

Penilaian Desain Produk dengan *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* dan *Ullman 13 Guidelines* untuk Meningkatkan Kinerja Perakitan

Didik Wahjudi

Dosen Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Abstrak

Pada industri yang menghasilkan produk akhir dengan komponen yang cukup banyak, proses perakitan biasanya merupakan proses yang paling menentukan jumlah biaya produksi. Mengingat hampir semua produk dirakit dari beberapa komponen dan proses perakitan itu sendiri menyita waktu, maka sedapat mungkin dibuat produk-produk yang dapat dirakit dengan mudah.

Desain produk yang kurang tepat akan menyebabkan jumlah komponen yang terlalu banyak sehingga mengurangi keandalan produk tersebut. Pada akhirnya, hal ini akan meningkatkan biaya proses perakitan. Oleh karena itu perlu dilakukan penilaian terhadap desain produk dengan tujuan memudahkan perakitan.

Tujuan penelitian ini adalah menilai desain produk dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* (AA&LBS), kemudian dilakukan perbaikan terhadap desain lama sehingga diperoleh desain baru. Selanjutnya desain baru tersebut dibandingkan dengan desain yang diperoleh metode *Boothroyd Dewhurst* (BD), dimana alat pembandingnya adalah tabel penurunan waktu perakitan, tabel peningkatan efisiensi, tabel penurunan biaya perakitan dan metode *Ullman's 13 Guidelines*.

Dari analisa data, diperoleh bahwa dengan metode AA&LBS penurunan waktu perakitan hampir 2.7 kali lebih besar, dan penurunan biaya perakitan hampir 2.5 kali lebih besar dari hasil yang diperoleh metode BD. Metode AA&LBS juga memberikan rata-rata peningkatan efisiensi yang lebih besar yaitu 11.08 %, sedangkan metode BD hanya 0.08 %. Berdasarkan metode *Ullman's 13 Guidelines*, metode AA&LBS memiliki total score sebesar 1062, sedangkan metode BD sebesar 1060.

Kata kunci: desain untuk perakitan, efisiensi desain

Abstract

In an industry that produces product with a quite many components, assembly process usually is the most cost-determining process. Realizing that almost all products are assembled from some components and that the assembly process itself takes time, then products as much as possible are made to be assembled easily.

Product design that is not proper will cause a very high numbers of components that, in turn, will reduce the reliability of that product. Finally, it will increase the assembly cost. That's why product design needs to be evaluated for assembly purpose.

The purpose of this research is to evaluate product design by Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet (AA&LBS) method. Then, the old design is improved to get a new design. The new design is compared the one resulted from Boothroyd Dewhurst (BD) method, where assembly time reduction, efficiency improvement, assembly cost reduction, and Ullman's 13 Guidelines method are used as the criteria.

Of the data analysis, assembly time reduction of AA&LBS method is almost 2.7 times, and assembly cost reduction is almost 2.5 times than of BD method. AA&LBS method also resulted in average efficiency improvement that is larger, i.e. 11.08%, while BD method is only 0.08%. According to Ullman's 13 Guidelines method, AA&LBS method has a total score of 1062, while BD method has a score of 1060.

Keywords: design for assembly, design efficiency

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Januari 2000. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 2 Nomor 1 April 2000.

1. Pendahuluan

Pada semua proses *manufacturing* diperlukan proses desain agar dapat menghasilkan produk akhir dengan biaya produksi yang optimal karena sebagian besar biaya produksi ditentukan pada tahap awal dari proses desain.

Pada industri yang menghasilkan produk akhir dengan komponen yang cukup banyak, proses perakitan biasanya merupakan proses yang paling menentukan jumlah biaya produksi.

Desain produk yang kurang tepat akan menyebabkan jumlah komponen yang terlalu banyak sehingga mengurangi keandalan dari produk tersebut. Pada akhirnya, hal ini akan meningkatkan biaya proses perakitan. Oleh karena itu industri perlu mendesain produk dengan baik agar dapat meningkatkan daya saingnya.

