

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00201901112, 15 Januari 2019

Pencipta

Nama : **Budy Rahmat**
Alamat : Jalan Peta Nomor 20 Cikunten Indah RT 01/10, Kelurahan Kahuripan, Kecamatan Tawang, Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Budy Rahmat**
Alamat : Jalan Peta Nomor 20 Cikunten Indah RT 01/10, Kelurahan Kahuripan, Kecamatan Tawang, Tasikmalaya, Jawa Barat, 46115
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Laporan Penelitian**

Judul Ciptaan : **Kiln Pirolisis Untuk Konversio Limbah Kayu Menjadi Asap Cair, Ter, Dan Bioarang**

Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia : 14 Januari 2019, di Tasikmalaya

Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.

Nomor pencatatan : 000132244

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

LAPORAN PENELITIAN

**KILN PIROLISIS UNTUK KONVERSI LIMBAH KAYU
MENJADI
ASAP CAIR, TER, DAN BIOARANG**

Oleh

BUDY RAHMAT

RINGKASAN

Praktek pembakaran dan penimbunan untuk mereduksi penumpukan limbah kayu tidak selaras dengan tuntutan produksi bersih, ramah lingkungan dan keberlanjutan. Pembakaran limbah tersebut meningkatkan emisi gas CO₂ yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Limbah kayu dapat dikonversi dengan penguraian termal (pirolisis) menjadi beberapa zat yang bermanfaat, seperti : asap cair, ter, dan arang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui: (i) kuantitas limbah kayu dari limbah pengolahan kayu baik dari industri mebel maupun kerajinan; dan (ii) proses pirolisis limbah kayu terhadap perolehan asap cair, ter, dan arang. Dari penelitian yang telah dilakukan diperoleh data sebagai berikut: (1) limbah kayu yang dihasilkan pada penggergajian kayu, adalah jumlahnya 37,8%, yang terdiri dari sebetan kayu, potongan kayu dan serbuk gergaji masing-masing 18,2 %; 9,1% dan 11,4%; (2) pada level pengolahan balok kayu menjadi kelom diperoleh limbah limbah kayu sebanyak 47 %, yang terdiri dari: serbuk gergaji, tatal kayu, serbuk amplas dan serbuk bor masing-masing 3,84 %, 36,09%, 4,38% dan 2,69%; dan (3) proses pirolisis terhadap 1.000 g limbah kayu diperoleh hasil sebagai berikut: asap cair kasar (398 mL), tar (49 mL), dan arang (237,4 g).

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	2
DAFTAR ISI	3
I PENDAHULUAN	4
1.1. Latar Belakang	4
1.2. Tujuan	5
1.3. Kegunaan	5
II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Sumber dan Karakteristik Limbah Kayu	6
2.2. Konversi via Pirolisis Limbah Kayu	8
III METODE PENELITIAN	9
3.1. Bahan dan Alat Percobaan	9
3.2. Metode Percobaan	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1. Hasil Rancang-bangun Kiln Pirolisis	12
4.2. Kuantitas Limbah Kayu di Penggergajian	13
4.3. Kuantitas Limbah Kayu di Pengrajin Kelom	13
4.4. Hasil Pirolisis Limbah Kayu	14
V SIMPULAN DAN SARAN	15
5.1. Simpulan	15
5.2. Saran	15
DAFTAR PUSTAKA	16

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Limbah berasal dari pengolahan hasil pertanian dan kehutanan pada umumnya belum tertangani secara baik. Contoh yang banyak ditemui di sekitar pemukiman Penulis, limbah kayu dari industri rumahan (pengrajin) mebel hanya menumpuk di tempat pembuangan sampah dan bila tidak sempat dibakar akan terangkut oleh angkutan sampah kota dan ditimbun di tempat pembuangan sampah akhir. Menurut Purwanto (2011) limbah kayu dari industri penggergajian terdiri dari: sebetan kayu, potongan kayu dan serbuk kayu masing-masing sebesar 22, 8, dan 10% dari volume kayu batangan. Angka-angka tersebut belum termasuk volume limbah yang dihasilkan pada taraf pembentukan akhir seperti mebel, yakni serutan, serbuk dan potongan kayu.

