalam proses perhitungan dengan algoritma *Branch and Bound*.

3. Penentuan batas bawah (*lower bound*)

Penentuan batas bawah pada algoritma *Branch and Bound* yang biasa disebut bounding adalah untuk mengetahui batas bawah setiap *job* yang akan dianggap sebagai *job* terakhir yang akan dijadwalkan. Sehingga dengan perbandingan batas bawah ini dapat lebih mengoptimalkan hasil yang diperoleh.

4. Penentuan B_{Max}

B_{\max} adalah nilai batas bawah yang paling maksimum dari setiap batas bawah yang berada pada suatu *parsial sequence*. Notasi yang digunakan adalah :

q_m = Waktu penyelesaian pada mesin m

P = *Parsial sequence*

b_m = *Lower bound* pada mesin m

B_{\max} = Nilai maksimum dari b_m

t_{jm} = Waktu proses *job* j pada mesin m

T_{jm} = Total waktu *job* j pada mesin m

Berikut ini adalah tahapan pada algoritma *Branch and Bound* (Ruiz dan Vázquez-Rodríguez, 2010):

1. Menentukan iterasi n , set $n = 1$. Maksimum iterasi = jumlah *job* yang akan dijadwalkan.
2. Menentukan *parsial sequence* ($p = 1$)
3. Menentukan waktu penyelesaian *job* 1 di mesin 1
4. Menentukan waktu penyelesaian *job* 1 di mesin 2 dengan menjumlahkan waktu penyelesaian *job* 1 di mesin 1 dengan waktu penyelesaian *job* 1 di mesin 2
5. Menentukan nilai minimum dari waktu penyelesaian mesin 2 untuk setiap *job*
6. Menentukan jumlah waktu penyelesaian seluruh *job* pada mesin 1
7. Menentukan batas bawah untuk mesin 1 (b_1) yaitu dengan menjumlahkan hasil langkah 3, langkah 5 dan langkah 6.

8. Menentukan jumlah waktu penyelesaian seluruh *job* pada mesin 2
9. Menentukan batas bawah untuk mesin 2 (b_2) yaitu dengan menjumlahkan hasil langkah 4 dan langkah 8
10. Menentukan batas bawah maksimum (B_{max}) yaitu dengan membandingkan batas bawah mesin 1 dan mesin 2
11. Lakukan pengecekan apakah p sudah maksimal. Jika ya, lanjut ke langkah 12, jika tidak maka tentukan $p=p+1$ dan kembali ke langkah 2 dengan tidak mengikutsertakan kembali *job* 1 (*job* sebelumnya) pada perhitungan
12. Bandingkan nilai B_{max} dari setiap *partial sequence* kemudian pilih yang paling minimum
13. Jadwalkan *job* yang memiliki nilai B_{max} paling minimum ke dalam urutan penjadwalan
14. Buang *job* yang telah dijadwalkan dari perhitungan
15. Lakukan pengecekan apakah iterasi = $max\ n-1$. Jika ya letakkan *job* yang belum terjadwalkan pada urutan terakhir. Jika tidak lanjut ke langkah berikutnya.
16. Menentukan iterasi $n = n+1$ dan kembali ke langkah 1 (Maulidya, Batubara, & H.B, 2014)

2.10 Metode *Campbell Dudek Smith*

Metode *Campbell Dudek Smith* atau disingkat dengan CDS dikembangkan oleh HG. Campbell, R.A Dudek dan M.L. Smith yang didasarkan atas algoritma *Johnson*. Metode ini pada dasarnya memecahkan

persoalan n *job* pada mesin m mesin *flow shop* ke dalam $m-1$ set persoalan dua mesin *flow shop* dengan membagi m mesin ke dalam dua grup, kemudian pengurutan *job* pada kedua mesin tadi menggunakan algoritma Johnson. Setelah diperoleh banyak $m-1$ alternatif urutan *job*, kemudian dipilih urutan dengan *makespan* terkecil.

Setiap pekerjaan atau *job* yang akan diselesaikan harus melewati proses pada masing-masing mesin. Pada penjadwalan ini diusakan untuk mendapatkan harga *makespan* yang terkecil dari $(m-1)$ kemungkinan penjadwalan, penjadwalan dengan harga *makespan* terkecil merupakan urutan pengerjaan *job* yang paling baik.

Untuk penjadwalan n *job* terhadap m mesin, dilakukan algoritma *Johnson* sebagai berikut:

1. Ambil penjadwalan pertama ($k = 1$). Untuk urutan *job* yang ada, carilah harga $t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}^*$ yang minimum yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dan kedua, dimana $t_{i,1}^* = t_{i,1}$ dan $t_{i,2}^* = t_{i,2}$
2. Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama, (misal $t_{i,1}^*$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada awal deretan penjadwalan dan bila waktu minimum didapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}^*$), tugas tersebut ditempatkan pada posisi terakhir dari deret penjadwalan.
3. Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret penjadwalan. Jika masih ada *job* yang tersisah ulangi kembali langkah, sebaliknya jika tidak ada lagi *job* yang tersisa, berarti penjadwalan telah selesai. Dengan demikian, waktu proses dari kedua

mesin yaitu mesin pertama ($t_{i,1}^*$) dan mesin ($t_{i,2}^*$) pada penjadwalan ke-k adalah:

$$t_{i,1}^* = \sum_{k=1}^k t_{i,k} \dots\dots\dots (13)$$

$$t_{i,2}^* = \sum_{k=1}^k t_{1,m-k+1} \dots\dots\dots (14)$$

Keterangan :

$j = job$

$i = mesin$

$m = jumlah\ mesin\ yang\ bekerja\ (awal-akhir)$

$k = 1,2,3,\dots, (m-1)$

Jika jadwal ke-k = $(m - 1)$ sudah tercapai berarti penjadwalan *job* sudah selesai (Darmawan & Permatasari, 2018).

