

Perancangan Fasilitas Kerja untuk Mereduksi *Human Error*

Harmein Nasution^{1*}, Nazlina¹

Abstract: Work equipments and environment which are not design ergonomically can cause physical exhaustion to the workers. As a result of that physical exhaustion, many defects in the production lines can happen due to human error and also cause musculoskeletal complaints. To overcome, those effects, we occupied methods for analyzing the workers posture based on the SNQ (*Standard Nordic Questionnaire*), plibel, QEC (*Quick Exposure Check*) and biomechanism. Moreover, we applied those methods for designing rolling machines and grip egrek ergonomically, so that the defects on those production lines can be minimized.

Keywords: Muskuloskeletal disorder, QEC, biomechanism, human error.

Pendahuluan

Menurut Dhillon [3] *human error* didefinisikan sebagai kegagalan menyelesaikan pekerjaan yang dapat menimbulkan gangguan terhadap jadwal operasi atau mengakibatkan kerusakan peralatan. Sedangkan menurut Meister [8], *human error* dapat diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori yaitu salah satunya *error* pada proses perancangan. *Error* jenis ini disebabkan oleh hasil rancangan yang kurang sesuai dengan sistem kerja. Hal ini merupakan kegagalan untuk mengimplementasikan kebutuhan manusia dalam rancangan dan kegagalan untuk memperhitungkan efektivitas interaksi antara manusia dan mesin. Akibat desain dan lingkungan kerja yang tidak ergonomis akan mempercepat kelelahan fisik, yang pada akhirnya akan menimbulkan *human error* dalam menghasilkan produk (Susetyoet al.[13])

Dampak terjadinya *human error* ditunjukkan melalui adanya produk cacat yang dihasilkan dalam berproduksi. PT Sarana Panen Perkasa merupakan perusahaan yang bergerak di bidang proses produksi alat-alat perkebunan kelapa sawit seperti egrek, dodos, kampak, parang, dan gancu. Berdasarkan data perusahaan, egrek merupakan produk yang jumlah permintaannya sangat tinggi yaitu 5000 pcs/bulan, artinya jumlah produk yang dihasilkan mencapai 200 pcs/hari. Perusahaan harus menjamin produk tetap berkualitas meskipun jumlah permintaan tinggi. Hasil evaluasi selama penelitian berlangsung jumlah produk cacat mencapai 10% dari keseluruhan produksi. Cacat produk ini biasanya disebabkan oleh faktor kelelahan, contoh kasus penurunan produksi dan jumlah yang cacat berdasarkan jam kerja, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Jumlah produk per hari

No	Jam kerja	Jumlah produk sesuai standar	Jumlah produk cacat	Total
1	08.00 s/d 10.00 WIB	45	-	45
2	10.30 s/d 12.00 WIB	38	2	40
3	13.00 s/d 15.00 WIB	32	4	36
4	15.30 s/d 17.00 WIB	28	5	33

Sumber: PT. Sarana Panen Perkasa

Peningkatan produk cacat ini dikarenakan adanya faktor kelelahan secara kontinu terhadap pekerja. Timbulnya kelelahan pada pekerja disebabkan oleh keluhan *musculoskeletal* akibat dari pembebanan target produksi yang harus dicapai pekerja. Kegiatan yang repetitif dengan pengeluaran tenaga yang besar dan postur kerja yang tidak ergonomis merupakan penyebab terjadinya keluhan *musculoskeletal*. Kegiatan repetitif yang dilakukan pada proses produksi egrek dimulai dari proses tarik ekor, buka bagian depan, pemotongan, *hammering*, *formatting*, *flattening*, *grinding*, *treatment*, dan *finishing*. Seluruh proses produksi menggunakan mesin manual seperti mesin *rolling*, mesin *hammer*, mesin format, dan mesin gerinda sehingga *output* yang dihasilkan tergantung pada usaha atau tenaga manusia. Berdasarkan hasil pengamatan pada rantai produksi, stasiun kerja *hammering* merupakan stasiun kerja yang beban kerjanya paling berat karena pada stasiun ini terjadi proses pembengkokkan yang membutuhkan tenaga yang cukup besar. Estimasi besar gaya otot yang dikeluarkan sebesar 4170 N. Estimasi besar gaya tersebut dijelaskan pada bagian metodologi penelitian.

Proses pembengkokkan dalam stasiun kerja *hammering* yang mengeluarkan tenaga cukup besar menggunakan fasilitas kerja berupa mesin *rolling*. Mesin *rolling* yang digunakan memiliki beberapa kekurangan yaitu, tidak sesuai dengan metode kerja,

¹ Fakultas Teknik, Departemen Teknik Industri, Universitas Sumatra Utara. Jl. Almamater 1, Kampus USU, Medan 20155, Indonesia. Email: hamein_nasution@yahoo.com