Praktek pembakaran dan penimbunan untuk mereduksi limbah biomassa (lignoselulosa) tersebut tidak selaras dengan tuntutan produksi bersih, ramah lingkungan dan industri keberlanjutan. Pembakaran limbah lignoselulosa berdampak meningkatnya emisi gas CO₂ yang berkontribusi terhadap pemanasan global. Demikian pula, penimbunan limbah biomassa di permukaan atau dalam tanah akan terjadi proses dekomposisi anaerob yang menghasilkan gas metana (CH₄), yang secara kualitatif memiliki dampak lebih kuat terhadap pemanasan global dibanding gas CO₂ (Tiilikkala dan Tiilikkala, 2010; Prodest, 2012).

Sebenarnya dengan teknologi konversi, segala lignoselulosa segar (*virgin biomass*) dan lignoselulosa limbah (*waste biomass*) memiliki prospek dalam penyediaan bahan baku untuk memproduksi: (i) biomaterial (makanan, pakan, pupuk, serat, biosida, bahan kimia, hasil kehutanan dll.); dan (ii) bioenergi (arang, bioetanol, biogas) (Yokoyama *et al.*, 2008).



Gambar 1. Potensi limbah kayu di lingkungan industri pengolahan kayu

1.2. Tujuan

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui:

- 1) potensi kuantitas limbah kayu yang dihasilkan dari setiap volume log kayu bahan hingga dari proses pembuatan mebel dan kerajinan kelom di Kota Tasikmalaya.
- 2) kinerja alat dan hasil proses pirolisis terhadap limbah kayu terhadap perolehan produknya berupa : asap cair, tar, dan bioarang.

1.4. Kegunaan

Melimpahnya limbah kayu yang dihasilkan oleh industri pengolah kayu, maka penelitian konversi limbah kayu menjadi biomaterial dan bioenergi memiliki peran yang penting karena dapat menjawab dua permasalahan sekaligus, yaitu : (i) solusi bagi akumulasi limbah menuju proses produksi bersih yang bebas limbah (*zero waste*) ; dan (ii) memperkecil ketergantungan pada material dan energi yang berasal dari sumber yang tidak terbarukan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sumber dan Karakteristik Limbah Kayu

Indonesia merupakan penghasil limbah kayu (lignoselulosa) yang cukup melimpah, berupa biomassa baik yang berasal dari limbah pertanian, limbah perkebunan, limbah industri, maupun limbah rumah tangga, contohnya tandan kosong sawit, tongkol jagung, bagas tebu, bagas sorgum manis, dan dedak padi. Sebagian besar biomassa limbah tersebut mengandung bahan lignoselulosa. Bahan lignoselulosa mempunyai kandungan utama tiga macam polimer yang berbeda, yang dikenal dengan lignin, hemiselulosa, dan selulosa, yang saling berikatan membentuk satu kesatuan yang utuh. Besarnya kandungan masing-masing komponen bergantung pada jenis biomassa, umur, dan kondisi lingkungan tempat biomassa tersebut tumbuh dan berkembang (Octavia dkk., 2011).

Selulosa $(C_6H_{10}O_5)_n$ merupakan komponen utama lignoselulosa berupa mikrofibril-mikrofibril homopolisakarida yang terdiri atas unit-unit β -D-glukopiranososa yang terhubung melalui ikatan glikosidik (1 \rightarrow 4). Struktur selulosa secara umum berbentuk kristalin, tetapi terdapat juga bagianbagian yang berbentuk amorph. Tingkat kekristalan selulosa mempengaruhi kemampuan hidrolisis baik secara enzimatik ataupun bahan kimia lain.

Sumber karbohidrat lain yang terkandung yang dikenal juga dengan poliosa, karena terdiri atas berbagai macam gula monomer, yaitu pentosa (ksilosa, rhamnosa, dan arabinosa); heksosa (glukosa, manosa, dan galaktosa); dan asam uronik (4-O-metilglukoronik, D-glukoronik, dan D-galaktoronik). Hemiselulosa mempunyai rantai polimer yang pendek dan tak berbentuk, sehingga sebagian besar dapat larut dalam air. Oleh karena itu, hemiselulosa relatif mudah dihidrolisis oleh asam menjadi monomer-monomernya.

