

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/303544582>

Perancangan Stasiun Kerja Ergonomis untuk Operator Pemotongan Bahan Baku di Pabrik Genteng Jatiwangi, Kabupaten Majalengka

Article · January 2014

CITATIONS

0

READS

1,867

1 author:



Dony Susandi

Universitas Majalengka

7 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



dissertation task [View project](#)

Perancangan Stasiun Kerja Ergonomis untuk Operator Pemotongan Bahan Baku di Pabrik Genteng Jatiwangi, Kabupaten Majalengka

Dony Susandi¹, Arif Rijaluddin², Abdul Chaliq³

¹Teknik Industri¹, ²Teknik Sipil², ³Teknik Sipil³, Fakultas Teknik - Universitas Majalengka
Jl. KH. Abdul Halim No. 103, Majalengka – Jawa Barat
Telepon (0233) 281496
Email: ds_777@ymail.com, aguzmilan22@yahoo.co.id,
Choliq_fastac@yahoo.co.id

Received 3 February 2014; Accepted 2 April 2014

Abstract

In the production department of a manufacturing company, ergonomic, healthy and safety should be a major concern. It's a department with a high accident work rate. One of the approach method in the improvement of working methods of cutting provider of raw materials are anthropometry in ergonomics, its can be used to improve the working tools of the operator so that work equipment is used in accordance with the standards body anthropometric operator. Nordic body map used to recognize the parts of the body operators that have complaint at the time of cutting raw material that aim to reduce the complaints that occur when they doing his job. The study was conducted with the biomechanical approach to the condition before and after work. Previous measurements of anthropometric dimensions of the body to obtain a standard tool used by operators of production department. Biomechanical analysis focused only on the link and joint body parts operators has complaints while working to obtain the energy consumption before and after work. The initial dimension of the raw material table slider 350 x 25 cm with a single cutting of the raw material resulting in repeated cuts. The result of dimensional redesign raw material table slider that indicate significant differences, the dimension needed are 530 x 70 cm. By using raw materials slider table current condition the energy expenditure result are 4,6375 kcal/min. Based on standard workload Lehman 3,75 kcal/min, the energy expenditure operators showed that cuts the raw material requires greater energy. Through the redesign of the raw material table slider and better cutting method, the forces and moments acting on the operators when work will create the new workload position. The energy expenditure of the new workload position indicate better result and operators doing their job with a standard workload.

Keywords : Ergonomics, Work Design, Anthropometric, Energy Expenditure, Biomechanic.

1. PENDAHULUAN

Revolusi industri tidak terlepas dari revolusi sosial dan budaya. Kehadiran industri juga merupakan transformasi sosial budaya manusia dalam memenuhi kebutuhan hidupnya. Tetapi pada sisi lain, tidak menutup kemungkinan bahwa kehadiran industri dapat menimbulkan konflik sosial budaya, kecelakaan, dan bahkan mengakibatkan kematian pada manusia (Sutalaksana, 2006). Untuk menghindari terjadinya kecelakaan akibat kerja, manusia harus diberikan alat kerja atau mesin dan atau lingkungan kerja yang berada dalam batas kemampuan, kebolehan, dan keterbatasannya (Sutalaksana, 2006).

Ergonomi adalah suatu cabang ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia merancang suatu sistem

kerja, sehingga manusia dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik, yaitu mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif, aman, dan nyaman. Fokus dari ergonomi adalah manusia dan interaksinya dengan produk, peralatan, fasilitas, prosedur dan lingkungan dan pekerja serta kehidupan sehari-hari dimana penekanannya adalah pada faktor manusia (Wignjosoebroto, 1996). Disiplin *Human Engineering* atau ergonomi banyak diaplikasikan dalam berbagai perancangan produk (*man-made objects*) ataupun operasi kerja sehari-harinya. *Human Engineering* atau ergonomi merupakan suatu pengetahuan yang utuh tentang permasalahan interaksi manusia dengan teknologi dan produknya, sehingga dimungkinkan adanya suatu rancangan sistem manusia dan mesin (teknologi) yang optimal (Wignjosoebroto, 1996).

Di dalam ergonomi dibutuhkan studi tentang sistem dimana manusia, fasilitas kerja, dan lingkungannya saling berinteraksi dengan tujuan utama yaitu menyesuaikan suasana kerja dengan manusianya. Ergonomi disebut juga sebagai “*Human Factors*”. Penerapan ergonomi pada umumnya merupakan aktivitas rancang bangun atau *design* ataupun rancang ulang *re-design* (Laksmi Kusuma Wardhani, 2003).

Studi tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen, dan desain atau perancangan merupakan hal yang penting bagi perindustrian, khususnya industri yang bergerak dalam bidang manufaktur terutama bagi manusia sebagai operator yang berinteraksi secara langsung dengan kegiatan proses produksi. Kelalaian dalam melakukan suatu pekerjaan khususnya dalam kegiatan proses produksi, sering mengakibatkan kecelakaan (Suma'mur, 1981). Faktor utama dalam kecelakaan kerja adalah kelelahan atau keletihan dalam bekerja, yang diakibatkan dari keluhan-keluhan yang terjadi pada saat atau sesudah bekerja.

Kecelakaan akibat kerja adalah kecelakaan yang terhubung dengan hubungan kerja pada perusahaan. Hubungan kerja disini dapat berarti, bahwa kecelakaan terjadi dikarenakan oleh pekerjaan atau pada waktu melaksanakan pekerjaan. Kecelakaan yang terjadi di luar tubuh pekerja disebut kecelakaan eksternal, begitu pula sebaliknya bila terjadi dalam tubuh pekerja disebut kecelakaan internal.

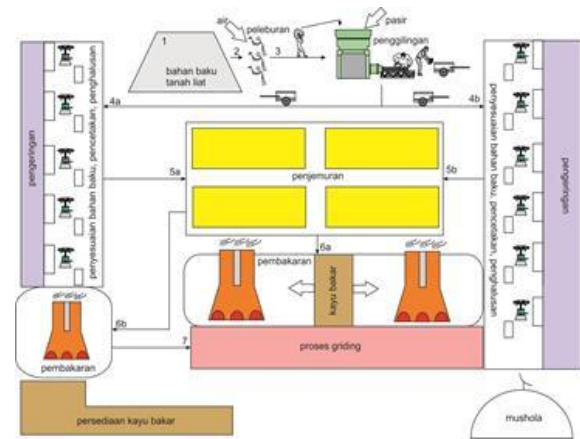
Dalam penelitian ini, lebih menitikberatkan pada cara pencegahan atau pengurangan resiko kecelakaan kerja dan keluhan *muskoskeletal* pada sistem kerja. Melihat kondisi kerja dari hasil pengamatan selama penelitian dilaksanakan, maka perlu dilakukan perancangan ulang kondisi lingkungan kerja dan peralatan departemen kerja, dengan analisa yang berdasar pada anthropometri tubuh operator dan biomekanika. Penelitian ini bertujuan untuk merancang stasiun kerja pada departemen departemen mesin penggiling bagian pemotongan bahan baku genteng berdasarkan pada prinsip-prinsip ergonomik yang sesuai dengan prinsip ergonomi dan biomekanika.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Identifikasi dan Tujuan Penelitian

Kelalaian dalam melakukan suatu pekerjaan khususnya dalam kegiatan proses produksi, sering mengakibatkan kecelakaan (Suma'mur, 1981). Faktor utama dalam kecelakaan kerja adalah kelelahan atau keletihan dalam bekerja, yang diakibatkan dari keluhan-keluhan yang terjadi pada saat atau sesudah bekerja sehingga menimbulkan suatu kondisi yang tidak dikehendaki.

Kondisi yang tidak dikehendaki misalnya tangan yang melebihi tinggi siku, terlalu rendahnya kursi, posisi membungkuk, jarak jangkauan yang terlalu jauh atau terlalu dekat, kondisi seperti ini akan berpengaruh pada pekerja yang akan menimbulkan rasa nyeri pada punggung dan lengan.



