

RANCANG BANGUN MESIN PELLETT BIOMASSA TERINTEGRASI DENGAN PENDEKATAN DIAGRAM FAST

Gusti Hardiansyah^{1*}, Ivan Sujana², Ratih Rahmahwati² dan M. Taufiqurrahman³

¹Fakultas Kehutanan; ²Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik;

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik

Universitas Tanjungpura

*Email : gustihardiansyah@fahutan.untan.ac.id

Artikel diterima: Maret 2020. Revisi diterima : Maret 2020

ABSTRACT

Rehabilitation of oil palm plants if not managed properly can lead to waste that can damage the environment, disrupt young palm trees and harm the plantation, and can release carbon emissions into the atmosphere. Utilization of palm trunk waste from rehabilitation to be processed into biopellet as an alternative to large-scale renewable energy sources is currently still very limited, due to the problem of production and operational costs that must be spent to obtain oil palm stems and take it out of the plantation area to the biopellet processing plant.

The purpose of this research is to support and encourage the development of sustainable palm oil, reduce the environmental impact caused by the rehabilitation of oil palm plants that are not well managed by the managers of oil palm plantations and produce technological innovations in the design of waste palm oil processing machines into biomass pellets (*biopellets*) in an integrated manner that can be operationalized in a moveable manner, so as to reduce the production and operational costs of processing biomass pellets (*biopellets*). Therefore, in-depth analysis is needed related to the innovation of biomass pellet printing machine (biopellet) technology using the diagram function Function Analysis and System Technique (FAST). Analysis is done by determining the critical functions that must be present in an integrated biomass pellet machine (*biopellets*) on the performance of a machine that can produce biomass pellets (biopellet) and is moveable.

The results of the study using the FAST approach produce engine design that has the main function in the moveable biopellet engine by considering the critical functions such as the cutting function of waste palm trunks, enumeration functions, raw material mixing functions, pellet printing functions and skeleton holder functions that can integrate all machine functions taking into account the moveable nature of the engine.

Keywords : FAST Diagram, Palm Oil Waste, Biopellet Machine, Building Design

ABSTRAK

Kegiatan rehabilitasi terhadap tanaman kelapa sawit apabila tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan limbah yang dapat merusak lingkungan, mengganggu tanaman sawit muda dan merugikan kebun, serta dapat melepas emisi karbon ke atmosfer. Pemanfaatan limbah batang sawit hasil rehabilitasi untuk diolah menjadi *biopellet* sebagai salah satu alternatif sumber energi terbarukan skala besar saat ini masih sangat terbatas, dikarenakan permasalahan biaya produksi dan operasional yang harus dikeluarkan untuk memperoleh batang sawit dan membawanya keluar dari area perkebunan ke pabrik pengolahan *biopellet*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendukung dan mendorong pengembangan kelapa sawit yang berkelanjutan, mengurangi dampak lingkungan yang diakibatkan oleh kegiatan rehabilitasi terhadap tanaman kelapa sawit yang tidak dikelola dengan baik oleh pengelola kebun kelapa sawit dan menghasilkan inovasi teknologi rancang bangun mesin pengolah limbah batang kelapa sawit menjadi pellet biomassa (*biopellet*) secara terintegrasi yang dapat dioperasikan secara *moveable* (dapat dipindah-pindahkan), sehingga dapat menekan biaya produksi dan operasional pengolahan pellet biomassa (*biopellet*). Sehingga untuk itu diperlukan analisa mendalam terkait inovasi teknologi mesin pencetak pellet biomassa (*biopellet*) dengan menggunakan pendekatan diagram *Function Analysis and System Technique* (FAST). Analisa dilakukan dengan menentukan fungsi-fungsi kritis yang harus ada pada mesin pellet biomassa (*biopellet*) terintegrasi terhadap performansi mesin yang dapat memproduksi pellet biomassa (*biopellet*) dan bersifat *moveable*.

Hasil penelitian menggunakan pendekatan FAST menghasilkan rancang bangun mesin yang memiliki fungsi utama dalam mesin *biopellet* yang *moveable* dengan mempertimbangkan fungsi fungsi kritis seperti fungsi pemotongan limbah batang sawit, fungsi pencacahan, fungsi pencampuran bahan baku, fungsi pencetakan pellet dan fungsi dudukan kerangka yang dapat mengintegrasikan semua fungsi mesin dengan mempertimbangkan sifat *moveable* mesin.

