

ISBN 978-979-98897-4-4

MAESTRUCT 2010 PROCEEDINGS

THE 5th REGIONAL SEMINAR ON MATERIALS, ENERGY, AND STRUCTURE



MAESTRUCT 2010 PROCEEDINGS

The 5th Regional Seminar on
Materials, Energy, and Structure 2010
6 February 2010, Gedung Biro Rektor USU, Medan

Co-Organized by:
Program Magister & Doktor Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Ikatan Mahasiswa Magister Teknik Mesin
Universitas Sumatera Utara

In Cooperation with:
Impact & Fracture Research Center
Dept. of Mech. Engineering USU

International Center for Science, Technology, and Art
University of Sumatera Utara

and

Research Center for Noise/Vibration Control
And Knowledge-Based in Engineering
Dept. of Mech. Engineering USU



Co-Organized by:
Program Magister & Doktor Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara

Ikatan Mahasiswa Magister Teknik Mesin
Universitas Sumatera Utara

In Cooperation with:
Impact & Fracture Research Center
Dept. of Mech. Engineering USU

International Center for Science, Technology, and Art
University of Sumatera Utara

and

Research Center for Noise/Vibration Control
And Knowledge-Based in Engineering
Dept. of Mech. Engineering USU

Copyright © 2010, Organizing Committee the 5th Regional Seminar
on Materials, Energy, and Structure 2010 (MAESTRUCT 2010)
Printed in Indonesia, February 2010

No part of this Proceedings may be reproduced or distributed in any forms
by any means, or stored in any media or retrieval system without prior
written permission.

SEMINAR ORGANIZATION
The 5th Regional Seminar on Materials, Energy, and Structure
(MAESTRUCT 2010)

Advisory Board:

- Prof. Chairuddin P. Lubis, DTM&H, Sp. A(K), *Rector USU*
- Prof. Dr. Armansyah Ginting, M.Eng, *Dean Faculty of Engineering, USU*
- Prof. Dr. Hiroomi Homma, *Emeritus Professor, TUT, Japan*
- Dr. Eng. Hiroki Homma, *Heat & Mass Transfer Lab. Matsue National College of Technology*

Steering Committee:

- Prof. Dr. Ir. Bustami Syam, MSME, *USU*
- Prof. Dr. Ir. Samsul Rizal, M.Eng, *UNSYIAH*
- Prof. Basuki Wirjosentono, MS, Ph.D, *USU*
- Dr.-Ing. Ikhwanisyah Isranuri

Organizing Committee:

- Chairman : Ir. Siswo Pranoto
- Co-Chairman : Zulfikar, ST
- Secretary : Bobby Umroh, ST
- Program Coordinator : Muftil Badri M, ST
- Scientific & Facilities Coordinators:
 - Enzo WBS, ST
 - Yudi, ST
 - Ir. Syahrudin Noor
- Technical Assistance:
 - Ir. Berta Br. Ginting
 - Helen Riupassa, ST
 - Ir. Iswan Ansukarto
 - Mahyunis, ST

Secretariat :

- Ari Wahyu Risma Putri, A.Md
- Melani, S.Pt
- Rasidi

PROGRAM SCHEDULE

THE 5th REGIONAL SEMINAR ON MATERIAL, ENERGY AND STRUCTURE (MAESTRUCT 2010)

Saturday, February 6th, 2010

Ruang IMT-GT Biro Rektor USU 2nd Floor, and Ruang Senat Biro Rektor USU 3rd Floor, Jl. Dr. Mansyur No. 9 Medan

NO	TIME	PROGRAM	PRESENTED BY	Remarks	
1	07.30 – 08.15	Registration	The Committee		
OPENING CEREMONY					
2	08.15 – 08.45	Welcome Speech	1. The Chairman of Committee 2. Dean, Faculty of Engineering		
	08.45 – 09.00	Opening Remarks	REKTOR/ PUREK I USU		
KEYNOTE SPEECH				MODERATOR	
3	09.00 – 09.30	Understanding the effect of particle fragmentation on the surface damage of ceramic material	Prof. Hiroomi Homma	Dr.-Ing. Ikhwansyah Isranuri	
	09.30 – 10.00		Prof.Dr.Ir. Bustami Syam, MSME		
4	10.00 – 10.15	COFFEE BREAK			
5	10.15 – 10.45		Prof.Dr.Ir. Samsul Rizal, M.Eng	Ir. Syahrul Abda, M.Sc	
	10.45 – 11.15		Dr.-Ing. Ikhwansyah Isranuri	David C. L. Tobing	
	11.15 – 11.40		Dr.Ir. M. Dirhamsyah, MT		
	11.40 – 12.05		Dr.Ir. Ilmi Abdullah, M.Sc	Bagus Giri yudanto	
	12.05 – 13.05	LUNCH BREAK			
PRESENTATION SESSION					
No	TIME	Ruang IMT-GT		Ruang Senat	
		Presented	Moderator	Presented	Moderator
7	13.05 – 13.30	Indra Mawardi	Nasruddin	Syahrul Abda	Bertha Br. Ginting
	13.30 – 13.55	Tirena Bahnur Siregar		Suprpto Widodo	
8	13.55 – 14.20	Bambang Teguh	Indra Hermawan	Azwardi	Syurkarni Ali
	14.20 – 14.45	Amin Suhadi		Marukan	

