

Analysis Line Balancing Production (Analisa Keseimbangan Lini Produksi)

M. Hengki Riawan P, S.T., S.H., M.T., M.M

Pendahuluan

- Stasiun kerja (*Work Stations*) adalah area kerja yang terdiri dari satu atau lebih pekerja/mesin yang mempunyai tugas khusus
- Lini produksi (*Production line*) adalah urutan stasiun kerja dimana setiap stasiun kerja dirancang untuk mengerjakan tahap khusus dari proses produksi
- Efisiensi akan meningkat ketika pekerja secara khusus diberi tanggung jawab pada suatu pekerjaan, sehingga pekerja dapat menggunakan keahliannya dengan tepat.

Tujuan

- *Loading* (Pengalokasian), bertujuan untuk menyeimbangkan antara kebutuhan dengan kapasitas yang ada
- *Sequencing* (penentuan urutan), bertujuan untuk membuat prioritas pengerjaan dalam memproses order-order yang masuk
- *Dispatching*, yakni pemberian perintah-perintah kerja ke tiap mesin/pekerja

Manfaat

- Mencapai target produksi optimal, dimana setiap pekerja/mesin tidak mempunyai waktu menganggur
- Lini produksi berada pada kondisi beban penuh dengan prosentase rata-rata keseluruhan yang seimbang
- Keseimbangan output dari setiap tahapan operasi dari suatu lini produksi

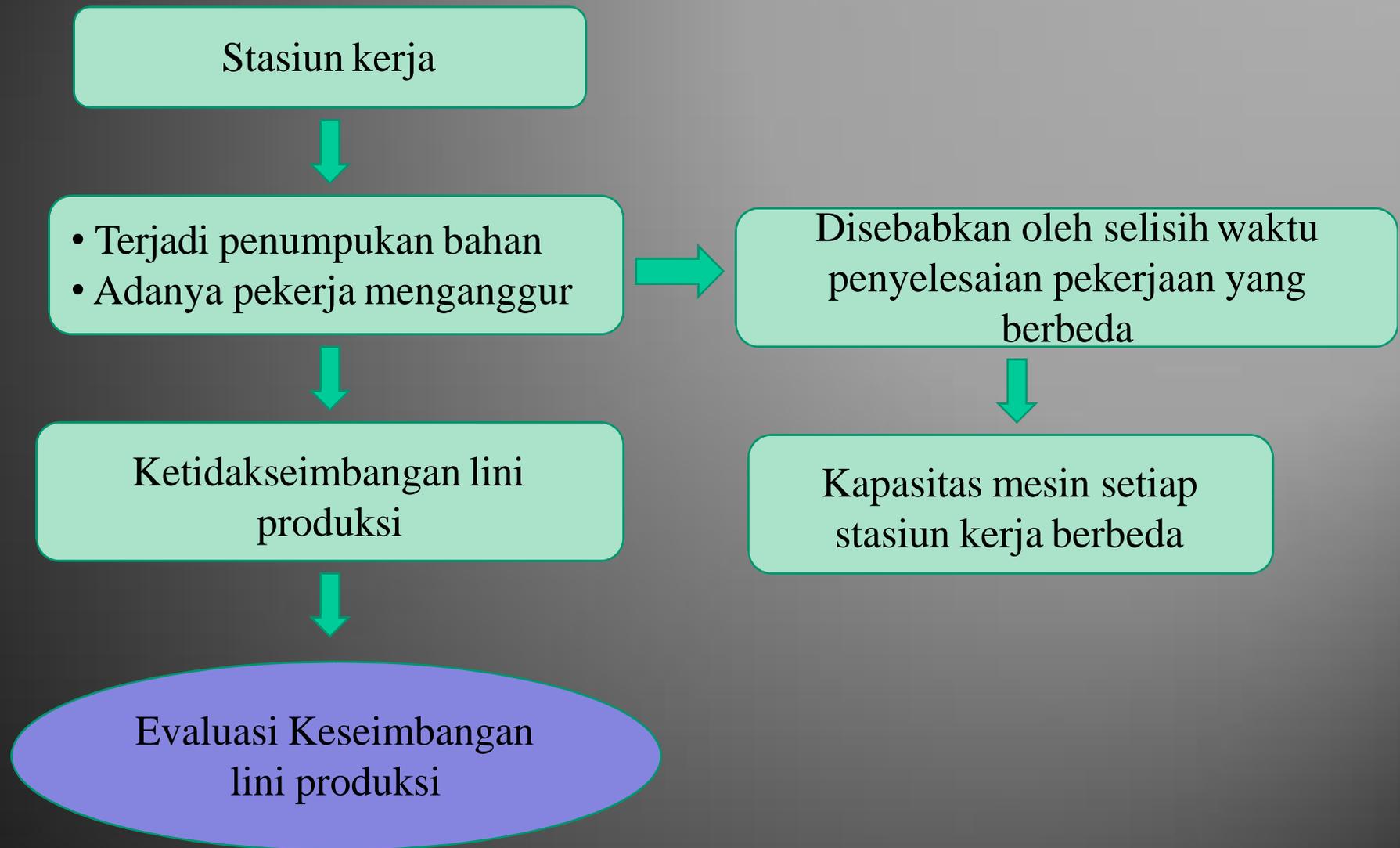
LINE BALANCING

Line Balancing adalah proses pengalokasian pekerjaan terhadap stasiun kerja sedemikian rupa sehingga stasiun-stasiun kerja yang ada memiliki kebutuhan waktu yang seimbang

Mengapa harus *Line Balancing*

- Pada dunia industri, efisiensi merupakan salah satu tujuan yang harus dicapai untuk kelangsungan perusahaan tersebut
- Efisiensi yang rendah akan mengakibatkan biaya produksi akan meningkat sehingga harga jualpun tinggi dan tidak bisa bersaing dipasaran serta keuntungan perusahaan akan berkurang
- Tingkat efisiensi suatu lini produksi haruslah baik atau tinggi dimana sebagai titik acuannya ialah produk yang dihasilkan dalam suatu satuan waktu tertentu sebanding dengan jumlah karyawan sehingga tingkat produksi akan naik dan rencana produksi akan tepat waktu (*On schedule*).

Lanjutan ...



Konsep Keseimbangan Lini Produksi

- Konsep *line balancing* tepat diterapkan dalam lingkungan repetitif manufakturing yang memproduksi secara massal.
- Permasalahan keseimbangan lintasan produksi paling banyak terjadi pada proses perakitan dibandingkan pada proses pabrikan.
- Pergerakan yang terus menerus kemungkinan besar dicapai dengan operasi-operasi perakitan yang dibentuk secara manual ketika beberapa operasi dapat dibagi dengan durasi waktu yang pendek.
- Semakin besar **fleksibilitas** dalam dalam mengkombinasikan beberapa tugas, maka semakin tinggi pula tingkat keseimbangan tingkat keseimbangan yang dapat dicapai, hal ini akan membuat aliran yang mulus dengan membuat utilisasi tenaga kerja dan perakitan yang tinggi (**Bank, Pabrik dll**)