*Penulis korespondensi

ukuran tinggi mesin yang terlalu rendah, dan tidak sesuai dengan dimensi antropometri pekerja. Hal ini menimbulkan keluhan terhadap pekerja yang diidentifikasi berdasarkan SNQ (*Standard Nordic Questionnaire*) dan *plibel* sehingga diketahui keluhan *musculoskeletal* yang dialami pekerja. Bahwa prevalensi gangguan *musculoskeletal* pada pekerja dapat dideteksi dengan melakukan survei menggunakan kuesioner SNQ (Aghili et al.[1]). Dari hasil pengamatan, keluhan *musculoskeletal* terjadi pada bagian tubuh pergelangan tangan, bahu, dan genggaman tangan dikarenakan aktivitas yang repetitif dan otot terus-menerus berkontraksi. Rasa sakit pada genggaman tangan terutama disebabkan oleh cara memegang egrek pada proses pembentukan ujung egrek. Hasil penilaian postur kerja dengan metode QEC (*Quick Exposure Check*) pada proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin *rolling* menunjukkan suatu tindakan yang memerlukan perbaikan postur kerja. Perbaikan postur kerja dapat dimulai dari penyesuaian mesin *rolling* dengan metode kerja, penyesuaian dimensi alat dengan metode kerja, dan penyesuaian mesin *rolling* dengan antropometri pekerja. Hal tersebut dapat meminimalkan keluhan *musculoskeletal* terhadap operator. Sesuai dengan pernyataan Humantech [6] bahwa keluhan *musculoskeletal* akan mengakibatkan produktivitas menurun dan menurut Pheasant [10], Hendra dan Suwandi[5], *musculoskeletal* juga berpengaruh terhadap bertambahnya produk cacat. Penentuan *human error* pada proses pembengkokkan menggunakan pendekatan HRA (*human reliability assessment*). Adapun metode penilaian yang digunakan pada pendekatan HRA yaitu metode FTA (*fault tree analysis*), HEART (*human error assessment and reduction technique*), dan HTA (*hierarchical task analysis*). Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara langsung selama 2 minggu dengan jumlah sampel 2500 produk dengan menggunakan SNQ dan *Plibel*, maka dapat diuraikan faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kegagalan operator dalam proses pembengkokkan yang disebut *error producing conditions* (EPCs), yaitu, tidak ada prosedur yang jelas untuk memperbaiki kesalahan, kurangnya kegiatan pemeriksaan, dan peralatan tidak efektif. Nilai *human error probability* (HEP) berdasarkan *fault tree analysis* (FTA) adalah 0,5978. Peningkatan nilai *Human error probability* (HEP) ini berbanding lurus dengan jumlah produk cacat yang dihasilkan, sehingga dapat mengakibatkan terganggunya kelancaran proses produksi. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Reinachet al. [11] pada *remote control locomotive operations* dan Akash, et al. [2] pada *computer aided design*. Untuk meminimalkan produk yang cacat dapat dilakukan suatu perbaikan fasilitas kerja dengan mengurangi probabilitas *human error* (Fabio, et al.[4]; Lyons, et al.[7]).

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk merancang fasilitas kerja (mesin *rolling* dan pegangan egrek) yang ergonomis untuk mereduksi *human error* pada proses pembengkokkan di stasiun *hammering* sehingga dapat meminimalkan produk yang cacat.

Metode Penelitian

Adapun hipotesa penyelesaian masalah yaitu dengan mereduksi tingkat probabilitas *human error* (HEP) dari keluhan *musculoskeletal*, diharapkan dapat mengurangi produk cacat. Mereduksi *human error* pada proses pembengkokkan di stasiun *hammering* dapat dilakukan dengan cara merancang fasilitas kerja (mesin *rolling* dan pegangan egrek) yang ergonomis. Langkah pertama adalah melakukan wawancara terhadap pekerja tentang uraian kegiatan pada proses pembengkokkan di stasiun *hammering*. Jumlah operator yang bekerja pada proses pembengkokkan di stasiun *hammering* adalah 3 orang. Kemudian dilakukan penyebaran kuisisioner SNQ dan *Plibel* kepada ketiga operator untuk mengetahui keluhan *musculoskeletal* yang dialami. Penilaian pembobotan kuisisioner SNQ dikategorikan sebagai berikut: tidak sakit (bobot 0), agak sakit (bobot 1), sakit (bobot 2), dan sangat sakit (bobot 3). *Plibel* memeriksa penyebab utama resiko *musculoskeletal* serta hubungannya dengan penilaian tempat kerja dengan menggunakan alat *checklist* sederhana yang disebarkan kepada ketiga operator. Berdasarkan kuisisioner SNQ dan *Plibel* diketahui bahwa keluhan yang sering terjadi terdapat pada bagian tubuh leher, bahu, punggung bagian atas, siku, lengan, tangan, kaki, paha, dan lutut.

Langkah selanjutnya melakukan penilaian postur kerja terhadap salah satu operator dengan menggunakan metode QEC. Operator pertama, sudah bekerja pada proses pembengkokkan selama 3 tahun sejak perusahaan didirikan. Operator kedua, bekerja selama 1 tahun tetapi hanya pada saat jam lembur saja karena dibutuhkan tenaga tambahan untuk mencapai target. Operator ketiga masih bekerja selama 2 bulan, jadi masih tahap pembelajaran dan belum mahir. Oleh karena itu, berdasarkan hasil pengamatan, operator 1 dipilih sebagai pekerja normal dan dijadikan sebagai objek penelitian.

Tabel 2. Kriteria tindakan

Tindakan	Persentase skor (E)	Tindakan
1	0-40%	Aman
2	41-50%	Diperlukan beberapa waktu ke depan
3	51-70%	Tindakan dalam waktu dekat
4	71-100%	Tindakan sekarang juga

Stanton [12].

Penilaian postur kerja dengan metode QEC dilakukan dari dua sisi. Penilaian pertama didasarkan kepada penilaian pengamat (*Observer's Assesment*) dengan mengisi *Observer's Assessment Checklist* dan penilaian kedua didasarkan kepada penilaian pekerja (*Worker's Assessment*) dengan mengisi *Worker's Assessment Checklist*. Selanjutnya dengan penjumlahan setiap skor hasil kombinasi masing-masing bagian, diperoleh skor dengan kategori level tindakan.

$$E(\%) = \frac{X}{X_{maks}} 100\% \quad (1)$$

dimana

X : total skor yang diperoleh dari penilaian terhadap postur

X_{maks} : Total skor maksimum untuk postur kerja

Adapun penilaian postur kerja dengan metode QEC pada proses pembengkokkan yaitu: (1) Penilaian elemen kerja dengan kriteria aman yaitu membawa *carbon steel* ke tempat pembengkokkan sebesar 39,77%. (2) Penilaian elemen kerja dengan kriteria diperlukan perbaikan untuk beberapa waktu ke depan, yaitu pada elemen kerja: meletakkan *carbon steel* pada tungku pemanasan 45,67%, memanaskan *carbon steel* 50%, mengambil *carbon steel* yang sudah dipanaskan 48,14%, *carbon steel* dicelupkan ke dalam air setelah proses pemanasan 40,74%, meletakkan *carbon steel* pada mesin *rolling* 45,67%, proses pemeriksaan 46,91% dan proses pukul rata 44,44%. (3) Penilaian elemen kerja dengan kriteria tindakan dalam waktu dekat yaitu pada proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin *rolling* sebesar 58,52%.

