

## KESEIMBANGAN LINTASAN TIPE *U- LINE ASSEMBLY* PADA PERAKITAN POMPA AIR

Pratikto<sup>1</sup>, Tanti Octavia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Industri, Universitas Brawijaya  
Jl. MT. Haryono 167 Malang 65145  
Email : pratiktoprawoto@yahoo.com

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Universitas Kristen Petra  
Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya 60236  
Email: tanti@petra.ac.id

### ABSTRAK

Saat ini, secara umum banyak perusahaan dihadapkan pada masalah meminimalkan beban kerja yang tidak seimbang dan jumlah stasiun kerja dengan batasan proses serta lokasi yang ada. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan di atas. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan keseimbangan lintasan *straight line* dan tipe *U-line* menggunakan model *mixed integer programming* pada suatu perakitan pompa air. Model *mixed integer programming* diselesaikan dengan menggunakan LINGO. Hasil penelitian menunjukkan tipe *U-line* memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan *straight line* berdasarkan jumlah *work station* dan lebih efisien secara signifikan.

**Kata kunci:** keseimbangan lintasan, keseimbangan lintasan tipe *U-line*, *mixed integer programming*

### ABSTRACT

*Many companies strive for minimizing imbalance work station as well as number of work stations. Besides, the work station's precedence and space curb also have to be considered. So far, there exist many solutions on those quests. Two of those solutions are the straight line and the U-type line balancing. In this paper, we compare the straight line balancing to U-type line balancing using Mixed Integer Programming (MIP), particularly, for solving the assembly line of water pumps production. Additionally, we employed LINGO to solve the MIP model. The result shows that the U-type line gives a better solution than the straight line balancing in term of number of work station. Moreover, it also shows that U-type line balancing is more efficient than the straight line balancing, significantly.*

**Keywords:** line balancing, U-type line balancing, mixed integer programming

## 1. PENDAHULUAN

Suatu industri selalu dituntut untuk beroperasi secara lebih efisien agar tetap dapat berkompetisi dengan industri yang lain. Salah satu upaya efisiensi yang dapat dilakukan adalah dengan meminimalkan jumlah stasiun kerja, terutama stasiun kerja pada lintasan perakitan. Permasalahan meminimalkan jumlah stasiun kerja selama ini dikenal juga dengan permasalahan keseimbangan lintasan. Penyelesaian masalah keseimbangan lintasan ini bertujuan untuk meminimalkan kerja yang tidak seimbang dan jumlah stasiun kerja. Dalam penyelesaian keseimbangan lintasan, beberapa masukan dibutuhkan seperti: permintaan, waktu elemen kerja dan *precedence* di antara elemen kerja.

Penyelesaian keseimbangan lintasan telah banyak dikembangkan baik dengan pendekatan *heuristic* maupun model optimasi. Sebuah prosedur *heuristic* dikembangkan oleh Chiang dan

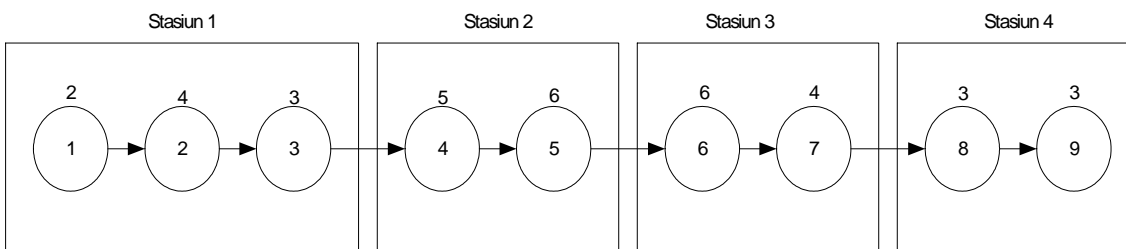
Urban (2006) untuk menyelesaikan keseimbangan lintasan pada lintasan tipe *U* dengan waktu proses *stochastic*. Pendekatan *metaheuristic* juga digunakan pada beberapa problem keseimbangan lintasan, seperti penggunaan *tabu search algorithm* (Lapierre *et al.*, 2006) dan *genetic algorithm* (Kim *et al.*, 2009). Solusi optimal penyelesaian masalah keseimbangan lintasan dapat diperoleh dengan menggunakan model pemrograman linear. Essafi *et al.* (2008) menggunakan model *Mixed Integer Programming* (MIP) pada permasalahan keseimbangan lintasan dengan batasan yang kompleks. Selain permasalahan keseimbangan lintasan, model MIP juga telah banyak diteliti pada permasalahan penjadwalan flowshop (Sutanto *et al.*, 2004).