Adapun masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana menilai desain produk dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* dan *Ullman 13 Guidelines*?
2. Bagaimana perbandingan antara hasil desain metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* dengan hasil desain metode *Boothroyd Dewhurst* (Wahjudi, D and Shu San, Gan, 1999)?

Adapun batasan-batasan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Jenis produk yang akan dibahas adalah *combination-switch* seperti pada (Wahjudi, D and Shu San, Gan, 1999)
- Hanya membahas desain produk.
- Perubahan desain yang diusulkan hanya meliputi penggabungan komponen, serta perubahan jenis dan bahan komponen.

2. *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet*

Metode ini mampu mengatasi masalah yang sering terjadi dalam perakitan otomatis, yaitu produk yang tidak didesain untuk kemudahan *assembly* dan sebagian besar dari *part* tidak mudah dipindahkan secara otomatis. Tujuan dari *assembly analysis and line balancing spreadsheet* adalah menyediakan metode sistematis untuk memperkirakan desain secara kualitatif dan kuantitatif dari sudut pandang perakitan.

Spreadsheet ini mampu menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi biaya perakitan,

yaitu jumlah *part* dan kemudahan *part* tersebut dipindahkan. *Spreadsheet* ini diberi kode dengan warna tertentu, dan bila sudah lengkap dapat discan untuk menentukan (paling tidak secara kualitatif) bila ada masalah-masalah yang potensial. Warna merah mengindikasikan karakteristik *part* yang meningkatkan biaya perakitan, sedangkan putih mengindikasikan *feature* yang layak (biayanya lebih murah). Di sini digunakan dua macam warna merah, yaitu merah tua yang mengindikasikan *feature* atau situasi yang meningkatkan biaya perakitan, dan warna merah muda digunakan untuk *part* non-rotasi yang bila digabung dengan lainnya menyebabkan kesukaran pemindahan secara otomatis. Untuk *part* semacam itu, diperlukan pengecekan dalam tiga kolom warna merah muda, untuk mengindikasikan kesukaran-kesukaran yang mungkin terjadi.

Selain kode warna, *spreadsheet* ini menyediakan database waktu untuk mengevaluasi desain secara kualitatif dan membandingkan dengan desain yang lain, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Sebagai contoh untuk menjelaskan cara menjawab/mengisi pertanyaan-pertanyaan yang terdapat pada *spreadsheet*, digunakan *Suppress Plate Assy*. Langkah pertama adalah memasukkan nama rakitan, dalam kasus ini adalah *Suppress Plate* yang diberi nomor 1, kemudian pindah ke *part* yaitu *pin* dan diberi nomor 2. *Pin* adalah sebuah *part* sehingga "P" ditempatkan di kolom 1. Nilai numerik yang ditunjukkan adalah perkiraan waktu minimum yang diperlukan untuk memindahkan dan merakit sebuah *pin* (diletakkan pada kolom 27). Dalam melepas *pin* (demikian juga pada perakitannya) diperlukan manipulasi dan orientasi, sehingga ditempatkan tanda silang (X) pada kolom 2. Kolom ini berwarna merah karena suatu manipulasi atau reorientasi merupakan tugas tambahan pada operasi perakitan aktual untuk sebuah *part*, sehingga ada pemborosan waktu dan uang.

Pin tidak perlu dieratkan/dikencangkan tetapi perakit harus memegang pin tersebut sebelum *part* berikutnya ditambahkan, maka tanda silang ditempatkan di bawah "HOLD?" pada kolom 3.

Seperti yang tertulis di atas, biaya perakitan berbanding lurus dengan jumlah part dalam sebuah produk. Oleh sebab itu, bila jumlah *part* dapat dikurangi maka biaya perakitan akan berkurang juga. Untuk alasan inilah kolom 4 "CAN BE ELIMINATED?" merupakan yang terpenting di antara seluruh pertanyaan pada *spreadsheet* tersebut. Karena *pin* tidak dapat dihilangkan atau digabung maka tanda silang ditempatkan di bawah "N".

Pin tersebut sekarang dirakit ulang untuk menjawab pertanyaan pada kolom 5 sampai 10. Dalam perakitan, tidak ada *part* lain yang membatasi pandangan (terlihat dengan mudah) sehingga “Y” ditandai pada kolom 5, tetapi posisi pemasangan *pin* sulit untuk dijangkau, diarahkan maupun dipasang sehingga kolom 6, 7, dan 8 ditandai “N”. *Pin* dipasang secara tegak lurus terhadap bidang rakitan namun tidak dari atas, maka “Y” ditandai pada kolom 9 dan “N” pada kolom 10.

Selanjutnya kolom 11 diisi sesuai dengan data ukuran dimensi *pin*, dimana A = panjang, B = diameter dan C = ukuran lainnya. Karena A (26 mm) > 6 mm maka tidak ada tanda silang pada kolom 12 dan 13.

Pin tidak bersifat lengket, tajam, rapuh, licin, tidak mudah terkait, dan beratnya < 10 lbs, sehingga tidak ada tanda silang pada kolom 14, 15, 16, dan 17. Dalam pemasangan *pin* digunakan *pinset* dan kedua tangan bekerja, oleh karena itu tanda silang ditempatkan di bawah “TOOLS” dan “2 HANDS”. Dasar untuk mengisi kolom 22 sampai 26 adalah bentuk fisik dari *pin* itu sendiri. Setelah melengkapi baris ini, *pin* tersebut dikesampingkan dan *part* berikutnya yaitu *spring pin* diuraikan, demikian seterusnya. Setelah *spreadsheet* selesai diisi, kolom “TOTAL” dijumlahkan ke bawah untuk mendapatkan perkiraan waktu perakitan *Suppress Plate Assy*.

2.1 Perbaikan Desain

Setelah *spreadsheet-spreadsheet* untuk 16 sub-rakitan tersebut selesai diisi, dilakukan perbaikan desain pada *part-part* dan *task-task* yang mempunyai tanda silang di bawah “Y” pada kolom “CAN BE ELIMINATED?”. Selisih perbandingan waktu perakitan antara desain lama dan baru dari masing-masing sub-rakitan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan Waktu Perakitan Desain Lama Dan Desain Baru

Nama assembly	T _m lama (dt)	T _m baru (dt)	T _m lama - T _m baru (dt)
<i>Suppress plate assy (T/S)</i>	158,62	134,06	24,56
<i>Latching plate assy (T/S)</i>	190,1	161,9	28,2
<i>Lever assy (T/S)</i>	203,4	109,9	93,5
<i>Switch Assy (T/S)</i>	167	160,5	6,5
<i>Lever master assy (T/S)</i>	85,7	55,7	30
<i>Case assy (T/S)</i>	131,1	103,6	27,5
<i>Turn & light switch assy</i>	199	133	66
<i>Suppress plate assy (W/S)</i>	140,62	122,06	18,56
<i>Latching plate assy (W/S)</i>	93,3	72,3	21
<i>Lever assy (W/S)</i>	132,5	109,9	22,6
<i>Switch Assy (W/S)</i>	184,5	178	6,5

Lever master assy (W/S)	85,7	55,7	30
Exh. & wiper switch assy	271,4	234,4	37
Fog lamp switch assy	112,3	112,3	0
Housing assy	106,2	93,18	13,02
Combi switch	92	26	66
Total	2353,44	1862,5	490,94

2.2 Perhitungan Efisiensi

Untuk mengisi tabel ini, mula-mula efisiensi dari *Suppress Plate Assy* dihitung, dimana data-data yang telah diketahui adalah:

➤ Desain lama

$$T_i = 31,56 \text{ detik}$$

$$T_m = 158,62 \text{ detik}$$

$$\text{Sehingga } E_m = 31,56 / 158,62 = 19,89 \%$$

➤ Desain baru

$$T_i = 31,56 \text{ detik}$$

$$T_m = 134,06 \text{ detik}$$

$$\text{Sehingga } E_m = 31,56 / 134,06 = 23,54 \%$$

Dengan cara yang sama dihitung efisiensi desain lama dan desain baru untuk masing-masing sub-rakitan yang lainnya.

Tabel 2. Perbandingan Efisiensi Desain Lama dan Desain Baru

Nama assembly	E _m lama (%)	E _m baru (%)	E _m baru - E _m lama (%)
<i>Suppress plate assy (T/S)</i>	19,9	23,54	3,64
<i>Latching plate assy (T/S)</i>	58,97	69,24	10,27
<i>Lever assy (T/S)</i>	39,54	73,18	33,64
<i>Switch Assy (T/S)</i>	23,35	24,3	0,95
<i>Lever master assy (T/S)</i>	36,99	56,91	19,92
<i>Case assy (T/S)</i>	50,82	64,31	13,49
<i>Turn & light switch assy</i>	21,11	31,58	10,47
<i>Suppress plate assy (W/S)</i>	18,92	21,79	2,87
<i>Latching plate assy (W/S)</i>	34,08	43,98	9,9
<i>Lever assy (W/S)</i>	60,69	73,18	12,49
<i>Switch Assy (W/S)</i>	23,85	24,72	0,87
<i>Lever master assy (W/S)</i>	36,99	56,91	19,92
<i>Exh. & wiper switch assy</i>	46,93	54,33	7,4
<i>Fog lamp switch assy</i>	38,13	38,13	0
<i>Housing assy</i>	67,02	76,39	9,37
<i>Combi switch</i>	8,7	30,77	22,07
Rata - rata	36,62	47,70	11,08

2.3 Perhitungan Biaya Perakitan

Rumusan estimasi biaya perakitan:

$$C_m = (W + M) * T_m$$

Keterangan :

C_m = Estimasi biaya perakitan (Rp)

W = Gaji per tahun/jam kerja per tahun (Rp/dt)

M = Biaya peralatan per tahun (Rp/dt)

T_m = Total waktu perakitan (dt)

Data-data yang diketahui adalah :

❖ W = 0,88 (Rp/dt)

❖ $M = 0,86$ (Rp/dt)
 ❖ $W + M = 0,88 + 0,86 = 1,74$ (Rp/dt)
 Jadi, estimasi biaya perakitan *Suppress Plate Assy* :

- Desain lama
 $C_m = 1,74 * 158,62 = \text{Rp. } 275,99$
- Desain baru
 $C_m = 1,74 * 134,06 = \text{Rp. } 233,26$

Tabel 3. Perbandingan Biaya Perakitan Desain Lama dan Desain Baru

Nama assembly	C _m lama (Rp)	C _m baru (Rp)	C _m baru - C _m lama (Rp)
<i>Suppress plate assy</i> (T/S)	275,99	233,26	42,73
<i>Latching plate assy</i> (T/S)	330,77	281,70	49,07
<i>Lever assy</i> (T/S)	353,92	191,23	162,69
<i>Switch Assy</i> (T/S)	290,58	279,27	11,31
<i>Lever master assy</i> (T/S)	149,12	122,15	26,97
<i>Case assy</i> (T/S)	228,11	205,49	22,62
<i>Turn & light switch assy</i>	346,26	231,42	114,84
<i>Suppress plate assy</i> (W/S)	244,68	212,38	32,3
<i>Latching plate assy</i> (W/S)	162,34	125,80	36,54
<i>Lever assy</i> (W/S)	230,55	191,22	39,32
<i>Switch Assy</i> (W/S)	321,03	309,72	11,31
<i>Lever master assy</i> (W/S)	149,12	122,15	26,97
<i>Exh. & wiper switch assy</i>	472,24	407,86	64,38
<i>Fog lamp switch assy</i>	195,402	195,402	0
<i>Housing assy</i>	184,79	162,13	22,66
<i>Combi switch</i>	160,08	45,24	114,84
<i>Total</i>	4094,98	3316,43	778,55

3. Analisa dengan Metode Ullman's 13 Guidelines

Metode ini dikembangkan untuk menilai/mengukur efisiensi rakitan suatu desain, dimana teknik yang digunakan berdasarkan pada 13 pedoman desain dengan tujuan perakitan yang membentuk sebuah *worksheet*. Pada dasarnya merakit suatu produk berarti bahwa seseorang dan/atau sebuah mesin harus melakukan aktivitas sebagai berikut:

1. Mengambil komponen-komponen dari tempat penyimpanan.
2. Memindahkan komponen-komponen tersebut untuk diarahkan (diorientasikan).

3. Memasang/menyisipkan komponen-komponen tersebut.

Oleh karena itu, kemudahan perakitan menjadi proporsional terhadap jumlah komponen yang harus dirakit dan kemudahan komponen tersebut dipindahkan dari tempat penyimpanan ke bagian akhir, yaitu posisi perakitan.

Suatu produk dinilai dari efisiensi rakitan keseluruhan dan kemudahan masing-masing komponen diambil, dipindahkan dan dipasang. Suatu produk dengan efisiensi perakitan yang tinggi mempunyai sedikit komponen dan mudah dipindahkan.

Sub-rakitan pertama yang dianalisa adalah *Suppress plate assy*, dengan cara menjawab ketiga belas pertanyaan yang terdapat dalam *worksheet* yang dijabarkan sebagai berikut :

- 1) Potensi perbaikan = $(11 - 11)/11 = 0 \%$, berarti *outstanding*.
- 2) Digunakan pengencangan yang terpisah yaitu *clinchng*/keling sehingga nilainya = $1/11 = 9 \%$, berarti *outstanding*.
- 3) *Suppress plate assy* sebagai komponen basis yang diletakkan pada *fixture*, berarti *outsanding*.
- 4) Karena *Suppress plate assy* diletakkan pada *fixture*, berarti *No Repositioning*.
- 5) Urutan perakitan sekarang sudah merupakan yang terbaik, berarti *outstanding*.
- 6) Jumlah komponen yang tidak menyebabkan *tangling*, *nesting*, dan *flexible* = 6 buah, yaitu : *Pin, Moving Piece, Holder + Moving Block, Spring pin, Cam, dan Ring stopper*. Sehingga nilainya = $6 / 11 = 55 \%$, berarti *Some parts*.
- 7) Semua komponen diletakkan tanpa susunan di dalam kotak besar, berarti *No parts*.
- 8) Jumlah komponen yang *End-to-end symmetry* = 6, yaitu *Pin, Fixing plate + Shaft, Moving piece, Spring, Ring stopper, dan Spring pin*, sehingga nilainya = $6 / 11 = 55 \%$, berarti *Some parts*.
- 9) Jumlah komponen yang sumbu pemasangannya simetris = 7, yaitu *Pin, Moving piece, Spring, Fixing plate + Shaft, Ring Stopper, Cam, dan Spring pin*, sehingga nilainya = $7 / 11 = 63 \%$, berarti *Most parts*.
- 10) Jumlah komponen yang benar-benar asimetris = 4, yaitu *Holder + Moving block, Bar, Spring, dan Suppress plate*, sehingga nilainya = $4 / 11 = 36 \%$, berarti *Few parts*.
- 11) Semua *parts* kecuali *Ring stopper* dipasang secara tegak lurus, sehingga nilainya = $10 / 11 = 91 \%$, berarti *All parts*.
- 12) Tidak ada *part* yang menggunakan *chamfer*, *leads* dan *compliance* untuk

memudahkan pemasangan dan pengarah-an, berarti *No parts*

- 13) Jarak atau jangkauan untuk mengakses semua part cukup besar berarti *All parts*.

Diperoleh jumlah *score* yang hampir sama yaitu 1062 untuk hasil desain baru metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* dan 1060 untuk hasil desain baru metode *Boothroyd Dewhurst*.

Hal ini disebabkan karena secara fisik desain baru kedua metode di atas memang mirip, mengingat bahwa keduanya memiliki cara perbaikan yang sama (berdasarkan pada teori *Design for Assembly*). Di samping itu, metode *Ullman's 13 Guidelines* tidak membahas tentang *task / tugas* yang menjadi pokok perbedaan antara metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* dan *Boothroyd Dewhurst*.

4. Perbandingan Hasil Desain Aa & Lbs dengan Boothroyd Dewhurst

Tabel 4. Penurunan Waktu Perakitan

Nama Assembly	AA & LBS (dt)	BD (dt)
Suppress plate assy (T/S)	24,56	9,66
Latching plate assy (T/S)	28,2	24,60
Lever assy (T/S)	93,5	4
Switch assy (T/S)	6,5	9,8
Lever master assy (T/S)	30	12,42
Case assy (T/S)	27,5	0
Turn & light switch assy	66	64,86
Suppress plate assy (W/S)	18,56	5,8
Latching plate assy (W/S)	21	24,6
Lever assy (W/S)	22,6	4
Switch assy (W/S)	6,5	9,8
Lever master assy (W/S)	30	12,42
Exh. & wiper switch assy	37	0
Fog lamp switch assy	0	0
Housing assy	13,02	0
Combi switch	66	0
Total	490,94	181,96

 = Penurunan waktu perakitan yang lebih besar

Berdasarkan jumlah total terlihat bahwa penurunan waktu perakitan dengan metode *Assembly Analysis and line Balancing Spreadsheet* hampir 2,7 kali lebih besar daripada jumlah yang diperoleh dengan metode *Boothroyd Dewhurst*.

Tabel 5. Peningkatan Efisiensi

Nama Assembly	AA&LBS (%)	BD (%)
Suppress plate assy (T/S)	3,64	0,07
Latching plate assy (T/S)	10,27	0,24

Lever assy (T/S)	33,64	0,11
Switch assy (T/S)	0,95	0,04
Lever master assy (T/S)	19,92	0,14
Case assy (T/S)	13,49	0
Turn & light switch assy	10,47	0,14
Suppress plate assy (W/S)	2,87	0,06
Latching plate assy (W/S)	9,9	0,26
Lever assy (W/S)	12,49	0,11
Switch assy (W/S)	0,87	0,04
Lever master assy (W/S)	19,92	0,14
Exh. & wiper switch assy	7,4	0
Fog lamp switch assy	0	0
Housing assy	9,37	0
Combi switch	22,07	0
Rata-rata	11,08	0,08

 = Peningkatan efisiensi yang lebih besar

Dari tabel di atas, dengan metode *Assembly Analysis and line Balancing Spreadsheet* diperoleh rata-rata peningkatan efisiensi sebesar 11,08% sedangkan rata-rata yang diperoleh metode *Boothroyd Dewhurst* hanya 0,08%.

Tabel 6. Penurunan Biaya Perakitan

Nama Assembly	AA&LBS (Rp)	BD (Rp)
Suppress plate assy (T/S)	42,73	16,81
Latching plate assy (T/S)	49,07	42,81
Lever assy (T/S)	162,69	6,96
Switch assy (T/S)	11,31	17,05
Lever master assy (T/S)	26,97	21,61
Case assy (T/S)	22,62	0
Turn & light switch assy	114,84	112,86
Suppress plate assy (W/S)	32,3	10,09
Latching plate assy (W/S)	36,54	42,8
Lever assy (W/S)	39,32	6,96
Switch assy (W/S)	11,31	17,05
Lever master assy (W/S)	26,97	21,61
Exh. & wiper switch assy	64,38	0
Fog lamp switch assy	0	0
Housing assy	22,66	0
Combi switch	114,84	0
Total	778,55	316,61

 = Penurunan biaya perakitan yang lebih besar

Pada tabel di atas, diperoleh bahwa penurunan biaya perakitan dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* hampir 2,5 kali lebih besar dari pada hasil yang diperoleh metode *Boothroyd Dewhurst*.

5. Kesimpulan & Saran

- Kelebihan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* adalah bahwa desain lama dapat diperbaiki dengan adanya petunjuk berupa tanda silang pada kolom yang bersisir merah dan merah muda.

2. Hasil penilaian metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* lebih menyeluruh dan lebih mendekati waktu perakitan yang sebenarnya karena di dalamnya terdapat *task/tugas* dan *part/komponen*, sedangkan pada metode *Boothroyd Dewhurst* hanya memperhitungkan *part* saja.
3. Berdasarkan jumlah total waktu perakitan, terjadi penurunan dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* hampir 2,7 kali lebih besar dari pada hasil metode *Boothroyd Dewhurst*.
4. Rata-rata peningkatan efisiensi dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* adalah 11,08 %, sedangkan rata-rata yang diperoleh metode *Boothroyd Dewhurst* hanya 0,08 %.
5. Untuk analisa biaya perakitan, metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* memperoleh jumlah penurunan biaya hampir 2,5 kali lebih besar dari hasil yang diperoleh metode *Boothroyd Dewhurst*.
6. Dengan metode *Ullman's 13 Guidelines*, diperoleh bahwa *score* hasil desain baru dengan metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet* lebih tinggi 2 poin dari pada hasil desain baru dengan metode *Boothroyd Dewhurst*.
4. Poli, C., Graves, R. "Rating Products for Ease of Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet", *Machine Design*. August 21, 1986. pp.79-84.
5. Ullman, D.G., *The Mechanical Design Process*. New York: McGraw-Hill, 1992.
6. Warnecke, H.J. & Babler, R. "Design for Assembly - Part of Design Process", *Annals of the CIRP* vol.37/1/1988. pp.1-4.
7. Chendrawaty. "Penilaian Desain Produk Untuk Tujuan Perakitan", Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri, UK. Petra, 1999.

Beberapa saran yang dapat diberikan ialah:

- ◆ Desain produk yang ada dapat ditinjau dan dibandingkan dengan desain baru dari metode *Assembly Analysis and Line Balancing Spreadsheet*.
- ◆ Sebenarnya bisa diperoleh waktu perakitan desain baru yang lebih kecil lagi dari yang telah diperoleh, dengan cara meniadakan penalti-penalti (tanda silang). Hal ini bisa dilakukan oleh orang yang ahli dalam bidang desain dan manufaktur.

Daftar Pustaka

1. Boothroyd, G., Dewhurst, P. "Design for Assembly: Manual Assembly", *Machine Design*. December 8, 1983. pp.140-145.
2. Julia, "Pemilihan Metode Perakitan Dan Desain Produk Untuk Meningkatkan Kinerja Perakitan Di P.T. Indoniles Electric Part", Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri, UK. Petra, 1998.
3. O'Grady, P. "Design for Assembly", *Concurrent Engineering System Part II*. September 14, 1995. Chapter 4.

		1	2	3			4		5	6	7	8	9	10	11			12	13
		ASSEMBLY																	
ASSEMBLY	PART / TASK	FASTENED?						C A N B E E L I M I N A T E D ?	INSERTION						ENVELOPE DIMENSION				
		Y			N				EASILY			AUTO St.Line			(A > B > C)				
		M A N I P U L A T I O N ?	P R E S S U R E ?	O T H E R ?	O P E R A T I O N S ?	L O C A T I O N S ?	H O L D ?	V I E W E D ?	A C C E S S E D ?	A L I G N E D ?	I N S E R T E D ?	A F R O V E ?	A	B	C	A < 0.24 IN (6 mm)	C < 0.08 IN (2 mm)		
		Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N	Y	N		
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5
		2	9	1.5	2	0	3.5			0	2	2	0	1.5	0	1			0.5

		14	15	16	17	18	19	20	21	22			23					24	25			26	27					
		HANDLING									ROTATIONAL PART								RECTANGULAR PART									
		DIFFICULT TO HANDLE									SYMETRIC								PART HAS 180° SYMETRY ABOUT									
		(GRASP / MANIPULATE / FEED)									ABOUT D? (N 360)				ABOUT L? (N 0 - 360)				I N S E R T I O N			A D D I T I O N A L O P E R A T I O N S						
		S T R E S S	S F E E R I B L E	N E S T	H E A V Y	T O O L S	M E C H A N I C A L	A B R A S I V E	2 H A N D S	2 H A N D S	0 Y 180	2	3/4	5	6	0/1 Y 0	2	3/4	5	6	7	O T H E R	X (A)	Y (B)	Z (C)	A D D I T I O N A L O P E R A T I O N S	A S S E M B L Y /	T O T A L
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0.5	0	0.5	0	0.5	
0.5	3.5	0.5	1	7	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0.5	0.5	0.5	0.5</									

Lampiran 2. Penilaian Desain Produk dengan Metode Ullman's 13 Guidelines

DESIGN FOR ASSEMBLY				EVALUATE BY _____		DATE _____			
				REVIEWED BY _____		DATE _____			
INDIVIDUAL ASSEMBLY EVALUATION FOR				TRIAL	01	02	03	04	05
OVERALL ASSEMBLY								COMMENTS	
1	Overall part count minimized (5 criteria)	<input type="radio"/> Poor	<input type="radio"/> Fair	<input type="radio"/> Good	<input type="radio"/> Very Good	<input type="radio"/> Outstanding			
2	Minimum use of separate fasteners	<input type="radio"/> Poor	<input type="radio"/> Fair	<input type="radio"/> Good	<input type="radio"/> Very Good	<input type="radio"/> Outstanding			
3	Base part with fixturing features (locating surfaces and holes)	<input type="radio"/> Poor		<input type="radio"/> Good	<input type="radio"/> Very Good	<input type="radio"/> Outstanding			
4	Repositioning required during assembly sequence	<input type="radio"/> 2 or more repositions		<input type="radio"/> Reposition once		<input type="radio"/> No Repositioning			
5	Assembly sequence efficiency	<input type="radio"/> Poor	<input type="radio"/> Fair	<input type="radio"/> Good	<input type="radio"/> Very Good	<input type="radio"/> Outstanding			
PART RETRIEVAL									
6	Characteristics that complicate handling (tangling, nesting, flexible) have been avoided	<input type="radio"/> No parts	<input type="radio"/> Few parts	<input type="radio"/> Some parts	<input type="radio"/> Most parts	<input type="radio"/> All parts			
7	Parts have been designed for a specific feed approach (bulk, strip, magazine)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
PART HANDLING									
8	Parts with end-to-end symmetry	<input type="radio"/> No parts	<input type="radio"/> Few parts	<input type="radio"/> Some parts	<input type="radio"/> Most parts	<input type="radio"/> All parts			
9	Parts with symmetry about the axis of insertion	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
10	Where symmetry is not possible parts are clearly asymmetric	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
PART MATING									
11	Straight line motions of assembly	<input type="radio"/> No parts	<input type="radio"/> Few parts	<input type="radio"/> Some parts	<input type="radio"/> Most parts	<input type="radio"/> All parts			
12	Chamfers and features that facilitate insertion and self-alignment	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
13	Maximum part accessibility	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>			
						Total x 8			
NOTE:						Total x 6			
Evaluation score to be used only to compare one assembly to alternate designs of the same assembly				Total x 4					
			Total x 2						
			Total x 0						
						Total Score		0	