Selanjutnya dilakukan penilaian biomekanika dengan perhitungan estimasi besar gaya otot yang dikeluarkan pekerja terhadap segmen tubuh yang mengalami keluhan berdasarkan hasil identifikasi dari kuesioner SNQ dan Plibel. Dari hasil penilaian biomekanika yang paling besar terjadi proses pembengkokkan yang membutuhkan tenaga yang cukup besar. Estimasi besar gaya otot yang dikeluarkan sebesar 4170 N. Perhitungan di bawah ini menggunakan $W_{badan} = 67\text{kg} = 656,6\text{ N}$; $\theta = 30^\circ$; $W_0 = 10,6\text{kg} = 103,88\text{ N}$; $\sum F_y = 0$; $\sum F_x = 0$; $\sum M = 0$

Notasi

E : panjang lengan momen otot *spinal erector* dari L5/S1, dengan estimasi 0,05 m

D : jarak dari gaya perut ke L5/S1 dengan jarak 0,11 m (Nurmianto [9])

$M_{(L5/S1)} / M_t$: momen resultan pada L5/S1

F_A : gaya perut (Newton)

P_A : tekanan perut

θ_H : sudut inklinasi perut

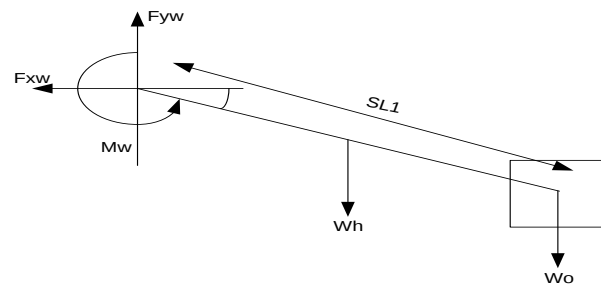
θ_T : sudut inklinasi kaki

A_A : luas diagrama (465 cm^2)
 W_{tot} : gaya keseluruhan yang terjadi
 W_o : berat beban
 W_H : berat tangan
 W_{LA} : berat lengan bawah
 W_{UA} : berat lengan atas
 W_T : berat punggung
 F_c : gaya kompresi pada L5/S1

Adapun perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut:

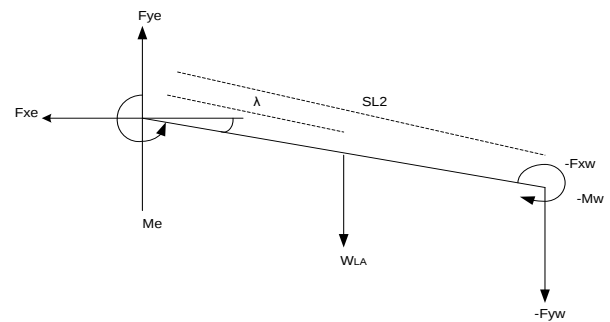
Gaya otot pada *spinalerector*:

a. Segmen telapak tangan



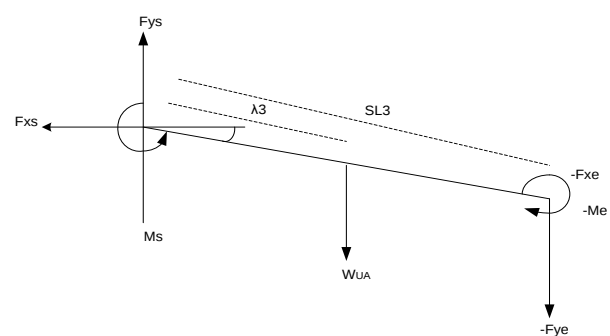
$$\begin{aligned} S_{L1} &= 0,17\text{m} \\ W_H &= 0,6\% W_{badan} = 3,9396\text{N} \\ M_w &= (0,5W_H + W_o)S_{L1} \cos \theta \\ &= 15,584\text{Nm} \end{aligned}$$

b. Lengan bawah



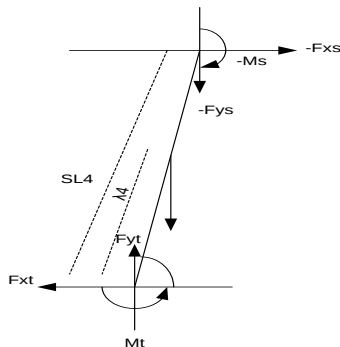
$$\begin{aligned} S_{L2} &= 0,26\text{m} ; \lambda_2 = 43\% \\ W_{LA} &= 1,7\% W_{badan} = 11,16\text{N} \\ F_{ye} &= F_{yw} + W_{LA} = 118,89\text{N} \\ M_e &= M_w + (W_{LA}\lambda_2 S_{L2} \cos \theta) + (F_{yw}S_{L2} \cos \theta) \\ &= 40,14\text{ Nm} \end{aligned}$$

c. Lengan atas



$$\begin{aligned}
 S_{L3} &= 0,24\text{m} ; \lambda_3 = 43,6\%; \theta_3 = 40^\circ \\
 W_{UA} &= 2,8\% W_{\text{badan}} = 18,385\text{N} \\
 F_{ys} &= F_{yw} + W_{UA} = 137,365\text{N} \\
 M_s &= M_w + (W_{UA}\lambda_3 S_{L3} \cos \theta_3) + (F_{ye} S_{L3} \cos \theta_3) \\
 &= 62,37\text{ Nm}
 \end{aligned}$$