Gambar 1. Proses Produksi Pabrik Genteng

2.2 Nordic Body Map

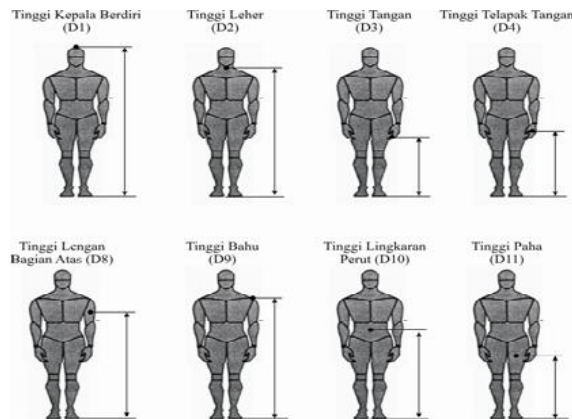
Keluhan-keluhan pada bagian tertentu pada tubuh manusia sesudah melakukan pekerjaan digunakan sebagai pertimbangan dalam menentukan dimensi tubuh untuk pengukuran beban tubuh operator (lihat tabel 1. Nordic Body Map).

Tabel 1. *Nordic Body Map*

No	Bagian Tubuh Yang Terasa Sakit	Ya	Tidak
1	Sakit pada bagian leher		
2	Sakit pada bagian bahu kiri		
3	Sakit pada bagian bahu kanan		
4	Sakit pada bagian punggung		
5	Sakit pada bagian pinggang		
6	Sakit pada bagian lengan atas kiri		
7	Sakit pada bagian lengan atas kanan		
8	Sakit pada bagian lengan bawah kiri		
9	Sakit pada bagian lengan bawah kanan		
10	Sakit pada bagian pergelangan tangan kiri		x
11	Sakit pada bagian pergelangan tangan kanan		
12	Sakit pada bagian sekitar pantat		x
13	Sakit pada bagian paha kiri		x
14	Sakit pada bagian paha kanan		x
15	Sakit pada bagian lutut kiri		
16	Sakit pada bagian lutut kanan		
17	Sakit pada bagian betis kiri		
18	Sakit pada bagian betis kanan		
19	Sakit pada bagian pergelangan kaki kiri		
20	Sakit pada bagian pergelangan kaki kanan		
21	Sakit pada bagian telapak kaki kiri		x
22	Sakit pada bagian telapak kaki kanan		x
23	Sakit pada bagian perut		

2.3 Anthropometri

Dalam *Nordic body map*, terdapat beberapa keluhan operator saat melakukan pemotongan bahan baku, yaitu tubuh bagian atas (tangan, punggung dan pinggang) serta tubuh bagian bawah (paha, betis dan telapak kaki). Data anthropometri yang digunakan dalam keadaan statis (Gambar 2).



Gambar 2. Dimensi Ukuran Antropometri

2.4 Denyut Jantung

Pengukuran denyut jantung Cara sederhana yang dilakukan dalam pengumpulan data denyut jantung yaitu dengan menggunakan metode 10 denyut pada masing-masing operator, yaitu dengan cara menekan urat nadi pada pergelangan tangan bagian depan sebelah atas pangkal ibu jari tangan (*Arteri radialis*), dan menghitung waktu dengan menggunakan *stopwatch* (Kilbon, 1992).

2.5 Konsumsi Energi

Untuk mengetahui energi yang dibutuhkan per menitnya dalam melakukan pekerjaan yang terjadi pada operator bagian pemotongan maka dibutuhkan analisis interpolasi yang berdasarkan klasifikasi beban kerja, yaitu dengan mengkalikan konsumsi oksigen dengan konsumsi energi yang dikeluarkan yang berdasarkan jumlah denyut jantung setelah bekerja berdasarkan klasifikasi beban kerja, *Luchien Broucha*, 1977 (lihat tabel 2).

Tabel 2. Klasifikasi Beban Kerja

Klasifikasi Beban Kerja Work Load	Oxygen Consumption (liter/min)	Energi Expenditure (cal/min)	Heart Rate during Work (Beats/min)
Light (ringan)	0.5 – 1.0	2.5 – 5.0	60 – 100
Moderate (sedang)	1.0 – 1.5	5.0 – 7.5	100 – 125
Heavy (berat)	1.5 – 2.0	7.5 – 10.0	125 – 150
Very Heavy (sangat berat)	2.0 – 2.5	10.0 – 12.5	150 – 175

2.6 Biomekanika

Dari pengukuran tubuh operator (anthropometri) diperoleh dimensi panjang, tinggi, dan berat tubuh pada segmen tubuh yang telah ditentukan (*link* dan

joint). Kemudian ditentukan pusat masa pada setiap link tubuh sehingga diperoleh momen dan gaya yang terjadi saat operator bekerja. Dalam penelitian ini digunakan klasifikasi panjang dan berat segmen tubuh berdasarkan klasifikasi *link & joint* Zatsiorsky dalam De Leva, P., 1996.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Identifikasi Kondisi Lingkungan Kerja

Peralatan kerja saat ini, dirancang dan digunakan hanya berdasarkan fungsi alat, tidak berdasarkan pada kebutuhan operator terhadap alat yang digunakan. Misal pisau pemotong bahan baku dirancang dan digunakan hanya untuk melakukan proses pemotongan bahan baku dan tidak mempertimbangkan standar ergonomi tubuh. Peralatan lainnya adalah tinggi *slider* atau meja bahan baku tidak berdasarkan standar anthropometri tubuh operator. Demikian juga pada proses pemotongan dan pengangkutan bahan baku masih dilakukan oleh satu orang operator pemotongan. Selain itu, posisi kerja operator pada saat melakukan pemotongan dan pemindahan bahan baku terhadap *slider*/meja hanya berdasarkan fungsi *slider*/meja itu sendiri dan tidak berdasarkan kebutuhan operator terhadap posisi kerja. Akibat dari proses dan pekerjaan yang dilakukan secara terus-menerus dan berulang-ulang berdampak pada kesehatan dan keselamatan kerja dan dapat mengakibatkan kelainan pada tubuh bagian-bagian tertentu.

Tabel 3. Jenis dan Jumlah Operator yang Mengalami Keluhan

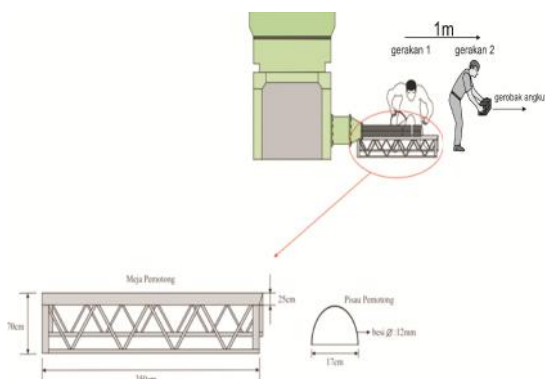
No	Bagian Tubuh Yang Terasa Sakit	Jml Operator Mengalami Keluhan (orang)	Lama Penyembuhan (hari)
1	Sakit pada bagian leher	4	2-4
2	Sakit pada bagian bahu kiri	3	1-4
3	Sakit pada bagian bahu kanan	2	2-6
4	Sakit pada bagian punggung	7	5-9
5	Sakit pada bagian pinggang	6	5-7
6	Sakit pada bagian lengan atas kiri	2	1-3
7	Sakit pada bagian lengan atas kanan	5	3-6
8	Sakit pada bagian lengan bawah kiri	2	1-2
9	Sakit pada bagian lengan bawah kanan	5	2-5
10	Sakit pada bagian pergelangan tangan kanan	7	5-10
11	Sakit pada bagian lutut kiri	1	1-3
12	Sakit pada bagian lutut kanan	1	1-2
13	Sakit pada bagian betis kiri	2	1-2
14	Sakit pada bagian betis kanan	2	1-2
15	Sakit pada bagian pergelangan kaki kiri	1	1-3
16	Sakit pada bagian pergelangan kaki kanan	1	1-2
17	Sakit pada bagian perut	7	6-13

3.2 Anthropometri dan Alat Kerja Saat Ini

Berdasarkan hasil survey lapangan diperoleh data ukuran fasilitas kerja dengan tujuan untuk

mendapatkan suatu perancangan alat bantu dalam memperbarui meja pemotong dan alat pemotong pada stasiun kerja mesin penggiling. Berikut adalah data-data ukuran fasilitas kerja:

1. Ukuran meja pemotong pada mesin penggiling adalah 70x25x350cm (tinggi x lebar x panjang).
2. Ukuran pegangan pada alat pemotong dengan membentuk setengah lingkaran adalah berdiameter 35cm, dengan menggunakan besi berdiameter 12mm. Ukuran kawat pemotong dengan menggunakan kawat baja dengan panjang 17cm (Gambar 3).