Kata kunci : Diagram FAST, Limbah Sawit, Mesin Biopellet, Rancang Bangun

PENDAHULUAN

Luas lahan perkebunan sawit Indonesia pada 2017 diperkirakan mencapai 12,30 juta Hektar, (Direktorat Jenderal Perkebunan, Kementerian Pertanian, 2017). Selain menunjukkan prospek hasil minyak nabati yang berlimpah, luasan kebun sawit ini juga memicu kekhawatiran melimpahnya batang sawit saat regenerasi kebun dilakukan. Berdasarkan karakteristik fisik batang sawit tersebut dan daur produktif 25 tahun serta asumsi luas tanaman sawit di Indonesia 12,30 juta hektar, maka jika 4 persen dari luasan itu direhabilitasi tiap tahun, akan ada hampir 100 juta kubik batang sawit teronggok menjadi sampah yang akan mengganggu tanaman sawit muda dan merugikan kebun.

Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam memanfaatkan limbah batang sawit sebagai sumber energi *biomassa*, berupapellet biomassa (*biopellet*) yang dapat berfungsi sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan karena keunggulannya yaitu bersifat mudah terdegradasi dan dapat diperbaharui.

Meski prospektif, pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai pellet biomassa (*biopellet*)

dari hasil peremajaan perkebunan sawit tersebut tidak mudah, dikarenakan banyak biaya yang harus dikeluarkan untuk memperoleh batang sawit dan membawanya keluar dari area perkebunan dan mengirim-kannya ke pabrik pengolahan pellet biomassa (*biopellet*). Akibatnya, nilai limbah batang kelapa sawit tersebut menjadi sangat mahal yaitu lebih dari Rp 350.000/m³.

Berdasarkan permasalahan tersebut, melalui penelitian ini telah dihasilkan inovasi teknologi rancang bangun mesin pengolah limbah batang kelapa sawit menjadi pellet biomassa (*biopellet*) yang dapat dioperasikan secara mudah untuk bergerak atau berpindah (*movable*) dari satu area perkebunan sawit ke area perkebunan sawit lainnya dan dapat menjangkau sampai ke dalam area perkebunan sawit yang sedang dilakukan peremajaan (*replanting*). Sehingga diharapkan dapat menekan biaya produksi dan biaya operasional apabila limbah batang kelapa sawit tersebut akan diolah menjadi pellet biomassa (*biopellet*) sebagai alternatif energi terbarukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian tentang Rancang Bangun Mesin Pellet Biomassa Terintegrasi ini terdiri dari 3 tahapan yakni tahap 1. pendahuluan, tahap 2. desain dan rancang bangun serta tahap 3. uji coba dan analisa serta penarikan kesimpulan. Teknik pengumpulan data yang dilakukan pada penelitian ini dengan *desk study*, observasi dan *focus group discussion (FGD)*. Tahap pendahuluan diawali dengan analisa karakteristik limbah batang sawit dan analisa proses pengolahan pellet biomassa.

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengumpulan dan pengolahan data menggunakan metode FAST. Peningkatan *value* mesin rancangan dilakukan dengan membuat diagram FAST yaitu berupa diagram logika yang mengandung pertanyaan logis yakni bagaimana, mengapa, kapan dan apa. Langkah teknik analisis *value*

dengan menggunakan diagram FAST yakni menentukan batasan untuk proses konseptual dan identifikasi fungsi tujuan. Selanjutnya dilakukan identifikasi fungsi dasar dari konsep desain yang baru, sebagai alasan utama untuk konsep yang ada secara fisik. Jika sistem tersebut kompleks, maka akan ada lebih dari satu fungsi dasar. Pada metode FAST, akan digunakan *block diagram* untuk menampilkan fungsi produk tersebut.