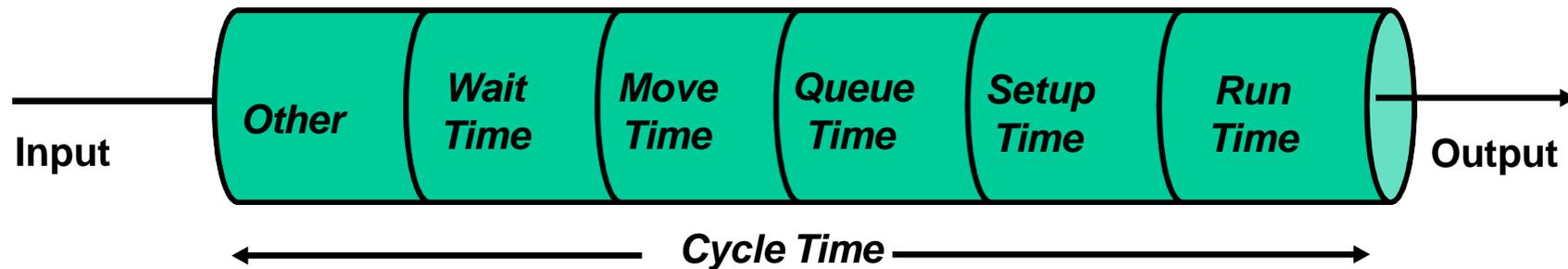
Prosedur

- Penentuan *Cycle Time* (Waktu Siklus)
- Penyiapan *precedence diagram* (Diagram prioritas urutan pekerjaan)
- Perhitungan jumlah minimum teoritis stasiun kerja
- Penyeimbangan lini

Istilah Penting: *Cycle time* (Waktu Siklus)

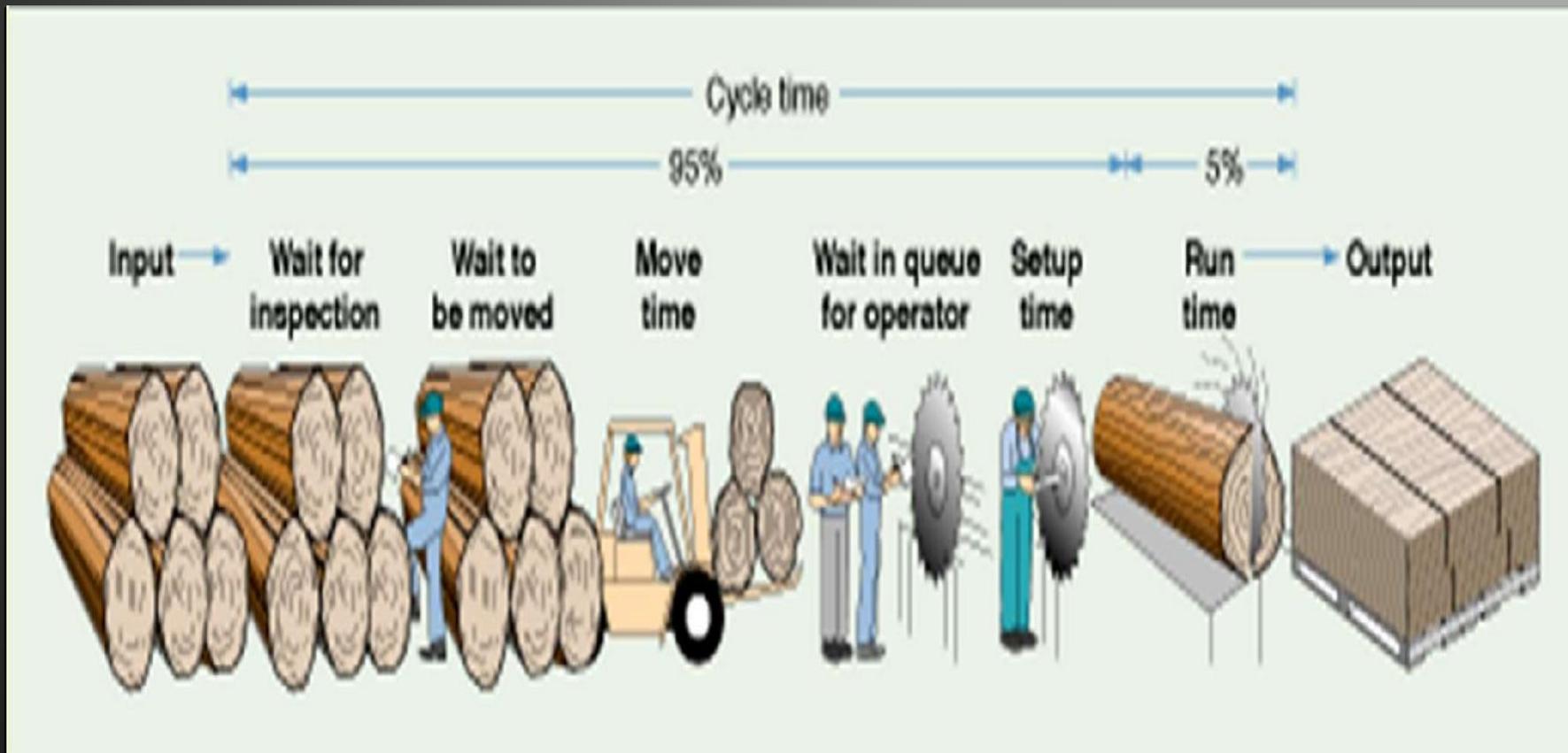
Cycle time adalah waktu maksimum yang diperbolehkan pada setiap lini atau stasiun kerja untuk menyelesaikan 1 set pekerjaan

Konsep *Cycle Time* Per 1 Stasiun Kerja



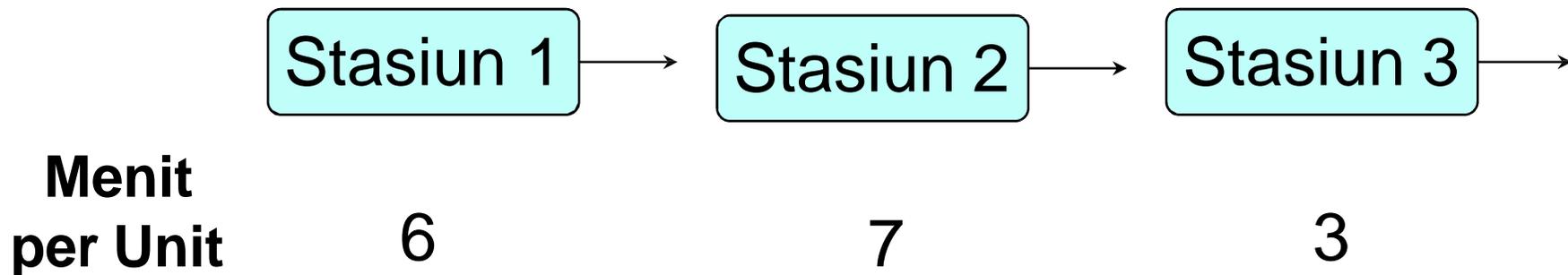
- 1** *Run time* : Waktu pekerjaan yang sebenarnya.
- 2** *Setup time* : Waktu yang diperlukan untuk menyiapkan sebuah mesin atau proses untuk produksi.
- 3** *Queue time* : Waktu Antrian – Pekerjaan yang tertunda untuk diproses karena menunggu proses dari pekerjaan lain selesai.
- 4** *Move time* : Waktu perpindahan.
- 5** *Wait time* : Waktu tunggu – Ketika suatu proses telah selesai, maka pekerjaan lain menunggu untuk segera diproses/dikerjakan.