No	TIME	Ruang IMT-GT		Ruang Senat	
		Presented	Moderator	Presented	Moderator
9	14.45 – 15.10	Sugiarto	Budi Harto	Sarwa	Sariyusda
	15.10 – 15.35	Parah Dina		Elfendri	
	15.35 – 16.00	Positron Bangun		Bisrul Hafiz	
10	16.00 – 16.15	COFFEE BREAK			
11	16.15 – 16.40	Haposan Situngkir	Arnold L. Gaol	Rufinus Nainggolan	M. Zukhri Lubis
	16.40 – 17.05	David C. L Tobing		Adi Setiawan	
12	17.05 – 17.30	Yohanes	M. Yani	Yuhelson	Syurkami Ali
	17.30 – 17.55	Erma Yulia		Ibnu Hajar	
13	17.55 – 18.20	Zulfikar	Indra Hermawan	Siswo Pranoto	Bertha Ginting
	18.20 – 18.45	Adi Setiawan		Muhtil Badri	

Table of Contents

Preface	i
Table of Contents	ii
1. Effect Of Particle Fragmentation On The Stress Evolution In The Beam Impacted By A Particle Using Hybrid Method. <i>Hiroomi Homma, Sutikno, and Sandro Mihradi</i>	1
2. Pembuatan Dan Analisa Struktur Kerucut Lalu Lintas Bahan <i>Polymeric Foam</i> Diperkuat Serat Tandan Kosong (<i>Empty Fruit Bunch</i>) Kelapa Sawit. <i>Bustami Syam, Syamsul Rizal, Krishna Surya Buana, Zulfikar, Siswo Pranoto, Muftil Badri</i>	8
3. Analisa Metode Elemen Hingga (Meh) Beton Mutu Tinggi Terhadap Tegangan Tarik. <i>Samsul Rizal, Taufiq Saidi, Purwandy Hasibuan</i>	18
4. Optimasi Proses Pembakaran Bahan Bakar Biomassa Pada Boiler Jenis <i>Fixed Bed</i> Di Pabrik Kelapa Sawit. <i>Dr. Ir. Ilmi Abdullah, M.Sc</i>	45
5. Developing Local Wood Journal Bearing For Traditional Fish Boat. <i>Ikhwansyah Isranuri, Hans Gudenschwager, Parulian Siagian, Esra Keliat</i>	53
6. Pengaruh Penyambungan dengan Kekangan terhadap Pemulihan Retakan dan Kekuatan Lentur Beton. <i>Sarwa</i>	62
7. Solar Energy Electric 4000va, 3x220v, 50hz dengan Sliver Cells dan Changeover Switch Berbasis Plc Festo Fc-34. <i>Suprpto Widodo, Nurman</i>	72
8. Serangan Korosi Sumuran (<i>Pitting Corrosion</i>) pada Pipa <i>Roll Bearing</i> Pipa. <i>Hadi Sunandrio dan Amin Suhadi</i>	78
9. Studi Eksperimental Deteksi Fenomena Kavitas pada Pompa Sentrifugal Menggunakan Sinyal Getaran untuk Condition Monitoring. <i>Ibnu Hajar, Ikhwansyah Isranuri, Bustami Syam, dan Tugiman</i>	84
10. Model Of Binary Cycle Power Plant Using Brine Of Geothermal Power Plant as Thermal Energy Sources. <i>Bambang Teguh P, Suyanto, MD. Trisno</i>	93
11. Pemantauan Tingkat Keadaan Getaran Bantalan Bacward Inclined Curve Centrifugal Fan Tipe 2 SPSI akibat Perubahan Tarikan Sabuk-V sebagai Pendekatan Teknik Pemeliharaan di Pabrik Kelapa Sawit. <i>David C.L. Tobing, Ikhwansyah Isranuri, Bustami Syam, M. Dirhamsyah</i>	103
12. Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Pembuatan Silinder Liner Mesin Otomotif Dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar. <i>Haposan Situngkir</i>	114