Setelah dilakukan penentuan inovasi teknologi melalui diagram FAST, langkah selanjutnya adalah desain dan rancang bangun mesin, yang kemudian akan dilanjutkan dengan tahap uji coba mesin pengolah pellet biomassa (*biopellet*) berbahan baku limbah batang sawit yang dihasilkan dari mesin pellet biomassa terintegrasi yang telah dirancang bangun tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancangan Diagram FAST

Diagram FAST dipetakan sesuai dengan fungsi-fungsi kritis yang harus ada pada mesin pellet biomassa terhadap performansi mesin yang dapat memproduksi pellet biomassa dan bersifat *moveable*. FAST diagram yang dirancang merupakan penjabaran fungsi dari mesin pellet secara hierarki, dengan tingkatan fungsi tertinggi (*high order function*) yang berada pada bagian

paling kiri diagram dan tingkatan fungsi terendah (*low order function*) pada bagian paling kanan.

Pada diagram FAST terintegrasi, peningkatan kemampuan teknis mesin dilakukan dengan mendesain *How-why* diagram pada level general dan level spesifik. Perwujudan komponen atau fungsi yang dianggap penting dan prioritas kemudian diproses lebih lanjut untuk diinovasikan

dengan menggunakan pendekatan FAST dan dilanjutkan dengan penentuan prioritasnya.

Implementasi diagram FAST pada Gambar 1 tersebut, menjelaskan 4 fungsi kritis yang berhasil dijabarkan secara spesifik karena fungsi-fungsi tersebut harus ada pada mesin pellet biomassa terintegrasi. Fungsi-fungsi tersebut adalah fungsi pemotongan batang limbah sawit, fungsi pencacah limbah batang sawit, fungsi produksi pellet

Identifikasi Kriteria dan Mudge Diagram

Berdasarkan analisa fungsi dari diagram FAST pada Gambar 1, selanjutnya dilakukan identifikasi kriteria fungsi turunan dan fungsi tujuan dari masing-masing fungsi kritis (utama) yang ada pada mesin pellet biomassa terintegrasi, kemudian dianalisis pada matriks perbandingan (*Mudge*

biomassa dan fungsi rangka dudukan terintegrasi. Fungsi produksi pellet biomassa dijabarkan lagi menjadi dua fungsi sekunder yakni fungsi pencampuran bahan baku dan fungsi pencetakan pellet. Pada fungsi rangka dudukan terdapat fungsi atau komponen ciri khas yakni sifat *moveable* yang menjadi salah satu titik inovasi hasil penjabaran dari diagram FAST.

Diagram) untuk penetapan skor agar diperoleh peringkat kriteria fungsi yang paling berpengaruh terhadap fungsi kritis (utama) pada mesin pellet biomassa terintegrasi yang akan dirancang bangun.