Pengembangan model keseimbangan lintasan cukup banyak dilakukan pada beberapa tahun terakhir ini. Pengembangan model ini disesuaikan dengan kemungkinan penerapan di dunia industri. Becker dan Scholl (2006) melakukan survei pengembangan model keseimbangan lintasan untuk menyelesaikan masalah yang lebih realistis. Mereka menyatakan bahwa sudah banyak problem yang relevan dengan dunia industri yang sudah diidentifikasi dan diselesaikan. Boysen *et al.* (2007) mengklasifikasikan beberapa model keseimbangan lintasan untuk mengurangi adanya kesenjangan antara peneliti dan praktisi. Penelitian ini mencoba untuk menerapkan model-model keseimbangan lintasan pada suatu industri perakitan pompa air di Indonesia. Dua model yang akan digunakan pada penelitian ini adalah model *straight line* dan model *U-line*. Model *straight line* adalah model keseimbangan lintasan sederhana yang sering digunakan di banyak penelitian, dimana stasiun kerja diurutkan dari proses-proses awal hingga ke proses akhir. Sementara model *U-line* berkembang sebagai akibat dari perkembangan tata letak fasilitas. Tipe *U-line assembly* ini memiliki keuntungan dengan dimungkinkannya penanganan elemen kerja yang tidak berurutan dalam satu stasiun kerja. Tipe *U-line* ini memiliki kelemahan pada keterbatasan *space* untuk MIP sehingga sebagai konsekuensinya keseimbangan lintasan yang ada haruslah sangat baik. Beberapa penelitian mengenai keseimbangan lintasan tipe *U-line* ini antara lain dilakukan oleh Nakade dan Ohno (1999) serta Gokcen dan Agpak (2004).

Jumlah proses yang tidak terlalu banyak dan urutan proses yang tidak rumit pada proses perakitan pompa air membuat penggunaan metode MIP tidak membutuhkan waktu perhitungan yang lama. Hal tersebut di ataslah yang menjadi alasan bahwa model MIP akan digunakan untuk menyelesaikan masalah keseimbangan lintasan untuk *straight line* dan *U-line*. Model MIP untuk masing-masing model keseimbangan lintasan dijelaskan pada Subbab 2 dan 3. Penerapan kedua model dijelaskan pada Subbab ke empat dan kesimpulan penelitian ini dijelaskan pada Subbab lima.

## 2. MODEL STRAIGHT LINE

Penempatan elemen kerja pada suatu stasiun kerja dengan tipe *straight line* dilakukan dengan memperhatikan *precedence constraint* dan banyaknya elemen kerja. Kelemahan dari tipe ini adalah kurangnya fleksibilitas penggabungan elemen kerja dalam satu stasiun kerja. Gambar 1 menunjukkan keseimbangan lintasan *straight line*.



**Gambar 1.** Keseimbangan lintasan *straight line*

Beberapa penelitian telah dikembangkan pada penyelesaian model *straight line*. Di antaranya adalah keseimbangan lintasan *heuristik*, misal, Kilbridge-Wester, Helgeson-Birnie dan keseimbangan lintasan yang dibangun berdasarkan model matematika, misal, MIP (Elsayed, 1994). Pada pendekatan Kilbridge-Wester, keseimbangan lintasan dilakukan dengan menempatkan elemen kerja berdasarkan banyaknya elemen kerja terdahulu. Sedangkan, pada pendekatan Helgeson-Birnie menempatkan elemen kerja dilakukan berdasarkan bobot posisi di tiap elemen kerja. Penyelesaian dengan MIP pada model *straight line* adalah sebagai berikut:

Notasi yang digunakan:

- $i$  indeks elemen kerja
- $j$  indeks stasiun kerja
- $N$  jumlah elemen kerja
- $C$  waktu siklus
- $W_j$  total elemen kerja yang berada pada stasiun kerja  $j$
- $m_{max}$  maksimum jumlah stasiun kerja