13. Analisa Struktur Kerucut Bahan Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (Simulasi Numerik)	122
<i>Muftil Badri, Bustami Syam, Samsul Rizal, Krishna Bhuana</i>	
14. Kaji Sifat Mekanis Papan Partikel Kayu Kelapa Sawit dengan Perekat Limbah <i>Thermoplastic</i> .	132
<i>Indra Mawardi, Zuhaimi, dan Munawar</i>	
15. Pengembangan Sistem Virtual Manufaktur Berbasis Web untuk Meningkatkan Desain Produk Pemesinan Silinderis.	141
<i>Yohanes</i>	
16. Potensi Tandan Kosong Sawit sebagai Bahan Baku Pembangkit Listrik yang Ramah Lingkungan.	149
<i>Adi Setiawan, Dedi Susanto, M. Natsir Amin, Bustami Syam</i>	
17. Pengembangan Strategi Pemeliharaan Berdasarkan Analisis Reability dan Availability Mesin Pabrik Kelapa Sawit PT. Perkebunan Nusantara 3.	155
<i>Yuhelson, Bustami Syam, Sukaria Sinullingga, Ikhwanasyah Isranuri</i>	
18. Erosion Resistance Improvement Of Water Wall Tube Material (Sa210a1) on Cfb Boiler Power Plant 100 Mw.	167
<i>Sugiarto, I Putu Wirasangka, Bambang Suharno, Dedi Priadi, Hadi Suwarno, Triwibowo</i>	
19. Uji Eksperimental Optimasi Perpindahan Kalor dan Penurunan Tekanan Pengaruh Jarak Sekat pada Alat Penukar Kalor Selongsong dan Tabung dengan Susunan Tabung Belah Ketupat.	173
<i>Positron Bangun</i>	
20. Pengaruh Unsur Zn terhadap Sifat Mekanik, Netronik, dan Struktur Mikro pada Paduan UZr.	188
<i>Masrukan, D.N Adnyana, Amin Suhadi</i>	
21. Pengaruh Parameter Proses Pengecoran <i>Squeeze</i> (Temperatur Tuang, Temperatur Cetakan dan Kandungan Silikon) terhadap Munculnya Cacat Pada Benda Cor Tipis Al-Si.	196
<i>Elfendri</i>	
22. Integrated Modelling for Turning Optimization In Minimum Production Cost Criterion.	204
<i>Syahrul Abda</i>	
23. The Biogasoline Production From Catalytic Conversion of Palm Oil.	211
<i>Tirena Bahnur Siregar</i>	
24. Pengolahan Tandan Buah Segar Sawit (Tbs) Menggunakan Teknologi Gelombang Mikro-Suatu Alternatif Pengganti Proses Perebusan (Digesting Process).	216
<i>Sari Farah Dina, Moch. Furqon, Elisabeth S, Alhamra</i>	
25. Optimasi Proses Pembakaran dan Perpindahan Panas pada Alat Produksi Garam Hemat Energi.	226
<i>Adi Setiawan, Faisal, Richy Rihardy, Wahyudin Saputra</i>	
26. Formulation Study on Low Alloy High Strength Gray Cast Iron.	234
<i>Pander Sitindaon</i>	
27. Analisa Kekuatan Sambungan Las SMAW menggunakan Kawat Las AWS 7016 dalam Menerima Beban Dinamis dengan Metode.	240
<i>Erma Yulia, Bustami Syam, Samsul Rizal, Adi Setiawan</i>	

28. Pembuatan dan Penyelidikan Perilaku Mekanik Material Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) akibat Beban Statik dan Impak. **Zulfikar, Bustami Syam, Samsul Rizal, Krishna Bhuana** 248
29. Desain dan Pembuatan Kerucut Lalu Lintas dari Bahan Polymeric Foam Diperkuat Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). **Siswo Pranoto, Bustami Syam, Samsul Rial, Krishna Bhuana** 253
30. Boiler Water Treatment and Boiler Inspection. **Rufinus Nainggolan, Berta br Ginting** 258
31. Peggasan Termal Biomas Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit. **Mochamad Furqon, Azwardi, Rahmadsyah** 271
32. Simulasi Komputer Distribusi Tegangan pada Helm Sepeda Motor dari Bahan Komposit GFRP BTQN 157 EX Dilapis Busa (foam) terhadap Beban Impak Kecepatan Tinggi dengan menggunakan MSC/Nastran 4.5. **Parlindungan S.Pasaribu, Bustami Syam, Samsul Rizal, dan Tugiman** 279

Preface

Prof. Dr. Ir. Bustami Syam, MSME
The Head of Postgraduate Mechanical Engineering
The 5th Regional Seminar on Materials, Energy, and Structure 2010

Distinguished guests and participants,

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh
Good Morning ladies and gentlemen !
Welcome in University of Sumatera Utara.

On behalf of the Organizing Committees, we would like to a warm welcome to all delegates and participants to the 5th Regional Seminar on Materials, Energy, and Structure (MAESTRUCT) 2010. It is a great honor for Program Studi Magister & Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik USU to host the seminar in USU.

I believe that this seminar is an important forum for the exchange of information and research results among us, who come from different educational and research institutes and different research interest. But we are one in the same room today for all of us have a same tool to achieve our goals, i.e. materials, energy, and structure. Thus, I hope that the contacts established during the seminar may bind us in one vision. Wish that we may strengthen close relationship among MAESTRUCT members, develop more joint research project, and very importantly we have a strong commitment to support the MAESTRUCT event.

In closing, I would like to thank the USU, Program Magister & Doktor Teknik Mesin Fakultas Teknik USU, Ikatan Mahasiswa Magister Teknik Mesin (IKM2TM) USU, Impact Fracture Research Center (IFRC) Department of Mechanical Engineering USU, International Center for Science, Technology, and Art (IC-STAR) USU, and Research Center for Noise/Vibration Control And Knowledge-Based in Engineering Department of Mechanical Engineering USU for supporting this seminar. I would also like to thank all contributors for your good cooperation so that we can publish the MAESTRUCT 2010 Proceedings. Thanks also to all proceedings editors, for their help in editing and reviewing the papers, and also special thanks for MAESTRUCT 2010 members for their hard work and patience.

THANK YOU!

