

## Analisis Keseimbangan Lintasan untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi dengan Pendekatan Line Balancing dan Simulasi

Vickri Fiesta Daelima<sup>1</sup>, Evi Febianti<sup>2</sup>, Muhammad Adha Ilhami<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup>Jurusan Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

vickri.daelima@yahoo.com<sup>1</sup>, evifebianti@yahoo.com<sup>2</sup>, adha@ft-untirta.ac.id<sup>3</sup>

### ABSTRAK

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK), dimana perusahaan ini belum mampu untuk memenuhi target permintaan yang ada dan target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Hal tersebut diidentifikasi terjadi *bottleneck* (stasiun *bottleneck*) pada lintasan produksinya sehingga perusahaan belum mampu memenuhi target permintaan dan target produksinya. Karena itulah maka perlu adanya identifikasi *bottleneck* (stasiun *bottleneck*) dan upaya menurunkan waktu siklus pada stasiun tersebut untuk meningkatkan kapasitas produksi sehingga target permintaan dan target produksi bisa dicapai. Pada penelitian ini, pendekatan *line balancing* dan simulasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Dimana pendekatan *line balancing* untuk menentukan penggabungan stasiun kerjanya dan simulasi untuk mengetahui hasil output-nya. Dalam penelitian ini terdapat 3 kriteria model usulan yaitu berdasarkan *cycle time* maksimum, *takt time* permintaan dan *takt time* produksi. Hasil dari penelitian ini adalah mendapatkan model usulan dengan nilai output produksi yang maksimum. Dimana hasil output produksi berbanding terbalik dengan waktu siklusnya. Semakin kecil waktu siklusnya maka akan semakin besar output sistem yang dihasilkan. Dari ketiga model usulan tersebut dapat didapatkan bahwa waktu siklus untuk *takt time* permintaan 13,6793 detik dan menghasilkan output 2043 unit / shift, waktu siklus untuk *cycle time* maksimum 16,3625 detik dan hasil output-nya 2042 unit / shift serta waktu siklus untuk *takt time* produksi 14,6253 detik dan hasil output-nya 1963 unit / shift. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa *takt time* permintaan lebih baik daripada *takt time* produksi dan *cycle time* maksimum.

**Kata kunci :** *Bottleneck, Line Balancing, Simulasi*

### PENDAHULUAN

PT. XYZ adalah perusahaan yang bergerak di bidang Industri Air Minum Dalam Kemasan (AMDK), dimana perusahaan ini belum mampu untuk memenuhi target permintaan yang ada dan target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan. Padahal saat ini diketahui permintaan konsumen terus semakin meningkat dengan jumlah permintaan di bulan Januari 64000 unit / bulan, Februari 60000 unit / bulan, Maret 63228 unit / bulan serta April dan Mei 64289 unit / bulan, namun target permintaan tidak dapat terpenuhi. Hal ini diindikasikan terjadi *bottleneck* (stasiun yang *bottleneck*) karena memiliki waktu siklus yang lebih lama daripada waktu siklus produksi yang telah ditetapkan. Karena itulah maka perlu adanya identifikasi *bottleneck* dan upaya menurunkan waktu siklus pada stasiun *bottleneck* tersebut untuk meningkatkan kapasitas produksi sehingga target permintaan dan target produksi bisa dicapai.

*Bottleneck* adalah stasiun kerja yang memiliki kapasitas lebih kecil dari kebutuhan produksi. Stasiun kerja *bottleneck* mengakibatkan terjadinya keterlambatan jika ada peningkatan permintaan yang melebihi kapasitas. Stasiun kerja yang *bottleneck* menjadi stasiun kerja yang sibuk, sedangkan *non bottleneck* terjadi jika kapasitas mesin yang ada lebih besar daripada permintaan. (Rianto, 2009).

Untuk mengatasi masalah *bottleneck* tersebut maka sistem yang ada perlu dirubah dan proses produksi yang ada juga perlu dirancang ulang. Namun hal tersebut tidak dapat dilakukan karena memerlukan waktu yang lama dan biaya investasi untuk penerapan yang sangat mahal serta mengganggu kegiatan produksi yang sedang berjalan. Agar dapat merubah sistem tersebut tanpa menghilangkan biaya investasi, menghindari kesalahan dan proses *trial and error* untuk jangka waktu yang lama, maka akan digunakannya sistem simulasi untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.

Penelitian ini diawali dengan menganalisa proses produksi yang ada, pengamatan waktu proses di setiap stasiun kerjanya, permintaan dalam periode waktu perencanaan serta kapasitas waktu yang tersedia untuk memenuhi *demand* yang ada. Setelah itu dilakukan analisa stasiun kerja yang mengalami hambatan berupa terjadinya penumpukan produk karena adanya perbedaan waktu siklus antar stasiun kerjanya (stasiun *bottleneck*), dimana stasiun tersebut perlu perkembangan dan perubahan. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kapasitas target yang diinginkan. Adapun untuk menyelesaikan permasalahan ini menggunakan pendekatan *line balancing* untuk menghasilkan penggabungan stasiun kerjanya dan untuk mengetahui *output* yang dihasilkan menggunakan pendekatan simulasi.