Gambar 3. Meja dan pisau pemotong bahan baku dan dua pekerjaan oleh seorang operator

Data perhitungan antropometri digunakan untuk perancangan alat bantu kerja yang disesuaikan dengan dimensi tubuh operator, agar dapat digunakan dengan nyaman. Elemen pengukuran antropometri berdasarkan dimensi ukur Gambar 2, dengan nilai *mean*, *standar deviasi*, *percentile 5%* untuk batas nilai terbawah *percentile 95%* untuk batas nilai teratas diperoleh data anthropometri tubuh operator sebagai berikut:

Tabel 4. Data Antropometri

Dimensi Tubuh		Pria			
		5%	50%	95%	
D1	Tinggi kepala berdiri	162,41	166,8	171,2	2,67
D2	Tinggi leher	133,97	137,46	140,95	2,12
D3	Tinggi Tangan	65,52	66,56	67,60	0,63
D4	Tinggi Telapak Tangan	71,28	78,58	85,88	4,44
D5	Tinggi pergelangan tangan	82,66	83,66	84,66	0,61
D6	Tinggi lengan bagian bawah	88,97	91,9	94,82	1,78
D7	Tinggi siku	95,34	102,63	109,92	4,43
D8	Tinggi lengan bagian atas	121,02	123,16	125,3	1,3
D9	Tinggi bahu	125,8	134,3	142,8	5,17
D10	Tinggi lingkaran perut	100,69	104	107,31	2,01
D11	Tinggi paha	70,45	73,1	75,75	1,61
D12	Tinggi lutut	42,78	46,04	49,30	1,98
D13	Tinggi betis	30,62	33,2	35,78	1,57
D14	Tinggi pergelangan kaki	3,93	6,94	9,95	1,83

Identifikasi Kerja Operator Mesin Penggiling Data Denyut Jantung Operator Departemen Mesin Penggiling

Pengumpulan data denyut jantung dilakukan sebelum dan sesudah bekerja, data denyut jantung diperoleh dari 8 operator yang bekerja pada departemen mesin penggiling dengan menggunakan metode 10 denyut dalam jumlah waktu per menit, pengumpulan data tersaji pada tabel sebagai berikut :

Tabel 5. Pengumpulan Data Denyut Jantung

Operator	Jumlah Waktu Dalam 10 Pulse/Sec	
	Sebelum Bekerja (Detik)	Sesudah Bekerja (Detik)
A	6,97	6,60
B	8,82	6,70
C	7,31	6,61
D	7,41	6,90
E	7,40	6,97
F	6,70	6,59
G	7,43	6,78
H	7,42	6,80

Setelah dilakukan pengumpulan data, kemudian data dihitung jumlah denyut selama satu menit.

- Perhitungan denyut jantung sebelum bekerja

$$\text{denyut nadi (per menit)} = \frac{10 \text{ denyut}}{6,97} \times 60$$

$$= 86 \text{ pulse/menit}$$

- Perhitungan denyut jantung sesudah bekerja

$$\text{denyut nadi (per menit)} = \frac{10 \text{ denyut}}{5,60} \times 60$$

$$= 107 \text{ pulse/menit}$$

Dari hasil perolehan pengukuran denyut jantung (lihat tabel 6) diperoleh rata-rata denyut jantung sebelum dan sesudah bekerja, yaitu sebesar 81.18 pulse/menit dan 93 pulse/menit. Menurut Dr. Luchien Broucha 1997, ketetapan klasifikasi beban kerja (lihat table 2) maka denyut jantung operator sebelum bekerja dan sesudah bekerja termasuk kedalam klasifikasi beban kerja ringan/ *workload light*. Dengan menggunakan interpolasi data denyut jantung, diperoleh konsumsi energi sebelum dan sesudah bekerja (lihat tabel 6).

Tabel 6. Konsumsi Energi Hasil Interpolasi

Operator	Konsumsi Energi (Kal/menit)	
	Sebelum Bekerja	Sesudah Bekerja
A	4.13	5.45
B	3.00	5.33
C	3.88	4.42
D	3.81	4.18
E	3.82	4.13
F	4.35	4.44
G	3.80	4.28
H	3.80	4.26
Rata-rata	3.82	4.56

Berdasarkan standar ketetapan pengeluaran energi Lehman, untuk operator pemotongan bahan baku departemen mesin penggiling rata-rata sebelum melakukan pekerjaan sebesar 3,82 kcal/menit dan 4,56 kcal/menit. hal tersebut menunjukkan bahwa rata-rata energi operator yang dikeluarkan melebihi standar yang ditetapkan yang disebabkan oleh alat kerja, fasilitas kerja, serta prinsip kerja yang kurang sesuai dengan dimensi tubuh operator. Seperti posisi pemotongan yang terlalu membungkuk yang disebabkan oleh alat pemotong yang kurang sesuai dengan operator akan menyebabkan tumpuan beban pada punggung menjadi lebih besar. Selain itu, prinsip kerja yang melebihi kemampuan operator yaitu dua gerakan kerja yang dilakukan satu operator yaitu melakukan pemotongan dan mengangkat hasil pemotongan ke gerobak pengangkutan. Meskipun jarak jangkauan pengangkatan bahan baku ke gerobak relatif dekat, akan tetapi apabila dilakukan dari posisi membungkuk ke posisi berdiri dengan membawa beban bahan baku dengan berat 5,7 kg yang dilakukan secara terus menerus, maka akan mempengaruhi konsumsi energi sehingga menjadi lebih besar atau melebihi kemampuan standar kemampuan operator tersebut.

Pusat Massa, Gaya dan Link & Joint Tubuh Operator

Pusat Massa Dan Joint Tubuh Operator

Dengan menggunakan data hasil pengukuran anthropometri tubuh operator berdasarkan klasifikasi panjang dan berat segmen tubuh *link & joint* Zatsiorsky (1995), diperoleh panjang dan berat segmen tubuh dan pusat masa tubuh operator sebagai berikut :

Tabel 7. Panjang Segmen Tubuh

Segmen Tubuh	Panjang Segmen (%)	Panjang Segmen (cm)	
Head	40,24	D1	67,37
Hand	21,00	D3	35,16
Forearm	45,74	D5	76,57
Upper Arm	42,28	D7	70,78
Trunk	55,14	D9	92,31
Thigh	59,05	D11	98,86
Shank	55,41	D13	92,76

Tabel 8. Berat Segmen Tubuh

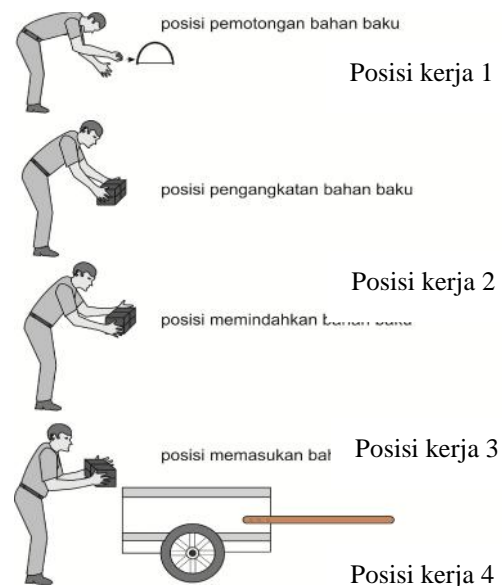
Berat Segmen (%)	Joint Tubuh	Berat Segmen (kg)
8,4	Kepala Bagian Atas – Leher	Wab = 5,2
0,6	Tangan – pergelangan tangan	Wcd = 0,37
1,7	Pergelangan tangan – siku	Wde = 1,05
2,8	Siku – bahu	Wef = 1,73
50,0	Bahu – lingkaran perut	Wfg = 30,96
10,0	Lingkaran perut – lutut	Wgh = 6,19
4,3	Lutut – pergelangan kaki	Whi = 2,66