Contoh Cycle Time Per 1 Stasiun Kerja



Konsep *Cycle Time* untuk *Line Balancing*

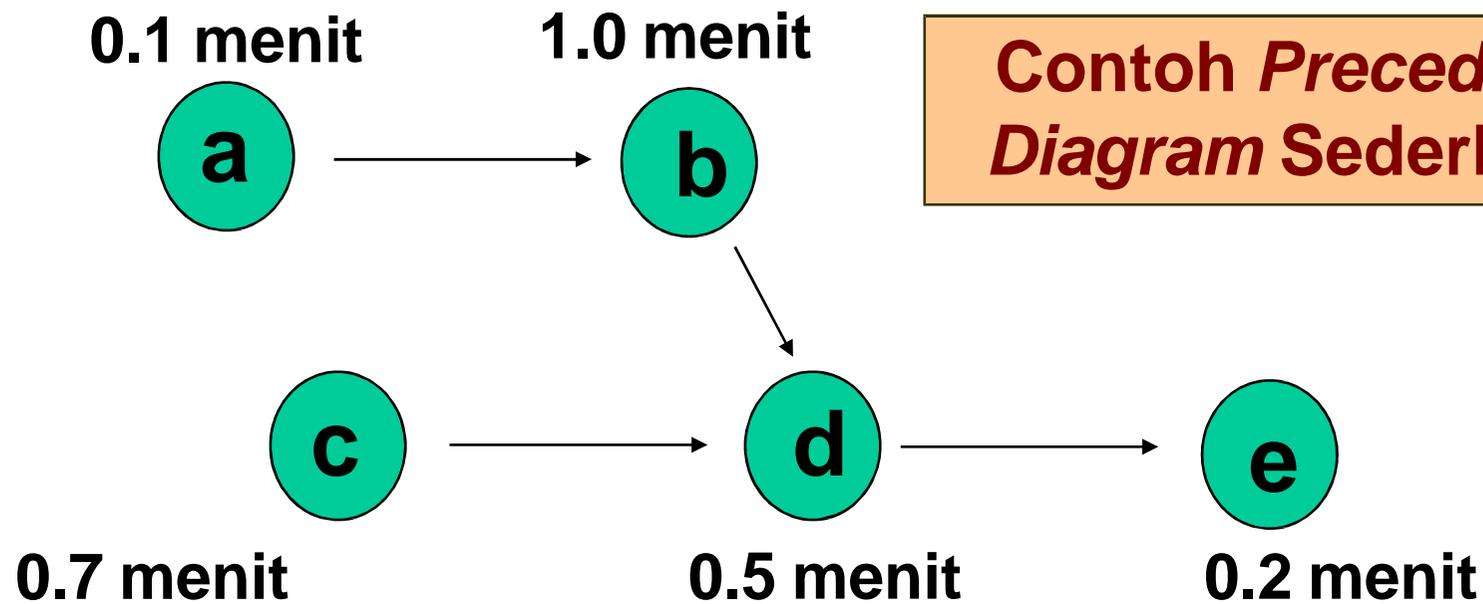
Pertanyaan: Misalkan anda mengalokasikan pekerjaan kepada tiga stasiun kerja dibawah ini. Setiap stasiun dilengkapi informasi jumlah waktu. Berapakah *Cycle Time* dari lini tersebut.?



Jawabannya: *Cycle time* dari sebuah lini selalu ditentukan oleh stasiun kerja yang memiliki waktu yang paling lama. Dalam contoh masalah diatas, *cycle time* dari lini tersebut adalah 7 menit. Hal ini akan menyebabkan waktu idle pada 2 stasiun kerja yang lain.

Istilah Penting: *Precedence Diagram* (Diagram Prioritas Urutan)

Precedence diagram: Metode yang digunakan dalam *Line Balancing* untuk menampilkan informasi elemen pekerjaan dan pekerjaan selanjutnya yang akan dilakukan/urutan pekerjaan



Contoh *Line Balancing*

- Misalkan anda ditugaskan untuk mengalokasikan pekerjaan perakitan kipas angin sebagai berikut:

Task	Time (Mins)	Description	Predecessors
A	2	Assemble frame	None
B	1	Mount switch	A
C	3.25	Assemble motor housing	None
D	1.2	Mount motor housing in frame	A, C
E	0.5	Attach blade	D
F	1	Assemble and attach safety grill	E
G	1	Attach cord	B
H	1.4	Test	F, G

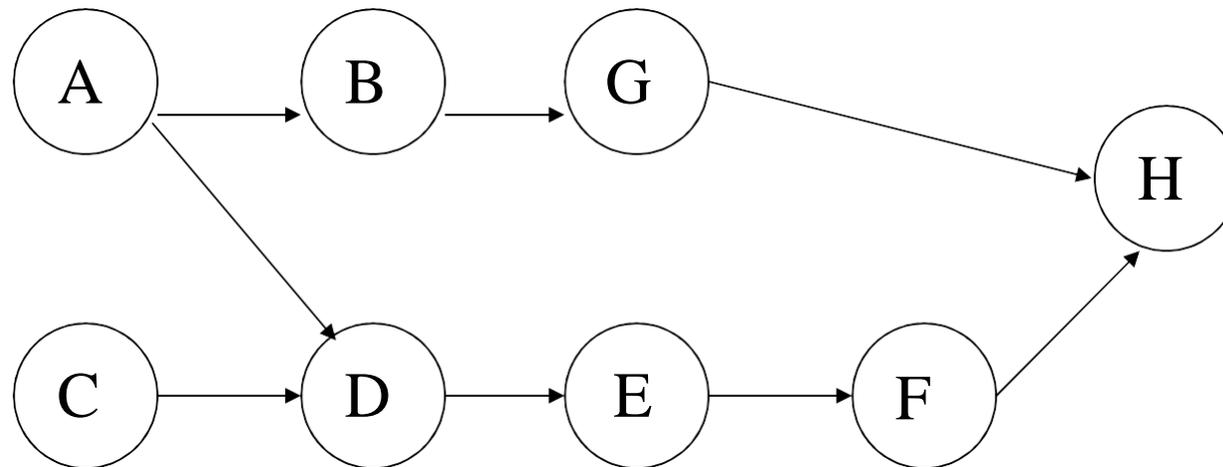
Contoh *Line Balancing*: Menjabarkan *Precedence Diagram*

Task Predecessors

A	Tidak Ada
B	A
C	Tidak Ada
D	A, C

Task Predecessors

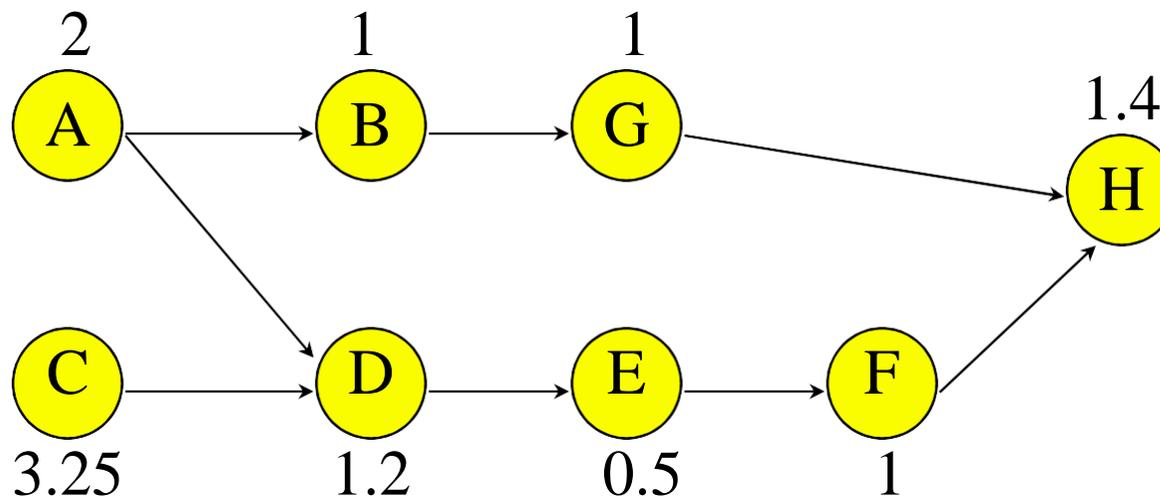
E	D
F	E
G	B
H	F, G



Contoh Line Balancing:

Precedence Diagram

Pertanyaan: Proses mana yang mempunyai tingkat produksi yang maksimum?