## METODE PENELITIAN

Cara untuk meningkatkan kapasitas yang dilakukan adalah mere-layout lantai produksinya dan menekan waktu siklus dari setiap stasiun kerjanya. Dari kedua cara itulah akan adanya waktu siklus yang tepat dalam mencapai target tersebut, *idle time* lintasan, *balanced delay* lintasan dan *smoothness index* akan semakin kecil nilainya. Namun berbanding terbalik dengan nilai efisiensi lintasan dan *output* sistem yang dihasilkan, nilainya akan lebih besar karena pengaruh hal tersebut lintasan akan menuju pada kesempurnaan keseimbangan lintasan. Karena penjelasan berikut, maka perusahaan akan mencapai kapasitas maksimumnya yang disesuaikan dengan kapasitas kerjanya.

Penelitian ini diawali dengan permasalahan target permintaan dan target produksi yang tidak dapat dicapai oleh PT. XYZ sehingga tujuan perusahaan untuk meningkatkan kapasitas produksi sulit terwujud. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, peneliti mengambil beberapa data waktu siklus dari setiap stasiunnya untuk diolah dengan menggunakan uji keseragaman data, uji kecukupan data, uji independensi data dan uji kecocokan data. Setelah itu model di verifikasi dan di validasi untuk membuat model simulasi awal (konseptual).

Model usulan dibuat berdasarkan perhitungan *line balancing* dimana model usulannya adalah berdasarkan *cycle time* maksimum, *takt time* permintaan dan *takt time* produksi. Selanjutnya model usulan tersebut dibandingkan dengan model awal (eksisting) sehingga didapatkan bahwa model usulan lebih baik daripada model eksisting dan dapat dilihat dari berbagai parameter seperti jumlah stasiun kerja, *idle time* lintasan, efisiensi lintasan, *balanced delay* lintasan, *smoothness index* dan *output* sistem.

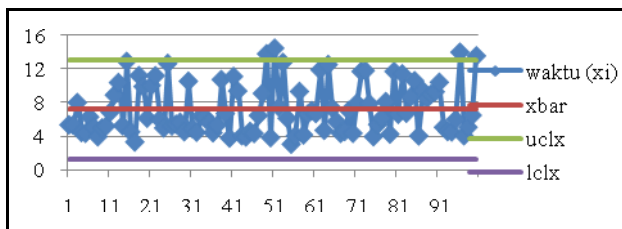
Permasalahan dapat diselesaikan dengan membuat model usulan tersebut, dimana model usulan tersebut dapat diaplikasikan oleh perusahaan namun semua itu tergantung perusahaan model usulan yang manakah yang akan diambil, karena ketiga model usulan tersebut mempunyai sisi positif dan negatifnya masing – masing.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

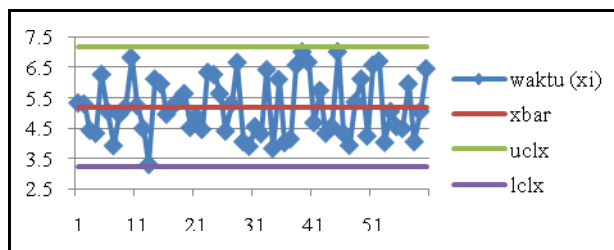
Penelitian ini diawali dengan pengambilan data waktu siklus dari setiap stasiunnya dimana berikut tahapannya :

### Uji Keseragaman Data

Dimana data dianggap seragam jika data berada diantara batas kontrol atas (UCL) dan batas kontrol bawah (LCL). Dibawah ini adalah hasil uji keseragaman datanya.



Gambar 1. Peta kendali pencucian luar sebelum diseragamkan



Gambar 2. Peta kendali pencucian luar sesudah diseragamkan

### Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data digunakan untuk mengetahui data yang digunakan sudah dapat mewakili dari data yang diambil atau belum, sehingga data dianggap cukup jika  $N' < N$

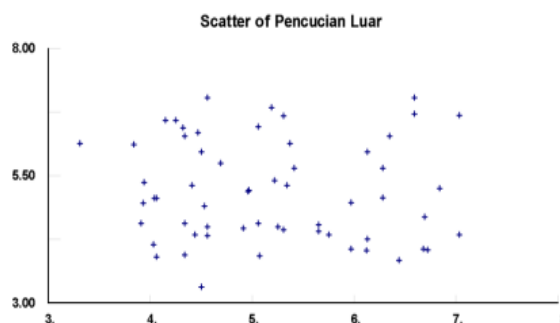
$$N' = \left[ \frac{\frac{K}{5} \sqrt{N(\sum xi^2) - (\sum xi)^2}}{\sum xi} \right]^2 \quad (1)$$