Tabel 9. Pusat Massa Tubuh

Pusat Massa Dari Panjang Segmen (%)	Panjang Segmen (cm)	Pusat Massa (cm)
59,76	D2	100,5
79,00	D4	132,26
54,26	D6	90,84
57,72	D8	96,63
44,86	D10	75,10
40,95	D12	68,55
44,59	D14	74,65

Gaya dan Momen Posisi Kerja

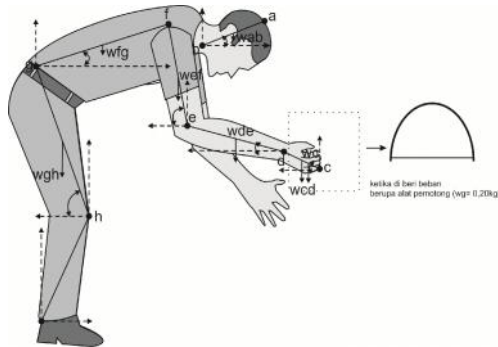
Dalam penelitian ini, studi biomekanika menggunakan athropometri statik, dimana posisi kerja terbagi menjadi empat posisi kerja, yaitu posisi 1 (proses pemotongan), posisi 2 (pengangkatan bahan baku), posisi 3 (mengangkat bahan baku), posisi 4 (memasukan bahan baku ke gerobak). Alat pemotong bahan baku yang digunakan berupa pisau kawat yang hanya menghasilkan satu irisan bahan baku (lihat gambar 3). Pemotongan dilakukan sekaligus dalam satu gerakan pemotongan. Setelah dua kali pemotongan bahan baku, operator pemotongan mengangkat serta memindahkan bahan baku ke gerobak pengangkutan yang di angkut oleh dua operator untuk melanjutkan proses produksi selanjutnya ke mesin pencetakan.



Gambar 4. Tata Cara Kerja Operator Pemotongan

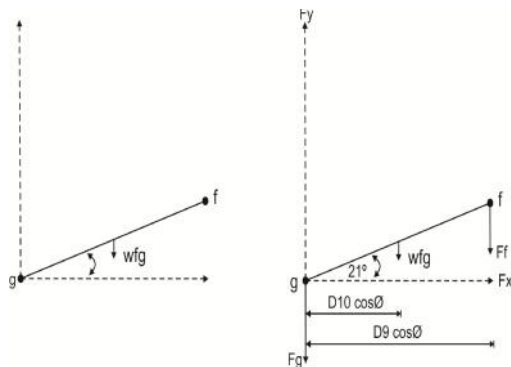
Seperti telah dijelaskan sebelumnya, bahwa pada posisi kerja operator tersebut dilakukan selama penggilingan berlangsung (lihat Gambar 3) atau selama persediaan bahan baku untuk unit mesin peng terpenuhi. Operator bekerja pada posisi kerja tersebut secara berulang-ulang dan terus-menerus.

1. Posisi Kerja Operator pada Saat Melakukan Pemotongan Bahan Baku



Gambar 5. Posisi Kerja Pemotongan Bahan Baku

Posisi tubuh operator yang bekerja pada saat melakukan pemotongan lebih cenderung membungkuk (lihat Gambar 5), pada posisi tersebut akan berpengaruh pada masing-masing link tubuh yang akan membutuhkan gaya dan momen lebih besar dalam melakukan pemotongan, karena dengan semakin kecilnya nilai sudut derajat membungkuk maka semakin besar pula gaya dan momen yang dibutuhkan. (lihat tabel 10).



Gambar 3.3 Link Trunk Design Pada Posisi Kerja Pemotongan

Pada posisi ini, pemotongan bahan baku dilakukan dalam sekali pemotongan untuk sebuah bahan baku. Dilanjutkan dengan pemotongan kedua, setelah itu operator bersiap untuk melakukan pemindahan bahan baku yang telah di potong. Dalam satu kali proses pemindahan bahan baku yang diangkat berjumlah dua buah, sehingga dalam satu pemindahan terjadi dua kali pemotongan. Berdasarkan tabel 10, tubuh bagian bawah yaitu paha dan betis serta tubuh bagian atas (punggung) memiliki gaya dan momen lebih besar dibandingkan dengan tubuh bagian atas (lengan, tangan dan kepala). Semakin besar gaya dan momen terjadi pada saat bekerja, semakin besar pula energi yang dikeluarkan oleh operator atau semakin besar pula tahanan atau momen putar yang menghambat gerakan operator dalam bekerja.

Tabel 10. Gaya Dan Momen Sebelum Perbaikan Pada Posisi Kerja Pemotongan

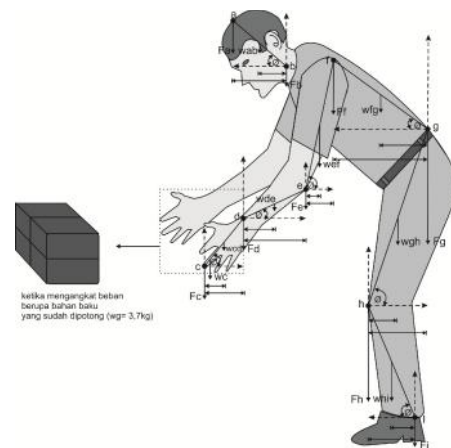
Link Tubuh	Joint Tubuh	Gaya (N)	Momen (Nm)	Sudut Link Tubuh
Kepala (head)	Kepala bag. atas	$F_a = 100,7$ N	$M_a = 110,49$ Nm	23°
	leher	$F_b = 48,7$ N	$M_b = -33,23$ Nm	
Tangan (hand)	Tangan	$F_c = 8,46$ N	$M_c = 6,84$ Nm	29°
	Pergelangan tangan	$F_d = 4,56$ N	$M_d = -0,46$ Nm	
Lengan bagian bawah (forearm)	Pergelangan tangan ke Siku	$F_e = 15,06$ N	$M_e = 20,66$ Nm	21°
Lengan bagian atas (upper arm)	Siku ke bahu	$F_f = 32,36$ N	$M_f = -15,35$ Nm	83°
Punggung (trunk)	Bahu ke lingkaran perut	$F_g = 341,96$ N	$M_g = 519,98$ Nm	21°
Paha (Thigh)	Lingkaran perut ke lutut	$F_h = 403,86$ N	$M_h = -394,46$ Nm	68°
Betis (shank)	Lutut ke pergelangan kaki	$F_i = 430,46$ N	$M_i = 588,23$ Nm	56°

Keterangan:

(-) berlawanan arah jarum jam

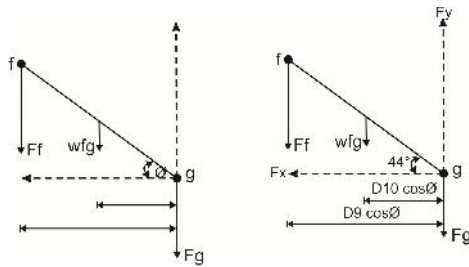
(+) searah jarum jam

2. Posisi Kerja Operator pada Saat Pengangkatan Bahan Baku yang Sudah Dipotong



Gambar 6. Posisi Pengangkatan Bahan Baku

Dalam posisi ini, operator merubah posisi tubuhnya menjadi lebih membungkuk. Setelah melakukan dua kali pemotongan operator pemotongan bersiap untuk melakukan proses pemindahan bahan baku, Tubuh operator bagian atas mengalami penambahan pembebanan yaitu tangan dan lengan (lihat Gambar 6).



