

*Technical Paper***Desain Model Diagnostik Resiko Ergonomi pada Kelapa Sawit Secara Manual***Ergonomic Risk Assessment's Tool of Oil Palm Manual Harvesting*

Nugrahaning Sani Dewi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor,  
Email: nugrahaningsani@gmail.com

M. Faiz Syuaib, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor, Email: faizs@ipb.ac.id  
Lenny Saulia, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor, Email: lsaulia@gmail.com

**Abstract**

*Oil palm harvesting activity is mostly done by 'human power' manual handling, therefore the activity may cause work safety and health problems. This research is deal with anthropometry, motion study and biomechanic to find out the risk of manual handling and to develop ergonomic assessment model of oil palm harvesting. This model was designed in the aims to find out better work motion, good procedure and better design of harvesting tool, so the manual harvesting can be done in more safe, efficient and productive. The formula for the appropriate distance between harvester's position and the tree and the length of egrek show that oil palm harvesting for more than 16 m bunches's height is not safe with 'egrek'. Critical load for neck, shoulder and forearm are 21.85 N, 1091.96 N and 1634.31 N. Ergonomic risk assesment's tool of oil palm manual harvesting was designed with the parameter: appropriate distance ( $dt$ ), the length of egrek ( $lp$ ), critical range of motion (CRM) and critical load (CL) for neck, shoulder and forearm.*

**Keywords:** *biomechanic, ergonomic, motion study, manual harvesting, oil palm.*

**Abstrak**

Pemanenan kelapa sawit secara manual berpotensi menimbulkan permasalahan keselamatan dan kesehatan kerja. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan biomekanik, studi gerak dan antropometri untuk mendesain model diagnostik resiko ergonomi pada pemanenan kelapa sawit secara manual. Model ini didesain untuk menghasilkan gerak kerja pemanenan dan prosedur pemanenan yang lebih baik serta rekomendasi panjang egrek yang dibutuhkan sehingga kegiatan pemanenan dapat dilakukan secara aman, efektif dan produktif. Hasil simulasi pemanenan menghasilkan formulasi jarak aman  $dt$  (m) dan formulasi panjang egrek yang dibutuhkan  $lp$  (m). Berdasarkan formula tersebut, pemanenan kelapa sawit dengan tinggi target pohon lebih dari 16 m sudah tidak aman untuk dilakukan dengan menggunakan egrek. Batas beban (*critical load*) yaitu 21.85 N untuk otot leher, 1,091.96 N untuk otot *deltoid* bahu dan 1,634.31 N untuk otot *branchioradialis* lengan bawah. Model diagnostik resiko ergonomi pada pemanenan kelapa sawit telah dirancang dengan parameternya adalah jarak aman ( $dt$ ), panjang batang egrek yang dibutuhkan ( $lp$ ), *critical range of motion* (CRM) dan *critical load* (CL) pada leher, bahu dan lengan bawah.

**Kata kunci:** ergonomika, studi gerak, biomekanik, kelapa sawit, pemanenan.

*Diterima: 28 Oktober 2014; Disetujui: 20 Januari 2015*

**Pendahuluan**

Permintaan kepala sawit dunia untuk produk makanan (74%) dan kebutuhan industri (24%) terus meningkat (USDA 2010). Permintaan kelapa sawit yang terus meningkat akan berimplikasi pada terus ditingkatkannya produktivitas. Proses pemanenan merupakan termasuk faktor penting dalam pencapaian produktivitas panen kelapa sawit. Keberhasilan pemanenan akan menunjang

pencapaian produktivitas tanaman (Pusat Penelitian Kelapa Sawit 2007). Saat ini, aktivitas pemanenan di hampir semua perkebunan kelapa sawit di Indonesia masih dilakukan secara manual dan mengandalkan tenaga manusia. Kegiatan pemanenan secara manual berpotensi untuk menimbulkan permasalahan keselamatan dan kesehatan kerja (K3). Hasil penelitian Hendra dan Rahardjo (2009) menyatakan bahwa resiko pekerjaan pemanenan, yaitu panen dan muat

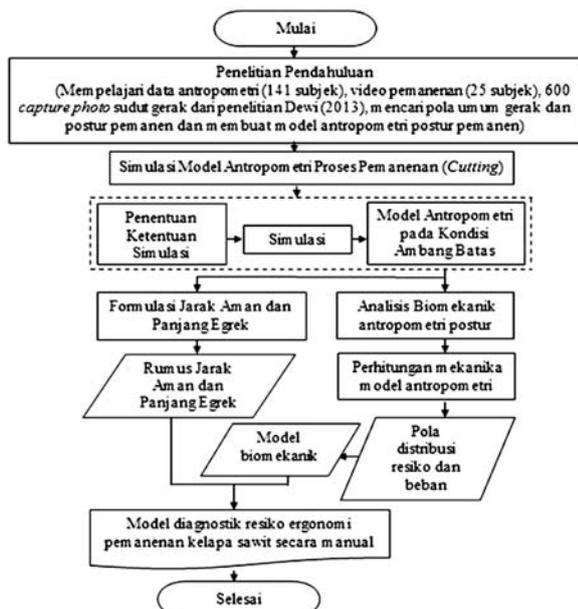
mempunyai kategori tinggi (skor 8-10) berdasarkan metode *rapid entire body assessment (REBA)*. Syaib (2012) dan Dewi (2013) juga menjelaskan bahwa hasil analisis selang alami gerakan (SAG) terhadap prosedur pemanenan yang dilakukan saat ini menunjukkan bahaya resiko ergonomi yang secara umum terjadi pada semua anggota tubuh bagian atas pemanen, yaitu leher, bahu dan lengan bawah. Namun, penelitian tersebut masih menggunakan pendekatan pada lingkup gerakannya saja sehingga belum mencerminkan pembebanan sebenarnya yang diterima oleh pemanen. Maka dari itu diperlukan penelitian lanjutan yaitu dengan pendekatan biomekanik untuk menganalisis gaya yang dibutuhkan otot untuk merespon tekanan tersebut sehingga resiko cedera otot dapat dihindari. Tujuan penelitian ini adalah mendesain model diagnostik resiko ergonomi pada pemanenan kelapa sawit secara manual berdasarkan antropometri, studi gerak dan biomekanik.

**Bahan dan Metode**

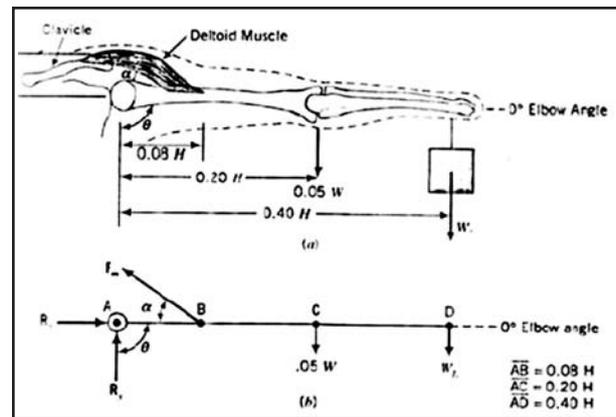
Penelitian dilaksanakan mulai bulan Januari 2014 hingga bulan Juni 2014 di Laboratorium Ergonomika, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah seperangkat komputer dan alat tulis untuk proses pengolahan data. Beberapa perangkat lunak yang digunakan adalah *spreadsheet* dan *computer aided design (CAD)*. Subjek yang digunakan untuk mendapatkan data antropometri pemanen kelapa sawit berjumlah 48 pemanen di PT Sari Lembah Subur (SLS), Riau, 43 pemanen di PT Waru Kaltim Plantation (WKP), Kalimantan Timur, dan 50 pemanen di PT Pasangkayu (PKY), Sulawesi Barat. Sedangkan

subjek yang diteliti untuk mengetahui tingkat resiko gerakan pada proses pemanenan kelapa sawit berjumlah 9 pemanen di SLS, 5 pemanen di WKP, dan 11 pemanen di PKY. Data tersebut berasal dari penelitian Dewi (2013). Penelitian yang dilakukan terdiri dari penelitian pendahuluan, simulasi model antropometri pemanenan, formulasi jarak aman dan panjang egrek yang dibutuhkan serta analisis biomekanik yang secara umum dijelaskan melalui bagan alir pada Gambar 1.

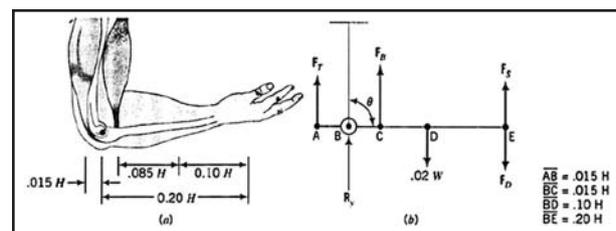
Penelitian pendahuluan dimulai dengan mempelajari data sudut gerak tubuh berdasarkan penelitian Dewi (2013) untuk mencari pola umum gerak dan postur pemanen serta pembuatan model antropometri postur. Proses formulasi jarak aman dan panjang egrek yang dibutuhkan dilakukan setelah simulasi model antropometri pada kondisi ambang batas ekstrim dilakukan. Dari kondisi tersebut ditemukan sudut antara egrek dan pohon ( $\theta$ ) Sudut ini nantinya akan menghasilkan formulasi jarak aman dan panjang egrek yang dibutuhkan. Simulasi model antropometri pemanenan dilakukan untuk mencari postur pemanen yang terjadi pada kondisi ambang batas ekstrim. Kondisi ambang batas ekstrim yang dimaksud adalah kondisi tersulit yang masih bisa diterima pemanen. Hal ini dilakukan untuk mencari batas resiko maksimal yang dapat terjadi. Analisis biomekanika dilakukan berdasarkan perhitungan mekanika yang nantinya akan diterapkan pada setiap model antropometri postur pemanen dalam kondisi ambang batas ekstrim yang telah dihasilkan pada tahap simulasi sebelumnya. Gambar postur pemanen tersebut digambarkan sudut-sudut gerakannya menggunakan CAD.



Gambar 1. Bagan alir prosedur penelitian.



Gambar 2. Perhitungan kinetika pada bahu.



Gambar 3. Perhitungan kinetika pada lengan bawah.

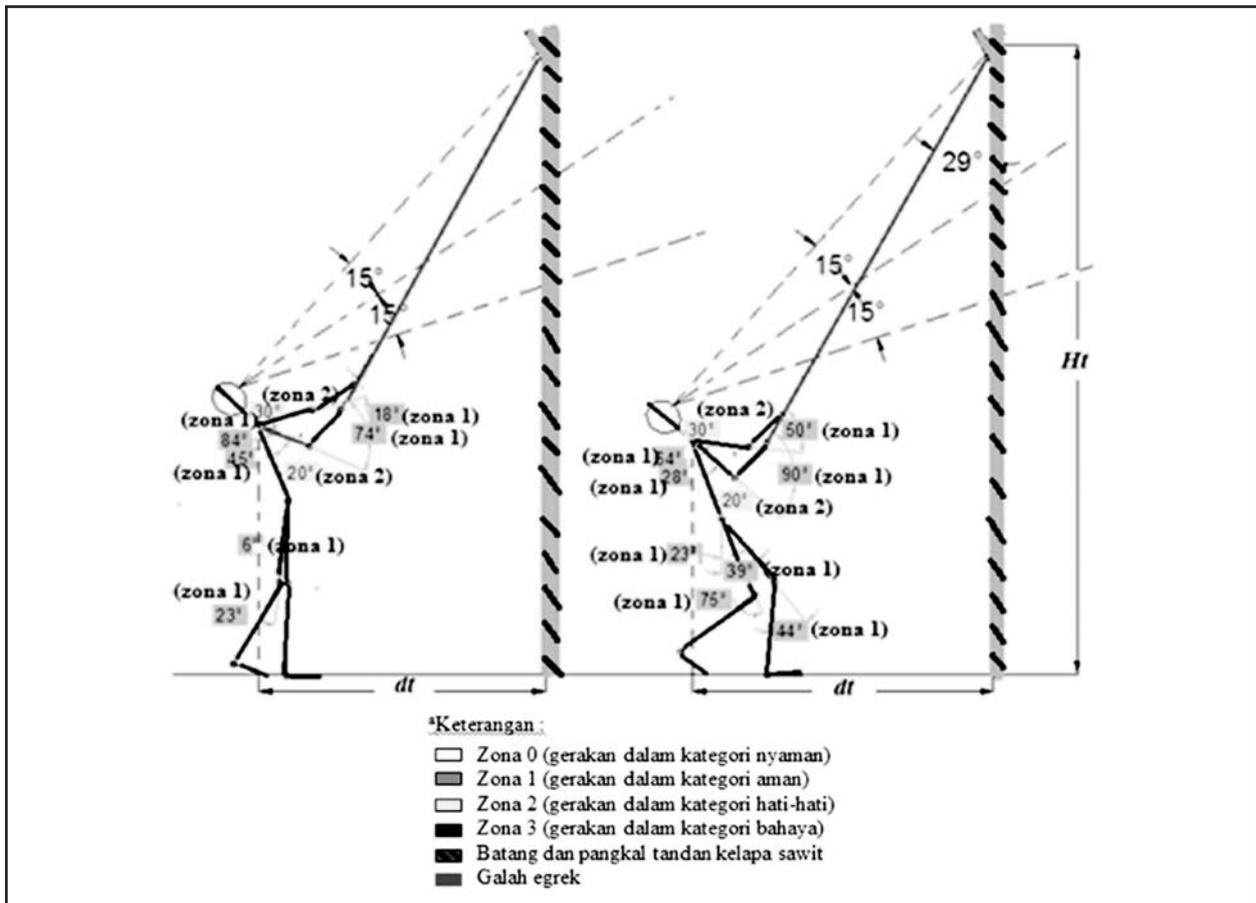
Perhitungan mekanika dilakukan pada segmental tubuh yang kritis seperti leher, bahu dan lengan bawah. Perhitungan mekanika pada bahu dan lengan berdasarkan persamaan yang dibuat oleh Philip (2000) yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.

### Hasil dan Pembahasan

#### Simulasi Model Antropometri Pemanenan pada Kondisi Ambang Batas Ekstrim

Simulasi dilakukan pada dua postur pemanenan yaitu postur sebelum dan sesudah gerakan memotong pelepah dan tandan buah segar (TBS). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan batas resiko maksimal yang dapat terjadi pada postur saat memanen. Ketentuan simulasi yang pertama adalah model menggunakan antropometri pemanen persentil 5 karena pemanen dengan ukuran tubuh persentil 5 memiliki kondisi yang lebih sulit (ekstrim) pada saat proses pemanenan. Diharapkan pemanen dengan ukuran tubuh persentil 5 akan mewakili resiko maksimal yang diterima dalam sampel populasi pemanen pada penelitian ini. Ketentuan yang kedua yaitu sudut gerak pada joint di leher, punggung dan joint siku.

Hal ini dikarenakan pada *joint-joint* tubuh tersebut sangat mempengaruhi terbentuknya sudut gerak yang ekstrim pada *joint-joint* tubuh yang lain seperti pada bahu dan *joint* pada anggota tubuh bawah seperti tungkai atas dan tungkai bawah. Pada *joint* di leher menggunakan gerakan ekstensi leher (He) yang menggunakan sudut maksimum kurang dari  $31^\circ$  yaitu  $30^\circ$ . Sedangkan pada *joint* di punggung menggunakan sudut gerak ekstensi punggung (Be) yang menggunakan sudut maksimum kurang dari  $21$  yaitu  $20^\circ$ . Selain itu agar membentuk gaya momen yang besar pada *joint* siku menggunakan gerak fleksi siku tangan (Ef) sebesar  $90^\circ$ . Hal ini berdasarkan Kroemer dan Grandjean (1997) yang menyebutkan bahwa gaya momen paling besar pada siku yang membengkok kedalam (fleksi) berada pada sudut gerak antara  $90^\circ$  dan  $120^\circ$ . Ketentuan berikutnya adalah sudut pandang pemanen. Besarnya sudut pandang pemanen menggunakan sudut pandang  $15^\circ$  (Kroemer dan Grandjean 1997). Ketentuan yang terakhir adalah letak egrek. Letak egrek dalam hal ini adalah posisi egrek terhadap postur pemanen yang letak ujung batang egreknya sejajar dengan garis bahu agar membentuk sudut fleksi pada bahu mendekati sudut ekstrim. Hasil simulasi model antropometri pada kondisi ambang batas ekstrim dapat dilihat pada Gambar 4.



<sup>a</sup> Pengelompokan zona berdasarkan Openshaw (2006) dengan modifikasi penerjemahan kategori zona.

Gambar 4. Model antropometri pemanenan saat kondisi ambang batas ekstrim yaitu pada postur sebelum (A) dan sesudah (B) gerakan memotong pelepah dan tandan.

**Formulasi Jarak Aman dan Panjang Egrek yang Dibutuhkan**

Dari simulasi pada tahapan sebelumnya didapat besarnya sudut antara egrek dengan pohon ( $\theta$ ) yaitu sebesar  $29^\circ$  berdasarkan sudut gerak yang dibuat pada ambang batas beban maksimum yang masih dapat diterima. Formulasi jarak dan panjang egrek dapat dibuat berdasarkan sudut tersebut yang digambarkan pada Gambar 5.

Berdasarkan gambar tersebut, jarak aman pemanenan ( $dt$ ) dan panjang egrek yang dibutuhkan ( $lp$ ) dapat ditentukan. Untuk mencari  $dt$  maka nilai  $a$  harus dicari. Jarak antara titik pada pangkal bahu (A) dengan titik perpotongan tangan dan ujung batang egrek (B) disebut dengan  $a$ . Besarnya dapat dicari dengan menggunakan rumus Phytagoras. Simulasi yang dilakukan dalam kondisi ambang batas ekstrim sehingga menggunakan data antropometri persentil 5. Untuk pemanen dengan persentil 5, panjang lengan atasnya yaitu 26 cm sedangkan lengan bawahnya sepanjang 23 cm. Sehingga perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 1.

$$a = \sqrt{26^2 + 23^2} = 34.71 \approx 35 \text{ cm} \quad (1)$$

Jika tinggi bahu ( $Hs$ ) dan tinggi pohon ( $Ht$ ) diketahui maka garis AB ( $dh$ ) dapat diketahui dengan rumus yang terlihat pada Persamaan 2.

$$dh = (Ht - Hs) \tan 29^\circ \quad (2)$$

Setelah  $a$  dan  $dh$  diketahui maka rumus jarak aman antara pemanen dan pohon ( $dt$ ) dapat dirumuskan seperti pada Persamaan 3, 4 dan 5.

$$dt(m) = dh + a \quad (3)$$

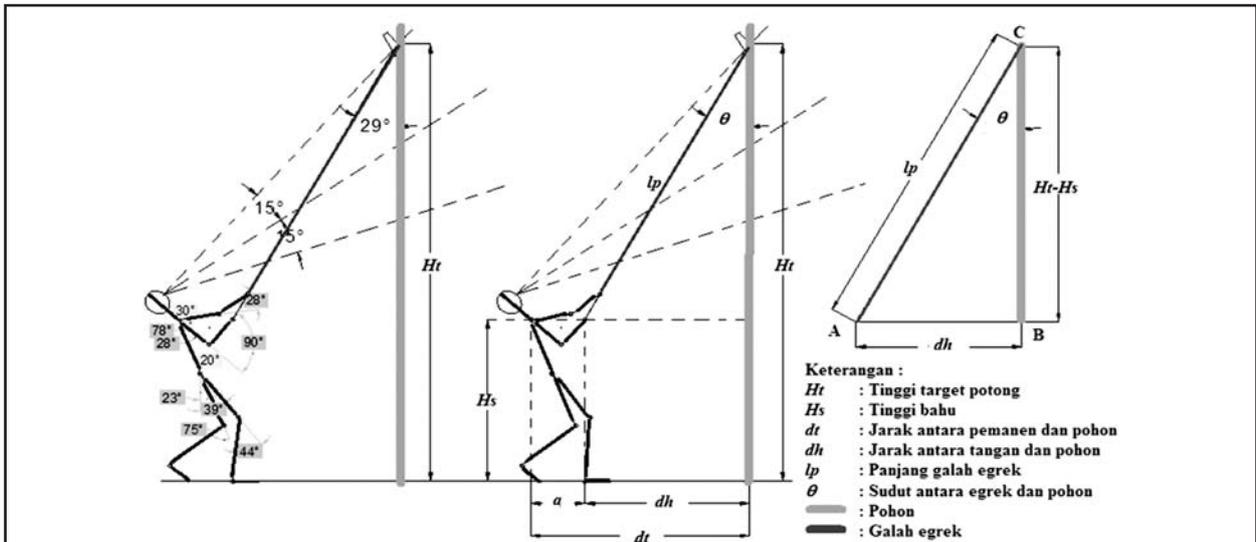
$$dt(m) = (Ht - Hs) \tan 29^\circ + a \quad (4)$$

$$dt(m) = 0.5 (Ht - Hs) + 0.35 \quad (5)$$

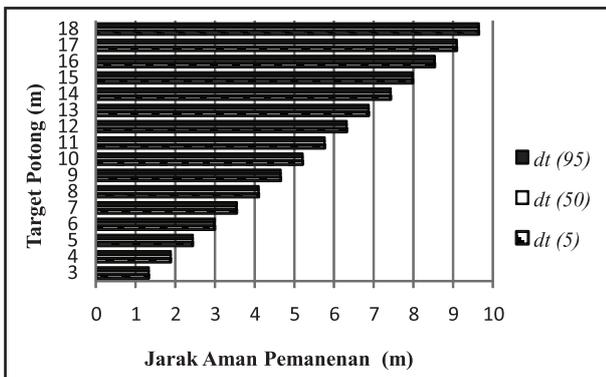
Dari persamaan persamaan di atas maka didapat juga panjang egrek yang dibutuhkan, yang dirumuskan pada Persamaan 6.

$$lp = (Ht - Hs) / \cos \theta \quad (6)$$

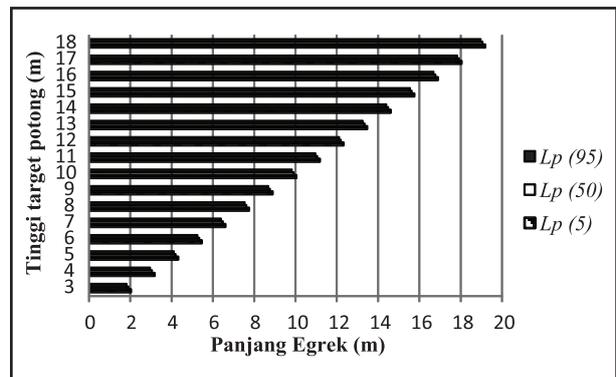
Persamaan jarak aman dan panjang egrek yang dibutuhkan dapat disimulasikan ke dalam spreadsheet dengan memodifikasi ketentuan tinggi pohon sawit dan tinggi bahu pemanen. Grafik



Gambar 5. Gambaran formulasi rumus jarak aman dan panjang egrek.



Gambar 6. Grafik pengaruh tinggi target potong ( $Ht$ ) terhadap jarak aman ( $dh$ ).



Gambar 7. Grafik pengaruh tinggi target potong ( $Ht$ ) terhadap panjang egrek yang dibutuhkan ( $lp$ ).

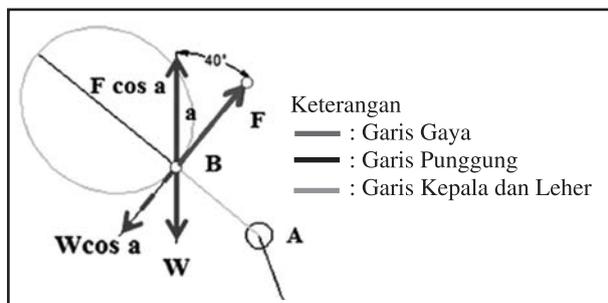
pengaruh tinggi target potong ( $H_t$ ) terhadap jarak aman ( $dh$ ) dan panjang egrek yang dibutuhkan ( $lp$ ) disajikan pada Gambar 6 dan 7.

Kedua grafik di atas memuat data jarak aman dan panjang egrek ideal yang dapat terbentuk pada kegiatan memotong pelepah dan tandan, dengan menggunakan model pemanen persentil 5, 50 dan 95 serta pertambahan tinggi target potong. Pada grafik dapat dilihat bahwa semakin tinggi target potong maka semakin panjang jarak antara pemanen dengan pohon untuk mendapatkan kondisi yang aman dan semakin panjang pula panjang egrek yang diperlukan. Selain itu, dapat terlihat semakin tinggi ukuran tubuh pemanen yang diwakili oleh populasi pemanen persentil 5, 50 dan 95 yang digunakan untuk model antropometri maka panjang egrek yang dibutuhkan semakin kecil. Secara garis besar bahwa tinggi target potong lebih dari 16 m menghasilkan jarak aman lebih dari 9 m. Hal ini tidak memungkinkan untuk dilakukan pada kondisi perkebunan kelapa sawit sekarang ini yang memiliki rata-rata jarak tanam sepanjang 9 m (Pahan 2007). Maka dari itu jika panjang jarak panen sudah melebihi 10 m, maka kegiatan panen tersebut tidak dapat dilakukan dengan aman.

### Analisis Biomekanika

#### Analisis Biomekanika Saat Kondisi Ambang Batas Ekstrim

Analisis biomekanika dilakukan pada model antropometri saat kondisi ambang batas ekstrim



Gambar 8. Analisis biomekanika pada segmen leher.

(critical range of motion) agar didapat batas resiko beban yang diterima pemanen pada kondisi tersebut. Analisis ini dilakukan pada dua postur gerakan yaitu gerakan awal sebelum pemotongan dan gerakan akhir setelah pemotongan, untuk segmen tubuh leher, bahu dan lengan bawah. Segmen-segmen tubuh tersebut menahan beban dalam keadaan statik mengikuti hukum kesetimbangan benda tegar. Contoh analisis biomekanika pada segmen leher dapat dilihat pada Gambar 8.

Dari gambaran tersebut didapat persamaan mekanika yang dijelaskan pada Persamaan 7 dan 8.

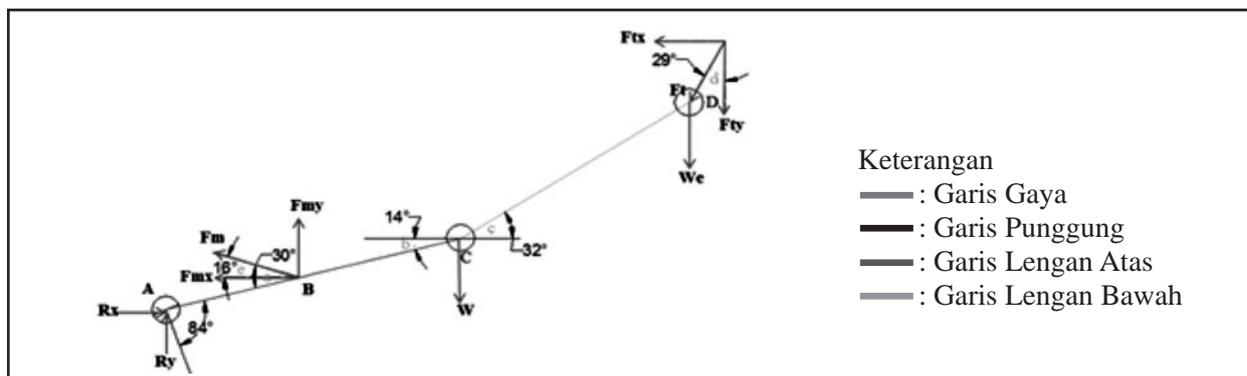
$$M_A = 0 \tag{7}$$

$$F = W \cos a \tag{8}$$

Dari persamaan tersebut dilakukan perhitungan yang menghasilkan nilai  $F$ . Nilai  $F$  merupakan besarnya momen gaya yang dibutuhkan leher agar dapat menahan gaya berat ( $W$ ) agar tetap setimbang. Pada kondisi tersebut, besarnya batas beban yang diterima leher adalah 19.02 Nm. Cara yang sama dilakukan juga pada segmen tubuh bahu dan lengan bawah untuk mencari besarnya momen gaya pada otot *deltoid* (bahu) dan otot *brachioradialis* (lengan bawah). Ada dua analisis biomekanika pada bahu dan lengan bawah yang menghasilkan masing-masing dua macam model biomekanik untuk bahu dan lengan bawah berdasarkan besarnya sudut fleksi gerakan yang terbentuk. Pada bahu, analisis biomekanik dibagi berdasarkan sudut fleksi gerakan  $\geq 90^\circ$  dan  $\leq 90^\circ$  dan untuk lengan bawah dibagi berdasarkan sudut fleksi gerakan  $\geq 30^\circ$  dan  $\leq 30^\circ$ . Diagram gaya dan persamaan biomekaniknya ditunjukkan pada Gambar 9, 10, 11 dan 12 serta Persamaan 9 sampai dengan 16.

$$M_A = 0 \tag{9}$$

$$\Leftrightarrow Fm = W \cos b \ AC + We (\cos b \ AC + \cos c \ CD) - Ft \sin d (\sin b \ AC + \sin c \ CD) + Ft \cos d (\cos b \ AC + \cos c \ CD) / (\sin e \cos b \ AB) + (\cos e \sin b \ AB) \tag{10}$$



Gambar 9. Diagram gaya pada segmen bahu untuk sudut fleksi  $\geq 90^\circ$ .

Tabel 1. Batas beban yang masih dapat diterima pada bahu dan lengan bawah.

Postur	Fm (N)	
	Bahu	Lengan Bawah
Gerakan awal	kanan	887.74
	kiri	1,091.96
Gerakan akhir	kanan	742.60
	kiri	1,035.75

$$M_A = 0 \tag{11}$$

$$\Leftrightarrow F_m = W \cos b \ AC + We (\cos b \ AC + \cos c \ CD) - Ft \sin d (\sin b \ AC + \sin c \ CD) + Ft \cos d (\cos b \ AC + \cos c \ CD) / (\sin (a+b) \cos b \ AB) + (\cos (a+b) \sin AB) \tag{12}$$

$$M_A = 0 \tag{13}$$

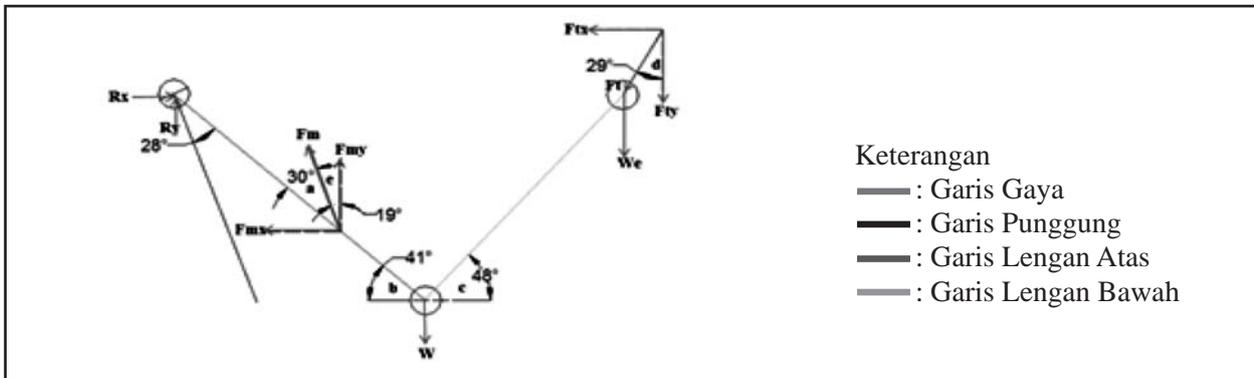
$$\Leftrightarrow F_m = W \cos b \ AC + We \cos b \ AD - Ft \sin d \sin b \ AD + Ft \cos d \cos b \ AD / (\sin e \cos b \ AB) - (\cos e \sin b \ AB) \tag{14}$$

$$M_A = 0 \tag{15}$$

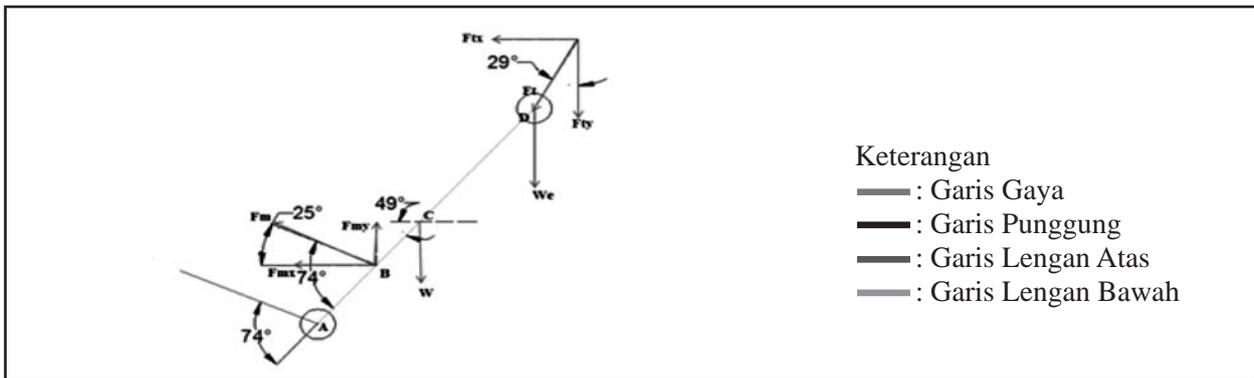
$$\Leftrightarrow F_m = W \cos b \ AC + We \cos b \ AD - Ft \sin d \sin b \ AD + Ft \cos d \cos b \ AD / (-\cos e \cos b \ AB) + (\sin e \sin b \ AB) \tag{16}$$

Sudut ambang batas ekstrim leher ekstensi 30° menghasilkan sudut a sebesar 40° dan gaya berat segmen leher 28.52 N yaitu 21.85 N yang didapat dengan Persamaan 9. Batas beban yang dapat diterima oleh bahu dan lengan bawah dapat dilihat pada Tabel 1.

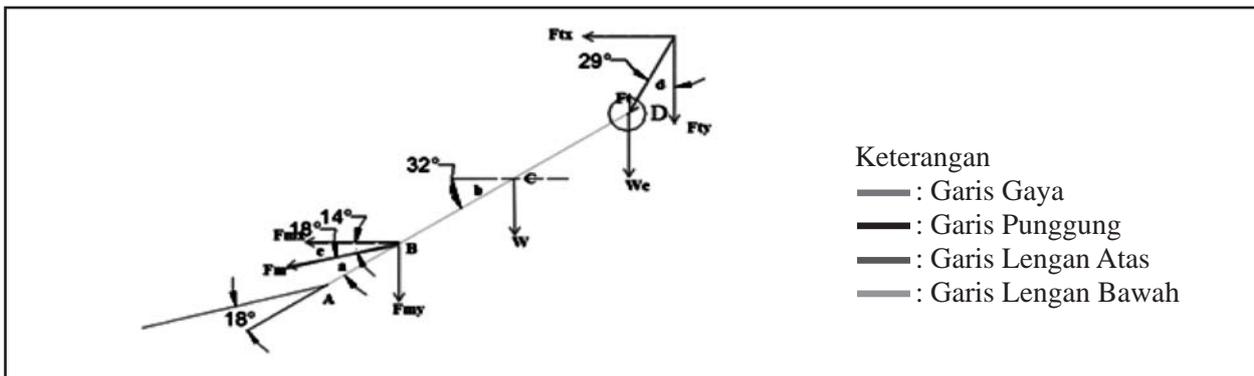
Dari data pada tabel di atas dapat dilihat bahwa untuk lengan bawah, semua beban pada postur gerakan akhir lebih besar daripada gerakan awal.



Gambar 10. Diagram gaya pada segmen bahu untuk sudut fleksi ≤ 90°.



Gambar 11. Diagram gaya pada segmen lengan bawah untuk sudut fleksi ≥ 30°.



Gambar 12. Diagram gaya pada segmen lengan bawah untuk sudut fleksi ≤ 30°.

Besarnya beban di otot *branchioradialis* pada lengan bawah untuk gerakan akhir yaitu antara 782.75 N sampai 1,145.80 N menunjukkan bahwa pada saat menarik, otot *branchioradialis* melakukan fleksi yang sangat kuat karena otot ini merupakan otot superfisial pada sisi radial (sisi ibu jari), siku dan lengan bawah yang berhubungan dengan otot fleksor jari superfisial yang berfungsi untuk melakukan fleksi di keempat jari dan pergelangan tangan. Otot ini berperan penting dalam fleksi yang kuat terhadap tahanan (Sloane 1994). Tahanan yang besar di permukaan besi galvanis pada batang egrek terlihat dalam perilaku pemanen yang lebih memilih untuk tidak menggunakan sarung tangan (*gloves*) yang diberikan perusahaan sebagai alat pelindung diri (APD). Penggunaan sarung tangan akan mengurangi kekuatan genggamannya (Wang et al. 1987) dalam Sanders dan Cormick (1993). Penurunan kekuatan genggamannya ini menghasilkan konsekuensi negatif seperti terlepasnya alat, rendahnya kontrol pada tangan, kualitas kerja yang buruk dan meningkatnya kelelahan otot (Sanders dan Cormick 1993). Sehingga pembuatan grip pada pegangan egrek dapat direkomendasikan untuk diaplikasikan pada proses pemotongan pelepah dan tandan agar dapat meningkatkan kekuatan genggamannya.

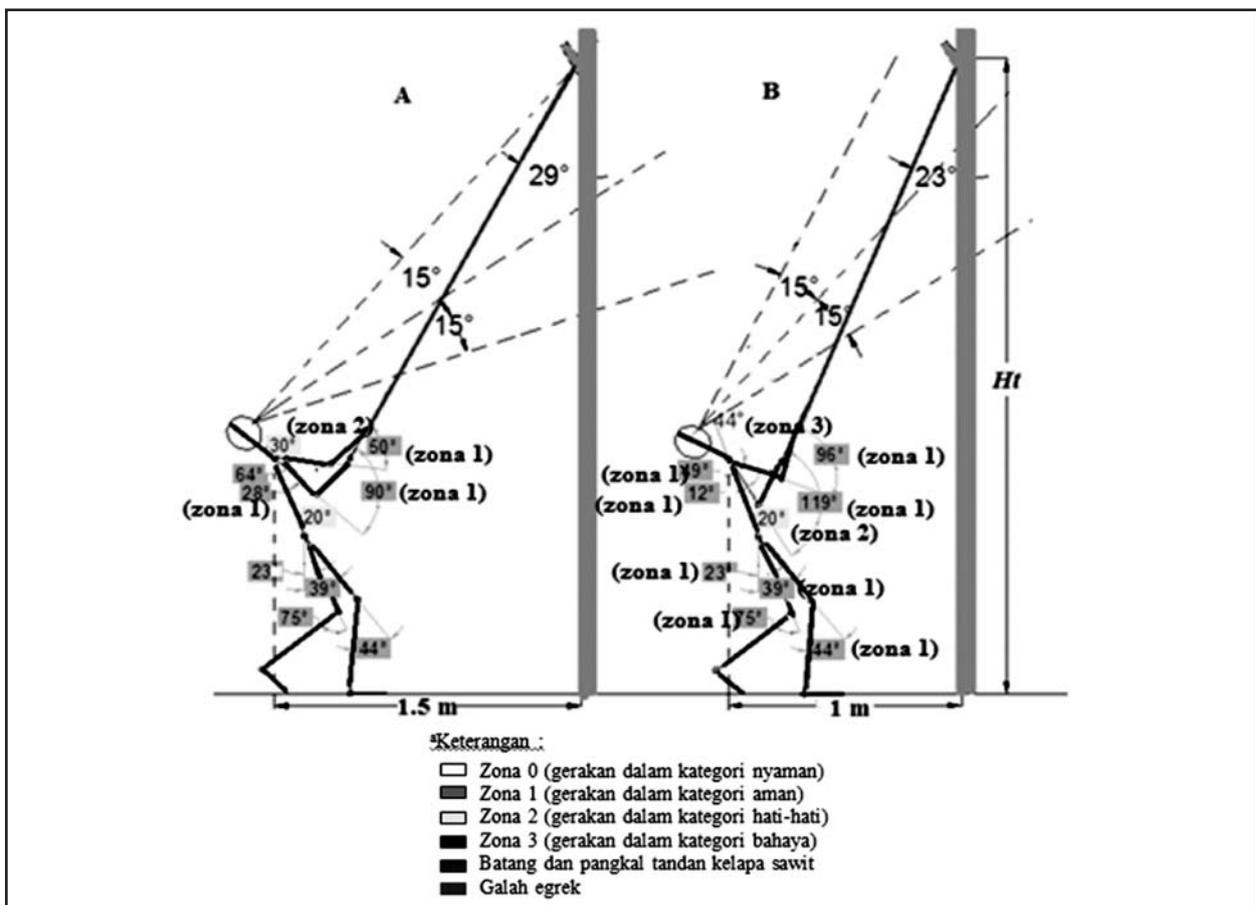
Berdasarkan analisis biomekanika pada kondisi

*critical range of motion* (CRM), diketahui bahwa distribusi beban otot pada otot *splenius* (leher), otot *deltoid* (bahu) dan otot *branchioradialis* (lengan bawah) berturut-turut adalah 21.85 N, 1,091.96 N dan 1,634.31 N. Berdasarkan Rohmert (1966) dalam Kroemer dan Grandjean (1997), beban maksimal yang dapat ditarik oleh manusia saat melakukan pekerjaan menarik pada posisi berdiri adalah 120% dari berat tubuhnya. Hal tersebut sangat tergantung letak posisi lengan dan tangan. Letak lengan dan tangan pada saat melakukan gerakan memotong pelepah atau tandan berada pada sudut 120°-150° dari posisi normal (0°) lengan tangan yang lurus ke bawah. Pada selang sudut tersebut, menurut Rohmert (1966) dalam Kroemer dan Grandjean (1997) direkomendasikan beban maksimal yang dapat ditarik adalah 20-40% dari berat tubuh.

### Diagnosa Beban Biomekanik pada Postur Saat Ini

Pada kondisi *real* di lapangan sering sekali pemanen memanen pada jarak yang dekat dengan pohon sehingga sudut antara egrek dengan pohon ( $\theta$ ) lebih kecil dari sudut  $\theta$  yang dihasilkan oleh rumus jarak aman seperti yang terlihat pada Gambar 13.

Dari gambar 13, terdapat dua jenis postur yang akan dikaji yaitu postur yang mengikuti aturan jarak aman dari simulasi ambang batas ekstrim (postur



<sup>a</sup> Pengelompokan zona berdasarkan Openshaw (2006) dengan modifikasi penerjemahan kategori zona.

Gambar 13. Gambar postur model antropometri pada postur yang disarankan (A) dan postur saat ini (B).

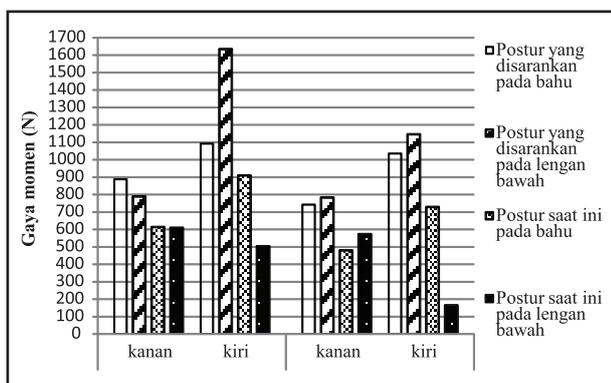
yang disarankan) dan postur *real* yang ada di lapang (*existing posture*). Dari kedua postur tersebut kita dapat menganalisis beban biomekanikanya. Pada segmen leher terjadi penambahan beban dari 21.85 Nm pada postur yang disarankan menjadi 25.63 Nm pada postur saat ini. Hal ini dikarenakan terjadi penambahan sudut ekstensi pada leher dari ambang batas maksimal sudut ekstensi 30° menjadi 44° yang melebihi batas aman.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa hampir semua beban pada postur saat ini di bahu dan lengan bawah lebih kecil daripada postur yang disarankan. Hal ini dikarenakan pada postur saat ini, anggota tubuh gerak atas seperti bahu dan lengan bawah mudah menjangkau egrek karena sudut  $\theta$  yang kecil. Selain itu, sudut  $\theta$  yang kecil ini membuat jarak pemanenan semakin pendek. Jarak pemanenan yang pendek menyebabkan panjang egrek yang dibutuhkan semakin pendek. Hal ini menyebabkan resiko terjadinya lenturan pada batang egrek semakin kecil.

Dari simulasi model antropometri pemanenan pada postur saat ini dapat disimpulkan bahwa, terjadi penurunan beban pada segmen lengan yaitu bahu dan lengan bawah, namun diiringi peningkatan beban pada segmen leher. Meskipun demikian, dengan mempertimbangan resiko postur dan resiko beban, segmen leher merupakan bagian tubuh yang harus diprioritaskan karena tidak hanya memiliki resiko postur tapi juga memiliki resiko beban sehingga dampak risikonya lebih besar.

### Simpulan

1. Formula jarak aman ( $dt$ ) dan panjang egrek yang dibutuhkan ( $Lp$ ) pada proses pemanenan kelapa sawit yaitu  $dt (m) = 0.5 (Ht-Hs) + 0.35$  dan  $Lp = (Ht-Hs)/\cos \theta$  dimana  $Ht$  adalah tinggi target potong dan  $Hs$  adalah tinggi bahu pemanen.
2. Pemanenan kelapa sawit dengan tinggi target pohon lebih dari 16 m sudah tidak aman untuk dilakukan secara manual dengan menggunakan egrek.



Gambar 14. Grafik perbandingan beban mekanik pada postur yang disarankan dan postur saat ini.

3. Berdasarkan hasil analisis biomekanika gerak panen, diketahui bahwa distribusi beban (*critical load*) otot pada kondisi CRM adalah 21.85 N pada otot *splenius* (leher), 1,091.96 N pada otot *deltoid* (bahu) dan 1,634.31 N untuk otot *branchioradialis* (lengan bawah).
4. Hasil analisis biomekanik terhadap postur kerja pemanenan yang ada di lapang saat ini (*existing posture*), disimpulkan bahwa resiko ergonomi pada bahu dan lengan bawah relatif lebih kecil dari *critical load* (CL) dan *critical range of motion* (CRM), namun demikian pada leher, CL dan CRM sudah melewati ambang batas yang diterima. Oleh karena itu, postur ini direkomendasikan untuk tidak dilakukan dan perlu diperbaiki dengan menggunakan postur yang disarankan.
5. Model diagnostik resiko ergonomi pada pemanenan kelapa sawit telah dirancang dengan parameter nya adalah jarak aman ( $dt$ ), panjang batang egrek yang dibutuhkan ( $lp$ ), *critical range of motion* (CRM) dan *critical load* (CL) pada leher, bahu dan lengan bawah.

### Daftar Pustaka

Dewi, N.S. 2013. Studi gerak dan aplikasinya untuk peningkatan efektivitas dan keselamatan kerja pemanenan kelapa sawit secara manual. (skripsi). Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian. Bogor

Hendra, S. Rahardjo. 2009. Risiko ergonomi dan keluhan musculoskeletal disorders (MSDs) pada pekerja panen kelapa sawit. Prosiding Seminar Nasional Ergonomi IX, Semarang, 17-18 November, 2009. D11-1 –D11-18

Kroemer, K.H.E., E. Grandjean. 1997. Fitting the Task to The Human. (5th ed). London: Taylor and Francis

Pahanl. 2008. Panduan Lengkap Kelapa Sawit : Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir. Jakarta. Niaga Swadaya.

[PPKS] Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 2007. Budidaya Kelapa Sawit. Pusat Penelitian Kela Sawit. Jakarta

Sanders, S.M., McCormick. 1993. Human Factor Engineering and Design Seventh Edition. Mc Graw Hill. New Delhi.

Sloane, E. 1994. Anatomy and Physiology: An Easy Learner. Jones and Barlett Publishers, Inc. Sudbury.

Syuaib, M.F., S. Herodian, D.A. Hidayat, R. Fil'aini, T.N. Sari, K.A. Putranti. 2012. Laporan Hasil Kajian Ergonomika untuk Penyempurnaan Sistem dan Produktivitas Kerja Panen-muat Sawit di kebun PT Astra Agro Lestari. FATETA. IPB