Tabel 1. Rekapitulasi uji kecukupan data

Stasiun	N	K	S	N'	Ket.
Pencucian Luar	60	2	0,05	56,13	Cukup
Pembilasan Luar Dan Pencucian Dalam	84	2	0,05	27,81	Cukup
Penyikatan (Korot)	89	2	0,05	22,82	Cukup
Pembilasan Dalam	74	2	0,05	1,54	Cukup
Water	79	2	0,05	0,06	Cukup
Filler	84	2	0,05	0,38	Cukup
Capping	84	2	0,05	32,98	Cukup
Press Tutup	85	2	0,05	4,34	Cukup
Penyegelan	82	2	0,05	16	Cukup
Pencetakan Expired	84	2	0,05	31,61	Cukup
Press Segel	84	2	0,05	1,75	Cukup

### Uji Independensi Data

Data dikatakan independen apabila pada hasil *plot scatter* diagram tidak menunjukkan suatu pola tertentu. Hasil dari gambar plot data dengan menggunakan *software* minitab berikut ini merupakan hasil uji independensi yaitu :



Gambar 3. Scatter plot pencucian luar

Dibawah ini merupakan hasil rekapitulasi uji independensi data untuk setiap stasiun yaitu sebagai berikut :

**Tabel 2. Rekapitulasi uji independensi**

Stasiun	Uji Independensi
Pencucian Luar	Acak
Pembilasan Luar Dan Pencucian Dalam	Acak
Penyikatan (Korot)	Acak
Pembilasan Dalam	Acak
Water	Acak
Filler	Acak
Capping	Acak
Press Tutup	Acak
Penyegelan	Acak
Pencetakan Expired	Acak
Press Segel	Acak

Jadi dapat disimpulkan bahwa semua data yang telah diambil dan diteliti adalah independen. Dengan kata lain antara data yang satu dengan yang lainnya tidak saling berkorelasi dan tidak berpengaruh sesamanya.

**Uji Kecocokan Distribusi**

Setelah semua data dikumpulkan maka dilakukan proses penentuan distribusi yang mewakili data – data yang tersebut. Tujuan pengolahan data ini adalah mencari distribusi yang dapat mewakili data – data yang telah didapat. Pada pengujian ini menggunakan *software* statfit, rekapitulasi distribusinya seperti berikut ini.:

**Tabel 3. Rekapitulasi hasil uji distribusi**

Stasiun	Distribusi	Parameter Distribusi
Pencucian Luar	Lognormal	Lognormal(3.,0.673,0.509)
Pembilasan Luar & Pencucian Dalam	Lognormal	Lognormal(3.,0.31,0.445)
Penyikatan (Korot)	Lognormal	Lognormal(2.,0.48,0.276)
Pembilasan Dalam	Triangular	Triangular (8.,9.43,8.99)
Water	Triangular	Triangular (16.,16.5,16.4)
Filler	Lognormal	Lognormal(12.,-0.0573, 0.22)
Capping	Lognormal	Lognormal(0.,-1.3,0.144)
Press Tutup	Lognormal	Lognormal(1.,-0.594,0.146)
Penyegelan	Triangular	Triangular (6.,10.2,8.94)
Pencetakan Expired	Lognormal	Lognormal(0.,-1.24,0.141)
Press Segel	Lognormal	Lognormal(15.,0.234,0.385)

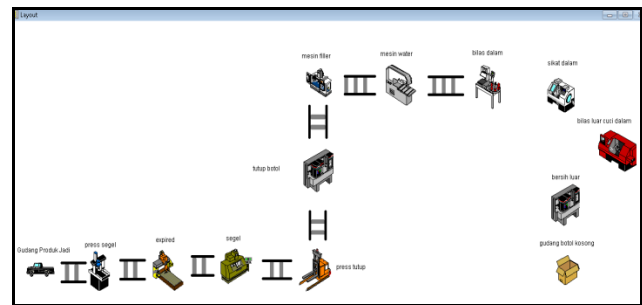
**Model Aktual**

Pada model ini dapat dilihat bahwa proses awal dimulai dari gudang botol kosong menuju gudang produk jadi dan siap didistribusikan yang digambarkan pada gambar 4.

**Replikasi dan Validitas Model Awal**

Menurut (Law and Kelton, 1991), replikasi awal yang dilakukan n kali dimana  $n \geq 5$ . Pada penelitian ini, peneliti melakukan sebanyak 10 replikasi sebagai replikasi awal dengan mengambil waktu untuk satu kali replikasi

selama 8 jam. Replikasi awal akan menghasilkan *output* model seperti pada tabel 4.