d. Punggung



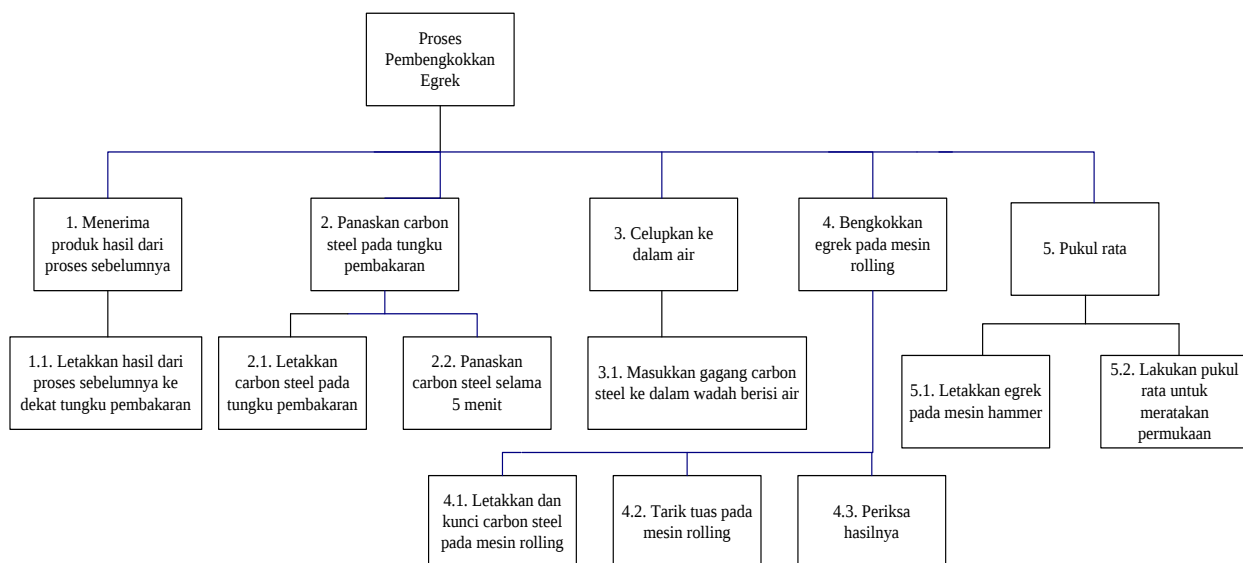
$$\begin{aligned}
 S_{L4} &= 0,56\text{m} ; \lambda_4 = 67\%; \theta_4 = 70^\circ \\
 W_T &= 50\% W_{\text{badan}} = 328,3\text{N} \\
 F_{yt} &= 2F_{ys} + W_T = 603,03\text{N} \\
 M_t &= 2M_s + (W_T\lambda_4 S_{L4} \cos \theta_4) + (2F_{ys} S_{L4} \cos \theta_4) \\
 &= 202,01\text{Nm} \\
 P_A &= \frac{1}{75} \left(10^{-4} [43 - 0,36(\theta_H + \theta_T)] \left(\frac{M_{L5}}{S_1} \right)^{1,8} \right) \\
 &= 0,0038 \\
 F_A &= P_A \times A_A = 0,0038 \times 465\text{ cm}^2 = 1,7502\text{ cm}^2 \\
 F_m \times E &= \frac{M_{L5}}{S_1} - F_A \text{ maka } F_m = 4036\text{N} \\
 W_{\text{tot}} &= W_0 + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_t \\
 &= 393,27\text{N} \\
 F_c &= W_{\text{tot}} \cos \theta_4 - F_A + F_m = 4170,51\text{N}
 \end{aligned}$$

Diperoleh $AL < F_c < MPL (3500 < 4170,51 < 6500)$ di mana AL dan MPL adalah ketetapan, maka gaya angkat dikategorikan perlu hati-hati.

Langkah yang dilakukan kemudian adalah penentuan probabilitas *human error* menggunakan pendekatan HRA yaitu metode HTA (*hierarchical task analysis*), HEART (*human error assessment and reduction technique*) dan FTA (*fault tree analysis*). Langkah pertama untuk menentukan probabilitas human error adalah dengan menggambarkan seluruh item pekerjaan ke dalam bentuk hirarki. Untuk proses pembengkokkan dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan menggunakan metode HTA, pekerjaan yang dianalisis menjadi lebih rinci dan sistematis karena pengelompokan tersebut digambarkan ke dalam sebuah diagram pohon yang menunjukkan hirarki atau tingkatan setiap pekerjaan. Berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara langsung maka dapat diuraikan faktor-faktor EPCs yang mempengaruhi tingkat kegagalan operator dalam proses pembengkokkan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai proposi efek (APOE) dan perhitungan AE

Nomor Urut (Tabel EPCs)	EPCs	Max Effect	APOE	AE ((Max.Effect-1) x APOE)+1)
7	Tidak ada prosedur yang jelas untuk memperbaiki kesalahan	8	0,6	$((8-1) \times 0,6) + 1 = 5,2$
17	Kurangnya kegiatan pemeriksaan	3	0,4	$((3-1) \times 0,4) + 1 = 1,8$
23	Peralatan tidak andal	1,6	0,6	$((1,6-1) \times 0,6) + 1 = 1,36$



Gambar 1. Hierarchical task analysis (HTA) proses pembengkokkan

Tabel 4. Nilai *human error probability* (HEP)

Kode	GTT	Nominal human error probability	Total AE	HEP
1.1.	E	0,02	12,7296	0,2545
2.1.	G	0,0004	12,7296	0,0050
2.2.	G	0,0004	12,7296	0,0050
3.1.	E	0,02	12,7296	0,2545
4.1.	G	0,0004	12,7296	0,0050
4.2.	G	0,0004	12,7296	0,0050
4.3.	G	0,0004	12,7296	0,0050
5.1.	E	0,02	12,7296	0,2545
5.2.	G	0,0004	12,7296	0,0050

Maka total probabilitas error berdasarkan *Fault Tree Analysis* adalah 0,5978

Tabel 5. Data dimensi antropometri pekerja

No	PJ1 (cm)	PJ3 (cm)	PPT (cm)	LJ2345 (cm)	LT (cm)	JT (cm)	TSB (cm)
1	7,2	10,3	9,7	8,5	9,3	75,5	108,4
2	5,7	10,1	9,0	8,2	8,7	72,0	99,1
3	7,6	10,8	11,0	7,5	9,4	78,0	102,2
4	7,0	10,2	7,7	7,3	9,0	71,0	99,4
5	6,3	9,8	7,2	7,0	8,2	71,0	94,5
6	6,2	9,4	6,7	8,0	10,0	65,0	94,0
7	6,5	10,2	7,2	7,7	9,4	67,0	98,5
8	7,0	10,2	8,3	7,8	8,8	71,0	101,0
9	6,6	10,3	10,2	8,0	9,3	71,0	99,0
10	6,5	9,4	9,2	7,1	8,6	82,0	98,5
11	6,8	10,8	9,7	7,3	9,3	73,0	98,7
12	6,3	10,0	9,5	7,7	9,9	81,0	96,0
13	7,7	10,3	9,8	8,0	10,2	75,0	115,0
14	6,1	9,2	8,7	7,8	9,1	75,0	104,5
15	6,8	11,1	9,4	8,1	9,3	74,0	100,3

Nilai HEP untuk setiap kode pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 4.

Langkah terakhir adalah mereduksi *human error* dengan melakukan perancangan fasilitas kerja sesuai dengan antropometri pekerja. Dari penilaian SNQ dan plibel, terhadap operator terdapat bagian tubuh leher, bahu, punggung bagian atas, siku, lengan, tangan, kaki, paha, dan lutut yang sering mengalami keluhan. Dengan mengurangi keluhan *musculoskeletal* pada bagian tubuh tersebut maka dapat mereduksi *human error*, sehingga perlu dilakukan perancangan fasilitas kerja yang menggunakan prinsip perancangan rata-rata (persentil 50). Antropometri yang dibutuhkan untuk modifikasi mesin *rolling* alat bantu pegangan egrek adalah tinggi siku berdiri (TSB), jangkauan tangan (JT), Lebar tangan (LT), Pangkal ke tangan + Panjang jari 3 (PPT + PJ3), Lebar jari 2345 + Panjang jari 1, Pangkal ke tangan + Panjang jari 3 (PPT + PJ3), dan Lebar jari 1.

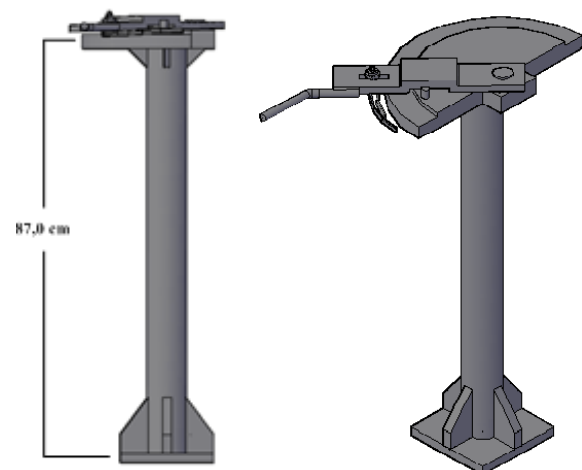
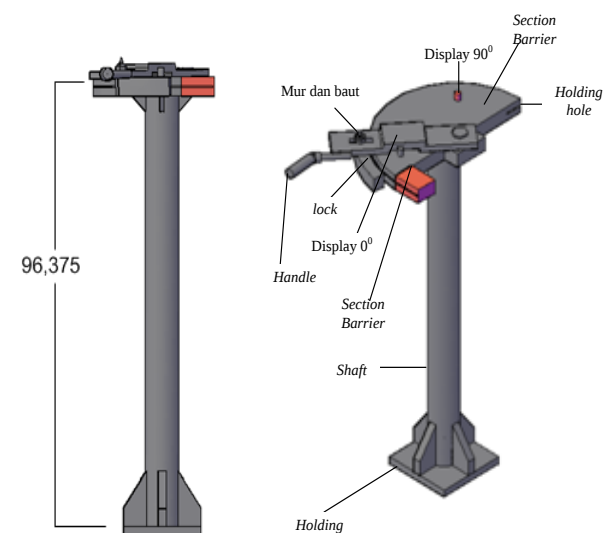
Hasil dan Pembahasan

Dari hasil pengumpulan dan pengolahan data yang dilakukan maka diperoleh hasil perancangan fasilitas kerja yang dapat dilihat pada Gambar 3.

Kekurangan pada mesin *rolling* aktual yaitu: dimensi tinggi mesin *rolling* yang tidak sesuai dengan antropometri operator mengakibatkan terjadinya keluhan *musculoskeletal* karena operator harus bekerja dengan posisi membungkuk, diameter *handle* terlalu kecil dan terbuat dari besi sehingga bagian tangan terasa sakit dan kasar, dan posisi *holding hole* berada pada bagian atas mesin sehingga percikan api pada saat proses pembengkokkan mengenai operator dan ketebalan *holding hole* untuk proses pembengkokkan tidak sesuai dengan ketebalan egrek dimana ketebalan egrek adalah 4 mm. Untuk meminimalisasi *human error* dirancang suatu fasilitas kerja yang ergonomis.

Tabel 6. Spesifikasi *rolling* aktual

Mesin <i>rolling</i> aktual	
Tinggi mesin	= 87cm
Diameter <i>handle</i>	= 1,5 cm
Panjang <i>handle</i>	= 8,5 cm
Ketebalan <i>holding hole</i>	= 1 cm
Diameter mesin <i>rolling</i>	= 46 cm

**Gambar 2.** Mesin *rolling* aktual**Gambar 3.** Mesin *rolling* usulan

Tabel 7. Spesifikasi mesin *rolling* usulan

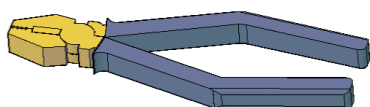
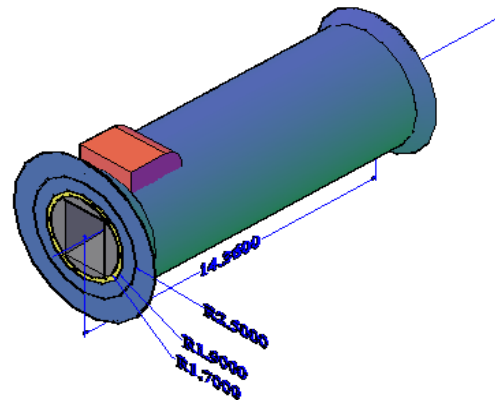
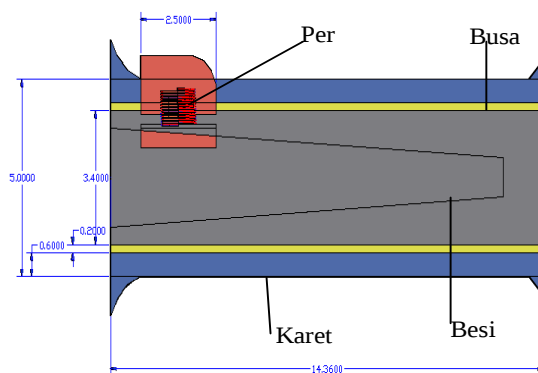
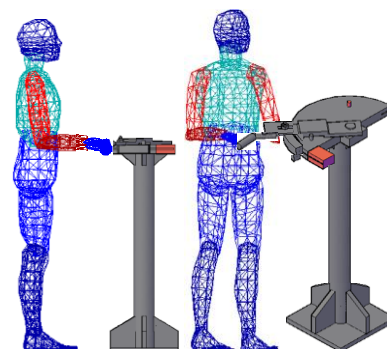
Mesin <i>rolling</i> baru
Tinggi mesin = 96,375 cm
Diameter <i>handle</i> = 4,987 cm
Panjang <i>handle</i> = 10,233 cm
Ketebalan <i>holding hole</i> = 0,5 cm
Diameter mesin <i>rolling</i> = 46 cm
Jangkauan terjauh <i>handle</i> = 65,825 cm
Fungsi tambahan sebagai <i>standard section barrier</i> = 8,2 cm
<i>Display</i> yang menunjukkan sudut 0° dan 90°

Penjelasan modifikasi mesin *rolling* usulan adalah sebagai berikut:

Dimensi tinggi mesin *rolling* disesuaikan dengan ukuran antropometri operator berdasarkan pengolahan data sehingga operator tidak perlu membungkuk ketika bekerja. Diameter *handle* disesuaikan dengan dimensi tangan operator dan dilapisi dengan busa sehingga lebih nyaman. Ketebalan *holding hole* disesuaikan dengan ketebalan egrek dan posisinya diletakkan pada bagian tengah penampang mesin sehingga percikan api tidak mengenai operator. Jangkauan *handle* disesuaikan dengan jangkauan terjauh tangan operator. Membuat fungsi tambahan pada bagian ujung mesin yaitu *section barrier* sepanjang 8,2 cm sebagai patokan agar bagian ujung egrek yang tidak dibengkokkan tepat 8 cm sehingga tidak memerlukan proses pemeriksaan. Menambahkan *display* yang menunjukkan sudut 0° dan 90° sebagai patokan pada saat egrek dibengkokkan.

Alat bantu yang digunakan selama ini oleh pekerja juga masih jauh dari keadaan aman. Kekurangan alat bantu aktual pegangan egrek (Gambar 4): Pada saat mengangkat egrek yang telah dipanaskan, operator menggunakan tang karena gagang egrek yang sangat panas dan kemudian dimasukkan ke dalam air agar dingin sehingga operator dapat memegang gagangnya ketika akan dibengkokkan. Untuk menghilangkan beberapa kegiatan kerja yang tidak perlu, dan yang dapat menimbulkan bahaya, perlu dilakukan perancangan alat bantu yang ergonomis.

Untuk mengurangi kegiatan yang berbahaya dirancang suatu alat bantu yaitu, pegangan egrek, seperti terlihat pada Gambar 5.

**Gambar 4.** Alat bantu aktual (tang)**Gambar 5.** Mengambil *carbon steel* yang sudah dipanaskan**Gambar 6.** Alat bantu usulan pegangan egrek**Gambar 7.** Alat bantu usulan pegangan egrek potongan A-A**Gambar 8.** Ilustrasi postur kerja baru

Tabel 8. Perbandingan postur kerja aktual dan usulan

Postur aktual	Skor	Tindakan
Proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin <i>rolling</i>	58,52%	Tindakan dalam waktu dekat
Postur baru	Skor	Tindakan
Proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin <i>rolling</i>	48,29%	Perbaikan waktu ke depan

Penjelasan alat bantu usulan pegangan egrek: Alat bantu pegangan egrek yang dirancang disesuaikan dengan dimensi antropometri operator yaitu dengan ukuran mesin sebagai berikut. Panjang alat bantu: 14,36 cm, Diameter: 4,987 cm dan Ukuran tombol = 2,546 cm.

Lapisan dalam terbuat dari besi dengan diameter 3,4 cm dengan ruang berbentuk persegi yang disesuaikan dengan ukuran gagang egrek. Besi dilapisi dengan karet jenis vitton sebagai bahan anti panas. Pada lapisan bagian luar dilapisi dengan busa yang lembut sehingga nyaman pada saat menggunakannya. Diberikan penambahan tombol yang dilengkapi per untuk menjepit egrek pada saat diangkat. Proses pengangkatan egrek dilakukan setelah selesai pembentukan gagang egrek melalui proses pemanasan.

Pencelupan pada wadah yang berisi air untuk proses pendinginan gagang egrek yang telah terbentuk. Setelah diangkat egrek dibawa ke mesin *rolling* untuk dilakukan proses pembengkokkan.

Setelah dilakukan perancangan alat bantu kerja, maka dihasilkan penurunan besar gaya otot yang dikeluarkan operator pada proses pembengkokkan menjadi 1968,74 N dari 4170,51 N.

