

Technical Paper

## Mekanisme Penangkap Tandan Buah Sawit dan Pemanfaatan Energi Potensialnya

### *Mechanism of Oil Palm Fresh Fruit Bunches Catchment and Its Potential Energy Utilization*

Rusnadi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: rusnadi26@gmail.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Email: w\_hermawan@ipb.ac.id

Radite Praeko Agus Setiawan, 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 design a mechanism of oil palm fresh fruit bunches catchment and its potential energy utilization. The potential energy of falling fruit bunches during oil palm harvesting that stored in the flat spiral spring, and used to drive the wheelbarrow. The actual energy potential and torque performance of flat spiral spring was measured by using a torque and potential energy measuring apparatus. The results showed that the potential energy from falling fruit bunches could store in the flat spiral spring mechanism, with storage efficiency of 39.39%. By means of 1.5 rotation of flat spiral spring, the maximum torque of the flat spiral spring was 53.35 Nm. The utilization of potential energy that stored in the flat spiral spring has been successfully used to drive the wheelbarrow, with utilization efficiency of 80.39%. By using the potential energy of 38.64 J, wheelbarrow could move as far as 0.41 m to evacuate 48 kg of total weight loads.*

**Keywords:** oil palm, harvesting, potential energy, catchment mechanism, wheelbarrow.

#### Abstrak

Dalam pemanenan 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 merancang sebuah mekanisme penangkap TBS yang sekaligus dapat menyimpan energi potensialnya. Energi potensial yang terkandung pada TBS saat pemanenan disimpan pada *flat spiral spring* dan akan dimanfaatkan sebagai daya untuk menggerakkan angkong. Torsi dan energi potensial pada *flat spiral spring* diukur secara aktual melalui sebuah apparatus pengukur torsi dan energi potensial untuk pegas tipe spiral. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa energi potensial TBS dapat disimpan pada *flat spiral spring* dengan efisiensi penyimpanan sebesar 39.39%. Melalui *input* 1.5 putaran pada *flat spiral spring*, torsi maksimum yang dapat dicapai oleh *flat spiral spring* adalah sebesar 53.35 Nm. Bentuk pemanfaatan energi yang tersimpan dalam *flat spiral spring* telah berhasil dimanfaatkan untuk menggerakkan roda angkong dengan efisiensi pemanfaatan sebesar 80.39%. Energi potensial sebesar 38.64 J telah dapat menggerakkan angkong sejauh 0.41 m dengan bobot total mesin seberat 48 kg.

**Kata kunci :** kelapa sawit, pemanenan, energi potensial, mekanisme penangkap, angkong.

*Diterima: 19 Juni 2014 ;Disetujui: 22 September 2014*

#### Pendahuluan

Pemanenan dan transportasi tandan buah segar kelapa sawit (TBS) merupakan kegiatan yang paling intensif dilakukan di perkebunan kelapa sawit. Secara umum, proses pemanenan dan evakuasi TBS dari dalam kebun menuju tempat pengumpulan hasil (TPH) masih dilakukan secara manual, dan menyisakan beberapa masalah. Hermawan, *et al.*

(2013a) menyebutkan beberapa masalah utama yang belum terselesaikan sampai saat ini, dalam kegiatan pemanenan TBS secara manual adalah: (1) terjadinya kerusakan fisik pada TBS yang cukup tinggi dan (2) sejumlah besar buah sawit terpecah seperti yang disebabkan oleh tabrakan dengan tanah, yang akan dikumpulkan kembali oleh pemanen. Putranti, *et al.* (2013) menjelaskan bahwa pekerjaan memungut berondolan buah dan

mengangkong merupakan kegiatan yang paling melelahkan dan khusus untuk pekerjaan memungut berondolan buah, pekerjaan tersebut juga tergolong ke dalam pekerjaan yang membutuhkan waktu paling lama dalam proses pemanenan TBS. Adetan, *et al.* (2007) melaporkan bahwa berondolan buah sawit yang tercecer bisa sampai 14% dari total panen dan perkiraan dari studi di Papua Nugini menunjukkan bahwa antara 60-70% dari berondolan buah yang tercecer dibiarkan membusuk di tanah dan menjadi sumber kerugian besar untuk industri kelapa sawit.

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengatasi masalah pemanenan TBS diantaranya adalah konsep desain lengan mesin pemanen kelapa sawit oleh Zulfahrizal (2005), pengembangan robot pemanen tandan buah sawit secara otomatis oleh Ismail (2010), pengembangan sistem pemotongan otomatis untuk pemanenan tandan buah sawit oleh Shokripour, *et al.* (2012), serta desain konseptual penangkap tandan buah sawit dan pemanfaatan energi potensialnya oleh Hermawan, *et al.* (2013b). Sebagian besar dari hasil penelitian tersebut masih dalam bentuk konsep desain dan masih terdapat beberapa kendala dalam pengaplikasiannya di lapangan.

Menurut Hermawan, *et al.* (2013b), pada proses pemanenan TBS, jatuhnya TBS dari pokok sawit memiliki energi potensial yang cukup besar, yakni berada pada kisaran 0.44-4.44 kJ untuk ketinggian buah 3-15 m dari permukaan tanah. Energi potensial tersebut jika dapat ditangkap dan dimanfaatkan untuk menjalankan beberapa peralatan panen maka akan membantu menyelesaikan masalah kebutuhan energi dalam proses pemanenan dan pengangkutan TBS. Namun, sampai saat ini belum ditemukan sebuah peralatan untuk menangkap TBS dan pada saat yang sama dapat menyimpan energi potensial dari tandan jatuh saat panen.