**Gambar 4. Layout model simulasi awal**

**Tabel 4. Output model replikasi awal**

Replikasi	Output Produk	Replikasi	Output Produk
1	1732	7	1732
2	1732	8	1732
3	1732	9	1732
4	1733	10	1732
5	1733	Jumlah	17321
6	1733	Rata – rata	1732,1

Hasil dari tabel 4, kemudian dilakukan perhitungan untuk menentukan jumlah replikasi minimum yang diperlukan, berikut perhitungannya :

$$e = \frac{\left(t_{n-1, \frac{\alpha}{2}}\right) s}{\sqrt{n}} = \frac{(2,262 \times 0,48)}{\sqrt{10}} = 0,3433$$

$$n = \left[\frac{\left(Z_{\alpha/2}\right) s}{e}\right]^2 = \left[\frac{(-1,96 \times 0,32)}{0,3433}\right]^2 = 3,34 \approx 4$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka jumlah replikasi yang dibutuhkan sebanyak 4 replikasi, sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan jumlah replikasi awal sebanyak 10 replikasi telah mencukupi replikasi minimal yang dibutuhkan.

Metode yang digunakan untuk menguji validitas hasil *output* simulasi eksisting yaitu *Independent Sample T Test*. Metode ini digunakan untuk menguji pengaruh satu variabel independent terhadap satu atau lebih variabel dependent. Dimana tahapan pertama pengujian ini untuk mengetahui bahwa varian kedua kelompok adalah sama atau tidak, berikut hipotesisnya.

$$H_0 : \sigma_1 = \sigma_2$$

$$H_1 : \sigma_1 \neq \sigma_2$$

**Tabel 5. Validasi model**

Replikasi	Aktual	Eksisting	Replikasi	Aktual	Eksisting
1	1755	1732	6	1713	1733
2	1725	1732	7	1730	1732
3	1732	1732	8	1731	1732
4	1725	1733	9	1726	1732
5	1734	1733	10	1715	1732

Dari hasil *output* eksisting dengan replikasi awal n = 10, diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 6. *Group statistics* aktual dan eksisting

Jenis	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Replikasi Aktual	10	1.7286E3	11.57776	3.66121
Eksisting	10	1.7323E3	.48305	.15275

Tabel 7. *Independent sample test of variances* aktual dan eksisting

		Levene's Test for Equality of Variances	
		F	Sig.
Replikasi	Equal variances assumed	8.192	.010
	Equal variances not assumed		

Tabel 8. *Independent sample test of means* aktual dan eksisting

		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		T	Df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
Replikasi	Equal variances assumed	-1.01	18	.326	-3.7	3.66439	-11.39860	3.99860
	Equal variances not assumed	-1.01	9.031	.339	-3.7	3.66439	-11.98505	4.58505

Dari hasil pengolahan data tersebut juga didapatkan  $t_{hitung} = 1.010$  sedangkan  $t_{tabel} = 2.093$  dan nilai *sig.* (2-tailed) = 0,339, hal tersebut menunjukkan bahwa sistem aktual dengan sistem eksisting tidak berbeda pada tingkat signifikan atau  $H_0$  diterima, karena  $t_{hitung} (1.010) < t_{tabel} (2.093)$  dan nilai *sig.* (2-tailed) = 0,339 >  $\alpha = 5\%$  atau  $0,339 > \alpha/2 (0,025)$ , sehingga model eksisting dapat dikatakan valid.

Perhitungan *Line Balancing* Awal

Tabel 9. Perhitungan *line balancing* model awal

Stasiun	WS	ct - st	(ct - st)^2
ST 1	5,1978	11,1647	124,6498
ST 2	4,493	11,8695	140,8856
ST 3	3,7489	12,6136	159,1029
ST 4	8,8251	7,5374	56,8119
ST 5	16,3434	0,0191	0,0004
ST 6	12,966	3,3965	11,5365
ST 7	0,274	16,0885	258,8383
ST 8	1,5579	14,8046	219,1767
ST 9	8,3782	7,9843	63,7495
ST 10	0,2921	16,0704	258,2564
ST 11	16,3625	0,0000	0,0000
CT MAX	16,3625		
Jumlah	78,4390	101,5485	1293,0079

$K = 11$  stasiun

$\sum_{i=1}^K St_i = 78,4390$  detik

$CT_{max} = 16,3625$  detik

$$Idle\ time = n \times WS - \sum_{i=1}^n Wi \quad (3)$$

Idle time = 101,5485 detik

$$D = \frac{(n \times C) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times C)} \times 100\% \quad (4)$$

Balanced delay = 56,42 %

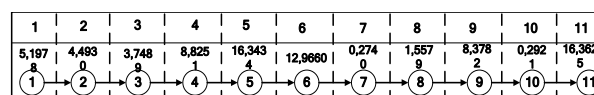
$$Line\ Efficiency = \frac{\sum_{i=1}^K St_i}{(K)(CT)} \times 100\% \quad (5)$$

Line efficiency = 43,58 %.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (ST_{max} - ST_i)} \quad (6)$$

Smoothness index = 35,96

Perhitungan *Line Balancing* Berdasarkan *Cycle Time* Maksimum.