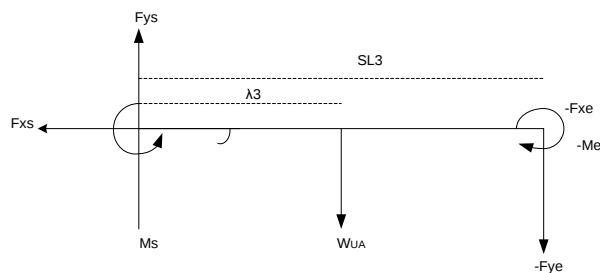
$W_{\text{badan}} = 67\text{kg} = 656,6\text{ N}$;

$W_0 = 10,6\text{kg} = 103,88\text{ N}$; $\sum F_y = 0$; $\sum F_x = 0$; $\sum M = 0$

Adapun perhitungan selengkapnya adalah sebagai berikut.

Gaya otot pada *spinalerector*:

a. Telapak tangan

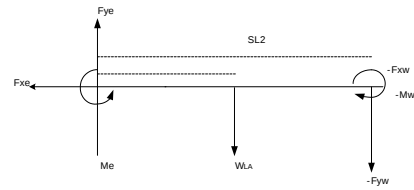


$$S_{L1} = 0,17\text{m}; \theta = 0^\circ$$

$$W_H = 0,6\% W_{\text{badan}} = 3,9396\text{ N}$$

$$M_w = (0,5W_H + W_0)S_{L1} \cos \theta = 17,981\text{ Nm}$$

b. Lengan bawah



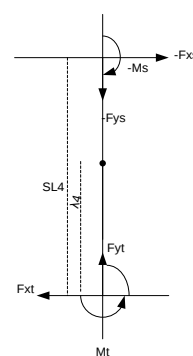
$$S_{L2} = 0,26\text{m}; \lambda_2 = 43\%; \theta_2 = 0^\circ$$

$$W_{LA} = 1,7\% W_{\text{badan}} = 11,16\text{ N}$$

$$F_{ye} = F_{yw} + W_{LA} = 118,89\text{ N}$$

$$M_e = M_w + (W_{LA}\lambda_2 S_{L2} \cos \theta_2) + (F_{yw} S_{L2} \cos \theta_2) = 49,219\text{ Nm}$$

c. Lengan atas



$$S_{L3} = 0,24\text{m}; \lambda_3 = 43,6\%;$$

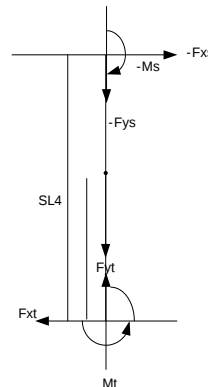
$$\theta_3 = 90^\circ$$

$$W_{UA} = 2,8\% W_{\text{badan}} = 18,385\text{ N}$$

$$F_{ys} = F_{yw} + W_{UA} = 137,365\text{ N}$$

$$M_s = M_w + (W_{UA}\lambda_3 S_{L3} \cos \theta_3) + (F_{yw} S_{L3} \cos \theta_3) = 49,219\text{ Nm}$$

d. Punggung



$$S_{L4} = 0,56\text{m}; \lambda_4 = 67\%;$$

$$\theta_4 = 90^\circ$$

$$W_T = 50\% W_{\text{badan}} = 328,3\text{ N}$$

$$F_{yt} = 2F_{ys} + W_T = 603,03\text{ N}$$

$$M_t = 2M_s + (W_T\lambda_4 S_{L4} \cos \theta_4) + (2F_{ys} S_{L4} \cos \theta_4) = 98,438\text{ Nm}$$

$$P_A = \frac{1}{75} \left(10^{-4} [43 - 0,36(\theta_H + \theta_T)] \left(\frac{M_{LS}}{S_1} \right)^{1,8} \right) = 0,1124$$

$$F_A = P_A \times A_A = 0,1124 \times 465\text{ cm}^2 = 52,304\text{ cm}^2$$

$$F_m \times E = \frac{M_{LS}}{S_1} - F_A D \text{ maka } F_m = 1968,75\text{ N}$$

$$W_{\text{tot}} = W_0 + 2W_H + 2W_{LA} + 2W_{UA} + W_t = 393,27\text{ N}$$

$$F_c = W_{\text{tot}} \cos \theta_4 - F_A + F_m = 1968,74\text{ N}$$

saat ini diperoleh $F_c < AL$ ($1968,74 < 3500$) dimana AL adalah ketetapan, maka gaya angkat dikategorikan aman.

Membuat adanya perancangan fasilitas kerja baru maka SOP proses pembengkokkan mengalami perubahan dan elemen kerja "periksa hasil pem-

Tabel 9. Perbandingan penilaian biomekanika aktual dan baru

Elemen kegiatan aktual	Besar nilai Fc (N)	Kategori	Elemen kegiatan baru	Besar nilai Fc (N)	Kategori
Proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin <i>rolling</i>	4170,51	Perlu hati-hati	Proses pembengkokkan dengan menarik tuas mesin <i>rolling</i>	1968,74	Aman

Tabel 10. Perbandingan uraian kerja aktual dan baru

Kode	Uraian kerja aktual	Kode	Uraian kerja baru
1.1.	Letakkan plat hasil dari proses sebelumnya di dekat tungku pembakaran.	1.1.	Letakkan plat hasil dari proses sebelumnya di dekat tungku pembakaran.
2.1.	Letakkan ujung plat pada tungku pembakaran untuk membentuk gagang egrek	2.1.	Letakkan ujung plat pada tungku pembakaran untuk membentuk gagang egrek
2.2.	Panaskan ujung plat yang telah terbentuk selama 5 menit.	2.2.	Panaskan egrek selama 5 menit.
3.1.	Masukkan gagang egrek ke dalam wadah berisi air dan langsung diangkat.	3.1.	Masukkan gagang egrek ke dalam wadah berisi air dan langsung diangkat.
4.1.	Letakkan dan kunci egrek pada mesin <i>rolling</i>	4.1.	Angkat dan letakkan egrek pada mesin <i>rolling</i>
4.2.	Tarik tuas mesin <i>rolling</i> untuk pembentukan egrek	4.2.	Tarik tuas mesin <i>rolling</i>
4.3.	Periksa hasil pembengkokkan	-	-
5.1.	Letakkan egrek pada mesin hammer	5.1.	Letakkan egrek pada mesin hammer
5.2.	Lakukan proses pukul rata	5.2.	Lakukan proses pukul rata

bengkokkan” ditiadakan karena telah dirancang fungsi tambahan, yaitu *standard Section barrier* dan *display* yang menunjukkan sudut 0° dan 90°. Perbandingan uraian kerja aktual dan baru dapat dilihat pada Tabel 10.