POTENSI TANDAN KOSONG SAWIT SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBANGKIT LISTRIK YANG RAMAH LINGKUNGAN

Adi Setiawan, Dedi Susanto*, M. Natsir Amin**, Bustami Syam ***

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Malikussaleh
Jl. Tgk. Chik Ditiro No.26 Lancang Garam, Lhokseumawe
Email: adiwan75@yahoo.com

*PT. Atmindo, Engineering & Manufacturing
Jalan K.L. Yos Sudarso No.100 Medan
Email: dedi_susanto76@yahoo.co.id

**Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik
Universitas Sumatera Utara
Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155
Email: monara_natsir@yahoo.com

***Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Sumatera Utara
Kampus USU, Padang Bulan, Medan 20155
Email: bustamisyam@yahoo.com

Abstrak

Kajian ini membahas tentang teknologi pemanfaatan limbah padat hasil pengolahan CPO. Limbah padat berupa tandan kosong biasanya dibakar dalam incenerator atau dibuang ke lokasi perkebunan dengan tujuan agar limbah ini dapat membusuk sehingga menambah tingkat kesuburan tanaman atau dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik. Melalui pengkajian dan perhitungan terhadap data-data yang diperoleh dari sebuah survey, maka dapat diketahui potensi energi yang dikandung oleh tandan kosong. Teknik pemanfaatan energi yang dipilih adalah teknik direct combustion. Agar proses konversi energi dapat berlangsung secara optimal, maka tandan kosong harus diperas dan dipotong sehingga kadar airnya dapat mencapai $\leq 45\%$ dan ukurannya sekitar 25-30mm. Dengan hanya memanfaatkan 22% cangkang per ton TBS yang diolah, maka jumlah uap yang mampu dibangkitkan oleh 100% tandan kosong dari PKS 30 TBS/jam adalah 14.16 ton perjam, dimana tekanan uapnya adalah 37bar(g) dan temperatur 370°C. Dengan menyalurkan uap sebanyak 11,5kg/jam ke fully-condensing turbine, maka alternator akan mampu menghasilkan energi listrik sebesar 2.200kW.

Kata kunci : Tandan kosong sawit, biomassa, pembangkit listrik, *low heating value*, ramah lingkungan.

1. Pendahuluan

Pabrik kelapa sawit yang telah beroperasi sejak puluhan tahun yang lalu tidak dirancang untuk mengoptimalkan potensi energi yang dimiliki oleh limbah biomassa sawit, sehingga banyak limbah yang terbuang percuma. Salah satu limbah yang sangat potensial adalah tandan kosong (empty fruit bunch). Limbah padat tandan kosong biasanya dibakar dalam incenerator dan abunya yang mengandung kalium cukup tinggi dapat dipakai sebagai

sumber kalium [1]. Pembakaran tandan kosong tersebut mulai ditinggalkan untuk mengurangi dampak pencemaran lingkungan. Selain itu, tandan kosong juga dibuang ke lokasi perkebunan dengan tujuan agar limbah ini dapat membusuk dan menambah tingkat kesuburan tanaman atau dimanfaatkan sebagai bahan baku pupuk organik.

Pada tahun 2007, Indonesia pernah tercatat sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia, menggeser Malaysia ke urutan kedua. Sebanyak

85% lebih pasar dunia kelapa sawit dikuasai oleh Indonesia dan Malaysia. Menurut GAPKI (Gabungan Perusahaan Kelapa Sawit Indonesia), pada tahun 2007 Indonesia sudah menjadi produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Kelapa sawit telah menjadi komoditas andalan sebagai sumber devisa negara non migas, penciptaan lapangan kerja dan pelestarian lingkungan hidup. Berdasarkan informasi Pusat Data dan Informasi Pertanian, Departemen Pertanian luas areal kebun kelapa sawit Indonesia pada tahun 2005 adalah 5,5 juta Ha, dengan produksi CPO mencapai 13 juta ton. Dengan rasio penggunaan tenaga kerja sebesar 0,5 TK/Ha, maka jumlah tenaga kerja yang terserap mencapai 2,7 juta orang, ini belum termasuk tenaga kerja yang terserap dalam berbagai sub sistem seperti sistem penyedia sarana produksi pertanian, transportasi, pabrik pengolahan, pemasaran dan jasa pendukung lainnya.

Ekspor komoditas kelapa sawit Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Pada tahun 2005, ekspor produk sawit dalam bentuk CPO (*Crude Palm Oil*) adalah 4,5 juta ton dengan nilai US \$ 2.162 juta. Nilai ekspor ini meningkat sebesar 42,50% dibandingkan 2004 sebesar US \$ 1.517 juta. Untuk memperoleh CPO, juga PKO, memerlukan energi yang banyak. Selama ini energi untuk pengolahan tersebut disuplai dari Pembangkit listrik tenaga uap milik sendiri dengan bahan bakar cangkang dan serat sawit; tandan kosong yang jumlahnya melimpah (22% per ton TBS) saat ini belum dimanfaatkan sebagai bahan bakar *boiler*. Dengan demikian, desain pembangkit listrik dari limbah kelapa sawit yang dipakai kurang efisien ketika mereka melayani fungsi ganda untuk produksi energi listrik dan sebagai teknologi pengurangan limbah padat.

Ketersediaan bahan bakar yang berasal dari limbah padat industri minyak sawit dapat dikaji berdasarkan data resmi Kementerian Pertanian (Direktorat Jenderal Perkebunan). Di dalam statistik tahunan tidak ada data langsung mengenai limbah biomassa sawit yang tersedia. Oleh karena itu perlu dihitung dan dianalisa dengan menggunakan beberapa asumsi. Akan tetapi kajian ketersediaan limbah biomassa yang disajikan ini memberikan perhitungan yang jelas tentang ketersediaan limbah biomassa di Sumatera Utara. Kajian ini dapat diterapkan dimasa mendatang untuk mengkaji teknologi pemanfaatan sumberdaya limbah biomassa pada tahun tahun mendatang. Pada Tabel 1. Ditunjukkan produksi CPO di Sumatra Utara

Tabel 1. Produksi *Crude Palm Oil* di Sumatera Utara (ton)

No	Tahun	Crude Palm Oil (CPO)
1	2000	2.434.955
2	2001	2.467.598
3	2002	2.619.271
4	2003	2.763.862
5	2004	3.192.830
6	2005	3.322.047

Sumber: Dirjen. Perkebunan Sumut.