Tabel 1. Fungsi dan tujuan dari fungsi pemotongan limbah batang sawit

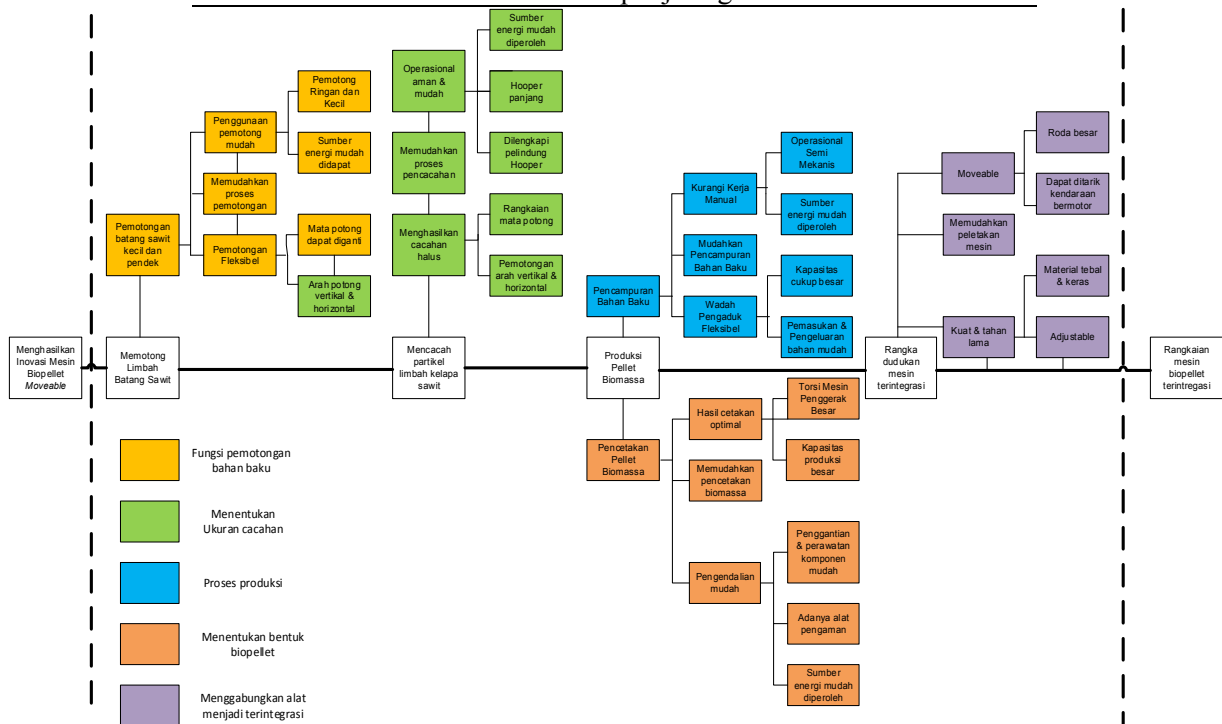
No	Fungsi Turunan	Fungsi tujuan	Kode Fungsi
1	Pemotongan fleksibel	Menyesuaikan bentuk dan ukuran batang yang dipotong	A
2	Mata potong mudah diganti	Tidak memerlukan peralatan dan keahlian khusus	B
3	Pemotongan arah vertikal dan horisontal	Menyesuaikan dimensi akhir potongan yang diperlukan	C
4	Penggunaan mudah	Dapat digunakan oleh setiap operator	D
5	Ringan dan ukuran kecil	Mudah dibawa dan dipindah-pindah	E
6	Sumber energi mudah diperoleh	Mudah digunakan di lokasi yang tidak terdapat jaringan listrik	F

Tabel 2. Mudge diagram fungsi pemotongan limbah batang sawit

Fungsi Pemotongan Limbah Batang Sawit						Total	%	Rank	
Pemotongan Fleksibel	A	C2	D2	E2	F2	3	9,67	5	
	Mata Potong Mudah Diganti	B	C3	B2	E3	F2	2	6,15	6
		Pemotongan Arah Vertikal dan Horisontal	C	C1	C2	C1	9	29,03	1
	Penggunaan Mudah		D	D2	F1	E	4	12,9	4
			Ringan dan Ukuran Kecil	E	E2	F	F	7	22,58
	Sumber Energi Mudah Diperoleh	F		F	F	F	6	19,35	3
								31	100

Tabel 3. Fungsi dan tujuan dari fungsi pencacahan limbah batang sawit

No	Fungsi Turunan	Fungsi tujuan	Kode Fungsi
1	Operasional aman dan mudah	Tanpa memerlukan operator dengan keahlian khusus	A
2	Hasil cacahan halus	Memenuhi syarat sebagai bahan baku pellet biomassa	B </td
3	Hopper panjang	Mudah untuk memasukkan bahan	C
4	Dilengkapi pelindung hopper	Mendukung unsur keselamatan kerja	D
5	Rangkaian mata potong	Menghasilkan ukuran partikel yang halus	E
6	Sumber energi mudah diperoleh	Mudah digunakan di lokasi yang tidak terdapat jaringan listrik	F



Gambar 1. Diagram FAST mesin pellet biomassa terintegrasi

Tabel 4. Mudge diagram fungsi pencacahan limbah batang sawit

Fungsi Pembuatan Partikel Limbah Batang Sawit						Total	%	Rank		
A	B2	C2	D3	A3	A3	6	17,64	3		
Operasional Aman dan Mudah	Hasil Cacahan Halus	B	B2	D1	B2	B3	9	26,47	1	
		C	C3	C2	C2	F2	7	20,58	2	
		Dilengkapi Pelindung Hopper	D	E1	E2	E2	E2	4	11,76	5
			Rangkaian Mata Potong	E	F3	F3	F3	3	8,82	6
				F	F	F	F	5	14,70	4
						34	100	--		
						Sumber Energi Mudah Diperoleh				

Tabel 5. Fungsi dan tujuan dari fungsi pencampuran bahan partikel limbah batang sawit

No	Fungsi Turunan	Fungsi tujuan	Kode Fungsi
1	Mengurangi kerja operator	Mengurangi biaya operasional	A
2	Operasional semi mekanis	Tanpa memerlukan operator dengan keahlian khusus	B
3	Wadah pengaduk fleksibel	Proses efektif dan efisien	C
4	Kapasitas cukup besar	Meningkatkan produktivitas	D
5	Pemasukan dan pengeluaran bahan mudah	Mudah untk memasukkan dan mengeluarkan bahan	E
6	Sumber energi mudah diperoleh	Mudah digunakan di lokasi yang tidak terdapat jaringan listrik	F

Tabel 6. Mudge diagram fungsi pencampuran bahan partikel limbah batang sawit

Fungsi Pencampuran Partikel Limbah Batang Sawit						Total	%	Rank		
A	B2	C3	A2	E3	F3	2	6,45	6		
Mengurangi Kerja Operator	Operasional Semi Mekanis	B	B2	D2	E2	B1	5	16,13	4	
		C	D1	C2	C3	C3	8	25,81	1	
		Pemasukkan dan Pengeluaran Bahan Mudah	D	E2	F1	F1	F1	3	9,68	5
			Kapasitas Cukup Besar	E	F2	F2	F2	7	22,58	2
				F	F	F	F	6	19,35	3
						31	100	--		
						Wadah Pengaduk Fleksibel				
				Sumber Energi Mudah Diperoleh						

Tabel 7. Fungsi dan tujuan dari fungsi pencetakkan pellet biomassa

No	Fungsi Turunan	Fungsi tujuan	Kode Fungsi
1	Hasil cetakan optimal	Sesuai standar mutu biopellet	A
2	Torsi mesin penggerak besar	Menghindari kemacetan mesin	B
3	Kapasitas produksi besar	Meningkatkan produktivitas	C
4	Pengendalian mudah	Tidak memerlukan operator dengan keahlian khusus	D
5	Penggantian & perawatan komponen mudah	Menjadikan mesin awet dan tahan lama	E
6	Adanya alat pengaman	Memenuhi standar keselamatan kerja	F
7	Sumber energi mudah diperoleh	Mudah digunakan di lokasi yang tidak terdapat jaringan listrik	G

Tabel 8. Mudge diagram fungsi pencetakkan pellet biomassa

Fungsi Pencetakan Pellet Biomassa							Total	%	Rank	
A	A1	A2	A2	A2	A1	A1	9	25,00	1	
Hasil Cetakan Optimal	B	B2	D1	B1	F3	G2	3	8,33	6	
	Torsi Mesin Penggerak Besar	Kapasitas Produksi Besar	C	D1	E2	C3	C2	5	13,89	4
			Pengendalian Mudah	D	E2	F1	G3	2	5,56	7
		Penggantian & Perawatan Komponen Mudah		E	F2	G1	4	11,11	5	
				Sumber Energi Mudah Diperoleh	F	F1	7	19,44	2	
					G	6	16,67	3		
		Adanya Alat Pengaman		36	100	--				

Tabel 9. Fungsi dan tujuan dari fungsi rangka dudukan mesin pellet biomassa terintegrasi

No	Fungsi Turunan	Fungsi tujuan	Kode Fungsi
1	Memudahkan pelletakkan mesin	Memudahkan proses pengolahan pellet biomassa	A
2	Moveable	Dapat beroperasi dimana pun	B
3	Kuat dan tahan lama	Memperlama umur pakai	C
4	Roda besar	Mampu menahan beban dan melewati lahan yang sulit	D
5	Dapat ditarik kendaraan bermotor	Menjadikan mesin awet dan tahan lama	E
6	Material tebal dan keras	Mampu menahan beban kerja dan tidak mudah rusak	F
7	Material tersedia di pasaran	Memudahkan perawatan dan penggantian komponen	G
8	Adjustable	Memudahkan operator dalam mengoperasional alat/mesin	H

Tabel 10. Mudge diagram fungsi rangka dudukan mesin pellet biomassa terintegrasi

Fungsi Pencetakan Pellet Biomassa								Total	%	Rank	
A	B2	A2	D2	E3	F2	G1	A3	5	10,20	6	
Memudahkan Pelletakkan Mesin	B	B2	B1	B1	B2	B2	B2	10	20,41	1	
	Moveable	Kuat dan Tahan Lama	C	C1	C2	F2	C2	C1	6	12,24	4
			Roda Besar	D	E2	F1	G1	D3	5	10,20	5
		Dapat Ditarik Kendaraan Bermotor		E	E3	G1	E3	9	18,37	2	
				Material Tebal dan Keras	F	F2	H1	7	14,29	3	
		Material Tersedia Di Pasaran	G		H3	3	6,12	8			
			Adjustable	H	4	8,16	7				
										49	100

Diagram FAST secara spesifik fungsi atau komponen utama merupakan proses tambahan yang dibutuhkan untuk mendapatkan visualisasi lebih baik terhadap fungsi-fungsi detail yang harus dipenuhi sebelum mendapatkan fungsi utama. Fungsi-fungsi detail tersebut menjadi kunci utama untuk mendapatkan fungsi-fungsi utama yang inovatif untuk kemudian diterapkan

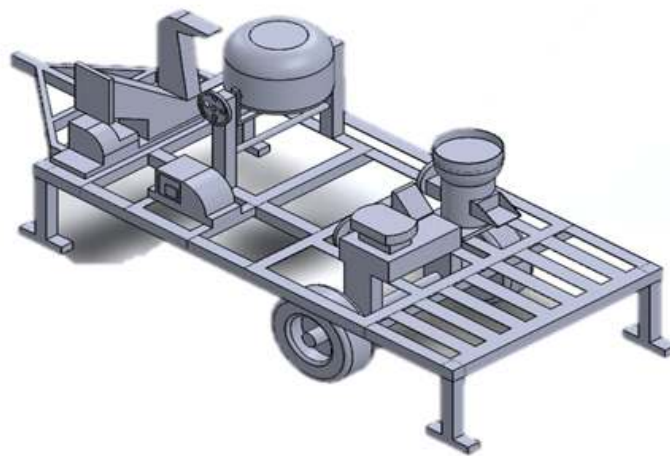
pada rancang bangun mesin pellet biomassa terintegrasi, seperti pada penentuan jenis mata pisau potong, kecepatan mata pisau, panjang atau dimensi mesin, alat pelindung *hooper* dan sebagainya. Garis tebal yang menghubungkan garis fungsi di tengah menandakan fungsi yang ada tersebut merupakan fungsi utama (*basic function*) yang tidak boleh dihilangkan.

Rancangan Mesin Pellet Biomassa (*Biopellet*) Terintegrasi

Setelah fungsi-fungsi penting yang harus ada pada mesin pellet biomassa terintegrasi ditentukan pada diagram FAST, maka fungsi teknis dan komponen yang ada dijabarkan kembali pada *mudge diagram*, yang berfungsi untuk menentukan urutan fungsi-fungsi pada mesin berdasarkan prioritas kepentingannya. Sehingga dengan demikian, beberapa fungsi komponen dalam *mudge diagram* yang dinilai tidak terlalu signifikan memberikan nilai tambah terhadap inovasi mesin dapat dieliminir untuk dijadikan alternatif rancang bangun.

Sebagai contoh, fungsi yang dieliminir pada fungsi pemotongan limbah batang sawit yakni mata potong mudah diganti. Fungsi ini bukan termasuk skala prioritas karena fungsi yang diutamakan adalah hasil potongan yang sesuai dengan ukuran yang diharapkan. Sehingga prioritas fungsi yang harus ada pada mata potong adalah arah mata potong pisau yang vertikal dan horisontal.

Gambar 2 dan 3 berikut ini adalah rancangan dan hasil mesin pellet biomassa terintegrasi yang dibuat berdasarkan fungsi-fungsi prioritas dari diagram FAST dan *mudge diagram*.



Gambar 2. Desain mesin pellet biomassa terintegrasi

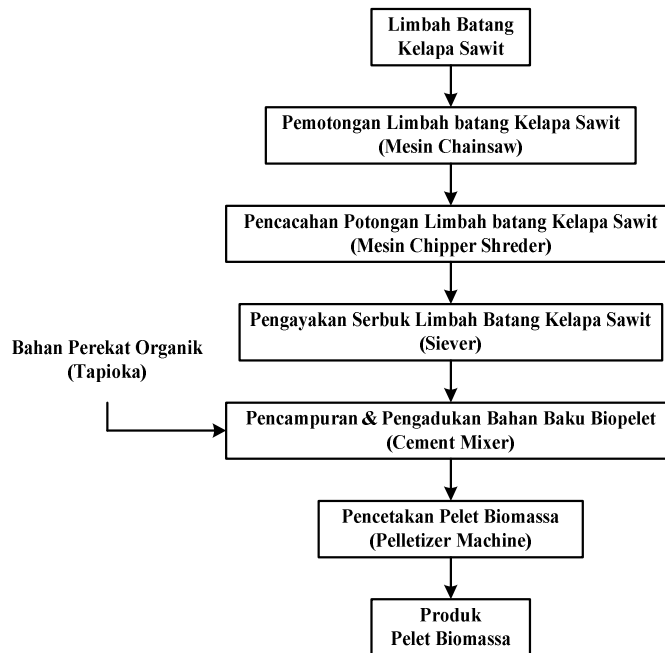


Gambar 3. Desain mesin pellet biomassa terintegrasi

Proses penerapan mesin pellet biomassa terintegrasi

Tahapan proses pengolahan limbah batang kelapa sawit menjadi pellet biomassa dengan

menggunakan rangkaian mesin pellet biomassa terintegrasi dapat dilihat seperti Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan pengolahan pellet biomassa

Proses pembuatan pellet biomassa pada mesin pellet biomassa terintegrasi di mulai dengan proses pemotongan limbah batang kelapa sawit yang memiliki panjang 12–15 m dan diameter 30 – 50 cm dipotong-potong dengan menggunakan mesin *chainsaw* menjadi ukuran panjang 100 cm. Selanjutnya potongan limbah batang kelapa sawit yang berukuran panjang 100 cm tersebut dibelah-belah lagi dengan menggunakan mesin *chainsaw* menjadi berukuran panjang 100 cm dan diameter ± 10 cm, agar limbah batang sawit dapat diproses ke tahap selanjutnya pada mesin *chipper shreder*.

Selanjutnya limbah batang kelapa sawit yang sudah dipotong-potong menjadi berukuran lebih kecil diproses untuk dicacah menjadi serbuk pada mesin *chipper shreder*. Serbuk hasil cacahan limbah batang kelapa sawit pada mesin *chipper shreder* masih memiliki ukuran yang tidak seragam, sehingga perlu dilakukan penyaringan dengan menggunakan alat pengayak (*siever*) agar diperoleh ukuran serbuk limbah batang kelapa sawit yang seragam sesuai ukuran serbuk yang diinginkan.

Proses penyaringan serbuk limbah batang kelapa sawit hasil dari proses pencacahan potongan batang kelapa sawit pada mesin *chipper shreder* dilakukan dengan alat pengayak dengan ukuran saringan *mesh 10, mesh 20, mesh 30, mesh*

40 dan *mesh 50*. Sehingga diperoleh serbuk limbah batang kelapa sawit yang seragam dan sesuai dengan ukuran serbuk yang ditetapkan pada penelitian ini untuk digunakan dalam uji coba proses menghasilkan produk pellet biomassa.

Serbuk limbah batang kelapa sawit yang telah disaring dengan alat pengayak (*siever*) sehingga diperoleh ukuran serbuk yang seragam, selanjutnya dicampur dengan bahan perekat organik berupa tepung tapioka sebanyak 5% dari total bahan baku serbuk limbah batang kelapa sawit tersebut. Proses pencampuran dan pengadukan antara bahan serbuk limbah batang kelapa sawit dengan bahan perekat organik dilakukan dengan menggunakan mesin pengaduk tipe *cement mixer*.