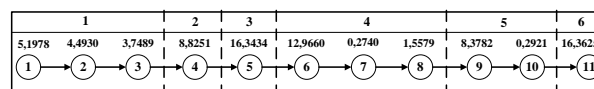


Gambar 5. *Precedence graph* awal

Tabel 10. Pembobotan

Stasiun	Total	Stasiun	Total
1	78,4390	7	26,8647
2	73,2411	8	26,5907
3	68,7481	9	25,0328
4	64,9992	10	16,6546
5	56,1741	11	16,3625
6	39,8307		

$K_{min} = 5$  stasiun



Gambar 6. *Precedence graph* akhir

Tabel 11. Perhitungan *line balancing* berdasarkan ct maksimum

Stasiun	Elemen	St	Ct - st	(ct - st)^2
1	1, 2, 3	13,4397	2,9228	8,5427
2	4	8,8251	7,5374	56,8119
3	5	16,3434	0,0191	0,0004
4	6, 7, 8	14,7979	1,5646	2,4480
5	9, 10	8,6703	7,6922	59,1697
6	11	16,3625	0,0000	0,0000
Jumlah		78,4390	19,7360	126,9727

Idle time = 19,7360 detik    Balanced delay = 20,10 %  
 Line efficiency = 79,90 %    Smoothness index = 11,27

Perhitungan *Line Balancing* Berdasarkan *Takt Time* Permintaan.

Tabel 12. Data permintaan tahun 2012

No	Bulan	Permintaan	Satuan
1	Januari	64000	Galon
2	Februari	60000	Galon
3	Maret	63228	Galon
4	April	64289	Galon
5	Mei	64289	Galon
Jumlah		315806	Galon
Rata - Rata Perbulan		63161	Galon

Kapasitas kerja perbulan = 864.000 detik/bulan

$$\text{Waktu siklus} = \frac{864000}{63161} = 13,679 \text{ detik}$$

$$K_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{c} = \frac{78,4390}{13,6793} = 5,7 \Rightarrow 6 \text{ stasiun}$$

Tabel 13. Perhitungan line balancing berdasarkan takt time permintaan

Stasiun	Elemen	St	Ct - St	(Ct - St)^2
1	1, 2, 3	13,4397	0,2396	0,0574
2	4	8,8251	4,8541	23,5628
3	5.1	8,1717	5,5076	30,3334
	5.2	8,1717	5,5076	30,3334
4	6, 7	13,2400	0,4393	0,1930
5	8, 9, 10	10,2282	3,4511	11,9100
6	11.1	8,1813	5,4980	30,2284
	11.2	8,1813	5,4980	30,2284
Jumlah		78,4390	30,9953	156,8467

Idle time = 30,9953 detik      *Balanced delay* = 4,43 %  
*Line efficiency* = 95,57 %      *Smoothness index* = 12,52

Perhitungan *Line Balancing* Berdasarkan *Takt Time* Produksi.

Tabel 14. Data produksi tahun 2012

No	Bulan	Produksi	Satuan
1	Januari	56000	Galon
2	Februari	56487	Galon
3	Maret	60609	Galon
4	April	58580	Galon
5	Mei	63702	Galon
Jumlah		295378	Galon
Rata - Rata Perbulan		59076	Galon

Kapasitas kerja perbulan = 864000 detik/bulan

$$\text{Waktu siklus} = \frac{864000}{59076} = 14,6253 \text{ detik}$$

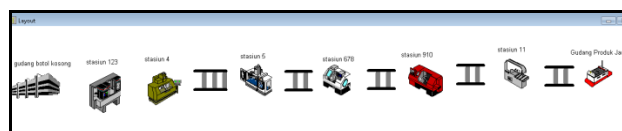
Jumlah minimum stasiunnya adalah 6 stasiun.