Pada studi ini Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS) yang direncanakan menjadi lebih efisien dengan pertimbangan desain sbb:

- Menggunakan ketiga jenis limbah sawit (cangkang, serat, dan tandan kosong sawit).
- Menjalankan PLTBS dengan sistem input bahan bakar dan output energi secara terpadu dengan PKS yang sudah berjalan.
- Menggunakan teknologi boiler dan turbin uap dengan efisiensi yang lebih baik.
- Menjalankan manajemen operasional terpadu dengan PKS yang sudah berjalan, sehingga akan lebih efisien dalam ketenagaan dan memudahkan dalam operasi dan pemeliharaan pabrik.

2. Metoda Penelitian

Pengkajian ini meliputi beberapa tahapan kegiatan sebagai berikut:

- a) Kajian Literatur dan Survey lapangan untuk mendapatkan data-data mengenai Potensi Perkebunan Sawit di Sumatera Utara.
- b) Kajian tentang komposisi limbah padat per ton TBS yang diolah.
- c) Merencanakan opsi teknologi yang sesuai untuk pemanfaatan limbah padat biomassa sawit.
- d) Menghitung dan menganalisa potensi energi yang dikandung oleh limbah padat tersebut.

Bagi industri Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa Sawit (PLTBS) ada beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan sebagai berikut :

- a) Ketersediaan/kecukupan bahan baku seperti cangkang, tandan kosong, dan serat, dalam jarak dan jumlah yang layak secara ekonomis dan teknis.
- b) Ketersediaan suplai air untuk kebutuhan untuk PKS dan stasiun pembangkit
- c) Adanya kebutuhan energi untuk keperluan perumahan karyawan, PPK Rambutan atau

dekat dengan jaringan PLN bila energi listriknya akan dijual ke pihak lain.

- d) Adanya lokasi pembuangan limbah padat sisa pembakaran dan fasilitas drainase
- e) Mampu menjamin bahwa lokasi PLTBS tidak akan mengganggu operasional PKS

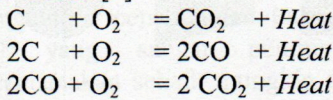
2.1. Teknik Konversi Energi

Ada tiga teknik untuk mengkonversi energi yang dikandung oleh bahan bakar biomassa [2], yaitu:

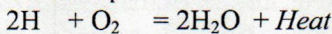
- 1) *Direct Combustion*
- 2) *Thermochemical Conversion*
- 3) *Biochemical Conversion*

Teknik yang digunakan dalam kajian ini adalah teknik pembakaran langsung, dimana limbah padat dari proses pengolahan sawit dimanfaatkan sebagai bahan bakar ketel uap. Uap yang dibangkitkan dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin dan alternator sehingga mampu menghasilkan tenaga listrik.

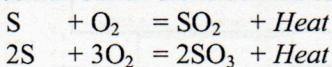
Pembakaran adalah proses oksidasi pada temperatur tinggi terhadap unsur-unsur yang mampu terbakar dari suatu jenis bahan bakar dengan melepaskan panas [2]. Ketika unsur karbon berikatan dengan oksigen, maka akan terbentuk karbon dioksida atau karbon monoksida [3]:



Ketika hidrogen berikatan dengan oksigen, maka terbentuk uap air:



Ketika sulfur berikatan dengan oksigen, maka terbentuk sulfur dioksida atau sulfur trioksida:



Untuk mengetahui komposisi unsur-unsur yang dikandung oleh suatu jenis biomassa, maka harus dilakukan *ultimate analysis*. Salah satu hasil *ultimate analysis* terhadap tandan kosong disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Komposisi Tandan Kosong Sawit

Parameter	Dry matter basis		Fresh wt.basis (mean)
	Range	Mean	
Moisture (%)	-	-	65
Ash (%)	4.8 - 8.7	6.3	2.52
Oil (%)	8.1 - 9.4	8.9	3.56
C (%)	42.0 - 43.0	42.8	17.12

N (%)	0.65 - 0.94	0.80	0.32
P ₂ O ₅ (%)	0.18 - 0.27	0.22	0.09
K ₂ O (%)	2.0 - 3.9	2.90	1.16
MgO (%)	0.25 - 0.40	0.30	0.12
CaO (%)	0.15 - 0.48	0.25	0.10
B (ppm)	9 - 11	10	4
Cu (ppm)	22 - 25	23	9
Zn (ppm)	49 - 55	51	20
Fe (ppm)	310-595	473	189
Mn (ppm)	26 - 71	48	19
C/N ratio	-	54	54

Sumber: PT. Atmindo

Untuk menghitung nilai energi yang dikandung oleh limbah biomassa sawit, maka harus dihitung terlebih dahulu nilai pembakaran terendah. Nilai pembakaran terendah dapat dihitung dengan menggunakan persamaan [4]:

$$Q_{low} = 33915C + 121423 (H - O/8) + 10468S - 2512 \times (W + 9 \times O/8) \dots\dots\dots (1)$$