Dengan ditemukannya solusi permasalahan di atas, produktivitas pemanenan kelapa sawit diharapkan dapat meningkat, yakni melalui reduksi penggunaan waktu untuk memungut berondolan buah yang tercecer saat panen. Selain itu, penggunaan tenaga operator pemanen sawit untuk mendorong angkong akan dapat direduksi melalui mekanisme pemanfaatan energi potensial TBS sebagai daya penggerak roda angkong. Oleh sebab itu, pengembangan rancang bangun mesin mengenai masalah tersebut diharapkan dapat menjadi sebuah teknologi yang dapat memberikan peningkatan produktivitas pemanenan kelapa sawit. Berdasarkan permasalahan tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah merancang mekanisme penangkap TBS, merancang mekanisme penyimpanan energi potensial jatuhnya TBS, merancang konsep pemanfaatan energi potensial jatuhnya TBS untuk menggerakkan roda gerobak dorong (angkong), serta mendapatkan data kinerja prototipe mesin yang telah dirancang.

## Bahan dan Metode

### Alat dan Bahan

Kegiatan perancangan desain dan pembuatan protipe mesin dilakukan dengan menggunakan salah satu *software computer aided desain* (CAD), yaitu "SolidWorks Premium 2012", serta dengan menggunakan beberapa peralatan ukur dan peralatan permesinan. Bahan yang digunakan dalam kegiatan pembuatan prototipe mesin adalah satu unit gerobak dorong (angkong), *cargo lashing*, beberapa material logam, karet, *polyester* dan jaring *nylon*. Kegiatan pengujian prototipe mesin dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan ukur seperti meteran, timbangan digital, *stopwatch*, satu unit aparatus torsi meter dan pengukur energi potensial untuk *flat spiral spring*, serta beberapa tandan buah sawit.

### Metode Penelitian

Kegiatan perancangan konsep desain mesin merupakan kegiatan perancangan mekanisme dan struktur dari komponen mesin agar dapat memenuhi target rancangan fungsional mesin yang telah ditetapkan. *Output* dari tahapan ini adalah diperolehnya konsep desain mesin yang dapat menangkap TBS dan pada saat yang sama dapat menyimpan energi potensial dari TBS saat panen. Beberapa parameter yang dianalisis dalam tahapan ini adalah analisis kemampuan rata-rata operator pemanen sawit dalam mendorong angkong, perhitungan kebutuhan energi untuk mengevakuasi TBS di dalam kebun, serta daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan angkong. Parameter tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1) hingga persamaan (3).

$$E_p = m_t C_{rr} g S \quad (1)$$

$$m_t = \frac{m_b h_b}{C_{rr} S} \quad (2)$$

$$P = m_t g C_{rr} V_o \quad (3)$$

Keterangan dari persamaan (1) hingga persamaan (3), yakni  $E_p$ : energi potensial (J);  $g$ : percepatan gravitasi bumi ( $9.81 \text{ m/s}^2$ );  $S$ : *traveling distance* (m);  $m_t$ : massa total yang diangkut oleh angkong (48 kg);  $m_b$ : massa buah sawit;  $h_b$ : ketinggian TBS dari permukaan tanah (m);  $V_o$ : kecepatan jalan operator (0.5 m/s);  $C_{rr}$ : koefisien tahanan gelinding roda angkong di lahan sawit, dan  $C_{rr}$  angkong untuk lahan sawit berkisar antara 0.16-0.17 (Hermawan, *et al.* 2013b);  $P$ : daya untuk mendorong angkong pada lahan sawit dengan *slope* lahan  $0^\circ$  serta bukan jenis lahan gambut (W).

Proses pembuatan prototipe mesin dibagi ke dalam beberapa tahapan. Tahapan tersebut adalah pembuatan komponen penangkap TBS, pembuatan komponen penyimpan energi potensial TBS, pembuatan komponen transmisi daya penggerak

roda angkong, serta modifikasi rangka utama angkong.

Proses uji fungsional mesin dilakukan ke dalam beberapa kegiatan pengujian. Berikut ini merupakan penjelasan dari tiap-tiap kegiatan yang dilakukan :

- a. Pengujian fungsi mesin terkait fungsi menangkap TBS dilakukan dengan menangkap TBS dengan variasi massa TBS 15 kg, 20 kg dan 25 kg pada ketinggian 4 m di atas permukaan tanah.
- b. Pengujian fungsi mesin terkait fungsi menyimpan energi potensial TBS dilakukan dengan mengukur besarnya energi potensial aktual yang tersimpan pada *flat spiral spring* dan dilakukan dengan menggunakan sebuah aparatus pengukur torsi dan pengukur energi potensial untuk pegas tipe spiral. Bentuk aparatus yang digunakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.
- c. Pengujian fungsi mesin terkait fungsi menggerakkan angkong melalui energi yang telah tersimpan pada *flat spiral spring* dilakukan dengan mengukur *traveling distance* angkong pada lahan sawit.

### Hasil dan Pembahasan

#### Kebutuhan Energi untuk Mengevakuasi TBS di dalam Kebun

Kemampuan rata-rata operator pemanen sawit dalam mendorong angkong, yakni dapat mengangkat TBS sebanyak 8 TBS, dengan rata-rata massa per TBS sebesar 12.5 kg. Besarnya energi untuk mendorong angkong sejauh 9 meter dengan beban muatan tersebut adalah 1.62 kJ. Nilai tersebut diperoleh dari hasil kalkulasi pada persamaan (1). Jarak 9 m merupakan jarak tanam antar pokok sawit dan diasumsikan sebagai jarak minimum yang harus ditempuh oleh operator dalam mendorong angkong. Sementara itu, daya yang dibutuhkan untuk melakukan kegiatan tersebut adalah sebesar 90.25W atau setara dengan 0.12 HP. Hal tersebut diperoleh dari hasil kalkulasi melalui persamaan (3).

Dengan memanfaatkan energi potensial TBS pada ketinggian 4 meter, potensi beban (muatan angkong) yang dapat dievakuasi sejauh 9 meter adalah 45.82 kg. Nilai tersebut diperoleh dari kalkulasi pada persamaan (2). Agar energi yang tersimpan dapat menyuplai kebutuhan energi untuk menggerakkan angkong, maka mesin yang dirancang dalam penelitian ini adalah untuk pemanenan TBS dengan posisi ketinggian buah minimal 3 meter di atas permukaan tanah.