Gambar 7. *Link Trunk Design* Pada Posisi Pengangkatan Bahan Baku

Berikut ini adalah tabel *link & joint* pada posisi kerja operator saat melakukan pengangkatan bahan baku. Dalam posisi ini, operator mengalami perubahan gaya sehingga gaya yang bekerja lebih besar dibandingkan dengan posisi sebelumnya.

Tabel 11. Gaya Dan Momen Sebelum Perbaikan Pada Posisi Kerja Pengangkatan Bahan Baku

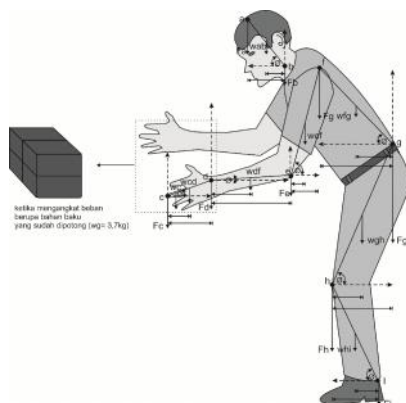
Link Tubuh	Joint Tubuh	Gaya (N)		Momen (Nm)		Sudut Link Tubuh
Kepala (<i>head</i>)	Kepala bag. atas	Fa	39,18	Ma	65,08	42°
	leher	Fb	91,18	Mb	28,65	
Tangan (<i>hand</i>)	Tangan	Fc	3,46	Mc	4,04	49°
	Pergelangan tangan	Fd	10,86	Md	6,66	
Lengan bagian bawah (<i>forearm</i>)	Pergelangan tangan ke Siku	Fe	21,36	Me	16,92	31°
Lengan bagian atas (<i>upper arm</i>)	Siku ke bahu	Ff	38,66	Mf	-9,01	80°
Punggung (<i>trunk</i>)	Bahu ke lingkaran perut	Fg	348,26	Mg	463,111	44°
Paha (<i>Thigh</i>)	Lingkaran perut ke lutut	Fh	410,16	Mh	381,171	78°
Betis (<i>shank</i>)	Lutut ke pergelangan kaki	Fi	436,76	Mi	522,148	67°

Keterangan:

(-) berlawanan arah jarum jam

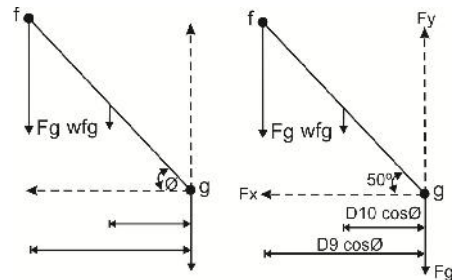
(+) searah jarum jam

3. Posisi Kerja Memindahkan Bahan Baku Hasil Pemotongan



Gambar 8. Posisi Kerja Membawa Bahan Baku

Dalam posisi ini, operator bekerja melakukan proses pengangkatan bahan baku yang sudah dipotong dan siap untuk dibawa. Pada posisi kerja ini, tubuh bagian atas (lengan dan tangan) menjadi lebih kecil, hal tersebut mengakibatkan gaya yang bekerja pada *link & joint* tubuh bagian atas menjadi lebih besar.



Gambar 9. *Link Trunk Design* Pada Posisi Mengangkat Bahan Baku

Pada posisi ini terjadi perubahan gaya dan momen secara signifikan pada tubuh bagian atas yang mengalami penambahan beban dikarenakan tubuh bagian atas membawa bahan baku untuk dipindahkan (lihat tabel 12).

Tabel 12. Gaya Dan Momen Sebelum Perbaikan Pada Posisi Kerja Membawa Bahan Baku

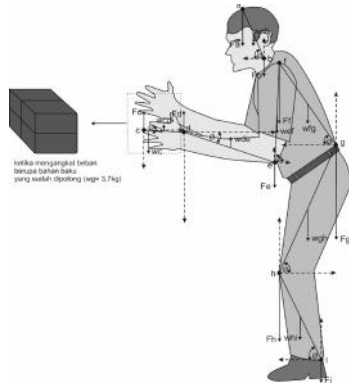
Link Tubuh	Joint Tubuh	Gaya (N)		Momen (Nm)		Sudut Link Tubuh
Kepala (<i>head</i>)	Kepala bag. atas	Fa	88,54	Ma	78,332	46°
	leher	Fb	36,54	Mb	-28,102	
Tangan (<i>hand</i>)	Tangan	Fc	8,72	Mc	7,32	22°
	Pergelangan tangan	Fd	4,82	Md	-0,25	
Lengan bagian bawah (<i>forearm</i>)	Pergelangan tangan ke Siku	Fe	15,32	Me	21,25	1,5°
Lengan bagian atas (<i>upper arm</i>)	Siku ke bahu	Ff	32,36	Mf	-14,29	81°
Punggung (<i>trunk</i>)	Bahu ke lingkaran perut	Fg	341,96	Mg	361,556	50°
Paha (<i>Thigh</i>)	Lingkaran perut ke lutut	Fh	403,86	Mh	239,42	69°
Betis (<i>shank</i>)	Lutut ke pergelangan kaki	Fi	430,46	Mi	457,408	51°

Keterangan:

(-) berlawanan arah jarum jam

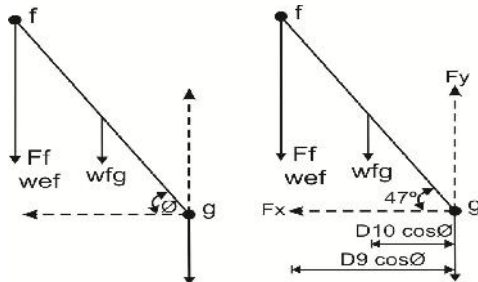
(+) searah jarum jam

4. Posisi Kerja Bahan Baku dipindahkan ke Gerobak Angkut



Gambar 10. Posisi Kerja Memasukan Bahan Baku Ke Gerobak Angkut

Dari gambar 10, di atas menunjukkan posisi tubuh operator yang bekerja pada saat melakukan pengangkatan bahan baku yang kemudian dimasukkan ke gerobak pengangkutan. Hasil pengolahan *link & joint* tubuh pada posisi memasukkan bahan baku ke gerobak dapat dilihat pada Tabel 13.



Gambar 11. *Link Trunk Design* Pada Posisi Mengangkat Bahan Baku

Pada posisi ini, operator memasukkan bahan baku ke gerobak angkut (lihat gambar 11) maka diperoleh besarnya gaya dan momen pada bagian-bagian tubuh ketika operator melakukan pengangkatan bahan baku.

Tabel 13. Gaya Dan Momen awal posisi kerja memasukkan bahan baku ke gerobak angkut

Link Tubuh	Joint Tubuh	Gaya (N)	Momen (Nm)	Sudut Link Tubuh
Kepala (<i>head</i>)	Kepala bag. atas	Fa	72,64	67°
	leher	Fb	20,64	
Tangan (<i>hand</i>)	Tangan	Fc	12,6	1,5°
	Pergelangan tangan	Fd	5,20	
Lengan bagian bawah (<i>forearm</i>)	Pergelangan tangan ke Siku	Fe	15,7	23°
Lengan bagian atas (<i>upper arm</i>)	Siku ke bahu	Ff	33	89°
Punggung (<i>trunk</i>)	Bahu ke lingkaran perut	Fg	342,6	47°
Paha (<i>Thigh</i>)	Lingkaran perut ke lutut	Fh	404,5	68°
Betis (<i>shank</i>)	Lutut ke pergelangan kaki	Fi	431,1	65°

Keterangan:
(-) berlawanan arah jarum jam
(+) searah jarum jam

Dari hasil pengolahan tersebut menunjukkan bahwa ketika operator pada saat akan memasukkan bahan baku ke gerobak pengangkutan membutuhkan gaya dan momen pada saat posisi kerja tersebut. Setelah bahan baku dimasukkan, operator kembali lagi memotong bahan baku dan gerakan kerja tersebut dilakukan secara terus menerus dan berulang-ulang.