Dari hasil perhitungan nilai kalori bahan bakar, maka selanjutnya dihitung panas yang dibutuhkan untuk menghasilkan per ton uap dengan menggunakan persamaan:

$$Q_{man} = ((h_{ek} - h_{m}) + \text{blowdown} \times (h_{ek} - h_{m})) \times \frac{1000}{3600} \dots\dots\dots (2)$$

Panas yang diterima uap dari bahan bakar yang terbakar adalah:

$$Q_m = \frac{Q_c \times \text{Efisiensi}}{3600} \dots\dots\dots (3)$$

Kapasitas uap yang dapat dihasilkan oleh boiler per jam [K] adalah:

$$K_{boiler} = \frac{Q_c}{Q_{man}} \dots\dots\dots (4)$$

2.2. Pengkajian Sistem Kogenerasi

Sistim kogenerasi adalah serangkaian atau pembangkitan secara bersamaan beberapa bentuk energi yang berguna (biasanya mekanikan dan termal) dalam satu sis tim yang terintegrasi. Sistim CHP terdiri dari sejumlah komponen individu – mesin penggerak (mesin panas), generator, pemanfaatan kembali panas, dan sambungan listrik – tergabung menjadi suatu integrasi [5].

Kinerja pabrik secara keseluruhan dapat dihitung dengan cara:

- Menghitung laju panas pabrik secara keseluruhan (kKal/kWh)

$$Q_{pk} = \frac{M_s \times (h_s - h_w)}{\text{Energi Keluar}} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

- Q_{pk} = Laju Panas Pabrik Keseluruhan (kKal/kWh)
- M_s = Laju Alir Massa Steam (kg/jam)
- h_s = Entalpi Steam (kKal/kg)
- h_w = Entalpi Air Umpan (kKal/kg).

- Menghitung kinerja turbin uap

$$\text{Efisiensi Turbin(\%)} = \frac{\Delta h_a}{\Delta h_i} \times 100 \dots \dots (6)$$

Dimana:

- Δh_a = Penurunan entalpi aktual yang melintasi turbin(kkal/kg)
- Δh_i = Penurunan entalpi isentropik yang melintasi turbin.

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Ketersediaan Bahan Bakar

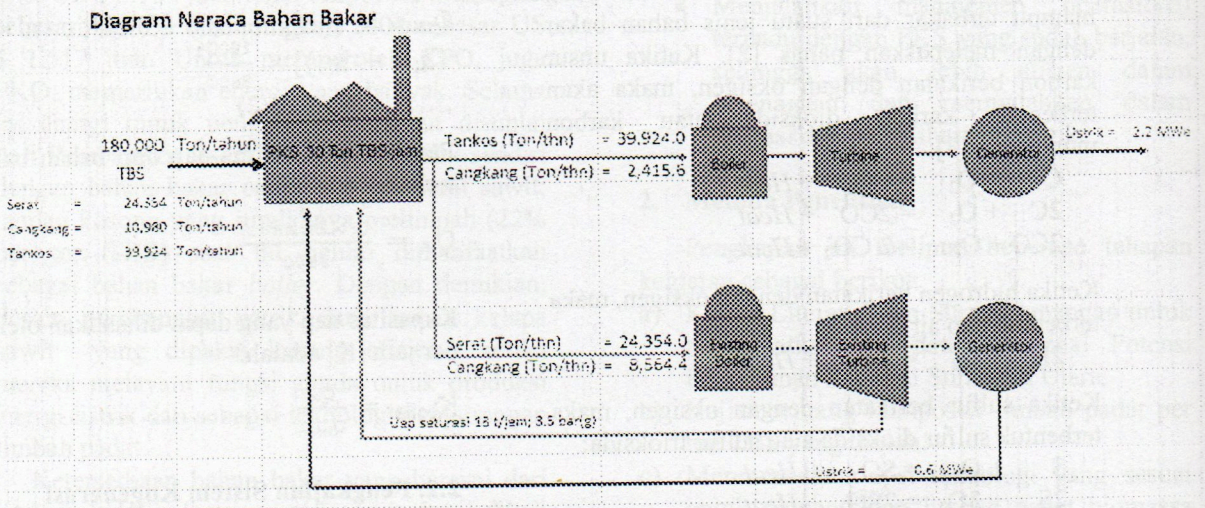
Dari hasil survey dan pengukuran terhadap sebuah pabrik kelapa sawit yang berkapasitas 30 ton FFB per jam, maka diketahui komposisi limbah padat yang dihasilkan oleh proses pengolahan minyak sawit sebagaimana ditampilkan dalam tabel 2.