Metode CDS berkaitan dengan penggunaan multi tahap aturan *Johnson* terhadap masalah baru, berasal dari penggunaan semula dengan waktu pemrosesan tahap 1. Dengan perkataan lain aturan dari *Johnson* yang diterapkan pada yang pertama dan dengan operasi serta operasi-operasi pada tahap 2, yaitu aturan dari *Johnson* diterapkan untuk jumlah yang pertama dan yang terakhir pada kedua waktu pemrosesan di dalam tahapan umum.

Untuk setiap tahapan, pesanan pekerjaan yang diperoleh digunakan untuk memperhitungkan persesuaian untuk masalah yang sebenarnya. Untuk menghadapi hubungan-hubungan pada tahapan tersebut, maka salah satu pendekatan mungkin dapat mengevaluasi persesuaian untuk semua pilihan-pilihan pada tahapan tertentu. Di dalam penyajian awal, para penulis

mengusulkan hubungan-hubungan tersebut diantara pasangan pekerjaan dengan menggunakan aturan kedua pekerjaan pada tahap sebelumnya.

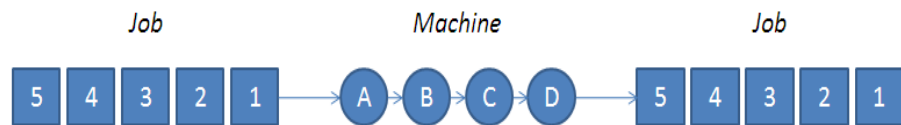
Dari penyusunan atau penjadwalan yang ada diharapkan akan mengurangi waktu menganggur dari mesin karena pengaturan yang kurang tepat. Metode *heuristic* yang paling penting untuk problem *makespan* adalah metode *Campbell, Dudek and Smith (CDS)*.

2.10.1 Metode Jhonson

Metode penjadwalan *Johnson* merupakan metode penjadwalan yang memiliki standard bahwa setidaknya dibutuhkan dua mesin atau dua tenaga manusia sebagai alat proses dari pekerjaan yang datang.

Standard dua mesin tersebut juga yang memunculkan *Johnson Problem* sebagai masalah Penjadwalan *flow shop* dengan dua mesin dengan tujuan minimasi *makespan*. Metode *Johnson* memungkinkan untuk mengerjakan pekerjaan yang datang lebih dari dua, namun dengan syarat keseluruhan pekerjaan tersebut dikerjakan dengan mesin atau operator atau proses kerja yang sama pada setiap pekerjaannya, hal tersebut menjai kontradiktif dengan jumlah mesin atau operator atau proses kerja yang dibatasi maksimal dua, namun ini menjadi algoritma dasar dari Metode *Dannenbring*. Gambar 1 memperlihatkan logika kerja dari alur pekerjaan yang masuk dan keluar dari proses, dimana pekerjaan yang pertama masuk dalam proses merupakan pekerjaan pertama yang akan keluar dari proses, sehingga pekerjaan pada daftar

antrian sesudahnya harus menunggu sampai pekerjaan yang mendahului selesai dikerjakan.



Gambar 2.6 Sistem Urutan Pekerjaan
(Tannady, 2013)

Beberapa langkah dari Metode *Johnson* adalah

- 1) Melakukan identifikasi terhadap seluruh jenis pekerjaan yang akan dikerjakan, identifikasi meliputi waktu pekerjaan pada setiap mesin atau operator kerja dan apakah pekerjaan dapat dilakukan pada produksi *flowshop* atau memiliki karakteristik khusus pengerjaan.
- 2) Mengurutkan tingkatan pekerjaan dengan menggunakan parameter waktu, sehingga pekerjaan yang memiliki waktu tercepat akan mendapat prioritas terlebih dahulu, hingga berikutnya sampai dengan pekerjaan dengan waktu proses paling lama.
- 3) Apabila hasil dari penentuan pekerjaan dengan waktu tercepat tersebut berada pada mesin atau pekerja pertama, maka akan diasumsikan pekerjaan tersebut menjadi pekerjaan awal atau pekerjaan pertama untuk mesin atau pekerja pertama, begitupun apabila pekerjaan tersebut berada pada pekerja kedua, akan dianggap sebagai pekerjaan untuk pekerja kedua namun diperhitungkan sebagai pekerjaan terakhir.

- 4) Menyusun penjadwalan keseluruhan, sehingga nanti akan terlihat total waktu penyelesaian keseluruhan pekerjaan dan juga dapat dianalisa waktu tunggu pekerjaan pada setiap mesin.

2.10.2 Langkah-langkah Penyelesaian Metode *Campbell Dudek Smith* (CDS)

Perhitungan metode *Campbell Dudek and Smith* dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

- 1) Ambil urutan pertama $k=1$. Untuk seluruh tugas yang ada, cari harga t^k dan t^k yang minimal yang merupakan waktu proses mesin pertama dan kedua pada *iterasi* ke- k .
- 2) Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal t^k) selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal, bila waktu minimal didapat pada mesin kedua (misal t^k) tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
- 3) Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan urutkan. Total waktu t_{11} yaitu waktu proses *job* 1 pada mesin 1. Total waktu t_{12} yaitu $t_{11}+t_{12}$. Total waktu t_{21} yaitu $t_{11}+t_{21}$. Total waktu t_{22} yaitu $\max \{t_{12}t_{21}\} + t_{22}$ dan seterusnya. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya jika tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai.