

Technical Paper

Desain Konseptual Penangkap Tandan Buah Sawit dan Pemanfaatan Energi Potensialnya

Conceptual Design of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Catchment and Its Potential Energy Utilization

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: w_hermawan@ipb.ac.id
Desrial, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: desrial@ipb.ac.id
Muhammad Iqbal Nazamuddin, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.
Rusnadi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Abstract

In oil palm harvesting, falling fruit bunches have a considerable potential energy, which can be captured and used to power the wheelbarrow in evacuating the fruit bunches. This study was conducted to measure the engineering characteristics of fruit bunches harvesting, determine the best fruit bunches catchment platform material, analyze the potential energy of falling fresh fruit bunch, and design a conceptual design of the catchment platform and evacuation machine. Measurements of the characteristics of the harvesting were done in an oil palm plantation. Four types of fruit catchment platform materials were tested, namely: steel plate, wood board, expanded steel plate and rubber sheet. The results showed that, bunches fell at a distance between 0.6 m to 1.4 m from the tree. Fruit bunches weight was in the range of 16 kg to 32 kg. The rubber catchment platform was superior to the other materials in reducing the scattered loose fruits and bruised fruits. Potential energy of falling fruit bunches were in the range of 0.44-4.44 kJ. Theoretical traveling distance of the wheel barrow powered by the captured potential energy was in the range of 2.27 m - 22.98 m. Based on the data obtained, a conceptual design of catchment platform and evacuation machine was designed.

Keywords: *oil palm harvesting, engineering characteristics, potential energy, catchment platform, conceptual design.*

Abstrak

Dalam panen kelapa sawit, tandan buah yang jatuh memiliki energi potensial yang cukup besar, yang dapat ditangkap dan digunakan sebagai daya penggerak angkong dalam mengevakuasi tandan buah segar (TBS). Penelitian ini dilakukan untuk mengukur karakteristik teknik panen TBS, menentukan bahan landasan terbaik untuk penangkap TBS, menganalisis potensi energi potensial TBS yang jatuh, dan merancang desain konseptual dari mesin penangkap dan pengangkut TBS. Pengukuran karakteristik panen dilakukan di perkebunan kelapa sawit. Empat jenis bahan landasan tangkapan diuji, yaitu: pelat baja, papan kayu, pelat baja *expanded* dan lembaran karet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, tandan jatuh pada jarak antara 0.6 m sampai 1.4 m dari pohon. Berat TBS berkisar antara 16 kg sampai 32 kg. Bahan karet paling baik untuk penangkap TBS dalam mengurangi jumlah buah tercecer dan buah memar. Energi potensial TBS jatuh berada di kisaran 0,44-4,44 kJ. Jarak tempuh teoritis dari angkong yang menggunakan energi potensial yang ditangkap, berada di kisaran 2.27 m - 22.98 m. Berdasarkan data pengukuran, sebuah desain konseptual mesin penangkap dan evakuasi TBS telah dirancang.

Kata kunci: panen kelapa sawit, karakteristik teknik, energi potensial, landasan tangkapan, desain konseptual.

Diterima: 24 Mei 2013; Disetujui: 27 Agustus 2013

Pendahuluan

Pemanenan dan transportasi tandan buah segar kelapa sawit (TBS) merupakan kegiatan yang paling intensif dilakukan di perkebunan kelapa sawit. Secara umum, panen dan evakuasi TBS masih dilakukan secara manual, dan menyisakan banyak masalah. Dua masalah utama yang belum terselesaikan sampai saat ini, di pemanenan TBS secara manual adalah: (1) terjadinya kerusakan fisik pada TBS yang cukup tinggi, dan (2) sejumlah besar buah terpecah seperti yang disebabkan oleh tabrakan dengan tanah, yang akan dikumpulkan kembali oleh pemanen. Kerusakan fisik yang terjadi pada TBS akan sangat mempengaruhi kualitas buah dan kualitas ekstraksi minyak sawit yang akan diproduksi. Mengumpulkan kembali buah yang terlepas juga sangat melelahkan dan memakan waktu lama, sehingga menghambat aktivitas pemanenan dan mengurangi kapasitas panen. Buah lepas yang tercecer bisa sampai 14 % dari total panen dan perkiraan dari studi di Papua Nugini menunjukkan bahwa antara 60-70 % dari buah lepas yang tercecer dibiarkan membusuk di tanah, yang menjadi sumber kerugian besar untuk industri (Adetan et al., 2007). Page (2004), dalam laporannya menyebutkan bahwa hingga 70 % dari buah yang tercecer tidak ditangani.

Adetan dan Adekoya (1995) melaporkan penelitian yang dilakukan pada dua metode manual panen kelapa sawit di Nigeria, yaitu metode BPK (galah bambu dan pisau) dan SRC (tali - dan - parang pendek). Hasil penelitian ini menunjukkan, antara lain, bahwa (i) pencarian dan pengumpulan buah tercecer dan tersebar tidak pernah sepenuhnya dicapai, karena jumlah buah yang tercecer tetap tersembunyi oleh rumpun tanaman sekitar dasar pohon dan tidak mungkin untuk mengetahui berapa banyak buah yang terlepas dari tandan dan karenanya ketika pencarian dan pengumpulan harus dihentikan, (ii) pengumpul buah selalu mengeluh sakit pinggang, (iii) pembengkokan galah panjang dan berat menyulitkan untuk metode BPK akan tidak nyaman digunakan pemanenan pada pohon-pohon tinggi, (iv) transportasi yang berat pada metode BPK dari pusat ke perkebunan yang jauh membutuhkan banyak waktu pemanen dan energi dan dengan demikian secara drastis mengurangi kapasitas panen, ini bisa saja sebagian besar bertanggung jawab untuk penurunan kapasitas pemanenan bila kebun semakin jauh dari pemukiman seperti dilaporkan Chirs (1986). Sejumlah besar energi dibutuhkan untuk memanen kelapa sawit yang bahkan memotong pelepah saja, dengan menggunakan egrek, bisa membutuhkan tenaga dari kekuatan 18.05 kN (Jelani et al., 1999). Pemanenan kelapa sawit berusia antara 9 dan 25 tahun mengambil antara 43.5 dan 45.4 % dari total orang - hari tahunan.

Selain itu, proses evakuasi TBS ke titik pengumpulan di pinggir jalan masih dilakukan secara manual dengan menggunakan gerobak dorong (angkong), yang sangat melelahkan dan memakan waktu. Untuk mengatasi permasalahan di atas, para peneliti telah melakukan berbagai upaya untuk meningkatkan metode panen TBS. Adetan et al. (2007) mengusulkan penggunaan metode galah - dan - pisau (MPK) yang dimodifikasi (terdiri dari landasan tangkapan buah dan galah yang didesain ulang). Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode MPK lebih unggul daripada metode lain dalam mengurangi waktu yang dihabiskan dalam mencari dan mengumpulkan buah-buah yang tercecer waktu panen, dan karenanya meningkatkan pengumpulan kembali buah yang tercecer, menghilangkan masalah pinggang kolektor buah dan meningkatkan kemudahan transportasi dan penggunaan galah panen.

Memang, di pemanenan TBS, jatuhnya TBS memiliki energi potensial yang cukup besar, yang dapat ditangkap dan dimanfaatkan untuk menjalankan beberapa peralatan panen (Hermawan et al., 2013). Energi potensial dapat disimpan di pegas sebagai energi potensial elastis. Energi tersebut kemudian dapat dimanfaatkan untuk daya penggerak gerobak dorong (angkong) dalam evakuasi TBS. Energi yang ditangkap juga dapat digunakan untuk menjalankan mekanisme getaran pisau panen. Hal ini diketahui bahwa proses pemotongan pelepah dan tandan TBS dapat ditingkatkan dengan induksi gerak getar sejajar dengan ujung pisau dodos. Namun, sampai saat ini, tidak ada peralatan untuk menangkap TBS dan pada saat yang sama menangkap dan memanfaatkan energi potensial dari tandan jatuh saat panen. Untuk merancang peralatan tersebut, beberapa data teknis dan informasi diperlukan, seperti: posisi jatuhnya TBS saat panen, ketersediaan ruang antara pemanen dan batang pohon, dimensi dan berat TBS, dan jarak vertikal (tinggi) dari TBS. Selain itu, jenis bahan yang cocok untuk landasan tangkapan buah juga perlu diselidiki. Selanjutnya, perlu dirancang mesin yang mampu menangkap TBS jatuh saat dipanen, dan mengangkat TBS hasil panen dengan memanfaatkan energi potensial jatuhnya TBS.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengukur karakteristik teknik panen TBS, menentukan bahan landasan terbaik untuk penangkap TBS, menganalisis potensi energi potensial TBS yang jatuh, dan merancang desain konseptual dari mesin penangkap dan pengangkut TBS.

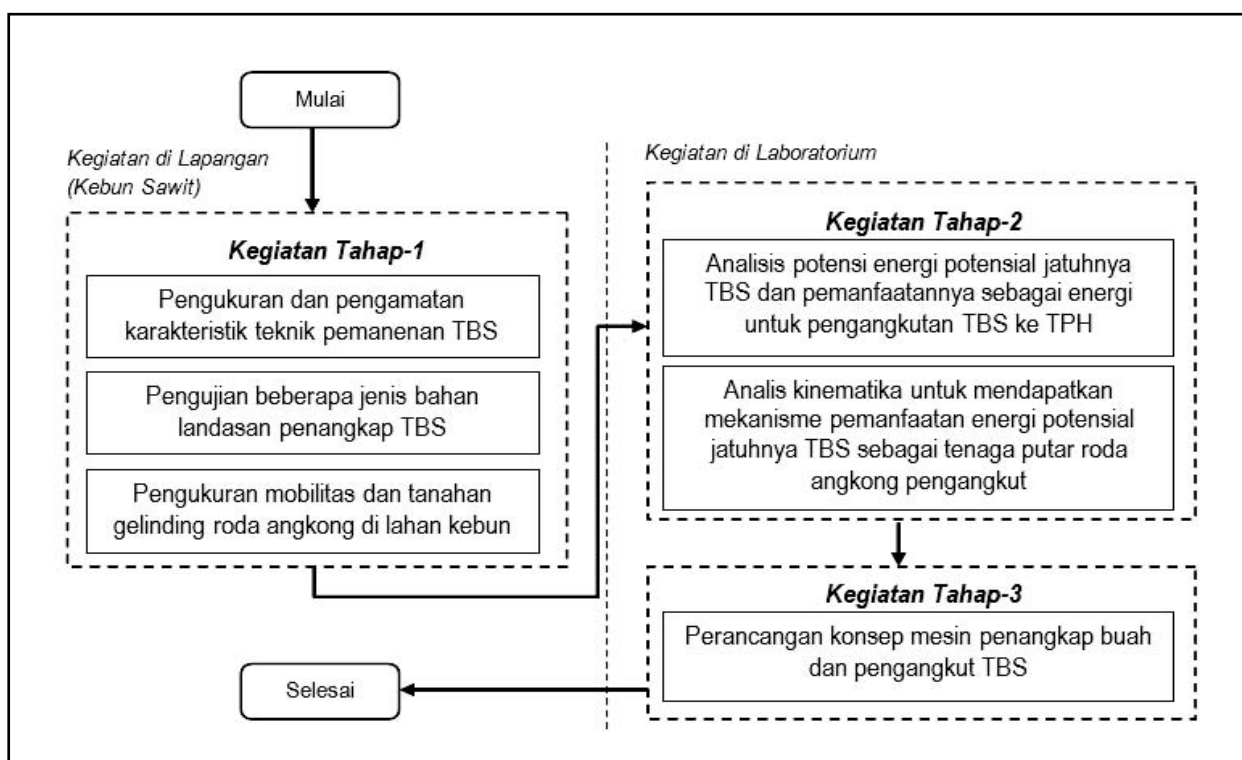
Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan mulai dari pengukuran karakteristik pemanenan kelapa sawit di kebun sawit hingga perancangan

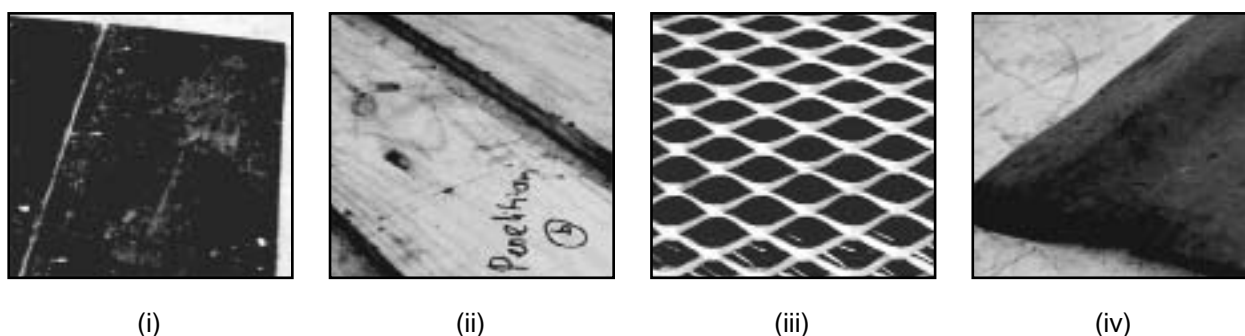
konsep mesin penangkap buah dan pengangkut TBS (Gambar 1).

Pengamatan dan pengukuran dilakukan dalam proses pemanenan kelapa sawit manual, pada tiga tingkat ketinggian buah, yaitu: sekitar 3 m, 9 m, dan 15 m. Untuk pemanenan dengan ketinggian buah 3 m, digunakan *dodos*, sedangkan untuk ketinggian buah 9 dan 15 m digunakan *egrek*. Ada empat jenis bahan landasan nangkap buah yang diuji yaitu: i) plat baja tebal 3 mm, ii) papan kayu tebal 20 mm, iii) plat baja *expanded*, dan iv) lembaran karet tebal 10 mm (lihat Gambar 2). Untuk setiap pengujian, bahan tersebut dipasang di atas rangka dudukan berukuran 100 cm x 100 cm (Gambar 3). Lembaran karet dipasang di atas plat baja sebagai penguatnya. Bahan diujikan secara acak pada pemanenan dengan sepuluh ulangan untuk setiap ketinggian buah. Pemanen memposisikan rangka penangkap tersebut pada posisi yang pas dengan jatuhnya buah.

Dalam setiap pemanenan buah, tandan buah yang jatuh direkam dengan kamera video, sehingga proses jatuhnya TBS, dampak benturan TBS dengan landasan penangkap buah dapat dipelajari. Selanjutnya, dengan menggunakan *image processing* beberapa pengukuran dapat dilakukan, seperti: jarak jatuhnya TBS, jarak atau ketinggian pancaran buah yang tercecer (*brondolan*). Sebaran tercecernya buah yang lepas diukur menggunakan meteran setelah TBS jatuh. Ketika memanen, pemanen mengambil posisi yang nyaman untuk panen dengan jarak tertentu dari pohon. Jarak pemanen dari pohon diukur dengan meteran. Selain itu juga dilakukan pengukuran tinggi buah saat panen, dan berat TBS yang dipanen. Ukuran setiap TBS (panjang, lebar dan tinggi) diukur menggunakan mistar ukur. Buah yang tercecer dan buah yang memar pada setiap percobaan panen dikumpulkan dan ditimbang.



Gambar 1. Tahapan kegiatan penelitian.



Gambar 2. Empat jenis bahan landasan penangkap buah: i) plat baja, ii) papan kayu, iii) plat baja expanded, dan iv) lembaran karet.

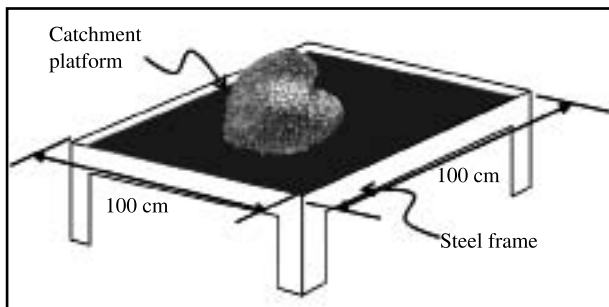
Untuk mengetahui mobilitas angkong di lahan kebun sawit, dilakukan pengukuran tahanan penetrasi tanah (menggunakan penetrometer) dan tahanan gelinding roda angkong (lihat Gambar 4).