Tabel 15. Perhitungan line balancing berdasarkan takt time produksi

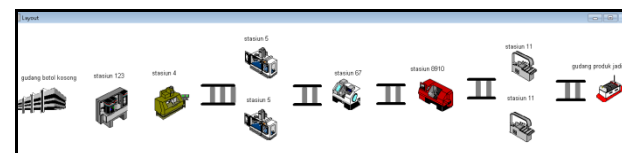
Stasiun	Elemen	St	Ct - St	(Ct - St)^2
1	1, 2, 3	13,4397	1,1856	1,4057
2	4	8,8251	5,8002	33,6422
3	5.1	8,1717	6,4536	41,6492
	5.2	8,1717	6,4536	41,6492
4	6,7	13,2400	1,3853	1,9191
5	8, 9, 10	10,2282	4,3971	19,3348
6	11.1	8,18125	6,4441	41,5261
	11.2	8,18125	6,4441	41,5261
Jumlah		78,4390	38,5637	222,6525

Idle time = 38,5637 detik,      *Balanced delay* = 10,61 %  
*Line efficiency* = 89,39 %,      *Smoothness index* = 14,92

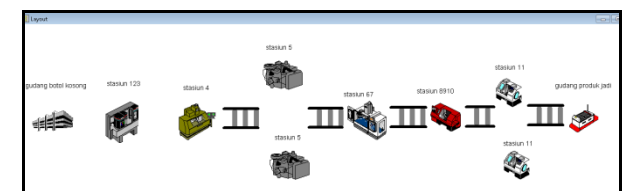
Model Usulan



Gambar 7. Layout berdasarkan cycle time maksimum



Gambar 8. Layout berdasarkan takt time permintaan



Gambar 9. Layout berdasarkan takt time produksi

Tabel 16. Rekapitulasi replikasi model usulan

Replikasi	Output			
	Eksisting	CT Maksimum	Takt Time Permintaan	Takt Time Produksi
1	1732	2043	2043	1963
2	1732	2042	2043	1963
3	1732	2043	2043	1963
4	1732	2043	2043	1963
5	1732	2043	2043	1963
6	1732	2043	2043	1963
7	1733	2043	2043	1963
8	1732	2043	2043	1963
9	1732	2043	2043	1963
10	1732	2042	2043	1963
Jumlah	17321	20428	20430	19630
Rata-Rata	1732	2043	2043	1963

Berdasarkan hasil *output* tersebut selanjutnya akan dilakukan pengujian *One – Way ANOVA* untuk menganalisis varian satu variabel independent apakah rata – rata dua atau lebih kelompok berbeda secara nyata.

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
Eksisting	10	1.7321E3	.31623	.10000	1731.8738	1732.3262	1732.00	1733.00
CT Maksimum	10	2.0428E3	.42164	.13333	2042.4984	2043.1016	2042.00	2043.00
Takt Time Permintaan	10	2.0430E3	.00000	.00000	2043.0000	2043.0000	2043.00	2043.00
Takt Time Produksi	10	1.9630E3	.00000	.00000	1963.0000	1963.0000	1963.00	1963.00
Total	40	1.9452E3	128.91987	20.38402	1903.9944	1986.4566	1732.00	2043.00

Gambar 10. Statistic descriptives one – way anova

Data tabel 10 menunjukkan kategori berdasarkan variabel *independent*, jumlah data setiap kelompok, nilai rata – rata, standar deviasi, standar *error*, *lower* dan *upper bound*, serta nilai minimum dan maksimum dari setiap kelompok.

Tabel 17. Test of homogeneity one – way anova

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
7.531	3	36	.000

Data tabel 17 menunjukkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *One-Way ANOVA* didapat Sig = 0,000. Sig(0,000) < α (0,05), dimana hal ini menunjukkan keempat kondisi hasil *output* memiliki nilai varian yang tidak sama.

Tabel 18. One – way anova

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	648190.475	3	216063.492	3.111E6	.000
Within Groups	2.500	36	.069		
Total	648192.975	39			

Data tabel 18 menunjukkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *One-Way ANOVA* didapat  $F_{hitung} = 3,111E6$  dan  $F_{tabel} = 2,872$ ,  $F_{hitung} (3,111E6) > F_{tabel} (2,872)$  serta Sig = 0,000. Sig (0,000) < α (0,05), dimana hal ini menunjukkan nilai rata – rata keempat kondisi hasil *output*-nya berbeda.

Pada hasil pengujian ANOVA pada gambar diatas tidak diketahui apa saja yang berbeda dan bagaimana perbedaan yang ada, maka dari itu dilakukan *post-hoc test* dengan menggunakan LSD (*Least Significant Difference*), *Bonferroni* dan *Tukey* untuk mengetahui apa saja yang berbeda dan bagaimana perbedaan yang ada. Dan hasilnya dapat terlihat pada gambar dibawah ini.