Analisis Kondisi Kerja Pemotongan Berdasarkan Ergonomi

Prosedur Kerja

Pada bagian sebelumnya telah dijelaskan bahwa operator melakukan pekerjaan secara mandiri dari mulai memotong bahan baku hingga mengangkat ke gerobak angkut. Alat pemotong dan meja pemotong di desain tanpa mempertimbangkan kebutuhan operator dan hanya menyesuaikan dengan posisi mesin pengolah bahan baku. Prinsip kerja yang dilakukan tidak efektif, sehingga operator pemotongan cepat lelah. Kondisi kelelahan pada operator berdampak pada timbulnya kecelakaan kerja dan cedera pada bagian-bagian tubuh operator yang dapat mengakibatkan penurunan kinerja operator. Berikut *step by step* prosedur kerja operator pemotongan bahan baku (lihat tabel 14).

Tabel 14. Prosedur Kerja Operator Pemotongan Bahan Baku

Prosedur Kerja	Possible Alternative	Potential Hazard And Effect	Prob.of Occurance	Safe Guard
Mengambil alat pemotong	Jarak dan tempat terlalu rendah,	Keluhan pada bagian pinggang	Sering	Perancangan ulang meja pemotongan
Memotong bahan baku	Alat pemotong yang tidak sesuai kapasitas	Cepat lelah, terjadinya penumpukan	Sering	Perancangan ulang pisau pemotong
Memindahkan hasil pemotongan ke gerobak	Sulit dijangkau	Efek cedera pada bagian tubuh terutama pada bagian pinggang dan perut	Sering	Merubah tata cara kerja

Berdasarkan analisa tabel diatas (tabel 14), maka diperlukan penyesuaian terhadap alat pemotong dan meja pemotong (*slider*). Hal tersebut dilakukan guna memperoleh standar kerja operator dalam kondisi normal. Dalam penelitian ini, dihasilkan suatu analisis prosedur kerja yaitu mendesain ulang alat pemotong bahan baku menggunakan dua buah mata pisau. Dampak dari proses pemotongan dan pengangkatan bahan baku saat ini dilakukan oleh operator pemotongan, maka disarankan operator gerobak angkut yang berjumlah dua orang, salah satunya di tugaskan untuk memindahkan bahan baku yang telah dipotong kedalam gerobak angkut. Untuk itu, perlu dilakukan penyesuaian desain meja pemotongan harus lebih panjang dan lebar, agar memberi ruang gerak kerja antara bagian pemotongan dan pemindahan bahan baku setelah

dipotong. Meja *slider* bahan baku di rancang ulang dengan menggunakan tiga buah *roller* sehingga aliran bahan baku menjadi lebih lancar tanpa bantuan operator pemotongan bahan baku.

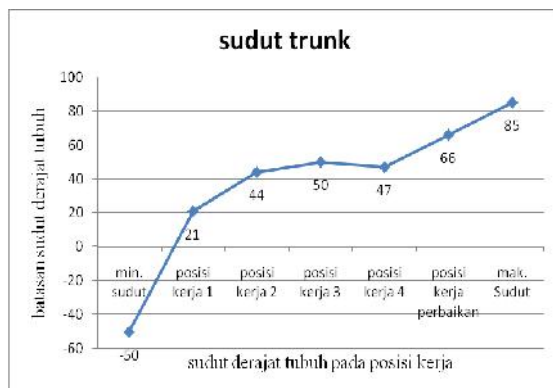
Tingkat Keluhan dengan *Nordic Body Map*

Sekitar 90% operator bekerja pada kondisi yang tidak nyaman. Berdasarkan *nordic body map*, sakit yang paling banyak diderita adalah sakit pada bagian perut, sakit pada pergelangan tangan, sakit pada bagian punggung, dan sakit pada bagian pinggang dengan rata-rata penyembuhan 8 hari.



Gambar 12. Jumlah Operator Yang Mengalami Keluhan

Berdasarkan standar ketetapan posisi kerja membungkuk, sudut punggung pada posisi membungkuk adalah -50° sampai dengan 85° .



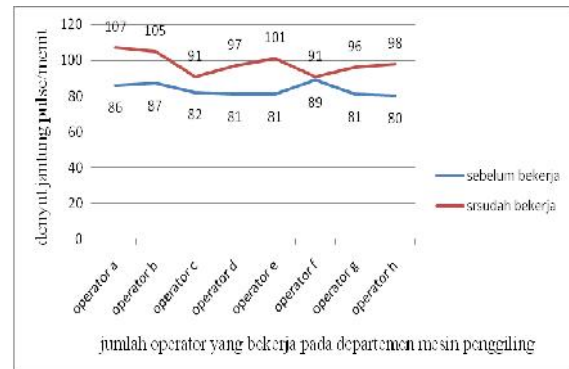
Gambar 13. Perbandingan Sudut Punggung (*Trunk*) Pada Masing-Masing Posisi Kerja

Gambar 13 menunjukkan sudut posisi kerja setelah perbaikan lebih mendekati sudut maksimal atau sudut punggung pada posisi relative berdiri yaitu sudut punggung 85° . Sedangkan untuk sudut derajat posisi kerja satu sampai empat lebih kecil sudutnya apabila dibandingkan dengan standar ketetapan posisi kerja.

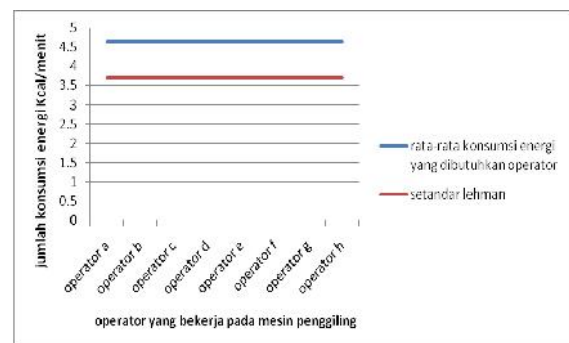
Biomekanika

Berdasarkan standar ketetapan pengeluaran energi menurut Lehman (1995) dalam Gesang L. Tyas

(2010), untuk operator pemotongan bahan baku departemen mesin penggiling adalah 3,75 kcal/menit. Hasil perhitungan menyebutkan, rata-rata pengeluaran energi adalah 4,6375 kcal/menit, ini menunjukkan bahwa rata-rata energi operator yang dikeluarkan melebihi standar yang ditetapkan Lehman.

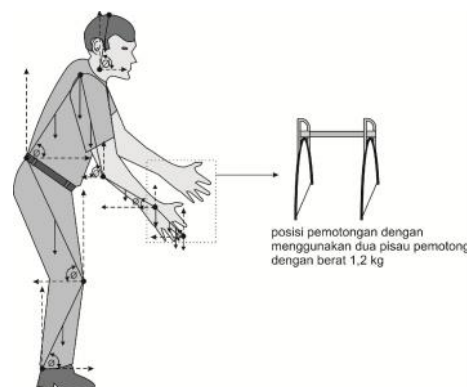


Gambar 14. Grafik Denyut Jantung Sebelum Dan Sesudah Bekerja

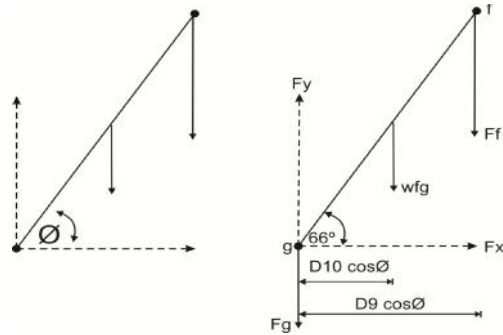


Gambar 15. Grafik Perbandingan Konsumsi Energi Operator Pemotongan Dan Standar Lehman

Terjadi peningkatan denyut jantung pada saat sebelum dan sesudah bekerja (lihat gambar 14), hal tersebut menunjukkan bahwa operator pemotongan bahan baku membutuhkan energi yang lebih besar.