Tabel 2. Komposisi Limbah Padat Sawit

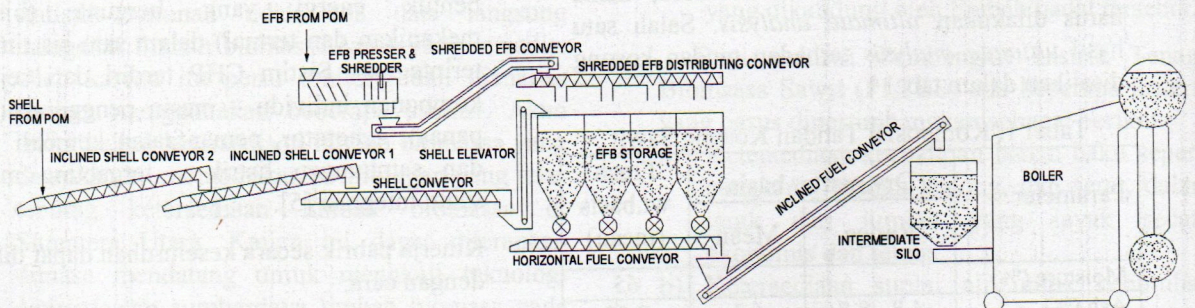
Komposisi per TBS		
Serat	=	13.53%
Cangkang	=	6.10%
Tankos	=	22.18%

Sumber: PTPN-3, PKS Rambutan

Dengan asumsi bahwa jam operasi rata-rata pabrik kelapa sawit (PKS) adalah 6000 jam pertahun dimana rata-rata jam operasi perhari adalah 20 jam, maka dapat dihitung jumlah limbah padat yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar boiler. Adapun diagram neraca bahan bakar hasil perhitungan ini ditampilkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Diagram Neraca Bahan Bakar



Gambar 2. Sistim Pananganan dan Pengendalian Bahan Bakar

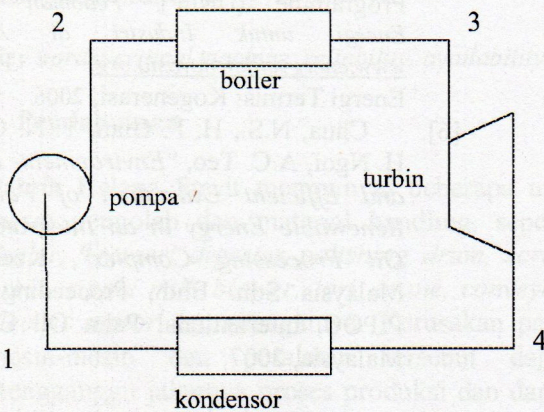
Dari total limbah padat yang dihasilkan, sebagaiannya dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan energi untuk proses pengolahan CPO (Crude Palm Oil). Sisa dari limbah biomassa ini dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik di stasiun pembangkit yang terpisah dari sistem di PKS.

Dengan asumsi bahwa 100% serat dan 78% cangkang terpakai oleh PKS, maka sisa bahan bakar yang dapat dimanfaatkan untuk PLTBS dapat dihitung dan ditabulasikan sebagaimana disajikan dalam tabel 3.

Tabel 3. Alokasi Pemanfaatan Limbah Padat Biomassa Sawit Pertahun

Jenis Limbah	Jumlah Total (ton/tahun)	Limbah dipakai oleh PKS (ton/tahun)	Sisa Limbah (ton/tahun)
Cangkang	10,980	8,564	2,416
Serat	24,354	24,354	0
Tandan Kosong	39,924	0	39,924

Pada saat PKS tidak beroperasi, maka PLTBS harus tetap beroperasi dengan memanfaatkan sisa cangkang dan tandan kosong yang belum terpakai oleh PLTBS. Dalam hal ini, pengaturan pemanfaatan bahan bakar menjadi hal yang sangat penting yang harus direncanakan sebaik mungkin agar tidak terjadi kekurangan bahan bakar. Kesesuaian antara jumlah energi listrik yang dibutuhkan pada saat PKS tidak beroperasi dan jumlah bahan bakar yang tersisa harus tercapai sehingga pemanfaatan sumber daya energi dari bahan bakar dapat terlaksana secara optimal.



Gambar 3. Siklus Rankine dan Diagram h-s

3.2. Jumlah Uap yang Dapat Dibangkitkan

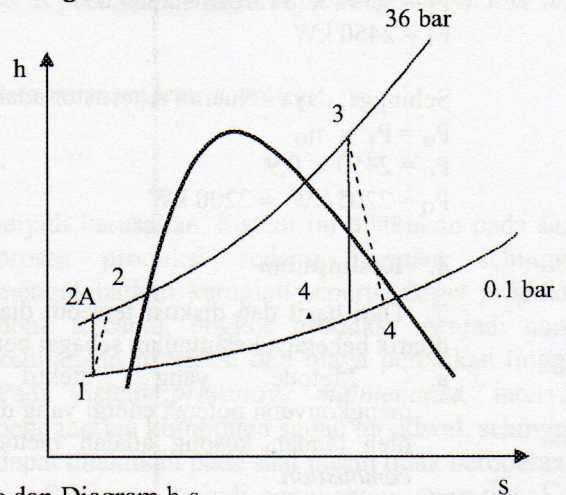
Jika PKS mengolah TBS sebesar 30.000 kg/jam, maka akan diperoleh cangkang sebanyak 1.830 kg/jam dan tandan kosong sebanyak 6.654 kg/jam. Dengan bahan bakar sebanyak ini maka dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan uap kering dengan kapasitas 14.160 kg/jam, tekanan 37 bar(g) dan temperatur 370°C. Dengan asumsi efisiensi boiler sebesar 87%, maka jumlah cangkang yang dikonsumsi oleh boiler di PLTBS adalah 622 kg/jam dan tandan kosong 4.594,6 kg/jam, dimana campurannya adalah 88% tandan kosong dan 12% cangkang. Dengan demikian, akan ada sebanyak 293 kg/jam cangkang dan 2.059,4 kg/jam tandan kosong yang masih tersisa. Sisa bahan bakar ini akan disimpan dan dimanfaatkan jika PKS tidak beroperasi (pada hari libur) sementara PLTBS akan terus beroperasi. Data pasokan bahan bakar, nilai kalori dan jumlah bahan bakar yang terpakai dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Data Pasokan Bahan Bakar PLTBS