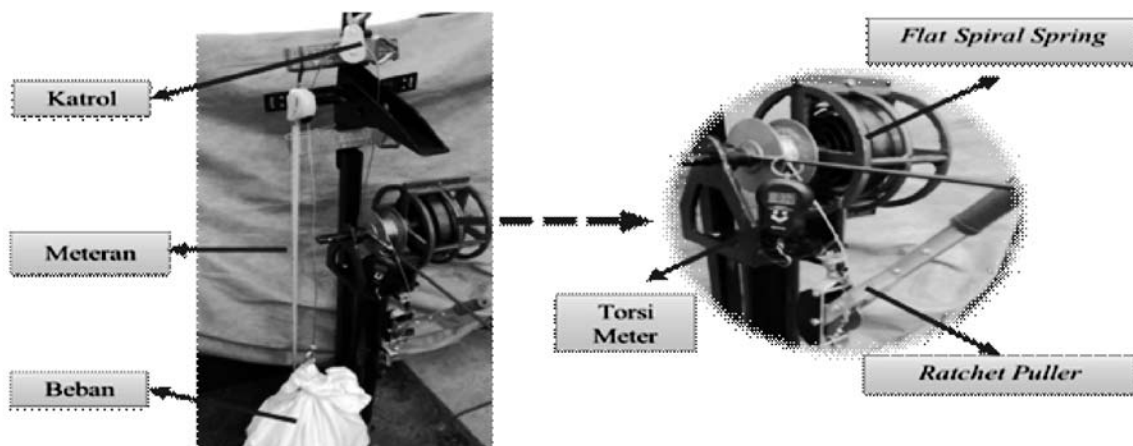
#### Alternatif Mekanisme Penangkap TBS dan Penyimpanan Energi Potensialnya

Mekanisme penangkap TBS yang pertama adalah dengan meletakkan unit penangkap di sekitar pokok sawit (konsep penangkapan 1A dan 1B). Sementara itu, konsep penangkap yang kedua adalah dengan membungkus buah sawit langsung dari atas pokok sawit yang digabungkan dengan mekanisme katrol. Ilustrasi mengenai mekanisme penangkap TBS tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan hasil analisis dan kajian pada beberapa literatur, diajukan 3 bentuk konsep penyimpanan energi potensial TBS yang dapat dikombinasikan dengan komponen penangkap TBS, yakni secara mekanik (melalui *flat spiral spring*), secara pnumatik (melalui mekanisme *piston in cylinder*) dan secara elektrik (melalui generator DC). Dari alternatif konsep tersebut maka diperoleh 5 buah kombinasi konsep penangkap TBS dan penyimpanan energi potensialnya. Seluruh kombinasi tersebut telah disajikan pada Gambar 2.

#### Seleksi Konsep Desain

Proses seleksi konsep desain dalam penelitian ini menggunakan metode matrik keputusan yang pernah dilakukan oleh Ullman (1992). Seleksi dilakukan untuk memilih konsep desain terbaik dari lima alternatif konsep yang telah diajukan. Ilustrasi dari lima konsep desain tersebut dapat dilihat pada Gambar 2. Berikut ini adalah beberapa kriteria (faktor seleksi) yang digunakan dalam proses seleksi konsep



Gambar 1. Aparatus pengukur torsi dan energi potensial pada spiral spring.

Tabel 1. Matrik keputusan seleksi konsep desain mesin

Konsep Desain	Faktor Seleksi						Skor Nilai
	a <sup>a</sup> (0.07)	b <sup>b</sup> (0.07)	c <sup>c</sup> (0.20)	d <sup>d</sup> (0.07)	e <sup>e</sup> (0.33)	f <sup>f</sup> (0.27)	
Penangkap 1A & Pegas	2	2	5	3	4	2	3.33
Penangkap 1B & Pegas	1	1	4	2	5	3	3.53
Penangkap 2 & Pneumatik	3	3	1	1	2	1	1.60
Penangkap 2 & Generator	5	5	3	5	1	5	3.27
Penangkap 2 & Pegas	4	4	2	4	3	4	3.27

<sup>a</sup> Dimensi mesin; <sup>b</sup>Bobot mesin; <sup>c</sup>Kemudahan operasi; <sup>d</sup>Kemudahan pembuatan; <sup>e</sup>Kesesuaian dengan kebutuhan rancangan; <sup>f</sup>Kepraktisan pemanfaatan energi.

desain mesin: a) dimensi komponen; b) perkiraan bobot mesin; c) kemudahan operasi (kepraktisan penggunaan); d) kemudahan pembuatan (terkait biaya pembuatan); e) kesesuaian dengan sistem mekanisme yang diinginkan (mampu menangkap TBS dan menyimpan energi potensialnya), serta f) kemudahan pemanfaatan energi yang telah tersimpan. Penyajian mengenai proses seleksi konsep desain yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1.