Gambar 16. Posisi Kerja Setelah Perbaikan Link punggung setelah perbaikan



Gambar 17. Link Trunk Redesign

Setelah melakukan perancangan ulang alat pemotong bahan baku degnan dua mata pisau pemotong dapat menghasilkan sebanyak dua buah potongan bahan baku dalam satu kali pemotongan. Dalam kondisi ini, operator tidak melakukan pemotongan berulang-ulang dan hanya dalam sekali potong sehingga mengurangi beban kerja operator dalam proses pemotongan.

Tabel 15. Gaya Dan Momen Sesudah Perbaikan

Link Tubuh	Joint Tubuh	Gaya (N)	Momen (Nm)	Sudut Link Tubuh
Kepala (<i>head</i>)	Kepala bag. atas	$F_a = 55,71$	$M_a = 6,29$	86°
	Leher	$F_b = 3,71$	$M_b = -3,58$	
Tangan (<i>hand</i>)	Tangan	$F_c = 6,37$	$M_c = 3,35$	62°
	Pergelangan tangan	$F_d = 2,47$	$M_d = -1,2$	
Lengan bagian bawah (<i>forearm</i>)	Pergelangan tangan ke Siku	$F_e = 12,97$	$M_e = 17,68$	35°
	Lengan bagian atas (<i>upper arm</i>)	Siku ke bahu	$F_f = 30,27$	$M_f = -12,67$
Punggung (<i>trunk</i>)	Bahu ke pingkaran perut	$F_g = 339,87$	$M_g = 234,49$	66°
	Paha (<i>thigh</i>)	Pingkaran perut ke lutut	$F_h = 401,77$	$M_h = -108,97$
Betis (<i>shank</i>)	Lutut ke pergelangan kaki	$F_i = 428,37$	$M_i = 201,87$	56°

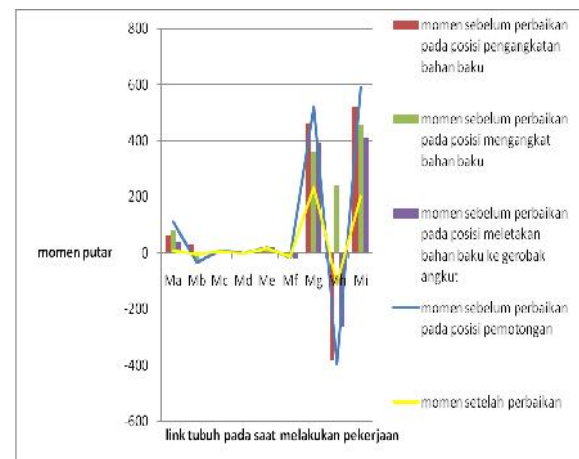
Tabel 15 menunjukkan gaya dan momen yang bekerja pada operator pada saat bekerja mengalami penurunan, sehingga berdasarkan analisa tersebut pengeluaran energi saat bekerja akan mengalami penurunan. Artinya, operator dapat bekerja pada kondisi normal sehingga dapat mengurangi terjadinya cedera pada bagian-bagian tubuh operator dan dapat mengurangi timbulnya kecelakaan kerja.

Perbandingan Kondisi Awal Dan Sesudah Perbaikan

Terlihat (tabel 16) bahwa setelah melakukan perbaikan berupa perancangan alat bantu kerja, gaya dan momen yang dibutuhkan saat bekerja berkurang. Ini menunjukkan bahwa operator yang bekerja pada pemotongan mengurangi tingkat ketidaknyamanan saat bekerja.

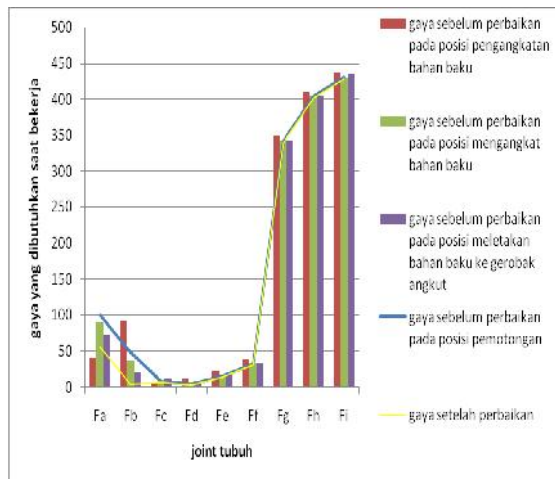
Tabel 16 Perbandingan gaya dan momen

Bagian tubuh	Joint	Gaya Dan Momen Sebelum Perbaikan				Gaya Dan Momen Sesudah Perbaikan
		Posisi 1	Posisi 2	posisi 3	Posisi 4	
Kepala (<i>head</i>)	Kepala bagian atas	F_a 100,7 N 110,49 Nm	M_a 3865,06 Nm	88,54 N 78,332 Nm	72,64 N 39,47 Nm	55,71 N 6,29 Nm
	Leher	F_b 48,7 N -33,23 Nm	M_b 51,18 N 28,65 Nm	36,54 N -28,102 Nm	20,64 N -5,72 Nm	3,71 N -3,58 Nm
Tangan (<i>hand</i>)	Tangan	F_c 6,46 N 6,84 Nm	M_c 3,46 N 4,04 Nm	6,72 N 7,32 Nm	2,62 N 5,23 Nm	6,37 N 3,35 Nm
	Pergelangan tangan	F_d 4,56 N -0,46 Nm	M_d 10,84 N 6,66 Nm	4,82 N -0,25 Nm	5,20 N -1,97 Nm	2,47 N -1,2 Nm
Lengan bagian bawah (<i>forearm</i>)	Pergelangan tangan ke Siku	F_e 15,06 N 20,55 Nm	M_e 21,36 N 16,92 Nm	15,32 N 21,25 Nm	5,57 N 21,57 Nm	12,97 N 17,68 Nm
	Lengan bagian atas (<i>upper arm</i>)	Siku ke bahu	F_f 32,36 N -15,35 Nm	38,66 N -9,61 Nm	32,36 N -14,25 Nm	33 N -21,06 Nm
Punggung (<i>trunk</i>)	Bahu ke pingkaran perut	F_g 341,96 N 519,98 Nm	M_g 348,26 N 463,11 Nm	341,96 N 361,555 Nm	342,6 N 390,06 Nm	339,87 N 234,49 Nm
	Paha (<i>thigh</i>)	Pingkaran perut ke lutut	F_h 403,86 N -381,77 Nm	403,86 N 239,42 Nm	404,5 N -264,38 Nm	401,77 N -108,97 Nm
Betis (<i>shank</i>)	Lutut ke pergelangan kaki	F_i 430,46 N 588,23 Nm	436,76 N 522,149 Nm	430,46 N 457,408 Nm	431,1 N 409,5 Nm	428,37 N 201,87 Nm



Gambar 18. Grafik Perbandingan Momen Pada Saat Bekerja Sebelum Dan Sesudah Perbaikan

Terjadinya perubahan nilai gaya dan momen ini menunjukkan bahwa pada kondisi kerja awal operator yang bekerja membutuhkan gaya dan momen yang lebih besar sehingga operator yang bekerja akan mengalami hambatan-hambatan pada saat bekerja. Yaitu ketika operator melakukan pemotongan membutuhkan waktu yang cepat, karena mesin penggiling yang terus berputar secara otomatis mengeluarkan bahan baku, sehingga dibutuhkan keseimbangan gaya dan momen yang lebih stabil pada saat melakukan pemotongan. Terlalu cepatnya operator pemotongan dalam bekerja, maka operator akan cepat lelah dan mudah berkeringat serta semakin besar pula efek cedera pada bagian tubuh yang menerima gaya yang lebih besar dalam bekerja.