Variabel keputusan:

- $x_{ij}$  1, jika ada elemen kerja  $i$  berada di stasiun kerja  $j$ ; lainnya 0
- $Z_j$  1, jika ada elemen kerja berada di stasiun kerja  $j$ ; lainnya 0

Fungsi tujuan:

Meminimumkan jumlah stasiun kerja

$$\text{Min} \sum_{j=1}^{m_{max}} z_j \quad (1)$$

Kendala:

1. Tiap elemen kerja hanya ditugaskan pada satu stasiun kerja

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} x_{ij} = 1, \text{ untuk } i = 1, \dots, n \quad (2)$$

2. Waktu tiap stasiun kerja tidak melebihi waktu siklus

$$\sum_{i=1}^n t_i(x_{ij}) \leq C, \text{ untuk } j = 1, \dots, m_{max} \quad (3)$$

3. Minimum jumlah stasiun kerja

$$\sum_{i=\|W_j\|} x_{ij} \leq \|W_j\| Z_j, \text{ untuk } j = 1, \dots, m_{max} \quad (4)$$

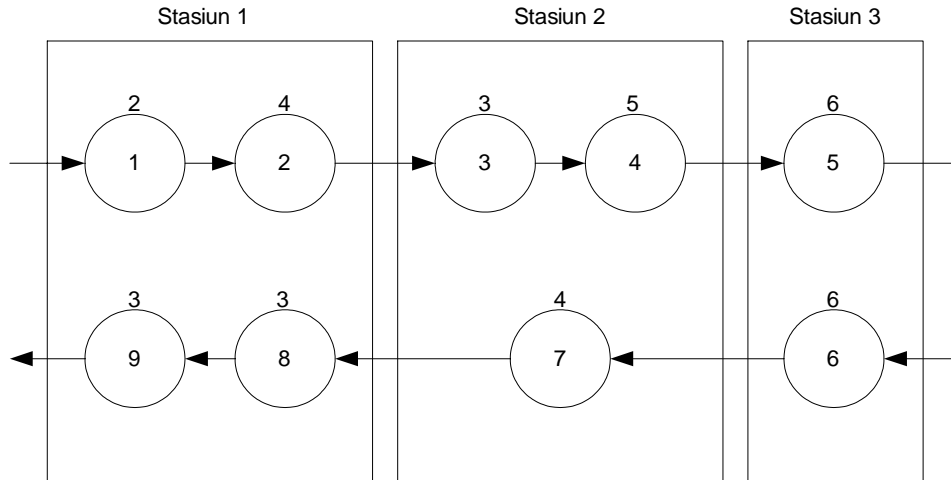
4. *Precedence* dimana elemen kerja pendahulu berada di stasiun kerja terlebih dahulu daripada elemen kerja sesudah

$$\sum_{j=1}^{m_{max}} (m_{max} - k + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0, \text{ untuk } (r,s) \in P \quad (5)$$

Persamaan (1) merupakan fungsi tujuan dari model MIP untuk *straight line balancing* sedangkan (2) hingga (5) merupakan batasan yang ada pada penugasan elemen kerja, waktu pada tiap stasiun kerja, dan *precedence* di antara elemen kerja.

### 3. MODEL *U-LINE* BALANCING

Model *U-line* merupakan lintasan pada proses produksi yang berbentuk *U*. Model ini lebih fleksibel dan efisien dibandingkan model *straight line* dikarenakan proses awal dan akhir suatu produk dapat dikelompokkan dalam satu stasiun kerja. Tujuan keseimbangan *U-line* adalah meminimalkan waktu siklus yang dapat meningkatkan laju produksi atau meminimalkan jumlah stasiun kerja yang akan menurunkan jumlah tenaga kerja. Keseimbangan *U-line* dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Keseimbangan lintasan *U-line* (Gokcen, 2004)

Notasi-notasi yang digunakan dalam pembuatan *U-line balancing* berdasarkan *integer programming* adalah sebagai berikut (Urban, 1998):

Notasi yang digunakan:

- $i$  indeks elemen kerja
- $j$  indeks stasiun kerja
- $n$  jumlah elemen kerja
- $c$  waktu siklus
- $r$  elemen kerja pendahulu
- $s$  elemen kerja pengikut
- $p$  *precedence constraint*
- $W_j$  total elemen kerja yang berada pada stasiun kerja  $j$
- $m_{max}$  maksimum jumlah stasiun kerja
- $t_i$  waktu proses elemen kerja  $i$

Variabel keputusan:

- $x_{ij}$  1, jika ada elemen kerja  $i$  di *original precedence* diagram berada di stasiun kerja berada di stasiun kerja  $j$  dimana  $i = 1 \dots, n, j = 1, \dots, m_{max}$ ; lainnya 0
- $y_{ij}$  1, jika elemen kerja  $i$  di *phantom precedence diagram* berada di stasiun kerja  $j$ ;  $i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m_{max}$ ; lainnya 0
- $Z_j$  1, jika ada elemen kerja berada di stasiun kerja  $j$  dimana  $j = 1, \dots, m_{max}$ ; lainnya 0

Fungsi tujuan:

Meminimumkan jumlah stasiun kerja

$$Min \sum_{j=\lceil m_{\min} \rceil+1}^{m_{\max}} z_j \quad (6)$$

Kendala:

1. Tiap elemen kerja hanya ditugaskan pada satu stasiun kerja

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (x_{ij} + y_{ij}) = 1, \text{ untuk } i = 1, \dots, n \quad (7)$$

2. Waktu proses di setiap stasiun kerja tidak boleh melebihi waktu siklus.

$$\sum_{i=1}^n t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq C, \text{ untuk } j = 1, \dots, \lceil m_{\min} \rceil \quad (8)$$

3. Waktu proses di setiap stasiun kerja setelah stasiun kerja ke- $\lceil m_{\min} \rceil$  tidak boleh melebihi waktu siklus jika stasiun tersebut ada.

$$\sum_{i=1}^n t_i (x_{ij} + y_{ij}) \leq Cz_j, \text{ untuk } j = \lceil m_{\min} \rceil + 1, \dots, m_{\max} \quad (9)$$

4. Hubungan tiap elemen kerja yaitu elemen kerja pengikut harus berada di stasiun berikutnya atau stasiun kerja yang sama dengan elemen kerja pendahulunya, baik untuk *original network* maupun *phantomed network*.

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (m_{\max} - j + 1)(x_{rj} - x_{sj}) \geq 0, \text{ untuk } (r,s) \in P$$

$$\sum_{j=1}^{m_{\max}} (m_{\max} - j + 1)(y_{sj} - y_{rj}) \geq 0, \text{ untuk } (r,s) \in P \quad (10)$$

Pendekatan keseimbangan lintasan di atas dapat dibandingkan berdasarkan efisiensi dari lintasan tersebut. Suatu lintasan yang seimbang memiliki total waktu siklus yang dibutuhkan mendekati sama dengan total waktu siklus yang tersedia dari keseluruhan stasiun kerja. Berikut ini tingkat efisiensi dari suatu keseimbangan lintasan:

$$\eta_{SL} = \frac{Tt}{nxc}$$

dimana:

- $Tt$  total waktu siklus yang dibutuhkan  
 $n$  jumlah stasiun kerja  
 $c$  waktu siklus satu stasiun kerja

#### 4. KESEIMBANGAN LINTASAN PADA PERAKITAN POMPA

Pada bagian ini permasalahan keseimbangan lintasan proses perakitan pompa air diselesaikan dengan membandingkan tipe *U-line* dan *straight line balancing*. Proses perakitan pompa air ini dibagi menjadi proses perakitan beberapa bagian kecil yang disebut *Assy* dan penggabungan *Assy* menghasilkan sebuah unit pompa air. Urutan proses perakitan dan rata-rata waktu kegiatan tiap proses perakitan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Tabel 1 secara berurutan.

Waktu siklus satu stasiun kerja ditetapkan berdasarkan waktu terlama dari perakitan yang ada sebesar 329 detik.

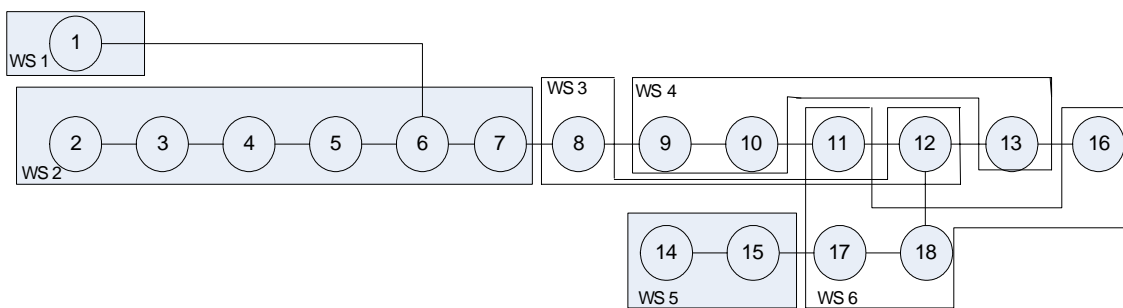
**Tabel 1.** Waktu standar tiap perakitan

No	Perakitan	Waktu (detik)	No	Perakitan	Waktu (detik)
1	Assy I	329	10	Assy IIIb	25
2	Assy Iia	84	11	Assy IIIc	22
3	Assy Iib	11	12	Assy Iva	29
4	Assy Iic	69	13	Assy Ivb	261
5	Assy Iid	79	14	Assy Ivc	92
6	Assy Iie	33	15	Assy Ivd	92
7	Assy Iif	13	16	Assy V	130
8	Assy Iig	135	17	Assy VI	121
9	Assy IIIa	31	18	Assy VII	14

Penyelesaian masalah di atas dilakukan dengan menggunakan LINGO. Hasil *straight line* balancing ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini:

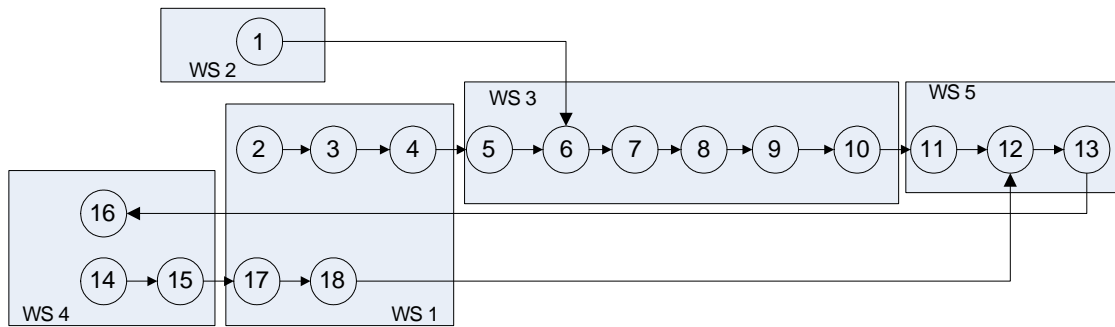
**Tabel 2.** Penugasan dengan *straight line balancing*

Stasiun kerja	Perakitan	Waktu siklus stasiun kerja
1	1	329
2	2, 3, 4, 5, 6, 7	289
3	8, 12	164
4	9, 10, 13	317
5	14, 15	184
6	11, 16, 17, 18	287
Total waktu siklus ( <i>T<sub>i</sub></i> )		1570



**Gambar 3.** Keseimbangan lintasan untuk *straight line*

Model MIP untuk *straight line balancing* diolah dengan bantuan LINGO menunjukkan jumlah stasiun kerja yang dibutuhkan sebanyak enam buah. Hasil ini lebih banyak dibandingkan dengan menggunakan *U-line balancing* yang berjumlah lima stasiun kerja. Hasil penugasan dengan *U-line balancing* dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 3 berikut ini:



**Gambar 4.** Keseimbangan lintasan untuk U-Line

**Tabel 3.** Penugasan dengan U-line balancing

Stasiun kerja	Perakitan	Waktu siklus stasiun kerja
1	2, 3, 4, 17, 18	299
2	1	329
3	5, 6, 7, 8, 9, 10	316
4	16, 15, 14	314
5	11, 13, 12	312
Total waktu siklus (Tt)		1570