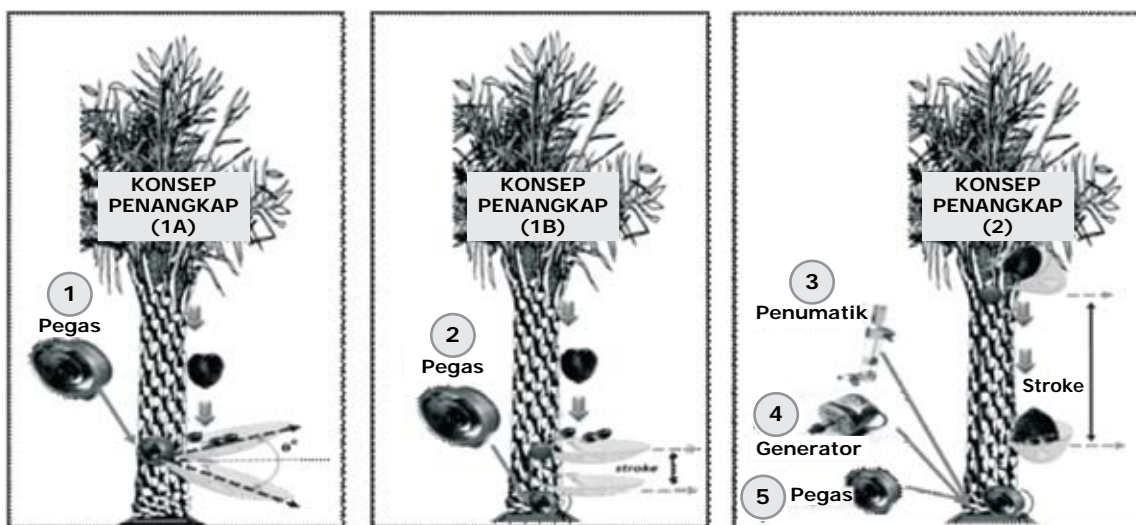
Kombinasi mekanisme penangkap TBS 1B dengan bentuk penyimpanan energi dalam bentuk pegas merupakan konsep desain yang terbaik dari lima konsep desain yang telah diajukan. Hal tersebut dikarenakan pengaplikasian konsep penangkap 2 (pada Gambar 2) akan memiliki hambatan dalam pemasangan komponen pembungkus TBS dan katrol yang berada pada ketinggian di atas 3 meter dari permukaan tanah. Sedangkan pada konsep penangkapan TBS 1A dan 1B akan memiliki kemudahan dalam instalasi saat pemanenan, serta memiliki radius penangkapan yang cukup luas untuk menangkap berondolan buah yang menyebar saat pemotongan TBS berlangsung. Konsep penangkapan 1B memiliki keunggulan berupa

*stroke* yang dihasilkan lebih panjang dibandingkan konsep penangkapan 1A. Oleh sebab itu, konsep 1B memiliki skor nilai yang tertinggi dibandingkan dengan konsep lainnya.

Gerakan jatuhnya TBS dari ketinggian di atas 3 m akan menghasilkan gaya mekanis (tumbukan) yang sangat besar dan dalam waktu yang relatif singkat. Konversi energi dalam bentuk elektrik, yakni dengan menggunakan generator DC akan membutuhkan *input* energi yang konstan dan dilakukan dalam waktu yang tidak singkat (kontinu). Sementara itu, energi spesifik penyimpanan dalam bentuk pneumatik memerlukan energi yang lebih besar, yakni sebesar 71 kJ/kg jika dibandingkan dengan penyimpanan dalam bentuk mekanik (*spring*) yang hanya membutuhkan 0.16-0.24 kJ/kg (Culp, 1979). Oleh sebab itu, mekanisme konversi energi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dalam bentuk mekanis melalui *flat spiral spring*.

**Hasil Rancangan Mesin Penangkap dan Pengevaluasi TBS**

Secara umum mesin yang dirancang memiliki kemampuan untuk melakukan beberapa fungsi, yakni: menangkap TBS dan berondolan buah sawit



Gambar 2. Alternatif kombinasi mekanisme penangkap TBS dengan bentuk penyimpanan energi potensial TBS.

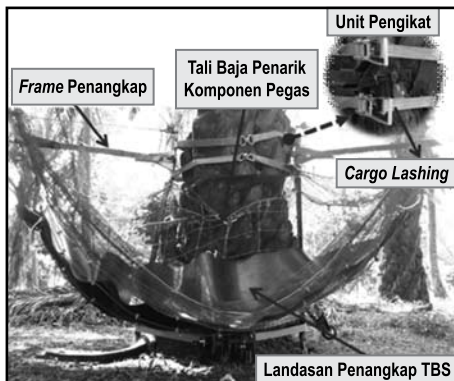
yang tercecer saat pemotongan; menyimpan energi potensial TBS pada suatu komponen penyimpan energi berupa pegas; serta mampu memanfaatkan energi potensial yang tersimpan pada pegas untuk menggerakkan roda angkong. Untuk menjalankan seluruh fungsi tersebut, mesin dilengkapi dengan beberapa komponen utama, yakni komponen penangkap TBS, komponen penyimpan energi potensial TBS, komponen transmisi daya penggerak roda angkong, serta komponen penampung TBS. Bentuk dari komponen penangkap TBS dapat dilihat pada Gambar 3.

Komponen penyimpan energi potensial TBS dirancang dengan menggunakan komponen pegas tipe *flat spiral spring*. Pemilihan pegas tipe spiral tersebut dikarenakan pegas tipe spiral mampu menerima beban mekanis yang cukup besar serta *output* atau *release* gaya yang dikeluarkan sudah dalam bentuk gaya putar, sehingga tidak dibutuhkan mekanisme pengubah bentuk gaya. *Flat spiral spring* yang digunakan adalah 2 buah *flat spiral spring* ketebalan 2 mm dan berdiameter 250 mm dengan material Baja SK5B. Bentuk *assembly* dari komponen penyimpan energi yang telah digabungkan dengan komponen transmisi daya penggerak pada unit pengangkut TBS dapat dilihat pada Gambar 4.