Uraian	Jumlah (kg/jam)	LHV (kJ/kg)	Konsumsi PLTBS (kg/jam)	Sisa Bahan Bakar (kg/jam)
TBS diolah	30,000			
Cangkang	915	16,290	662	293
Tandan Kosong	6,654	9200	4.594,6	2.059,4

3.3. Energi Listrik yang Dapat Dibangkitkan

Dari total uap yang dapat dibangkitkan, maka dapat dihitung total energi listrik yang dapat dibangkitkan oleh turbin.



Dari 14.16 ton uap yang dihasilkan boiler per jam, 11,5 ton akan digunakan untuk turbin. Sisanya sebesar 2,66 ton untuk penggunaan di *deaerator*, *feedwater system* dan *ejector* dengan rincian sebagai berikut:

Deaerator	: 2,06 ton/jam
Make up water tank	: 0,2 ton/jam
Ejector	: 0.4 ton/jam

Uap yang dikirim ke turbin diasumsikan akan mengalami kerugian tekanan (pressure drop) sebesar 2 bar. Sehingga data uap yang akan sampai di inlet turbin adalah:

Kapasitas	: 11.5 ton /jam
Tekanan	: 35 barg
Temperatur	: 370 °C

Efisiensi turbin, $\eta_T = 75\% - 85\%$ (diasumsikan 75%). Efisiensi gearbox dan alternator, $\eta_G = 90\% - 95\%$ (diasumsikan 90%), maka:

mass Flow	: 11,5 ton/jam = 3,194 kg/s
p_3	: 35 barg (36 bar)
t_3	: 370 °C
h_3	: 3150,76 kJ/kg (dari table uap)
s_3	: 6,72 kJ/kg °C
p_4	: 0,1 bar
h_{4A}	: 2128 kJ/kg (dari table uap)
$s_{4A} = s_3$: 6,72 kJ/kg °C

$$\frac{(h_3 - h_4)}{\eta_T} = (h_3 - h_{4A})$$

$$h_4 = h_3 - (h_3 - h_{4A}) / \eta_T$$

$$h_4 = 3150,76 - (3150,76 - 2128) / 0,75$$

$$h_4 = 2383,69 \text{ kJ/kg}$$

Dari perhitungan daya keluaran turbin diperoleh:
 $P_T = m \times (h_3 - h_4)$
 $P_T = 3,194 \times (3150,76 - 2383,69)$
 $P_T = 2450 \text{ kW}$

Sehingga, daya keluaran Alternator adalah:

$$P_G = P_T \times \eta_G$$

$$P_G = 2450 \times 0,9$$

$$P_G = 2205 \text{ kW} \approx 2200 \text{ kW}$$

4. Kesimpulan

Dari hasil dan diskusi tersebut diatas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Metode yang efektif untuk mengkonversi potensi energi yang dikandung oleh tandan kosong adalah metode *direct combustion*.
- Tandan kosong yang telah diperas dan dipotong-potong memiliki potensi yang

cukup besar untuk membangkitkan energi listrik yang ramah lingkungan.

- Kadar air maksimal yang dikandung oleh tandan kosong adalah sebesar 45% dengan potongan sebesar 25 - 30mm.
- Dari 30 ton TBS yang diolah perjam, maka energi listrik yang mampu dibangkitkan adalah sebesar 2200 kW dengan memanfaatkan 100% tandan kosong dan 22% cangkang.

5. Penghargaan

Dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada staf Bagian Perencanaan dan Pengembangan PTPN-3, PKS Rambutan dan team PLTBS PT. Vini Nusantara Consultant atas dukungan data dan partisipasinya dalam kajian ini.

6. Daftar Pustaka

- Tobing, P.L., dkk, "Teknologi Pengolahan Kelapa Sawit dan Produk Turunannya", Bab 5, halaman 5-13, diterbitkan oleh Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS), Medan, 2003.
- Nag, P. K., "Power Plant Engineering" Second Edition, International Edition, Mc-Graw-Hill, 2002.
- Malek, Mohammad A., "Power Boiler Design, Inspection, and Repair: ASME Code Simplified", Mc-Graw-Hill Professional Engineering, 2005.
- Djosetyardjo, M. J., "Ketel Uap", Cetakan kelima, PT. Pradnya Paramita, Jakarta, 2003.
- United Nations Environment Programme (UNEP), *Pedoman Efisiensi Energi untuk Industri di Asia - www.energyefficiencyasia.org*, Peralatan Energi Termis: Kogenerasi, 2006.
- Chua, N.S., H. F. Gian, T. N. Chua, S. H. Ngoi, A.C. Teo, "Environment-Friendly and Efficient Utilization of Palm Bio-Renewable Energy in an Integrated Palm Oil Processing Complex", Keck Seng Malaysia Sdn. Bhd., Proceeding of the PIPOC, International Palm Oil Congress, Malaysia, 2007.