Energi potensial jatuhnya TBS dihitung dengan persamaan

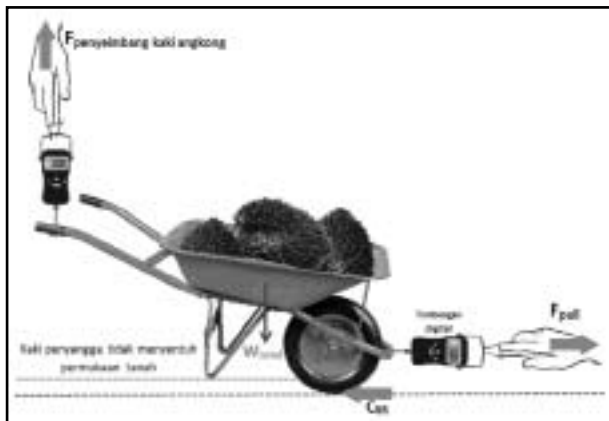
$$E_p = m_{ffb} \times g \times h_{ffb}$$

di mana:

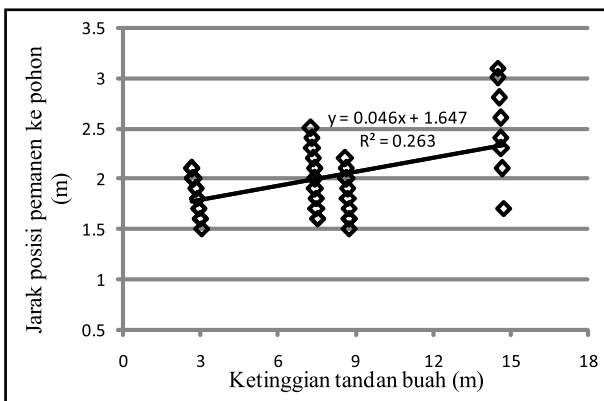
- E_p : energi potensial (Joule),
- g : percepatan gravitasi (9.81 m/s^2), dan
- h_{ffb} : ketinggian buah dari permukaan landasan (m).



Gambar 3. Rangka dudukan bahan penangkap buah.



Gambar 4. Cara pengukuran tahanan gelinding roda angkong.



Gambar 5. Jarak pemanen ke pohon

Konsep rancangan dijabarkan ke dalam beberapa perumusan alternatif konsep dari setiap unit komponen utama, berdasarkan fungsinya. Rancangan fungsional dari mesin penangkap dan pengangkut TBS adalah: 1) fungsi menangkap buah (TBS) yang jatuh sehingga tidak ada buah yang terpecah, 2) fungsi menggerakkan roda angkong dengan memanfaatkan energi potensial jatuhnya TBS, 3) fungsi menampung TBS dan 4) fungsi mengangkat TBS. Rancangan konseptual mesin penangkap dan pengangkut TBS dipilih dari beberapa alternatif konsep yang diajukan dengan mempertimbangkan kriteria seleksi sesuai kebutuhan pemenuhan fungsi-fungsi di atas. Selanjutnya untuk mendukung analisis kekuatan bahan konstruksi mesin, dilakukan analisis stress menggunakan perangkat lunak *Solidworks*.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Teknik Pemanenan Buah Sawit

Berdasarkan pengamatan di lapangan, sebelum memotong buah, pemanen mengambil posisi terbaik dengan jarak tertentu dari pohon. Pada 40 ulangan pemotongan, pemanen mengambil jarak sekitar 1.5 sampai 3 m ke pohon. Data menunjukkan bahwa jarak rata-rata dan standar deviasi adalah berturut-turut 1.99 m dan 0.37 m. Ada kecenderungan pemanen untuk mengambil jarak yang lebih jauh dari pohon untuk memotong buah yang lebih tinggi (lihat Gambar 5). Sebenarnya, pemanen mengambil posisi yang paling nyaman untuk memotong tandan buah dan menghindari rintangan seperti parit yang dalam, tunggul kayu dan semak-semak.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tandan jatuh pada jarak antara 0.6 m sampai 1.4 m dari pohon. Jarak jatuhnya buah yang lebih tinggi lebih jauh dibandingkan dengan buah yang lebih rendah. Jarak rata-rata jatuh pada puncak buah 3 m, 9 m, dan 15 m masing-masing adalah 1.75 m, 2 m, dan 2.4 m. Rata-rata jatuh jarak dan standar deviasinya masing-masing adalah 0.95 kg dan 0.12 m. Sebenarnya, seorang pemanen berpengalaman dapat memprediksi posisi jatuh TBS dengan akurat sebelum memotong batang tandan buah. Oleh karena itu, untuk merancang ukuran yang tepat dari landasan penangkap buah, dianjurkan untuk menggunakan ukuran maksimum TBS sebagai ukuran minimum landasan penangkap buah, dan ukuran maksimum landasan penangkap buah adalah 80 cm.

Ukuran dari TBS bervariasi di kisaran 20 cm - 85 cm (lihat Tabel 1). Data hasil pengukuran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1 kemudian dapat digunakan untuk mengoptimalkan dimensi angkong pengangkut TBS untuk kapasitas optimal evakuasi TBS. Berat dari tandan buah berada di kisaran 16 kg menjadi 32 kg (lihat Gambar 6). Berat rata-rata

Table 1. Dimensi TBS

	Dimensi (cm)			
	Minimum	Rata-rata	Maksimum	Standar deviasi
Panjang	51	60.62	85	6.779
Lebar	46	52.98	65	4.283
Tinggi	20	28.04	40	4.165

TBS dan deviasi standar adalah 23.06 kg dan 4.35 kg, masing-masing.