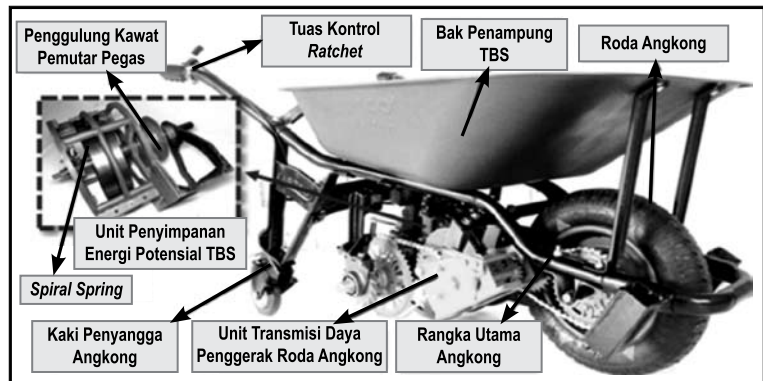
### Mekanisme Penangkap TBS dan Pemanfaatan Energi Potensialnya

Mekanisme penyimpanan energi yang dirancang adalah dengan memanfaatkan *impact force* yang menumbuk landasan penangkap TBS, sehingga terciptanya gerakan *down stroke* yang akan menarik tali baja pemutar komponen pegas. Gaya tarik dari tali baja tersebut akan memutar *flat spiral spring*. Agar *flat spiral spring* tidak langsung melakukan gaya reaksi (*release*), komponen penyimpan energi tersebut dilengkapi dengan komponen *ratchet*. Ilustrasi mengenai mekanisme penyimpanan energi disajikan pada Gambar 5.

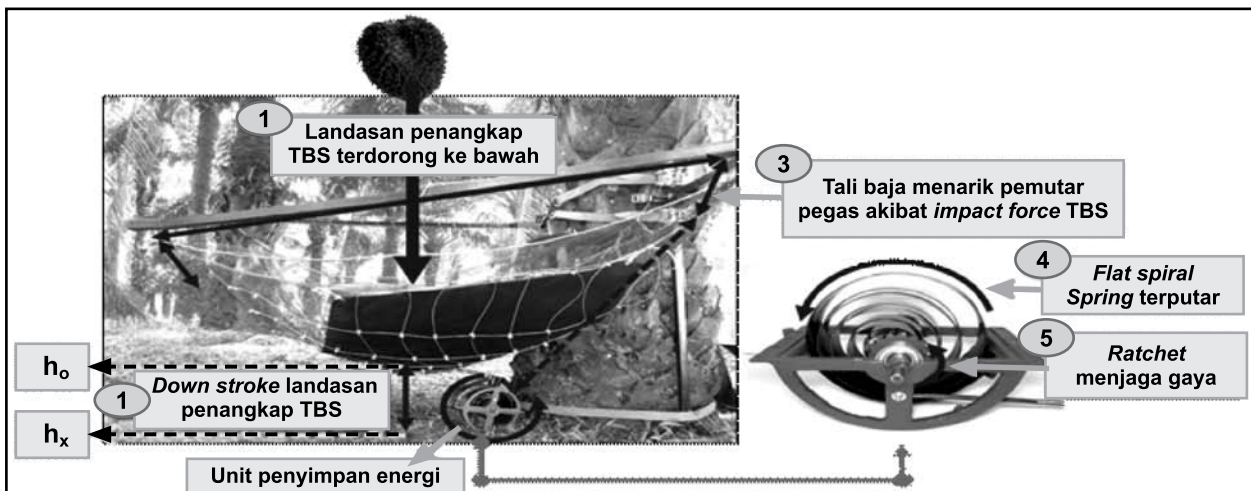
Gaya *release* komponen pegas akan menghasilkan gaya putar yang dapat memutar roda angkong. Untuk itu, poros as komponen pegas dihubungkan dengan sistem transmisi roda angkong. Dengan rasio transmisi 1 : 12.86, jumlah *output* putaran dari gaya *release* pegas sebesar 1.5 putaran dapat menghasilkan *traveling distance* angkong sejauh 9 m. Sistem transmisi tersebut tersusun atas beberapa komponen rantai dan sproket, komponen *gear box*, serta komponen *escapement*. Penggunaan komponen *escapement* bertujuan untuk menjaga gaya *release* dari komponen pegas dapat menghasilkan kecepatan maju angkong sebesar 0.5 m/s. Kecepatan tersebut



Gambar 3. Bentuk komponen penangkap TBS.



Gambar 4. Bentuk assembly unit pengangkut TBS.

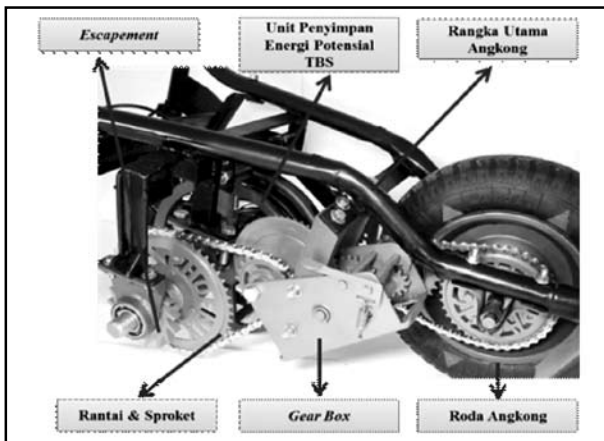


Gambar 5. Ilustrasi mekanisme penyimpanan energi potensial TBS.

merupakan kecepatan maju rata-rata operator pemanen sawit dalam mendorong angkong di lahan sawit. Ilustrasi mengenai bentuk sistem transmisi yang telah dirancang dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 6.

**Kinerja Penangkap TBS dan Penyimpanan Energi Potensialnya**

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan, komponen penangkap mampu menangkap TBS dengan massa sebesar 15 kg, 20 kg dan 25 kg yang dijatuhkan dari ketinggian 4 m di atas permukaan tanah. Pada Gambar 7 menjelaskan bahwa dari pengujian kinerja penangkapan TBS, seluruh TBS dan berondolan buah yang dijatuhkan pada 3 titik yang berbeda telah dapat ditangkap dengan baik. Hal tersebut berdasarkan kondisi bahwa tidak ditemukannya berondolan buah yang masih tercecer di luar landasan penangkap TBS. Selain itu, penggunaan material karet pada landasan penangkap TBS telah berhasil mengurangi kerusakan fisik pada permukaan TBS.

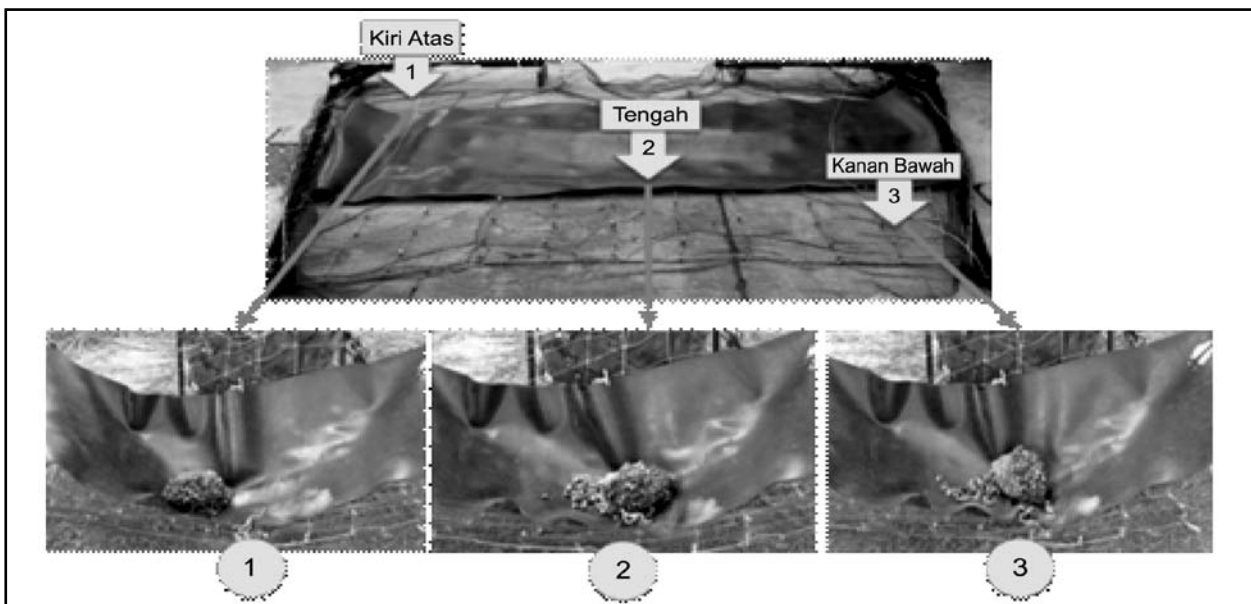


Gambar 6. Komponen penggerak roda angkong.

Hasil pengukuran torsi secara aktual pada *flat spiral spring* dengan variasi perlakuan ketebalan bahan *flat spiral spring* (1.5 mm dan 2 mm), tipe putaran spiral pegas (Tipe A dan Tipe B), serta susunan pegas (*single* dan *double*), disajikan pada Gambar 8. Tipe putaran A merupakan tipe putaran yang membentuk gulungan spiral pegas mengarah ke titik pusat gravitasi pegas, sedangkan tipe putaran B adalah menjauhi titik pusat gravitasi pegas atau berlawanan dengan tipe putaran A.

Torsi maksimum yang dicapai dari tiap-tiap kombinasi perlakuan pengukuran pada Gambar 8 secara berturut-turut adalah 19.95 Nm (1.5 mm; Tipe A), 32.05 Nm (2 mm; Tipe A), 38.58 Nm (2 mm + 2 mm; Tipe A), serta 53.35 Nm (2 mm + 2 mm; Tipe B). Bila dibandingkan dengan nilai torsi secara teoritis, tiap-tiap kombinasi tersebut seharusnya dapat memiliki torsi, yakni secara berturut-turut sebesar 21.20 Nm (1.5 mm; Tipe A), 37.68 Nm (2 mm; Tipe A), 75.36 Nm (2 mm + 2 mm; Tipe A), serta 75.36 Nm (2 mm + 2 mm; Tipe B). Perbedaan kinerja pegas secara teoritis dengan kemampuan pegas secara aktual tersebut disebabkan oleh faktor dalam pembuatan pegas, yakni terkait keseragaman kekuatan bahan akibat proses *hardening* dalam pencetakan pegas. Hal tersebut akan dapat berpengaruh pada penurunan kemampuan torsi dan modulus elastisitas bahan yang digunakan. Proses *hardening* akan memberikan perlakuan temperatur pada material baja dan dapat mempengaruhi kekuatan baja, sehingga dapat mengubah batas elastisitas dari bahan tersebut (Setiawan, 2013).

*Flat spiral spring* yang digunakan sebagai unit penyimpanan energi merupakan kombinasi 2 buah *flat spiral spring* dengan ketebalan 2 mm (Tipe B) dan dipasangkan secara ganda. Secara teoritis, besarnya energi yang tersimpan pada *flat spiral spring* dapat diperoleh melalui perhitungan luas area di bawah grafik performansi torsi aktual *flat spiral spring*. Dari



Gambar 7. Pengujian kinerja penangkap TBS pada 3 titik jatuh TBS

proses pengintegralan fungsi  $y = f(x)$  pada Gambar 9, diperoleh nilai energi potensial teoritis pada unit pegas adalah sebesar 42.35J. Secara aktual unit penyimpanan energi hanya memiliki energi potensial rata-rata sebesar 38.64 J. Nilai tersebut merupakan *output* energi dari *flat spiral spring* pada 1.5 putaran. Perbedaan nilai energi potensial aktual dengan nilai energi potensial secara teoritis pada pegas dapat disebabkan oleh adanya *losses* energi berupa gesekan pada mekanisme *release* pegas (Tang, *et al.*, 2013).

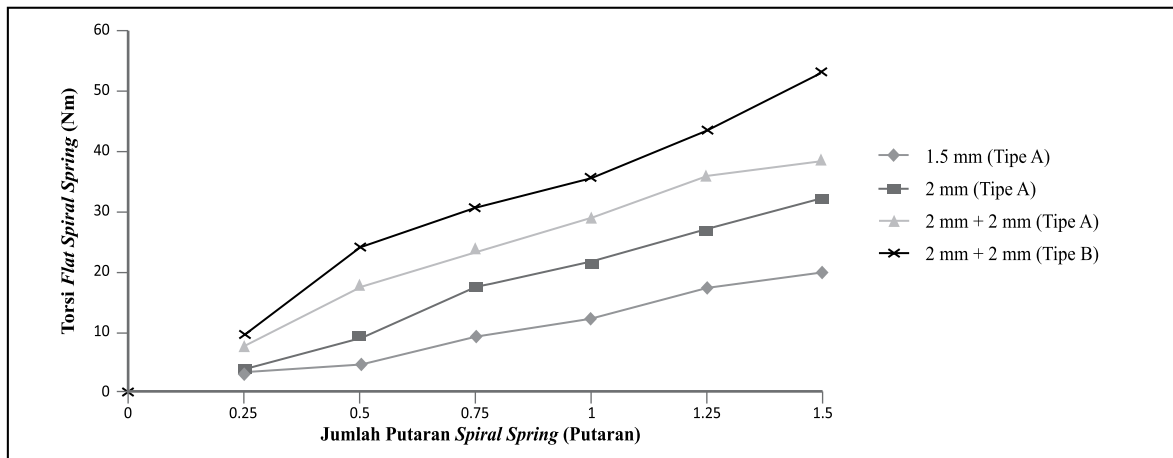
Efisiensi mekanisme penyimpanan energi yang telah dirancang masih memiliki efisiensi yang rendah, yakni hanya mencapai 39.39%. Nilai  $E_p$  *input* merupakan perhitungan energi potensial dari objek dengan massa 5 kg yang dijatuhkan pada ketinggian 2 m di atas permukaan landasan penangkap TBS, yakni sebesar 98.10 J. Energi tersebut merupakan kebutuhan energi yang dapat memutar *flat spiral spring* hingga mencapai putaran maksimal, yakni 1.5 putaran. Sedangkan nilai  $E_p$  *output* merupakan besarnya energi yang dikeluarkan oleh *flat spiral spring* pada 1.5 putaran, yakni 38.64 J.

**Kinerja Pemanfaatan Energi yang Tersimpan pada Flat Spiral Spring**

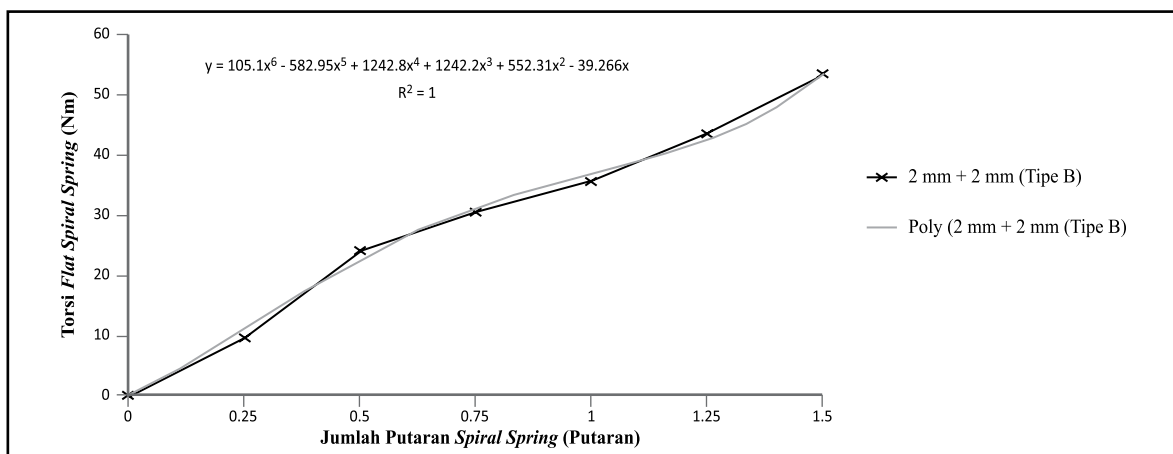
Berdasarkan persamaan (1), secara teoritis

energi sebesar 38.64 J mampu menggerakkan angkong sejauh 0.51 m dengan total beban ( $m_t$ ) yang digerakan sebesar 48 kg. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan bahwa dengan kondisi tersebut, *traveling distance* (S) aktual yang dapat ditempuh oleh angkong adalah sejauh 0.41 m. Hal tersebut menunjukkan bahwa efisiensi mekanisme pemanfaatan energi potensial yang terkandung pada *flat spiral spring* sebagai daya penggerak angkong adalah sebesar 80.39 %.

Beberapa hal yang dapat mempengaruhi efisiensi mekanisme pemanfaatan energi dari *flat spiral spring* sebagai daya untuk menggerakkan angkong adalah sistem transmisi yang dirancang, slip yang terjadi pada roda angkong, serta mekanisme *release* energi pada pegas yang dirancang. Berdasarkan hasil pengukuran, dibutuhkan torsi sebesar 1.31 Nm untuk menggerakkan sistem transmisi dengan kondisi tanpa beban. Bila mengacu pada kondisi tersebut maka nilai efisiensi kinerja pemanfaatan energi yang telah dirancang berada dalam kondisi cukup baik. Hal tersebut dikarenakan mekanisme pemanfaatan energi yang telah dirancang memiliki *losses* sebesar 3.98% dari energi yang tersedia pada *flat spiral spring*, sehingga *losses* yang terbesar terjadi adalah pada *slip* roda angkong, yakni sebesar 15.63%.