Jawabannya: Pekerjaan C adalah *cycle time* dari lini, oleh karena itu merupakan tingkat maksimum produksi

Contoh Line Balancing: *Bottleneck*

$$\text{Produksi Maksimum} = \frac{\text{Waktu produksi per hari}}{\text{Waktu Bottleneck}} = \frac{420 \text{ menit}}{3.25 \text{ menit/unit}} = 129 \text{ units}$$

Task	Time (Mins)	Description	Predecessors
A	2	Assemble frame	None
B	1	Mount switch	A
C	3.25	Assemble motor housing	None
D	1.2	Mount motor housing in frame	A, C
E	0.5	Attach blade	D
F	1	Assemble and attach safety grill	E
G	1	Attach cord	B
H	1.4	Test	E, G

Contoh *Line Balancing*: Menentukan *Cycle Time*

Pertanyaan: Misalkan kita ingin merakit 100 kipas angin per hari. Berapakah seharusnya *Cycle Time*-nya?

Jawaban:

$$\text{Cycle Time, } C = \frac{\text{Waktu produksi per periode}}{\text{Output yang dibutuhkan per periode}}$$

$$C = \frac{420 \text{ menit/hari}}{100 \text{ unit/hari}} = 4.2 \text{ menit/unit}$$

Contoh *Line Balancing*: Menentukan Jumlah Minimum Teoritis Stasiun Kerja

Pertanyaan: Berapakah jumlah minimum teoritis stasiun kerja untuk contoh sebelumnya?

Jawaban:

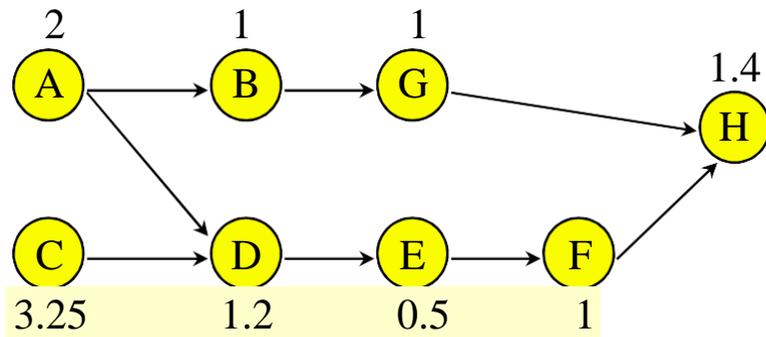
Jumlah minimum teoritis stasiun kerja, N_t

$$N_t = \frac{\text{Jumlah waktu pekerjaan (T)}}{\text{Cycle time (C)}}$$

$$N_t = \frac{11.35 \text{ menit/unit}}{4.2 \text{ menit/unit}} = 2.702, \text{ atau } 3$$

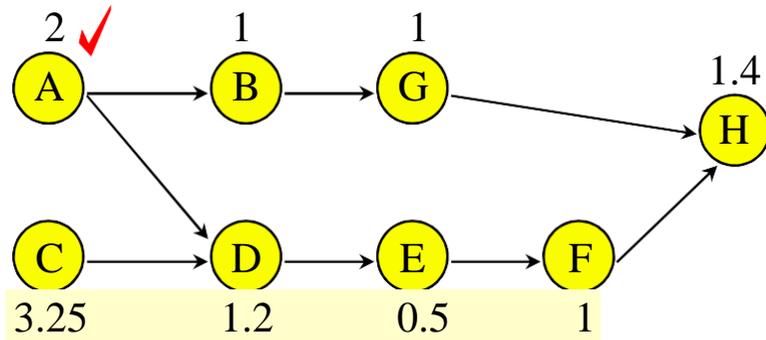
Contoh *Line Balancing*: Aturan untuk Mengalokasikan Pekerjaan ke Stasiun Kerja

- Alokasikan pekerjaan ke stasiun 1, kemudian 2, dan selanjutnya secara berurutan. Pengalokasian pekerjaan ke stasiun kerja untuk menjamin prioritas urutan/*precedence* tetap berlangsung dan total waktu per stasiun kerja lebih sedikit atau sama dengan *cycle time*. Gunakan aturan berikut untuk melakukan pengalokasian pekerjaan.
- **Primer:** Alokasikan pekerjaan berdasarkan jumlah terbesar pekerjaan berikutnya (*Followers*)
- **Sekunder (*tie-breaking*):** Alokasikan pekerjaan berdasarkan waktu operasi terlama



Pekerjaan	<i>Followers</i>	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

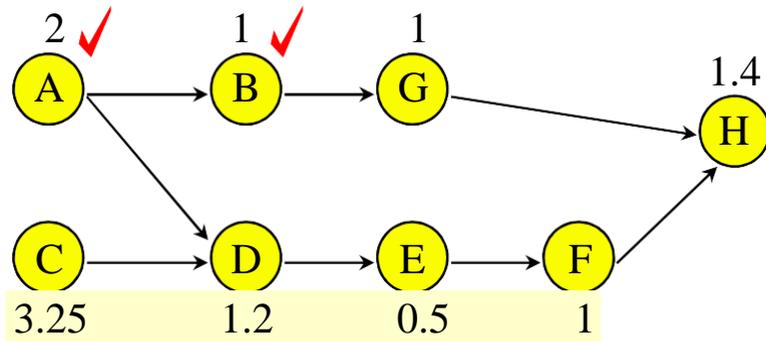




Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4



A (4.2-2=2.2)

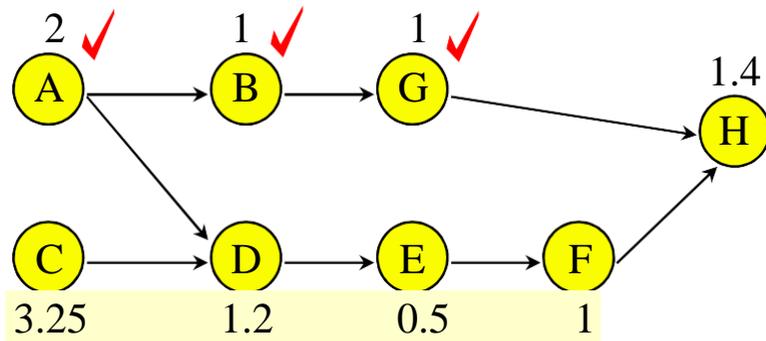


Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4



A ($4.2 - 2 = 2.2$)

B ($2.2 - 1 = 1.2$)



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

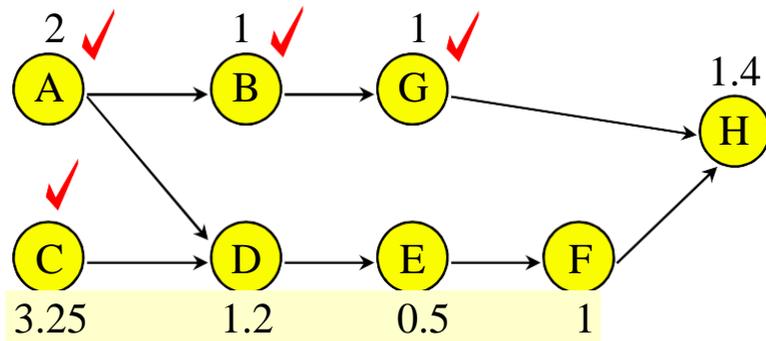


A ($4.2 - 2 = 2.2$)

B ($2.2 - 1 = 1.2$)

G ($1.2 - 1 = 0.2$)