Hasil pencampuran serbuk limbah batang kelapa sawit dengan bahan perekat organik berupa tepung tapioka disimpan dalam suatu wadah dan dipersiapkan sebagai bahan baku untuk pengolahan pellet biomassa. Selanjutnya proses pencetakan pellet biomassa berbahan baku serbuk limbah batang kelapa sawit tersebut dilakukan dengan menggunakan mesin cetak pellet (*pelletizer machine*) tipe cetakan datar (*flat die*), dengan produk pellet biomassa yang dihasilkan berukuran diameter 6 mm dan panjang ± 2 cm.



Gambar 5. Proses pencetakan pellet biomassa

KESIMPULAN

1. Rancangan mesin pellet biomassa yang dihasilkan secara konsep desain telah mampu memenuhi kriteria produktif berupa kemampuan dalam produksi biopellet mulai dari tahap pemotongan limbah kelapa sawit, pencacahan, pencampuran bahan baku pellet dan proses pencetakan pellet. Sifat *moveable* dalam penggunaannya dengan penerapan rangka dukungan mesin terintegrasi yang dapat membuat mesin dapat beroperasi berpindah-pindah di area perkebunan kelapa sawit dekat dengan ketersediaan bahan baku limbah batang sawit.
2. Inovasi komponen dan fungsi berdasarkan diagram FAST dapat menghasilkan fungsi-fungsi primer dan sekunder yang merupakan salah satu bagian dari value engineering untuk mendapatkan komponen terbaik yang bersifat ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

- Abelloncleanenerg, 2009. *Cofiring with biopellets: An efficient way to reduce greenhouse greenhouse gas emissions*. s.l.:s.n.
- Departemen Pertanian. 2006. Statistik Pertanian 2006. Deptan. Jakarta.
- Donomartono, 1999. *Aplikasi Value Engineering Guna Mengoptimalkan Biaya pada Tahap Perencanaan Konstruksi Gedung Dengan Struktur Balok Beton Pratekan*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Hambali, E. & Rivai, M., 2017. *The Potential of Palm Oil Waste Biomass in Indonesia in 2020 and 2030*. Bogor, International Conference on Biomass: Technology, Application and Sustainable Development.
- Herdiman, L., Liquiddanu, E. & Paramita, D., 2011. Perbaikan Rancangan Pada Desain Knee Ankle Foot Orthosis (KAFO) Dengan Pendekatan Metode Function Analysis System Technique. *JATI Undip: Jurnal Teknik Industri*, Volume Volume 6, pp. 189-198.
- Hidajat, M. & Rudianto, A., 2011. Pemanfaatan Limbah Sawit Untuk Bahan Baku Bio-Pellet Sebagai Sumber Energi Terbarukan Yang Ramah Lingkungan. *Jurnal Kehutanan Tropika Humida 4(1)*, pp. 67-79.
- Kusumaningrum, W. & Munawar, S., 2014. *Prospect of Bio-pellet as an Alternative Energy to Substitute Solid Fuel Based*. s.l., Energy Procedia.
- PFI., Pellet Fuel Institute. 2007. Pellets: Industry Specifics. <http://www.pelletheat.org/3/industry/IndustrySpecifics.html>.
- Puspitasari, H. E., Pari, D. & Gustan, 2014. *Karakteristik Biopellet Campuran Cangkang dan Pelepeh Kelapa Sawit (Elaeis guieensis Jacq)*, Bogor: IPB.
- Soelaiman, 2008. Pendekatan Value Engineering untuk Optimasi Proses Pemilihan Material. *Journal of Industrial Engineering and Management Systems*, Volume Vol 11, pp. 35-44.
- Thay Kong, G., 2010. *Peran Biomassa Bagi Energi Terbarukan*. Jakarta: Gramedia.
- Wijaya, M. & Joniarta, I., 2012. Aplikasi Rekayasa Nilai (Value Engineering) Pada Desain Tungku Briket Arang Biomassa. *Dinamika Teknik Mesin*, Volume 2 No 2(ISSN: 2088-088X), pp. 116-121.
- Windarwati, 2011. Uji Kinerja Rotary Dryer Berdasarkan Efisiensi Termal Pengeringan Serbuk Kayu Untuk Pembuatan Biopellet. *Jurnal Teknik Kimia*, Volume No. 2 April.