Gambar 8. Grafik pengukuran torsi aktual pada flat spiral spring



Gambar 9. Grafik pengukuran torsi aktual flat spiral spring [2 mm+2mm (Type B)]

## Analisis Penerapan Mesin Hasil Rancangan

Dari hasil perancangan dan pengujian mesin, diperoleh beberapa analisis pengoperasian mesin. Hal tersebut terkait analisis waktu pengoperasian mesin, dan analisis penerapan mesin di lapangan. Beberapa kelebihan yang dimiliki oleh mesin hasil rancangan adalah waktu yang dibutuhkan untuk memungut berondolan buah sawit adalah 4 kali lebih cepat dibandingkan dengan pemanenan secara manual. Hal tersebut dapat mengurangi waktu kerja untuk memungut berondolan, yang selama ini membutuhkan waktu yang paling lama di antara elemen kerja pemanenan sawit lainnya. Selain itu, kondisi TBS dan berondolan buah yang sudah terkumpul pada satu titik akan memudahkan operator untuk melakukan proses *loading* TBS ke dalam bak angkong.

Kekurangan yang dimiliki mesin hasil rancangan adalah waktu yang dibutuhkan untuk pemasangan mesin pada pokok sawit masih membutuhkan waktu cukup lama, yakni mencapai 53 kali lebih lama dibandingkan dengan penggunaan alat panen konvensional. Dari hasil pengukuran, dibutuhkan waktu untuk memobilisasi mesin, yakni minimal 2 kali lebih banyak dibandingkan dengan kondisi pemanenan secara konvensional. Hal tersebut disebabkan oleh bobot statis unit penangkap TBS yang sangat berat, yakni mencapai 30.5 kg. Kondisi tersebut berimbas pada kemudahan operator dalam memasang dan melepaskan unit penangkap TBS dari pokok sawit, serta memindahkan mesin dari satu titik pemanenan menuju titik pemanenan berikutnya.

## Simpulan dan Saran

### Simpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, telah diperoleh hasil rancangan mesin yang dapat menangkap TBS sekaligus menyimpan energi potensialnya. Mesin hasil rancangan menggunakan mekanisme penangkap TBS 1B, yakni landasan penangkap diletakkan di sekitar daerah piringan pokok sawit. Energi potensial TBS disimpan dalam mekanisme penyimpanan secara mekanis melalui *flat spiral spring*. Kinerja mekanisme penyimpanan energi yang telah dirancang memiliki efisiensi sebesar 39.39 %. Bentuk pemanfaatan energi yang tersimpan dalam *flat spiral spring* telah berhasil dimanfaatkan untuk menggerakkan roda gerobak dorong (angkong) dengan efisiensi pemanfaatan sebesar 80.39 %. Melalui energi yang tersimpan pada *flat spiral spring* sebesar 38.64 J dengan tanpa adanya gaya dorong dari operator, angkong dapat menempuh *traveling distance* sejauh 0.41 m dengan total beban ( $m_1$ ) yang digerakan sebesar 48 kg.

### Saran

Dalam penelitian ini, kapasitas unit penyimpan

energi yang digunakan masih dalam skala *prototyping* untuk membuktikan mekanisme pemanfaatan energi potensial dari TBS, sehingga untuk penerapan ke depannya perlu dilakukan *scale up* dari kapasitas unit penyimpan energi yang akan dirancang. Selain itu, perlu dilakukan modifikasi material pada struktur komponen penangkap TBS, agar memiliki bobot yang lebih ringan dengan kekuatan terhadap beban mekanis yang lebih besar.

## Daftar Pustaka

- Adetan, D.A., L.O. Adekoya, dan K.A. Oladejo. 2007. *An improved pole-and-knife method of harvesting oil palms*. *International Commission of Agricultural Engineering (CIGR) E-Journal* (9): 6-27. (Internet). (Diunduh 10 Juli 2014). Tersedia pada: <http://www.cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/867/86>.
- Culp, A.W. 1979. *Principles of Energy Conversion*. McGraw-Hill Kogskusha, Ltd. Tokyo.
- Hermawan, W., Desrial dan M.I. Nazamuddin. 2013a. *Engineering characteristics and potential energy of oil palm fruit bunches harvesting*. Prosiding pada *International Symposium on Agricultural and Biosystem (ISABE)*, Yogyakarta, Agustus 28-29, 2013.
- Hermawan, W., Desrial, M.I. Nazamuddin, dan Rusnadi. 2013b. *Desain Konseptual Penangkap Tandan Buah Sawit dan Pemanfaatan Energi Potensialnya*. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.27(2): 123-130.
- Ismail, W.I.W. 2010. *Research and development of oil palm harvester robot at University Putra Malaysia*. *International Journal of Engineering and Technology* Vol.7(2): 87-94.
- Putranti, K.A. 2013. *Studi Waktu (Time Study) pada Aktivitas Pemanenan Kelapa Sawit di Perkebunan Sari Lembah Subur, Riau*. *Jurnal Keteknik Pertanian* Vol.26(2): 99-106.
- Setiawan, A. 2013. *Perancangan Struktur Baja dengan Metode LRFD*. Edisi Kedua. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Shokripour, H., W.I.W. Ismail, R. Shokripour, dan Z. Moezkarimi. 2012. *Development of an automatic cutting system for harvesting oil palm fresh fruit bunch (FFB)*. *African Journal of Agricultural Research* Vol.7(17): 2683-2688.
- Tang, J., W. Zhangqi, M. Zengqiang, dan Y. Yang. 2013. *Finite element analysis of flat spiral spring on mechanical elastic energy storage technology*. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* Vol.7(5): 993-1000.
- Ullman, D.G. 1992. *The Mechanical Design Process*. McGraw-Hill. USA.
- Zulfahrizal. 2005. *Konsep Desain Lengan Mesin Pemanen Tandan Sawit (Elaeisguineensis Jacq) dan Simulasi Cara Kerjanya*. (Tesis). Program Pascasarjana, IPB. Bogor.