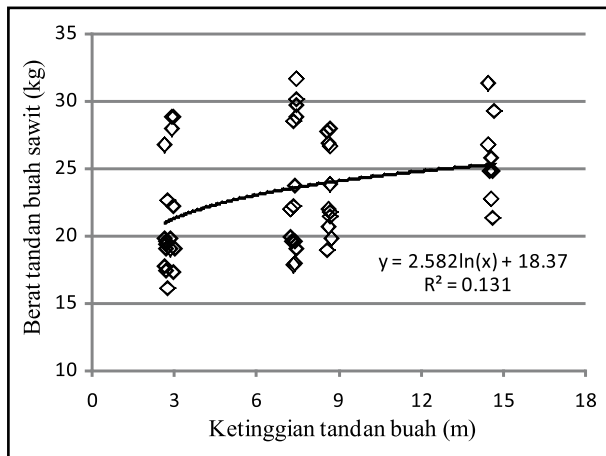
Pemilihan Bahan Landasan Penangkap Buah

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa terjadi dampak yang besar pada benturan antara tandan jatuh dengan landasan yang keras, seperti pelat baja dan papan kayu, yang menyebabkan banyaknya buah terlepas dan memar. Di antara empat bahan yang diuji, landasan tangkapan lembaran karet unggul dari bahan lainnya dalam mengurangi buah terlepas dan buah memar, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Landasan lembaran karet membantu untuk menyerap sebagian energi kinetik dari tandan jatuh, dan memiliki dua fungsi. Yang pertama adalah untuk mengurangi pencaran/lepasnya buah dari tandan dan juga memastikan bahwa buah terlepas

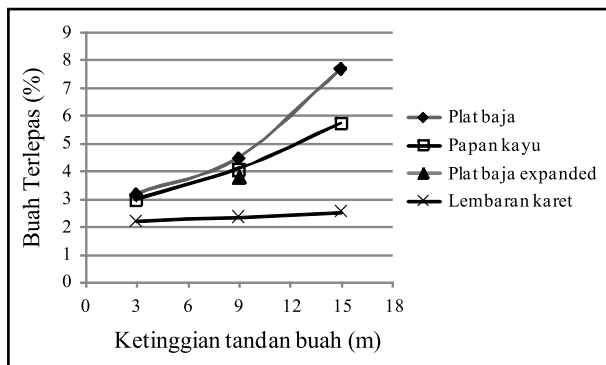
tidak memiliki energi kinetik lagi untuk meninggalkan atau menjauh dari landasan tangkapan, yang kedua adalah untuk mengurangi kerusakan parah dari buah yang diderita buah karena mereka terkena benturan dengan tanah. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 8, jarak hamburan maksimum buah terpisah setelah berbenturan ke landasan lembaran karet berkisar antara 1.5 m sampai 2.4 m. Semakin tinggi ketinggian buah, menyebabkan penyebaran buah terpisah yang lebih jauh. Namun, ketinggian hamburan untuk landasan lembaran karet tidak lebih dari 80 cm. Selain itu, pelat baja expanded tidak dianjurkan untuk digunakan sebagai bahan landasan tangkapan. Bahan ini menyebabkan buah memar lebih tinggi dan tidak memiliki kekuatan yang cukup dalam melawan benturan TBS yang jatuh.

Mobilitas Roda Angkong di Lahan Kebun Kelapa Sawit

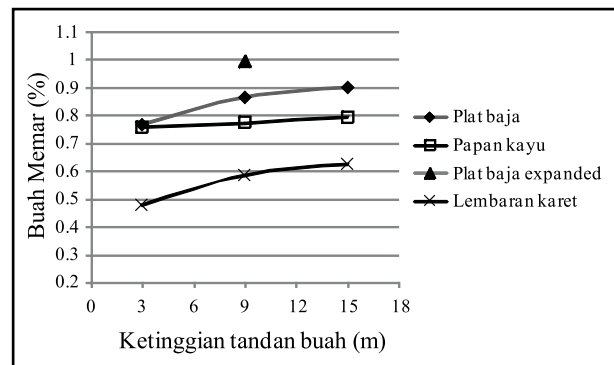
Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tanah lintasan angkong di kebun sawit cukup keras, dengan nilai rata-rata tahanan penetrasi berkisar antara 16.44-22.10 kgf/cm². Tanah jalan setapak yang biasa dilalui angkong memiliki tahanan penetrasi yang tertinggi yaitu 22.10 kgf/cm². Bila dihitung, nilai *ground pressure* roda angkong yang bermuatan penuh TBS (bobot total 280 kgf) adalah sebesar 10.56 kgf/cm². Tekanan ban angkong ke permukaan tanah ini jauh lebih kecil dari tahanan penetrasi tanah. Dengan data perhitungan ini, maka dapat diyakini angkong bermuatan penuh dapat melintas dengan mudah di lahan kebun sawit, dan roda tidak amblas. Selain itu, koefisien tahanan gelinding roda angkong (*C_{rr}*) di kebun sawit juga



Gambar 6. Variasi berat tandan buah.



(a) Buah terlepas



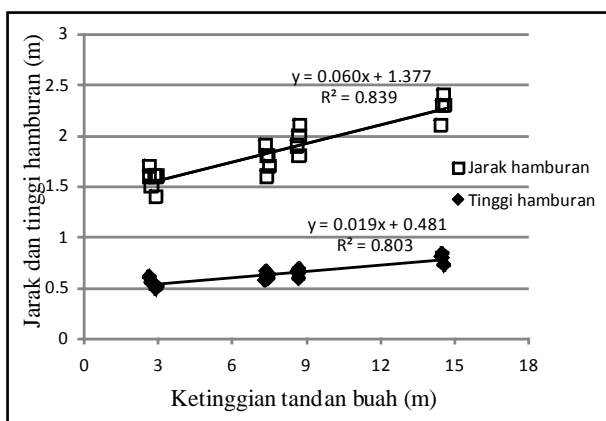
(b) Buah memar

Gambar 7. Buah terpisah dan buah memar pada empat jenis bahan landasan tangkapan.