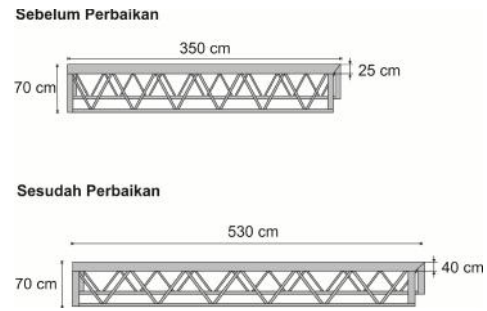
Gambar 18. Grafik Perbandingan Gaya Pada Saat Bekerja Sebelum Dan Sesudah Perbaikan

Pada saat sebelum perbaikan posisi kerja dalam melakukan pemotongan, bagian kepala terlalu lama dalam posisi menunduk, sehingga keluhan akan terjadi pada bagian leher dan bahu kiri dan kanan, serta kepala akan terasa pusing seketika. Apabila posisi ini dibiarkan secara berlangsung terus menerus, operator akan mengalami cedera pada leher yang diakibatkan dari terlalu lamanya tulang bagian leher menopang atau menahan posisi bagian kepala dengan bobot gaya yang di hasilkan dari kepala bagian atas.

Sebelum perbaikan dalam bekerja posisi operator lebih lama dalam membungkuk, sehingga keluhan pada bagian punggung dan pinggang akan berdampak sakit pada bagian lingkaran perut dalam waktu yang lama. Kondisi seperti ini merupakan hambatan yang sangat resiko pada setiap operator yang bekerja.

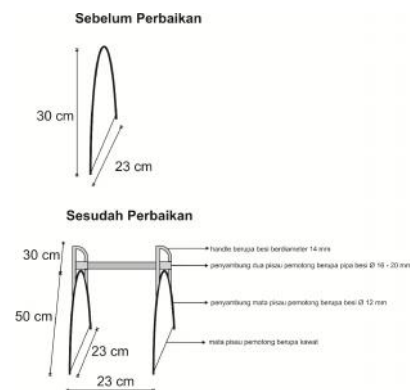
Evaluasi Perancangan Alat Bantu Kerja Berdasarkan Ergonomi

Perancangan alat dan meja pemotong di desain berdasarkan rata-rata postur tubuh operator yang bekerja pada departemen mesin penggiling, serta tata cara kerja yang dilakukan. Untuk perancangan pisau pemotong dibuat berdasarkan panjang dan lebar bahan baku yang dibutuhkan oleh departemen pencetakan, dengan menghasilkan dua potongan sekaligus dalam satu kali potongan. Yaitu dengan memberi dua mata pisau pada alat pemotong dan pegangan yang disesuaikan dengan rata-rata telapak tangan operator yang bekerja pada bagian tersebut. Sedangkan untuk re-desain meja pemotong adalah dengan mengubah lebar dan panjang meja pemotong. Perancangan ulang meja pemotongan dilakukan untuk menyesuaikan postur tubuh operator pemotongan (lihat Gambar 19).



Gambar 19. Re-design Meja Pemotong

Setelah melakukan perancangan alat bantu kerja maka dapat disimpulkan bahwa dengan merancang ulang alat pemotong dan meja pemotong dapat merubah posisi kerja operator pemotongan yang pada kondisi awal terlalu membungkuk menjadi relatif berdiri. Sehingga mampu memperkecil gaya dan momen yang dibutuhkan saat bekerja.



Gambar 20. Redesign Pisau Pemotong

Dengan merubah kondisi awal pada posisi pemotongan bahan baku, maka berubah pula prinsip kerja operator pemotongan, yang pada awal sebelum perbaikan dalam hal melakukan pemotongan dan pengangkatan bahan baku dilakukan oleh satu operator, setelah melakukan perbaikan operator pemotongan hanya melakukan pemotongan saja. Sedangkan untuk melakukan pengangkatan bahan baku setelah pemotongan dilakukan oleh operator bagian pengangkutan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Melalui perbaikan tata cara kerja operator pemotongan bahan baku akan dihasilkan sebuah prosedur kerja standar. Konsumsi energi yang dikeluarkan oleh operator akan berpengaruh terhadap kinerja operator, seakin besar energi yang dikeluarkan saat bekerja, maka akan menimbulkan kelelahan yang dapat menimbulkan kecelakaan kerja dan cedera bagi operator. Jumlah rata-rata energi yang dibutuhkan dalam melakukan pekerjaan adalah 4,6275 kcal/menit, dan itu berarti energi yang dikeluarkan oleh operator adalah melebihi standar pengeluaran energi yang ditetapkan oleh Lehman sebesar 3,75 kcal/menit.

Dengan melakukan perbaikan pada alat bantu kerja yaitu pisau pemotong bahan baku dan meja *slider* bahan baku yang disesuaikan berdasarkan standar ergonomi karyawan, maka posisi bekerja operator mengalami perubahan posisi yang mendekati sudut 85° sehingga operator bekerja secara relative mendekati posisi berdiri normal. Pada posisi tersebut, operator bekerja dalam keadaan dibawah kapasitas pengeluaran energy individu, sehingga secara tidak langsung dapat mempengaruhi produktivitas perusahaan itu sendiri.

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Sritomo, W., Arief R., dan Dwi P. (2011). *“Perancangan Lingkungan Kerja dan Alat Bantu yang Ergonomis untuk Mengurangi Masalah Back Injury dan Tingkat Kecelakaan Kerja pada Departemen Mesin Bubut (Studi Kasus PT. Atak Indometal Ngingas Waru-Sidoarjo). ITS.*
2. Rosemary R. Seva, Jeric Daniel M. Axalan and Anne Rhea P. Landicho. *“Workplace Efficiency Improvement for Jeepney Drivers in Metro Manila Human Factors and Ergonomics Center, Industrial Engineering Department”*, Ergonomics Australia - Special Edition. De La Salle University, Manila, Philippines. HFESA 47th Annual Conference 2011.
3. Helen Moody¹ and Claudia Esau. (2011). *“Cultural change through ergonomics – a case study of participation in a manufacturing environment”*. Ergonomics Australia - Special Edition, HFESA 47th Annual Conference.
4. Gesang L. Tyas. (2010). *Hubungan Tekanan Panas Dan Beban Kerja Dengan Kelelahan Pekerja*. Thesis-Universitas Indonesia.
5. Dony Susandi. (2007). *“Evaluasi Cara Berjalan Manusia Pengguna Prostesa Berbasis Computer-Aided Design (CAD)*, ITB - Bandung, 2007.
6. Iftikar Z. Sitalaksana. (2006). *“Teknik Perancangan Sistem Kerja”*. Bandung: Penerbit ITB Bandung.
7. Gempur Santoso. (2006). *Analisis Ergonomis Kelayakan Pabrik*. Jakarta-Indonesia.
8. Laksmi Kusuma Wardhani. (2003). *Evaluasi Ergonomi Dalam Perancangan Desain*. Vol. 1, No. 1, Juni 2003: 61 – 73.
9. Ki-Young Jeong and Don T. Phillips. (2001). *Operational efficiency and effectiveness measurement. International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 21 No. 11, 2001, pp. 1404-1416. # MCB University Press, 0144-3577.
10. Wignjosoebroto, S. (2000) *Ergonomi, Studi Gerak, dan Waktu*, Guna Widya, Jakarta.
11. Van C. Mow and Wilson C. Hayes. (1997) *“Basic Orthopaedic Biomechanics”*, Philadelphia.
12. De Leva, P. (1996). *Adjustments to Zatsiorsky-Suleyanov's Segment Inertia Parameters*, J. Biomech, vol. 29(9), pp.1223-1230.
13. Joseph Hamill and Kathleen M. Knutzen. (1995) *“Biomechanical Basis of Human Movement”*, Western Washington University, New York.
14. Arthur. T. Johnson. *“Biomechanics and Exercise Physiology”*, University of Maryland college park, Maryland 1991).
15. Suma'mur, P.K. (1984). *Higene Perusahaan dan Kesehatan Kerja*. Cetakan 4. Jakarta: Penerbit PT. Gunung Agung.