Idle = 0.2



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4



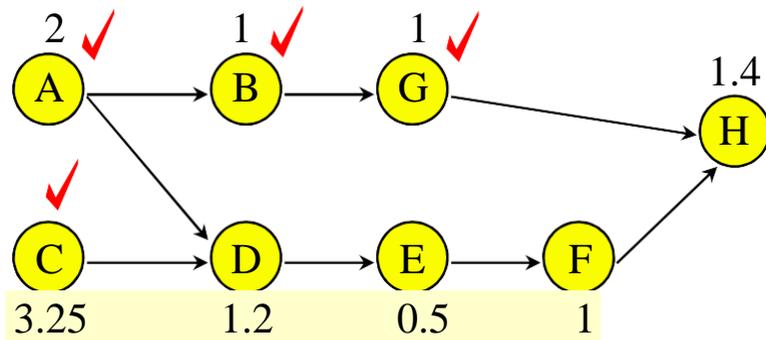
$$A (4.2 - 2 = 2.2)$$

$$B (2.2 - 1 = 1.2)$$

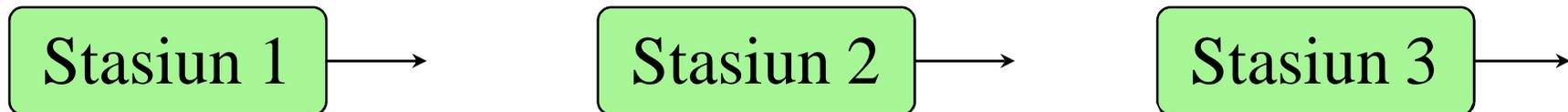
$$G (1.2 - 1 = 0.2)$$

$$C (4.2 - 3.25) = 0.95$$

Idle = 0.2



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4



A (4.2-2=2.2)

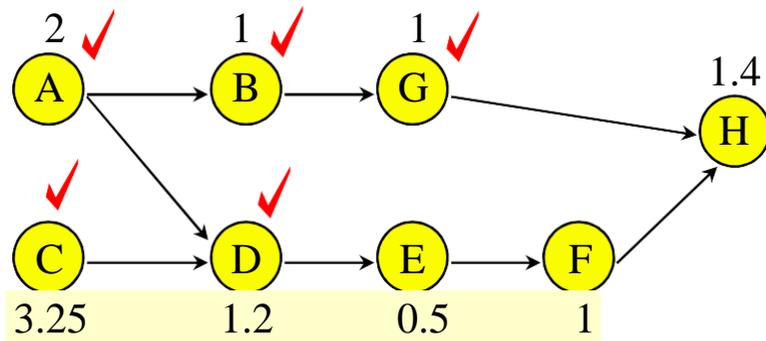
B (2.2-1=1.2)

G (1.2-1=0.2)

C (4.2-3.25)=0.95

Idle = 0.2

Idle = 0.95



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

Stasiun 1 →

A ($4.2 - 2 = 2.2$)

B ($2.2 - 1 = 1.2$)

G ($1.2 - 1 = 0.2$)

Idle = 0.2

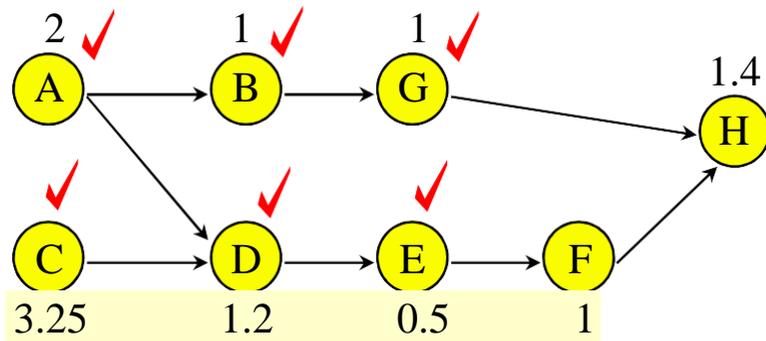
Stasiun 2 →

C ($4.2 - 3.25 = 0.95$)

D ($4.2 - 1.2 = 3$)

Idle = 0.95

Stasiun 3 →



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

Stasiun 1 →

A $(4.2 - 2 = 2.2)$

B $(2.2 - 1 = 1.2)$

G $(1.2 - 1 = 0.2)$

Idle = 0.2

Stasiun 2 →

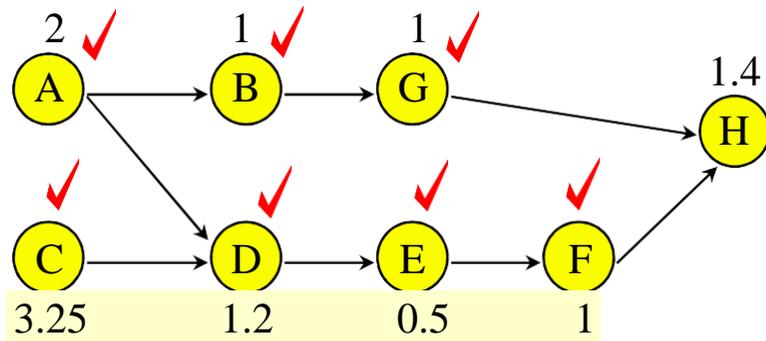
C $(4.2 - 3.25) = 0.95$

Idle = 0.95

Stasiun 3 →

D $(4.2 - 1.2) = 3$

E $(3 - 0.5) = 2.5$



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

Stasiun 1 →

$$A (4.2 - 2 = 2.2)$$

$$B (2.2 - 1 = 1.2)$$

$$G (1.2 - 1 = 0.2)$$

$$Idle = 0.2$$

Stasiun 2 →

$$C (4.2 - 3.25) = 0.95$$

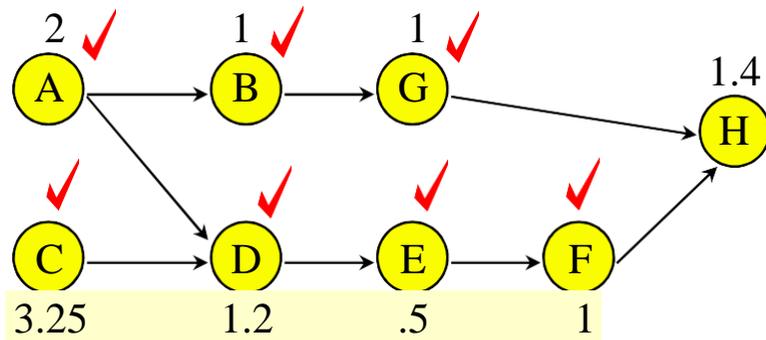
$$Idle = 0.95$$

Stasiun 3 →

$$D (4.2 - 1.2) = 3$$

$$E (3 - 0.5) = 2.5$$

$$F (2.5 - 1) = 1.5$$



Pekerjaan	Followers	Waktu (Menit)
A	6	2
C	4	3.25
D	3	1.2
B	2	1
E	2	0.5
F	1	1
G	1	1
H	0	1.4

Stasiun 1	Stasiun 2	Stasiun 3
A (4.2-2=2.2)	C (4.2-3.25)=0.95	D (4.2-1.2)=3
B (2.2-1=1.2)		E (3-0.5)=2.5
G (1.2-1=0.2)		F (2.5-1)=1.5
		H (1.5-1.4)=0.1
<i>Idle = 0.2</i>	<i>Idle = 0.95</i>	<i>Idle = 0.1</i>

Stasiun mana yang bottle neck? Apa yang dimaksud dengan cycle time yang efektif?