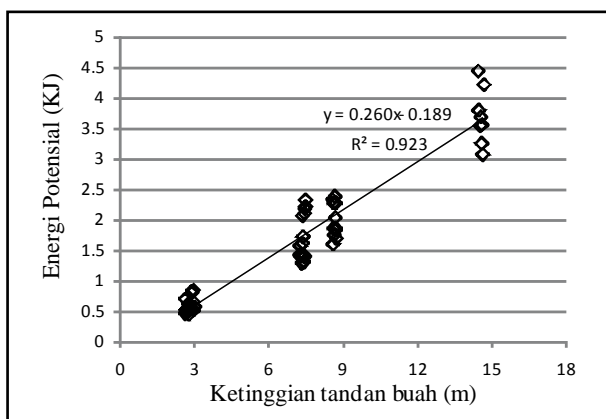
rendah hanya berkisar antara 0.16 – 0.17, yang berarti bahwa gaya dorong yang diperlukan hanya sekitar 17% dari bobot angkong bermuatan.

Energi Potensial Jatuhnya TBS

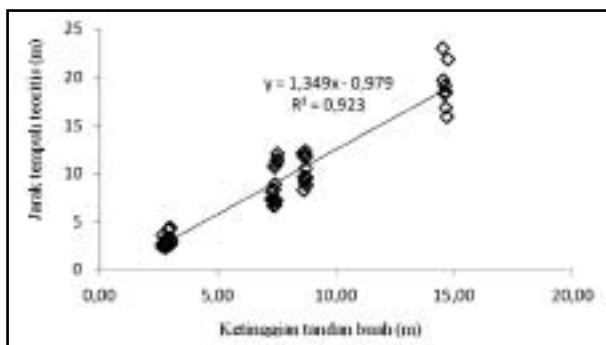
Perhitungan energi potensial dari tandan jatuh, setelah pemotongan, menghasilkan energi potensial dalam kisaran 0.5-4.5 kJ (Gambar 9). Rata-rata energi potensial pada ketinggian buah 3 m, 9 m, dan 15 m masing-masing adalah 0.6 kJ, 2.0 kJ, dan



Gambar 8. Jarak hamburan dan ketinggian hamburan buah pada landasan lembaran karet.



Gambar 9. Energi potensial dari tandan jatuh pada pemanenan.



Gambar 10. Jarak tempuh teoritis mesin yang dihasilkan oleh energi potensial dari jatuhnya TBS (tanpa didorong operator)

3.6 kJ. Energi potensial setinggi itu, jika ditangkap, disimpan dan dimanfaatkan, dapat digunakan untuk menggerakkan angkong dalam mengevakuasi TBS.

Dengan asumsi bahwa berat statis mesin pengangkut adalah 55 kg, berat muatan rata-rata adalah 3 TBS x 23 kg/TBS, dan menggunakan nilai koefisien *rolling resistance* dari roda angkong 0.16, maka potensi jarak tempuh teoritis mesin pengangkut sarat dengan muatan tiga tandan akan menjadi di kisaran 2.27 sampai 22.98 m (lihat Gambar 10). Karena jarak minimum antara pohon adalah 9 m, potensi energi yang dihasilkan harus cukup untuk memindahkan angkong yang berisi muatan TBS dari pohon ke pohon lain minimal sejauh 9 m. Dari persamaan $y = 1.349x - 0.9793$ pada Gambar 10, dapat ditentukan rekomendasi ketinggian buah minimum yang dapat menggerakkan angkong sejauh 9 m, yaitu ketinggian posisi buah minimum sebesar 7.4 m.

Konsep Mesin Penangkap dan Pengangkut TBS

Unit penangkap yang didesain harus mampu menangkap dan meredam jatuhnya TBS serta berondolan buah yang kemudian disalurkan menuju bak penampung. Dengan memperhatikan faktor-faktor pembatas dan karakteristik teknik pemanenan TBS, maka telah dirancang empat konsep penangkap TBS seperti disajikan pada Gambar 11. Dalam memilih konsep terbaik digunakan kriteria:

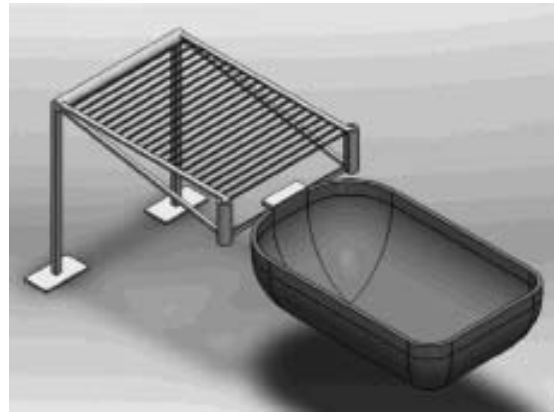
- 1) kesesuaian konsep terhadap kondisi jatuhnya TBS dan berondolan buah yang sulit untuk diprediksi pada satu titik jatuh TBS (FS1),
- 2) kesetimbangan mesin dan unit penangkap saat dikenai *impact force* dari jatuhnya TBS (FS2), serta
- 3) kesesuaian dengan bentuk dan dimensi piringan pokok sawit (FS3).