Struktur molekul lignin sangat berbeda bila dibandingkan polisakarida karena terdiri atas sistem aromatik yang tersusun atas unit-unit fenilpropana: unit *guaiacyl* (G) dari prekursor *trans*-koniferil alkohol, unit *syringyl* (S) dari prekursor *trans*-sinapil alkohol, dan p-hidroksifenil (H) dari prekursor *trans*-p-koumaril alkohol. Lignin dapat dinyatakan dengan rumus $C_9H_{7,16}O_{2,44}(OCH_3)_{1,36}$ per unit

fenilpropana. Lignin dapat membentuk ikatan kovalen dengan beberapa komponen hemiselulosa, seperti ikatan benzyl ester dengan grup karboksil dari asam 4-*O*-metal-D-glukoronik dalam ksilan. Ikatan eter yang lebih stabil, yang dikenal dengan nama *lignin carbohydrate complexes* (LCC) yang terbentuk antara lignin dengan grup arabinosa atau galaktosa dalam ksilan atau manan. Oleh karena itu lignin sangat sulit untuk didegradasi. Sehingga keberadaannya memberikan bentuk lignoselulosa yang kompleks dan menghambat degradasi selulosa oleh mikroba ataupun bahan kimia lainnya (Octavia dkk., 2011)..

2.2. Konversi via Pirolisis Limbah Kayu

Konversi biomassa dapat dilakukan dengan empat metode yaitu: fisika, kimia, termokimia dan biokimia (Yokoyama *et al.*, 2008; Berg, 2013). Konversi secara fisika yaitu perubahan terhadap limbah kayu tanpa mengubah susunan kimianya menjadi bentuk lain agar bermanfaat dan memudahkan penggunaannya. Metode ini meliputi : penyiapan kayu bakar, pemeletan dan pembuatan papan partikel. Sedangkan konversi lignoselulosa secara kimia meliputi hidrolisis dan likuifikasi atau solvolisis (Zang *et al.*, 2007).

Metode konversi termokimia ini mencakup: pembakaran, gasifikasi, pirolisis dan pirolisis (Berg, 2013). Sedangkan konversi biokimia atau proses ini mencakup: pengomposan, pembuatan silase, biomentasi (pembentukan biogas), fermentasi bioetanol, dll. (Yokoyama *et al.*, 2008; Rahmat *et al.*, 2014a).

Pirolisis adalah teknik proses konversi termal, yaitu bahan diperlakukan suasana iner dalam ketiadaan udara atau oksigen dengan suhu akhir sekitar 500 °C. Hasil prosesnya berupa: zat padat berupa arang, gas yang terkondensasi (cuka kayu dan ter), dan gas yang tidak terkondensasi (Burnette, 2010; Tiilikkala, 2010).

Pirolisis adalah teknologi serba-guna, karena banyak jenis bahan tanaman dapat diproses. Harga produk samping, seperti tar dan cuka kayu, yang cukup rendah memungkinkan petani menggunakan cairan pirolisis tersebut sebagai pestisida. Di masa depan, pembuatan arang kayu akan meningkatkan penyediaan cuka kayu jika dampak positif penggunaannya di bidang pertanian dapat terbukti.

Salah satu tantangan utama produksi cuka kayu adalah standar kualitas (Tiilikkala, 2011).

Potensi limbah komponen sebetan dan serbuk gergaji cukup besar, yaitu penggunaan setiap m³ log kayu masing-masing adalah 0,26 m³ dan 0,10 m³. pada Saat ini limbah ini oleh masyarakat digunakan antara lain untuk : bahan bakar pada industri dan rumah tangga, campuran obat nyamuk, media tumbuh bibit bunga, media tumbuh jamur, bahan baku produksi arang, briket arang dan arang aktif (Nurhayati dan Adelina, 2009). Potensi limbah yang relatif tinggi ini belum dimanfaatkan secara optimal, misalnya limbah sebetan yang digunakan untuk produksi arang masih dapat ditingkatkan nilai tambah produksinya dengan menghasilkan cuka kayu secara terpadu.

Penelitian pembuatan arang dan cuka kayu secara terpadu telah dilakukan oleh Komarayati *et al.* (2011) dengan menggunakan tungku terbuat dari drum ganda yang dikombinasikan dengan teknik kondensasi sehingga tidak hanya arang yang dihasilkan, tapi juga diperoleh cairan destilat yang biasa disebut cuka kayu atau asap cair. Bahan yang digunakan untuk membuat arang dan cuka kayu adalah limbah industri pengolahan kayu. Dari hasil penelitian itu diketahui bahwa, rendemen arang berkisar 9,90 hingga 21,18% dan rendemen cuka kayu 4,95 hingga 7,35%.