Contoh *Line Balancing*: Menentukan Efisiensi Lini Perakitan

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Jumlah waktu pekerjaan (T)}}{\text{Jumlah aktual stasiun kerja (Na) x Cycle time (C)}}$$

$$\text{Efisiensi} = \frac{11.35 \text{ menit/unit}}{(3)(4.2 \text{ menit/unit})} = 0.901$$

STUDI KASUS

PRODUKSI TEH HITAM

Tujuan Penelitian

- 1. Mengidentifikasi penyebab ketidakseimbangan lintasan produksi.**
- 2. Mencari alternatif untuk mencapai efisiensi produksi perusahaan.**

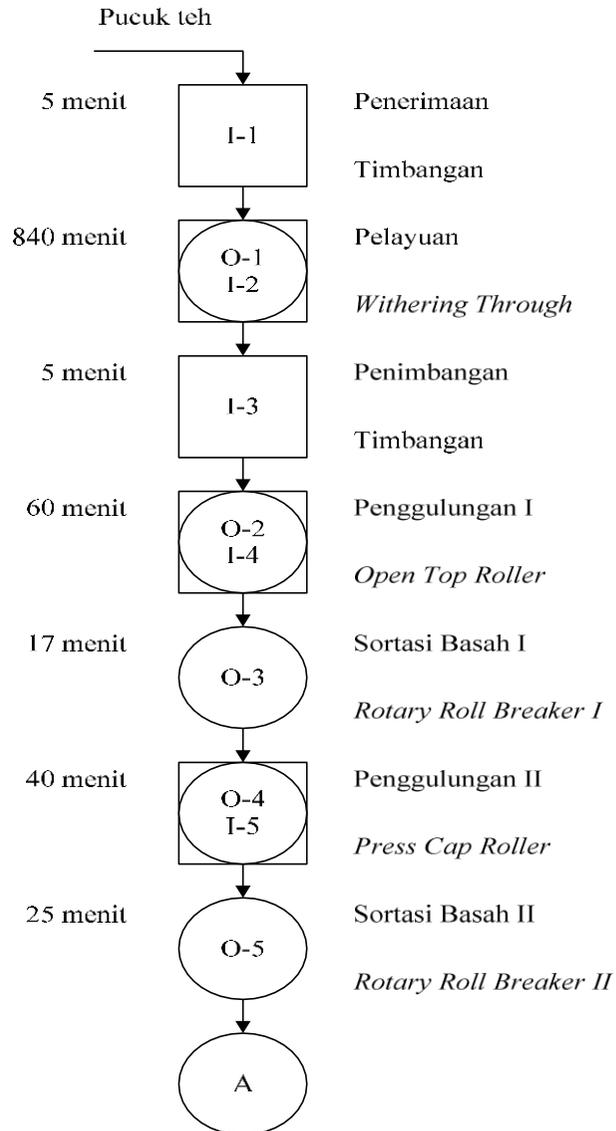
Batasan Masalah

- 1. Pengamatan pendahuluan dilakukan dari stasiun pelayuan hingga pengeringan.**
- 2. Analisis yang dilakukan mencakup perencanaan lini produksi yang seimbang.**
- 3. Metode penyelesaian masalah ketidakseimbangan lintasan produksi dengan penghitungan manual.**
- 4. Waktu perpindahan bahan antar stasiun kerja, *scrap*, penyusutan setiap proses tidak diperhitungkan.**
- 5. Penambahan mesin dilakukan dengan asumsi spesifikasi mesin yang sama.**
- 6. Penghitungan waktu normal dengan pertimbangan *rating factor* berdasarkan sistem *Westinghouse*.**
- 7. Unsur biaya dalam perbaikan keseimbangan lini tidak dimasukkan.**

PPO Pembuatan Teh Hitam

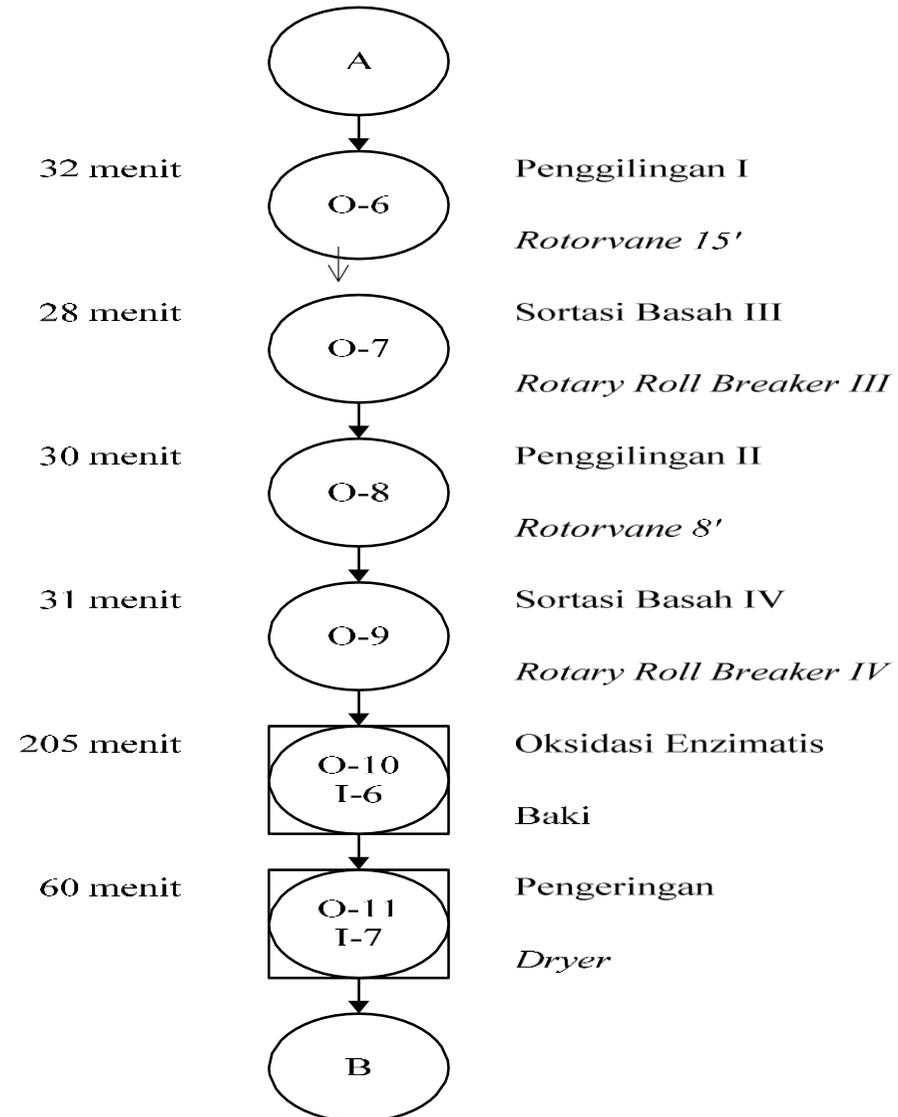
PETA PROSES OPERASI

Nama Objek : Pembuatan Teh Hitam
 Dipetakan Oleh : Helnina Desi
 Tanggal Pemetaan : 19 Februari 2013
 No. Peta : 01