Test	(i, Jenis)	(j, Jenis)	Mean Difference (i-j)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Tukey HSD	Eksisting	CT Maksimum	-.3107000'	.11785	.000	-.5110174	-.1093826
		Takt Time Permintaan	-.3109000'	.11785	.000	-.5112174	-.1095826
		Takt Time Produksi	-.2309000'	.11785	.000	-.4312174	-.2305826
	CT Maksimum	Eksisting	.3107000'	.11785	.000	.1093826	.5110174
		Takt Time Permintaan	-.20000	.11785	.340	-.5174	.1174
		Takt Time Produksi	.7980000'	.11785	.000	.794826	80.1174
	Takt Time Permintaan	Eksisting	.3109000'	.11785	.000	.1095826	.5112174
		CT Maksimum	.20000	.11785	.340	-.1174	.5174
		Takt Time Produksi	.8000000'	.11785	.000	.796826	80.3174
	Takt Time Produksi	Eksisting	.2309000'	.11785	.000	.2305826	.2312174
		CT Maksimum	-.7980000'	.11785	.000	-.801174	-.794826
		Takt Time Permintaan	-.8000000'	.11785	.000	-.803174	-.796826
LSD	Eksisting	CT Maksimum	-.3107000'	.11785	.000	-.5103980	-.1093020
		Takt Time Permintaan	-.3109000'	.11785	.000	-.5111390	-.1096610
		Takt Time Produksi	-.2309000'	.11785	.000	-.4311390	-.2306610
	CT Maksimum	Eksisting	.3107000'	.11785	.000	.1093020	.5103980
		Takt Time Permintaan	-.20000	.11785	.098	-.4390	.0390
		Takt Time Produksi	.7980000'	.11785	.000	.795610	80.0390
	Takt Time Permintaan	Eksisting	.3109000'	.11785	.000	.1096610	.5111390
		CT Maksimum	.20000	.11785	.098	-.0390	.4390
		Takt Time Produksi	.8000000'	.11785	.000	.797610	80.2390
	Takt Time Produksi	Eksisting	.2309000'	.11785	.000	.2305610	.2311390
		CT Maksimum	-.7980000'	.11785	.000	-.800390	-.795610
		Takt Time Permintaan	-.8000000'	.11785	.000	-.802390	-.797610

Gambar 11. Hasil one – way anova (post hoc multiple comparisons)

Test	(i, Jenis)	(j, Jenis)	Mean Difference (i-j)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
Bonferroni	Eksisting	CT Maksimum	-.3107000'	.11785	.000	-.5110290	-.1093710
		Takt Time Permintaan	-.3109000'	.11785	.000	-.5112290	-.1095710
		Takt Time Produksi	-.2309000'	.11785	.000	-.4312290	-.2305710
	CT Maksimum	Eksisting	.3107000'	.11785	.000	.1093710	.5110290
		Takt Time Permintaan	-.20000	.11785	.590	-.5290	.1290
		Takt Time Produksi	.7980000'	.11785	.000	.794710	80.1290
	Takt Time Permintaan	Eksisting	.3109000'	.11785	.000	.1095710	.5112290
		CT Maksimum	.20000	.11785	.590	-.1290	.5290
		Takt Time Produksi	.8000000'	.11785	.000	.796710	80.3290
	Takt Time Produksi	Eksisting	.2309000'	.11785	.000	.2305710	.2312290
		CT Maksimum	-.7980000'	.11785	.000	-.801290	-.794710
		Takt Time Permintaan	-.8000000'	.11785	.000	-.803290	-.796710

\*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

Gambar 11. Hasil One – Way ANOVA (Post Hoc Multiple Comparisons) (lanjutan)

Dari hasil diatas, *post-hoc test* dengan menggunakan LSD (*Least Significant Difference*), *Bonferroni* dan *Tukey* mendapatkan hasil yang sama yaitu pada baris 1, kondisi eksisting dengan CT maksimum, *takt time* permintaan dan *takt time* produksi nilai sigma 0.000 yang berarti nilai sigma (0.000) < α (0.05) maka ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan.

Kemudian pada baris 2, kondisi CT maksimum dengan *Takt Time* Permintaan, nilai sigma 0.340 yang berarti nilai sigma (0.340) > α (0.05) maka tidak ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan. Sedangkan CT maksimum dengan eksisting dan *takt time* produksi nilai sigma (0.000) yang berarti nilai sigma (0.000) < α (0.05) maka ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan.

Lalu pada baris 3, kondisi *Takt Time* Permintaan dengan kondisi *Takt Time* Produksi dan eksisting, nilai sigma 0.000 yang berarti nilai sigma (0.000) < α (0.05) maka ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan. Sedangkan *takt time* permintaan dengan CT maksimum nilai sigma 0.340 yang berarti nilai sigma (0.340) > α (0.05) maka tidak ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan.

Kemudian pada baris 4, kondisi *Takt Time* Produksi dengan kondisi eksisting, *takt time* permintaan dan CT maksimum nilai sigma 0.000 yang berarti nilai sigma (0.000) < α (0.05) maka ada perbedaan terhadap hasil *output* secara signifikan. Hal tersebut ditunjukkan dengan urutan kondisi perlakuan yang ditunjukkan oleh tabel 19.