Hasil simulasi seleksi dengan metode pembobotan menunjukkan bahwa konsep D memiliki skor total yang tertinggi sehingga peluang untuk dipilih semakin besar. Oleh sebab itu, rancangan konsep untuk bentuk unit penangkap TBS akan menggunakan dan mengembangkan konsep D. Bentuk luasan penampung unit penangkap TBS didekati dengan menganalisis daerah sebaran jatuhnya TBS di daerah piringan pokok sawit.

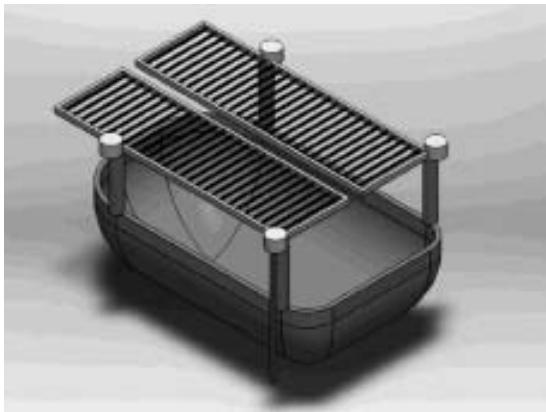
Unit penampung yang didesain harus mampu menampung TBS dengan kapasitas tertentu serta mampu melakukan proses *loading* dan *unloading* bahan dengan mudah. Ada empat konsep yang diajukan untuk unit penampung dan pengangkut (Gambar 12). Dengan menggunakan kriteria seleksi: kapasitas muatan (FSa), kemudahan pengaturan titik pembebanan untuk mendekati titik tumpu (*fulkrum*) (FSb), serta kemudahan proses *loading* dan *unloading* bahan (FSc), maka dipilih konsep C yang paling baik.



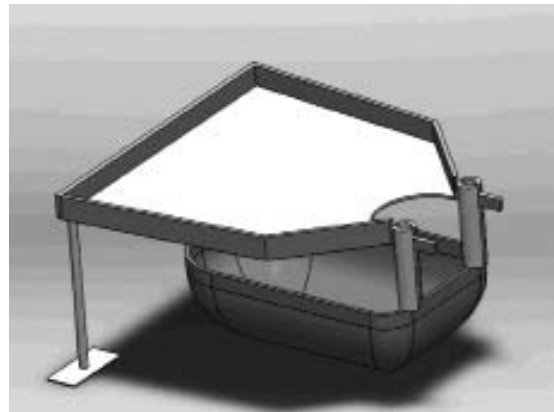
Konsep A



Konsep B

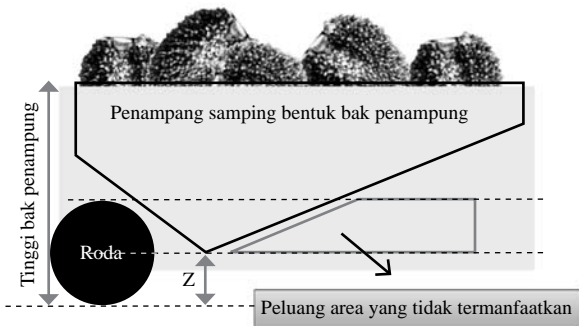


Konsep C

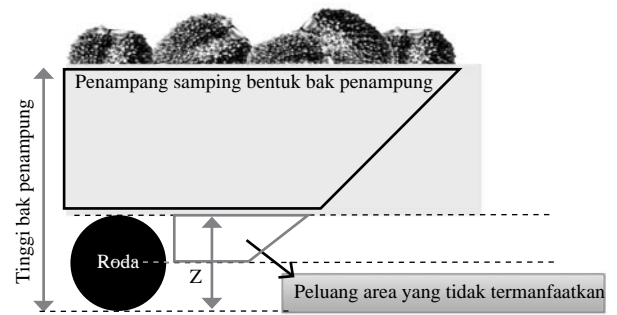


Konsep D

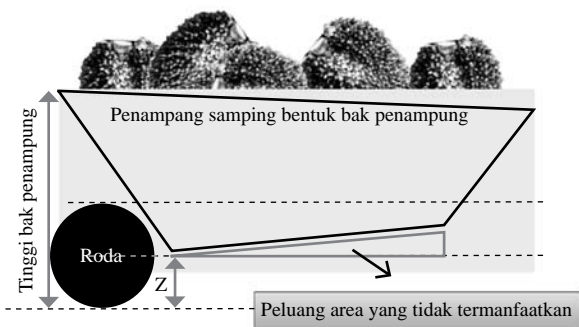
Gambar 11. Empat konsep rancangan penangkap TBS



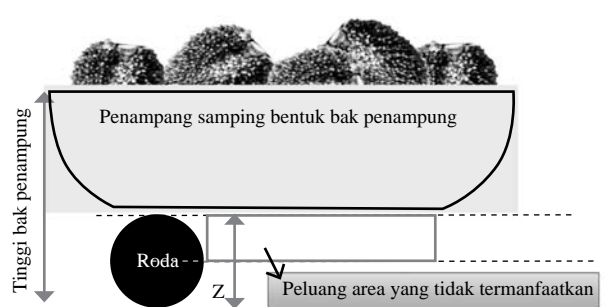
Konsep A



Konsep B



Konsep C



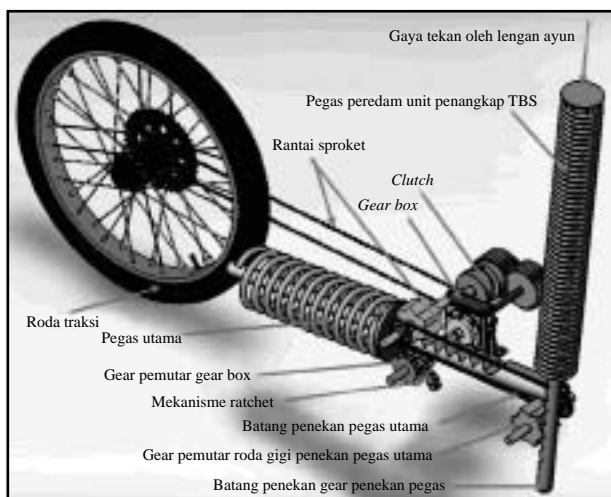
Konsep D

Gambar 12. Empat konsep unit penampung.