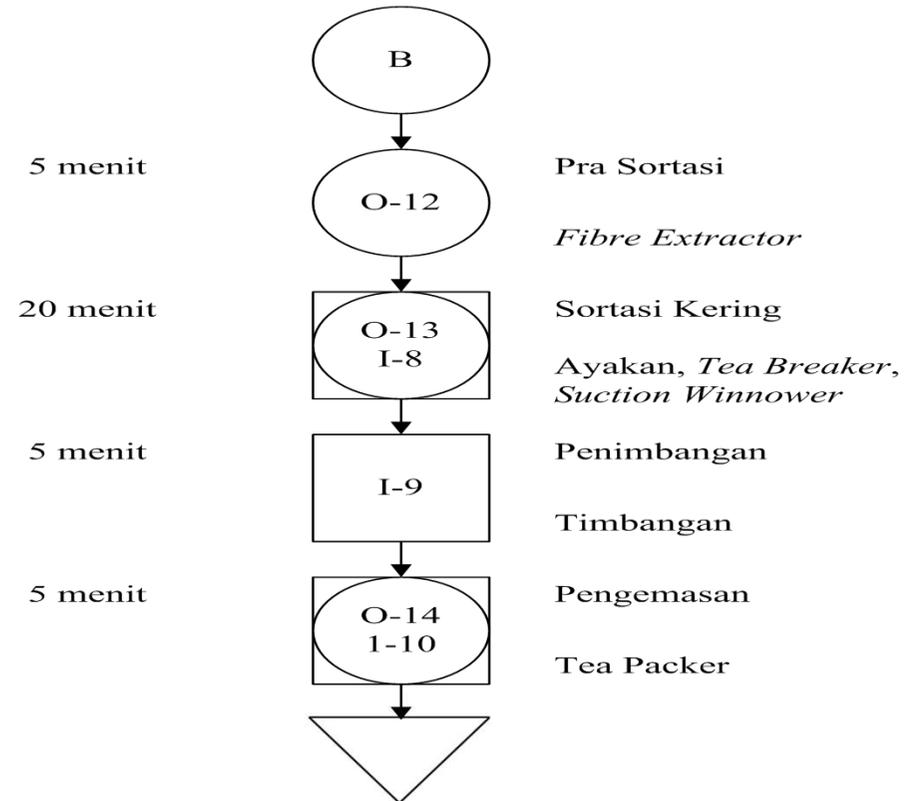
PETA PROSES OPERASI

Nama Objek : Pembuatan Teh Hitam
Dipetakan Oleh : Helnina Desi
Tanggal Pemetaan : 19 Februari 2013
No. Peta : 01



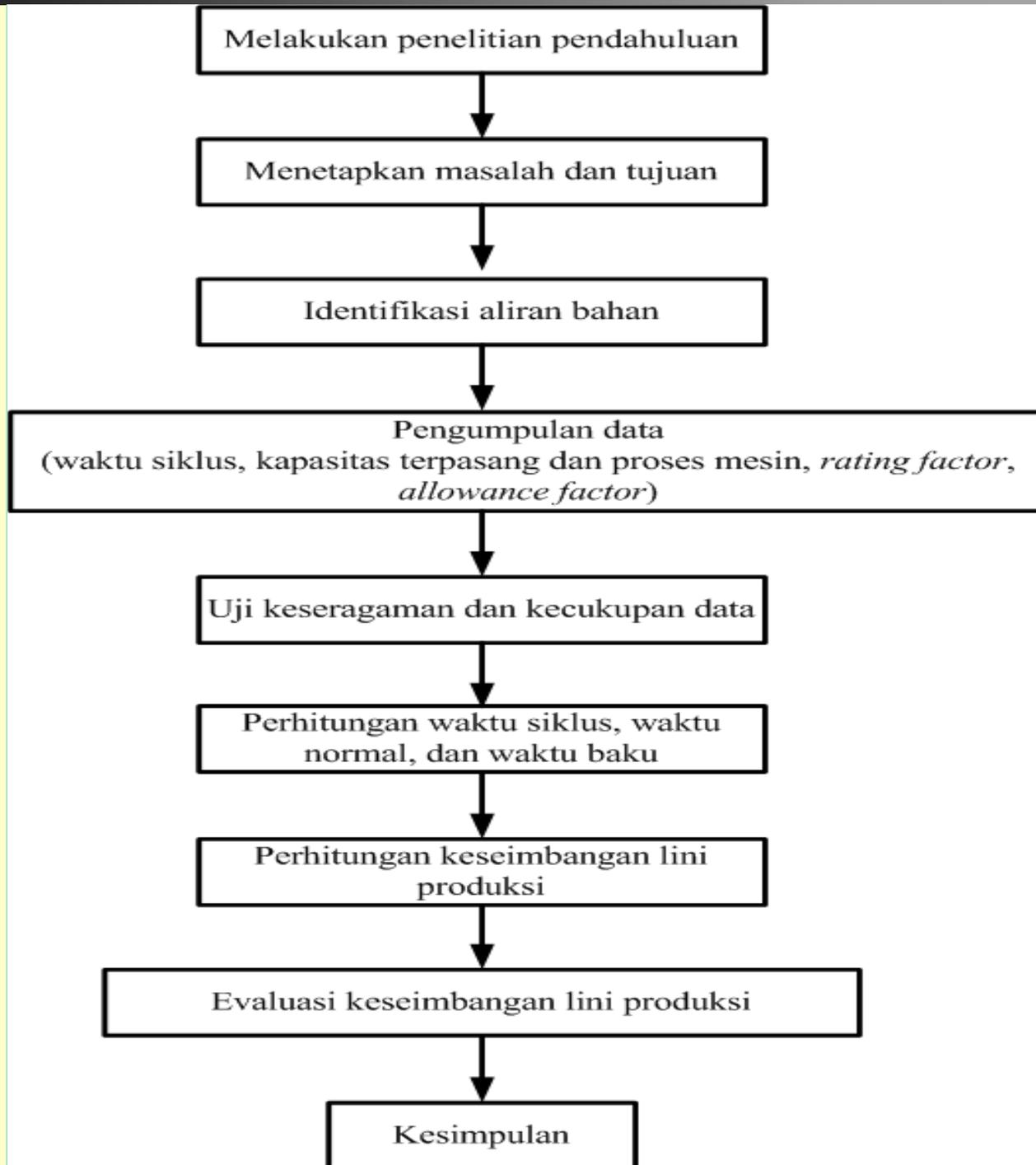
PETA PROSES OPERASI

Nama Objek : Pembuatan Teh Hitam
Dipetakan Oleh : Helnina Desi
Tanggal Pemetaan : 19 Februari 2013
No. Peta : 01



Ringkasan		Jumlah	Waktu
○	Operasi	14	1398
□	Inspeksi	10	1245
▽	Penyimpanan	1	

Metode Pengambilan Data



Perhitungan Waktu Normal dan Waktu Baku

$$W_s = \frac{\sum_{i=1}^n X_t}{N} \longrightarrow W_n = W_s \times (1 + RF) \longrightarrow W_b = W_n \times (1 + AF)$$

Tabel Hasil Perhitungan Waktu Normal dan Waktu Baku

No	Stasiun Kerja	Waktu Siklus (menit)	RF	Waktu Normal (menit)	AF	Waktu Baku (menit)
1	Penggilingan OTR	64,23	0,05	67,44	0,210	77,2
2	Sortasi Basah I	16,11	-0,02	15,79	0,320	20,84
3	Penggilingan PCR	35,21	-0,02	34,51	0,410	48,66
4	Sortasi Basah II	24,84	-0,02	24,34	0,355	32,98
5	Penggilingan RV I	32,15	-0,04	30,86	0,265	39,04
6	Sortasi Basah III	27,78	-0,03	26,95	0,255	33,82
7	Penggilingan RV II	29,98	-0,03	29,08	0,250	36,35
8	Sortasi Basah IV	31,08	-0,02	30,46	0,265	38,53