Efisiensi yang dihasilkan dengan *straight line balancing* sebesar:

$$\eta_{SL} = \frac{Tt}{nxc}$$

$$\eta_{SL} = \frac{1570}{6 \times 329} = 79,53\%$$

Sedangkan dengan menggunakan *U-line balancing*, tingkat efisiensi yang dihasilkan sebagai berikut:

$$\eta_{UL} = \frac{Tt}{nxc}$$

$$\eta_{UL} = \frac{1570}{5 \times 329} = 95,44\%$$

Perbedaan tingkat efisiensi *U-line balancing* dibandingkan dengan *straight line* sangat signifikan pada keseimbangan lintasan perakitan pompa air ini. Hal ini terjadi dikarenakan lebih sedikitnya jumlah stasiun kerja yang dibutuhkan dengan *U-line balancing*. Pengurangan jumlah stasiun kerja ini tentu saja membutuhkan jumlah tenaga kerja yang lebih sedikit tetapi sebagai konsekuensinya dibutuhkan *skill* tenaga kerja yang lebih ahli.

## 5. KESIMPULAN

Hasil penyelesaian model MIP keseimbangan lintasan *U-line* dan *straight line balancing* pada permasalahan perakitan pompa air menunjukkan bahwa *U-line assembly* membutuhkan jumlah stasiun kerja yang lebih sedikit dibandingkan *straight line assembly*. Konsekuensi hasil berikutnya adalah tercapainya tingkat efisiensi yang lebih tinggi secara signifikan untuk *U-line*

*assembly* dibandingkan *straight line assembly*. Hasil ini sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu yang secara teori menyatakan bahwa keseimbangan lintasan *U-line* lebih baik daripada *straight line*.

Kesimpulan di atas diambil berdasarkan asumsi bahwa waktu proses kerja antara *straight line* dan *U-line* tidak berbeda. Secara praktis, ada kemungkinan waktu proses bisa berbeda karena kedua sistem ini berbeda. Maka pada penelitian lebih lanjut akan dievaluasi apakah dalam penerapan yang sesungguhnya model *U-line* memang lebih efisien daripada model *straight line* secara signifikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Becker, C., and Scholl, A., 2006. "A Survey on Problems and Methods in Generalized Assembly Line Balancing." *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, pp. 694 – 715.
- Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A., 2007. "A Classification of Assembly Line Balancing Problems." *European Journal of Operational Research*, Vol. 38, pp. 674 – 693.
- Chiang, W. C., and Urban, T. L., 2006. "The Stochastic U-line Balancing Problem: A Heuristic Procedure." *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, pp. 1767 – 1781.
- Elsayed, E. A., 1994. *Analysis and Control of Production System*. Prentice Hall, Inc., New Jersey.
- Essafi, M., Delorme, X., Dolgui, A., and Gusvhinskaya, O., 2008. "A MIP Approach for Balancing Transfer Line with Complex Industrial Constraints." *Computers & Industrial Engineering*, doi: 10.1016/j.cie.2009.04.009.
- Gokcen, H., and Agpak, K., 2006. "A Goal Programming Approach to Simple U-Line Balancing Problem." *European Journal of Operational Research*, Vol. 170, pp. 577-585.
- Kim, Y. K., Song, W. S., and Kim, J. H., 2009. "A Mathematical Model and a Genetic Algorithm for Two Sided Assembly Line Balancing." *Computers & Operations Research*, Vol. 36, pp. 853 – 865.
- Lapierre, S. D., Ruiz, A., and Soriano, P., 2006. "Balancing Assembly Lines with Tabu Search." *European Journal of Operational Research*, Vol. 168, pp. 826 – 837.
- Nakade, K., and Ohno, K., 1999. "An optimal worker allocation problem for a U-shaped production line." *International Journal of Production Economics*, Vol. 60 – 61, pp. 353 – 358.
- Sutanto, T. V., Palit, H. C., dan Munika, I., 2004. "Studi Perbandingan Performance Algoritma Heuristik Terhadap Mixed Integer Programming dalam Menyelesaikan Penjadwalan Flowshop." *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 6, pp. 79-85.
- Urban, T. L., 1998. "Note: Optimal Balancing of U-Shaped Assembly Lines." *Management Science*, Vol. 44, pp. 738-741.