Adanya perancangan fasilitas kerja yang baru, operator masih harus menyesuaikan diri (memerlukan proses pembelajaran) dalam proses penggunaan mesin tersebut sehingga pada tahap awal penggunaan mesin, operator masih memiliki kemungkinan untuk melakukan *error* maka timbul EPCs yang baru sedangkan factor EPCs yang lama dapat dihilangkan. Melalui perancangan fasilitas kerja baru, maka faktor EPCs yang muncul adalah dibutuhkan teknik (cara) yang berbeda dari biasanya dalam melakukan pekerjaan dengan nilai *maximum effect* 6 dan APOE 0,6. Nilai *Assessed Effect* adalah $((\text{Max.Effect}-1) \times \text{APOE})+1$ sehingga diperoleh nilai *Assessed Effect* = 4. Probabilitas *human error* setelah perancangan mengalami penurunan menjadi 0,1590. Penurunan *human error* terjadi karena faktor penyebab *error* (EPCs) yang sebelumnya dapat dihindarkan.

Simpulan

Hasil pengolahan data dan analisa pembahasan memberikan beberapa kesimpulan sebagai berikut, Keluhan *musculoskeletal* yang dialami operator berdasarkan kuesioner SNQ dan Plibel terdapat pada anggota tubuh bagian atas yaitu leher, bahu, lengan, tangan, punggung, dan pinggang. Keluhan ini disebabkan karena dimensi mesin *rolling* yang tidak sesuai dengan antropometri operator dan gaya otot yang dikeluarkan operator cukup besar serta

kegiatan yang dilakukan bersifat repetitif. Hasil penilaian postur kerja menunjukkan bahwa elemen kegiatan pembengkokkan membutuhkan tindakan dalam waktu dekat dengan skor sebesar 58,52% dan berdasarkan perhitungan gaya otot pada segmen tubuh telapak tangan, lengan bawah, lengan atas, dan punggung elemen kegiatan pembengkokkan termasuk ke dalam kategori perlu hati-hati dengan nilai gaya kompresi pada L5/S1 (Fc) sebesar 4170,5 N. Pada proses pembengkokkan. Total *human error* aktual yang terjadi adalah 0,5978%. Untuk mengurangi hasil penilaian postur kerja, biomekanika dan *human error* maka dilakukan suatu perancangan mesin *rolling* yang ergonomis dan perancangan alat bantu pegangan yang disesuaikan dengan antropometri operator. Setelah melakukan perancangan mesin *rolling* yang ergonomis dan alat bantu pegangan, terdapat elemen kegiatan yang hilang yaitu proses pemeriksaan. Setelah melakukan penilaian kembali setelah perancangan, postur tubuh operator menjadi lebih aman dan skor tindakannya sebesar 48,29% dan berdasarkan perhitungan biomekanika, besar gaya kompresi pada L5/S1 (Fc) menjadi 1968,74 N dan termasuk dalam kategori aman. Demikian juga dengan probabilitas *human error* mengalami penurunan menjadi 0,1590%.

Daftar Pustaka

1. Aghili, Mir M. M., Asilian, H., and Poursafa, P., Evaluation of Musculoskeletal Disorder in Sewing Machine Operators of a Shoe Manufacturing Factory in Iran, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 62(3), 2012, pp. 20-25.
2. Akash, K. B., and Kshyudda. S. C., Medical Human Factor Engineering and Workspace

- Design, *Journal of Interscience Management Review* (IMR), 2 (2), 2012, pp.21-25.
3. Dhillon, B. S., *Human Reliability: With Human Factors*, Pergamon Press, Exeter, UK, 1987.
4. Fabio, D. F., Antonella, P., Armando, C., and Antonio, R., Human Reliability Analysis: A Review of the State of the Art, *International Journal of Research in Management and Technology* (IJRMT), 2(1), 2012, pp.35-41.
5. Hendra and Suwandi, R., Risiko Ergonomi dan Keluhan Musculoskeletal Disorde (MSDs) pada Pekerja Panen Kelapa Sawit, *Prosiding Seminar Nasional Ergonomi IX*, Semarang, 17-18 November 2009.
6. Humantech, *Humantech Applied Ergonomics Training Manual*, 2nd.ed., Berkeley, Australia, 1995.
7. Lyons, M. A., Sally, B., Woloshynowych, M., and Vincent, C., Human Reliability Analysis in Healthcare: A Review of Techniques, *International Journal of Risk and Safety in Medicine* IOS Press, 16, 2004, pp. 223-237.
8. Meister, D., *Behavioral Foundations of System Development*, John Wiley & Sons, New York, 1976.
9. Nurmianto, E., *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya*, Guna Widya, Jakarta, 1996.
10. Pheasant, S., *Ergonomics, Work and Health*, Aspen Publishers Inc, USA, 1991.
11. Reinach, S. J., Fadden, S., Gamst, F. C., and Acton, S. A., The Use of HEART to Assess the Risk of Remote Control Locomotive Operations: A Tale of Two Cities, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 51st Annual Meeting*—2007, pp. 1411-1415.
12. Stanton, N., *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, CRC Press LLC, United States of America, 2005.
13. Susetyo, J., Isna, O. T., and Hastiko, H. I., Prevalensi Keluhan Subyektif atau Kelelahan karena Sikap Kerja yang Tidak Ergonomis pada Pengrajin Perak, *Jurnal Teknologi*, 1(2), 2008, pp. 141-149.