Evaluasi Keseimbangan Lintasan Produksi dengan Perhitungan Kapasitas

Tabel Hasil Perhitungan Kapasitas Stasiun Kerja

Perhitungan Kapasitas Stasiun Kerja

$$K_i = \frac{M_i \times E}{J_i}$$

K_i = kapasitas mesin
 M_i = jumlah mesin
 E = jumlah jam kerja regular per hari

J_i = jumlah waktu kegiatan stasiun kerja pada stasiun kerja ke-i

Stasiun Kerja *Bottleneck*

Stasiun Kerja	Jumlah Mesin (unit)	Jam Kerja (menit)	Waktu Baku (menit)	Kapasitas Mesin (%)
Penggilingan OTR	3	420	77,2	16,32
Sortasi Basah I	1	420	20,84	20,15
Penggilingan PCR	2	420	48,66	17,26
Sortasi Basah II	1	420	32,98	12,73
Penggilingan RVI	1	420	39,04	10,76
Sortasi Basah III	1	420	33,82	12,42
Penggilingan RV II	1	420	36,35	11,55
Sortasi Basah IV	1	420	38,53	10,90

Perbandingan Kapasitas Terpasang dan Kapasitas Proses Mesin ⁴⁴

Stasiun Kerja	Jumlah Mesin	Kapasitas Mesin	Kapasitas Proses		Selisih (gram/detik)
		Gram/detik	Gram/detik	Bahan terolah (%)	
Penggilingan OTR	3	312,5	161,92	100 %	-150,58
Sortasi Basah I	1	277,78	199,36	60 %	-78,42
Penggilingan PCR	2	250	102,75	100 %	-147,25
Sortasi Basah II	1	277,78	75,80	55 %	-201,98
Penggilingan RV I	1	125	35,22	100 %	-89,78
Sortasi Basah III	1	277,78	40,66	39,4%	-237,12
Penggilingan RV II	1	125	14,90	69,23 %	-110,1
Sortasi Basah IV	1	277,78	14,06	100 %	-263,72
Total					-1278,95

- Kapasitas terpasang mesin > Kapasitas aktual (selisih kapasitas negatif)
- Banyak mesin menganggur → kinerja mesin belum maksimal
- Dilakukan pengoptimalan kerja stasiun kerja

Selisih (gram/detik) =
Kapasitas Proses-
Kapasitas Mesin

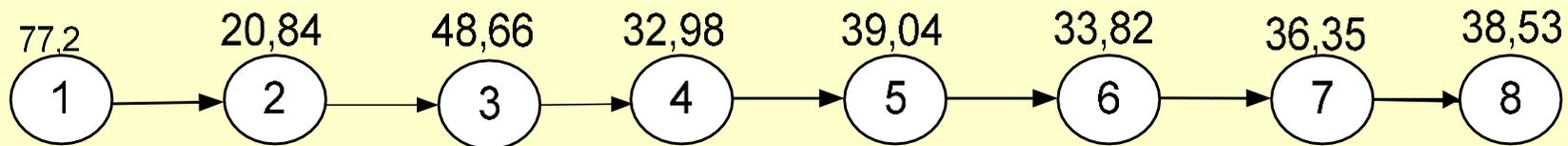
Penyeimbangan Kapasitas

Stasiun Kerja	Jumlah Mesin	Kapasitas Mesin	Kapasitas Proses		Selisih (gram/detik)
		Gram/detik	Gram/detik	Bahan Terolah	
Penggilingan OTR	3	312,5	272,73	100 %	-39,77
Sortasi Basah I	1	277,78	272,73	60 %	-5,05
Penggilingan PCR	2	250	163,64	100 %	-86,36
Sortasi Basah II	1	277,78	163,64	55 %	-114,14
Penggilingan RVI	1	125	90	100 %	-35
Sortasi Basah III	1	277,78	90	39,4%	-187,78
Penggilingan RV II	1	125	35,46	100 %	-89,54
Sortasi Basah IV	1	277,78	24,55	69,23%	-253,23
Total					-799,97

Pengoptimalan SK bottleneck

- Peningkatan kapasitas *rotorvane* 90 gram/detik (324 kg) dari kapasitas maksimal 125 gram/detik (450 kg)
- Kapasitas stasiun kerja lain dapat disesuaikan
- Berkurangnya selisih kapasitas terpasang & kapasitas proses mesin secara keseluruhan dari 1278,95 gram/detik menjadi -799,97 gram/detik

Evaluasi Keseimbangan Lintasan Produksi dengan Perhitungan Efisiensi Lintasan Produksi



Gambar Precedence Diagram Awal

- Terdapat 8 stasiun kerja
- Waktu penyelesaian setiap stasiun kerja berbeda-beda menyebabkan terjadinya *bottleneck* dan *idle time*

Perhitungan Keseimbangan Lintasan Produksi

Penentuan *idle time* dan *balance delay*

$$IT = nC - \sum_{i=1}^n t_i$$

$$IT = 8 (77,2) - 327,42$$

$$= 617,6 - 327,42$$

$$= 290,18 \text{ menit}$$

$$\text{Balance Delay} = \frac{IT}{nC} \times 100\%$$

$$\text{Balance Delay} = \frac{290,18}{8 \times 77,2} \times 100\%$$

$$\text{Balance Delay} = 46,96\%$$

Penentuan efisiensi lintasan

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{nC} \times 100\%$$

$$e = \frac{327,42}{8 \times 77,2} \times 100\%$$

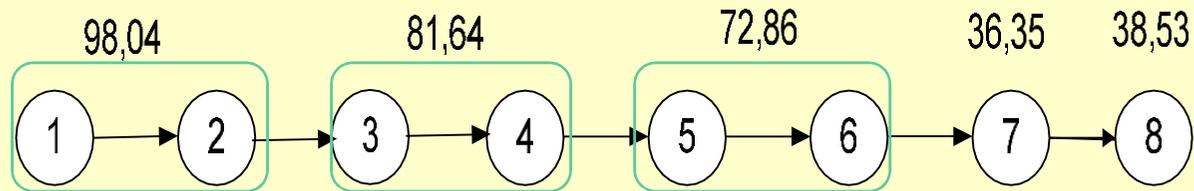
$$= 53,01\%$$

Perhitungan Perbaikan Keseimbangan Lintasan Produksi

Penentuan stasiun kerja

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{c} \rightarrow n = \frac{327,42}{77,2} = 4,2 \rightarrow 5$$

SK	Kegiatan	Waktu Baku (menit)
1	Penggilingan OTR	98,04
	Sortasi Basah I	
2	Penggilingan PCR	81,64
	Sortasi Basah II	
3	Penggilingan RV I	72,86
	Sortasi Basah III	
4	Penggilingan RV II	36,35
5	Sortasi Basah IV	38,53



**Gambar Precedence Diagram
Usulan**

Penentuan *idle time* dan *balance delay*

$$IT = nC - \sum_{i=1}^n t_i \rightarrow IT = 5(77,2) - 327,42$$

$$= 386 - 327,42$$

$$= 58,58 \text{ menit}$$

$$Balance\ Delay = \frac{IT}{nC} \times 100\% \rightarrow Balance\ Delay = \frac{58,58}{5 \times 77,2} \times 100\% \rightarrow Balance\ Delay = 15,18\%$$

Penentuan efisiensi lintasan

$$e = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{nC} \times 100\% \rightarrow e = \frac{327,42}{5 \times 77,2} \times 100\% \rightarrow = 84,82\%$$

Kesimpulan

- **Penyebab ketidakseimbangan lintasan produksi yang terjadi adalah adanya perbedaan kapasitas terpasang dan kapasitas proses mesin sehingga menyebabkan terjadinya perbedaan waktu penyelesaian pada pada setiap stasiun kerja.**
- **Alternatif untuk mencapai efisiensi produksi :**
 - a. Mengoptimalkan kapasitas stasiun kerja *bottleneck***
 - b. Penggabungan stasiun kerja.**
- **Pada penyeimbangan lintasan produksi berdasarkan peningkatan efisiensi lintasan produksi metode penggabungan stasiun kerja efisiensi meningkat dari 53,01 % menjadi 84,82 %.**

TERIMA KASIH