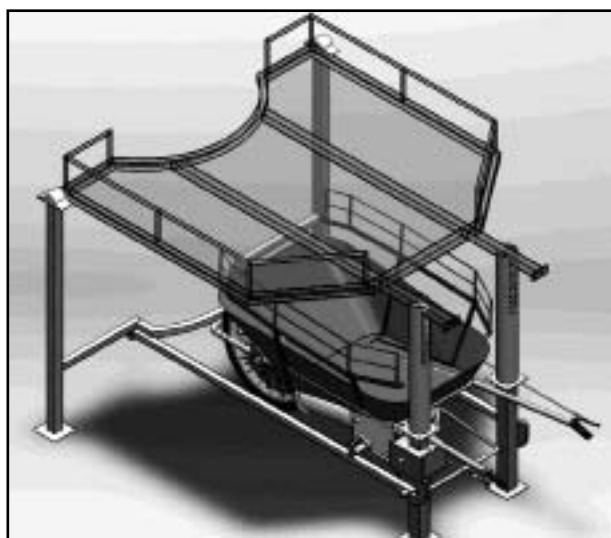
Selanjutnya telah dirancang konsep mekanisme pegas dan sistem transmisi dayanya, yang mampu menangkap energi potensial jatuhnya TBS untuk menggerakkan roda angkong pengangkut TBS dengan kombinasi mekanisme lengan ayun, roda gigi, rantai dan sproket, mekanisme ratchet, mekanisme "watch spacement", gear box serta mekanisme pegas (Gambar 13). Desain konseptual mesin penangkap dan pengangkut TBS disajikan pada Gambar 14.

Simpulan

1. Pemanen mengambil jarak sekitar 1.6 - 3 m dari pohon. Jarak jatuh tandan buah pada range 0.6 m - 1.4 m dari pohon. Berat dari tandan buah berada di kisaran 16 kg sampai 32 kg.
2. Bahan landasan tangkapan dari lembaran karet



Gambar 13. Konsep sistem pegas dan transmisi daya untuk pemanfaatan energi potensial jatuhnya TBS.



Gambar 14. Desain konseptual mesin penangkap dan pengangkut TBS

unggul dari bahan lainnya dalam mengurangi buah lepas dan buah memar.

3. Mobilitas roda mesin (angkong) di lahan sawit sangat baik dan tidak mengalami ambles. Nilai koefisien tahanan gelinding roda angkong pada lintasannya di kebun rata-rata 0.16.
4. Energi potensial dari jatuhnya TBS berkisar antara 0.44-4.44 kJ. Rata-rata energi potensial dari jatuhnya tandan buah pada ketinggian buah 3 m, 8 m, 9 m, dan 15 m adalah berturut-turut 0.6 kJ, 1.7 kJ, 2.0 kJ, dan 3.6 kJ. Energi tersebut mampu menggerakkan mesin pengangkut TBS sejauh 2.27-22.98 m.
5. Sebuah desain konseptual dari mesin penangkap dan pengangkut TBS yang memanfaatkan energi potensial jatuhnya TBS telah dirancang dengan mengkombinasikan mekanisme lengan ayun, roda gigi, rantai dan sproket, mekanisme ratchet, mekanisme "watch spacement", gear box serta mekanisme pegas.

Ucapan Terima kasih

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak pemberi dana penelitian ini, yaitu Institut Pertanian Bogor dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.

Daftar Pustaka

- Adetan, D. A. and Adekoya, L. O. 1995. Comparison of two methods of manual harvesting of oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Tropical Agriculture* 72 (1). 44 – 47.
- Adetan, D. A., Adekoya, L. O., Oladejo, K. A. 2007. An improved pole-and-knife method of harvesting oil palms. *Agricultural Engineering International: The CIGR E J.* p. 60.
- Chirs, O. B. 1986. An impact analysis of the development of the rural road system on the production of oil palm in Imo State, Nigeria. *Agricultural Systems* 19(2) pp141 – 152.
- Hermawan, W., Desrial, Nazamuddin, M. I. 2013. *Engineering characteristics and potential energy of oil palm fruit bunches harvesting. Proceedings The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE) 2013, Yogyakarta, August 28-29, 2013.*
- Jelani, A. R., Ahmad, D., Hitam, A., Yahya, A. and Jamak, J. 1999. Reaction force and energy requirement for cutting oil palm fronds by spring powered sickle cutter. *Journal of Oil Palm Research.* Vol.11 (2). pp 114 – 122.
- Page, W. 2004. A mobile income benefits everyone. *Partners in Research for Development.* [http://www.aciar.gov.au/web.nsf/att/ACIA-6NE6H8/\\$file/Partners%20%20PNG%20stories.pdf](http://www.aciar.gov.au/web.nsf/att/ACIA-6NE6H8/$file/Partners%20%20PNG%20stories.pdf). 23rd October 2006.