Tabel 19. Urutan hasil output

Urutan	Model Usulan	Rata – Rata Output (unit/shift)
1	<i>Takt Time</i> Permintaan	2043
2	CT Maksimum	2043
3	<i>Takt Time</i> Produksi	1963
4	Eksisting	1732

Hasil diatas menunjukkan bahwa kondisi sesuai dengan *Takt Time* Permintaan menghasilkan hasil *output* rata – rata terbesar, yaitu 2043 unit / shift. Oleh karena itu, *Takt Time* Permintaan adalah usulan yang lebih baik diantara dua usulan lainnya.

Untuk rekapitulasi hasil perbandingan antara berbagai jenis perhitungan *line balancing* dapat dilihat pada tabel 20.

Tabel 20. Rekapitulasi perhitungan line balancing sesuai kriteria

Parameter	Eksisting	Cycle Time Maksimum	Takt Time Permintaan	Takt Time Produksi
Waktu siklus (detik)	16,3625	16,3625	13,6793	14,6253
Jumlah stasiun	11	6	6	6
Idle time lintasan (detik)	101,5485	19,7360	30,9953	38,5637
Efisiensi lintasan (%)	43,58	79,90	95,57	89,39
Balance delay lintasan (%)	56,42	20,10	4,43	10,61
Smoothness index	35,96	11,27	12,52	14,92
Output Sistem (unit)	1732	2043	2043	1963

Dari hasil pembahasan dapat dianalisa, *takt time* permintaan bisa diterapkan namun dengan penambahan 1 mesin yaitu pada mesin *water* dan mesin *heater*. Perusahaan dapat dikatakan baik jika perusahaan memproduksi sesuai dengan permintaannya (*make to order*) sehingga tidak ada produk yang menunggu terlalu lama di gudang, dimana hal tersebut akan merugikan perusahaan karena akan ada biaya *inventory* dan produk akan rusak yang berimbas kepada kekurangan keuntungan perusahaan.

*Takt time* produksi bisa juga diterapkan namun sama seperti *takt time* permintaan dimana perusahaan akan menambah 1 mesin yaitu pada mesin *water* dan mesin *heater*. Perusahaan dapat memproduksi sesuai target produksi tetapi tetap perusahaan tidak dapat mencukupi permintaan yang ada sehingga perusahaan akan mengalami kekurangan keuntungan dikarenakan konsumen akan beralih kepada perusahaan sejenis lainnya. Berbeda halnya jika menerapkan *cycle time* maksimum, perusahaan hanya merubah *layout*-nya saja tanpa harus menambah jumlah mesin dan merubah waktu siklus yang telah ditetapkan.

## KESIMPULAN

Pada proses produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) untuk ukuran 5 gallon terdapat stasiun *bottleneck* pada stasiun 11 ( mesin *heater*) dengan *station time*-nya 16,3625 detik. Cara yang dilakukan perusahaan untuk meningkatkan kapasitas produksinya adalah mere-*layout* lantai produksinya dan menekan waktu siklusnya sesuai dengan usulan yang diberikan peneliti. Dimana untuk *takt time* permintaan dan *takt time* produksi harus menambah mesin sebanyak 1 mesin pada mesin *water* dan mesin *heater*. Sedangkan untuk *cycle time* maksimum hanya menggabungkan stasiunnya saja tanpa menambah jumlah mesin. Kapasitas produksi berbanding terbalik dengan waktu siklus, dimana semakin kecil waktu siklus maka akan semakin besar *output* yang dihasilkan.

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa kondisi usulan lebih baik daripada kondisi eksisting, hal tersebut dapat dilihat dari hasil *output* produknya dimana untuk eksisting hanya 1732 unit / shift, sedangkan untuk model usulan CT maksimum 2043 unit / shift, *takt time* permintaan 2043 unit / shift dan *takt time* produksi 1963 unit / shift.

## DAFTAR PUSTAKA

- Baroto, T. 2001. Perencanaan Line Balancing Guna Meningkatkan Output Produksi, *Jurnal Optimum*, Volume 2 No. 1, hal. 108 – 116.
- Harrell, C. 2000. *Simulation Using Promodel*. United States Of America : McGraw – Hill.
- Law And Kelton. 1991. *Simulation Modeling and Annalysis*, 2<sup>nd</sup> ed., New York : McGraw – Hill.
- Perwitasari, D.S., 2008. Perbandingan Metode Ranked Positional Weight dan Kilbridge Wester Pada Permasalahan Keseimbangan Lini Lintasan Produksi Berbasis Single Mesin Model. *Skripsi*. Teknik Informatika ITB, Bandung.
- Simatupang, T.M. 1995. *Pemodelan Sistem*. Studio Manajemen, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung. Bandung.