III. METODE PENELITIAN

3.1. Bahan dan Alat Percobaan

Bahan yang dipersiapkan untuk percobaan ini adalah : (i) limbah kayu sebagai sumber lignoselulosa yang diambil dari perusahaan penggergajian kayu, pengrajin kelom yang telah ditentukan sebagai sampel; (ii) bahan penunjang : akuades, alkohol, air bersih, kantung plastik 20 cm x 30 cm, dan (iii) alat tulis umum.

Alat yang diperlukan dalam percobaan adalah: (i) satu set Kiln pirolisis dan kondensasi kapasitas 0,5 kg bahan; (ii) alat penunjang , seperti: ember 10 L, dan corong; dan (iii) peralatan laboratorium seperti: pH-meter lapangan, termometer tangan, timbangan analitis, timbangan teknis, *stopwatch* dan gelas ukur, pipet ukur, gelas piala, sarung tangan, dan jas laboratorium.

3.2. Metode Percobaan

3.2.1. Rancang-Bangun Kiln Pirolisis

3.2.1.1. Rancangan Fungsional

Komponen fungsional dari satu set kiln pirolisis terdiri dari beberapa bagian adalah : bejana atau tangki kiln, pemanas kiln, tangki pengendap ter dan biooil, kondensator asap cair, dan penampung ter dan asap cair.

1) Tangki kiln

Tangki kiln sebagai komponen utama pelaksanaan pirolisis berfungsi melaksanakan proses penguraian secara termal sehingga dihasilkan asap cair, ter, bioarang, dan biooil.

2) Pemanas

Pemanas merupakan sumber energi dari luar agar proses reaksi penguraian secara termal (pirolisis) terhadap lignoselulose biomassa dari limbah kayu. Agar proses ini dapat berjalan, maka suhu dalam kiln dijaga pada kisaran 300 hingga 400 °C.

3) Tangki dekanter ter dan biooil

Tangki dekanter yang terletak di tengah-tengah pada jalur pipa gas yang keluar dari kiln menuju ke kondensor. Tangki ini berfungsi melaksanakan proses pemisahan fraksi berat, yaitu ter dan biooil sehingga dapat dikeluarkan langsung melalui kran di dasar tangki ini.

4) Kondensor

Komponen kondensor ini berfungsi untuk mengubah fase gas (asap), yang dihasilkan oleh proses pirolisis, menjadi fase cair sehingga keluar sebagai asap cair kasar. Kondensor ini dilengkapi dengan jaket tabung berpendingin air mengalir agar terlaksanan proses kondensasi asap yang intensif dan optimal.

3.2.1.2. Rancangan Struktural

Analisis rancangan kiln pirolisis dibuat berskala kapasitas proses 500 g bahan limbah kayu. Rancangan struktural kiln pirolisis terdiri dari: (1) bejana stainless steel berukuran diameter 23 cm x tinggi 32 cm sebagai tangki kiln ruang pirolisis; (2) kompor LPG sebagai pemanas proses; (3) pendukung-tigakaki dari batang besi diameter 10 mm; (4) silinder plat besi ukuran diameter 29 cm x tinggi 48 cm sebagai isolator panas tangki kiln; (5) tiga buah cerobong asap pemanas, masing-masing berukuran diameter 3 cm x tinggi 16 cm; (6) termometer payung kisaran suhu 0-500 °C; dan (7) pipa tembaga diameter 10 mm sebagai penyalur hasil pirolisis menuju tabung dekanter dan kondensor.

3.2.3. Pelaksanaan Percobaan

3.2.3.1. Pengamatan kuantitas limbah kayu di penggergajian

Pengukuran kuantitas limbah kayu diambil secara acak empat unit penggergajian kayu untuk membentuk balok bahan kelom. Dari setiap unit penggergajian kayu dicatat variabel : (1) kuantitas gelondongan kayu yang diolah; (2) kuantitas semua komponen limbah kayu, meliputi : sebetan kayu, potongan kayu, dan serbuk gergaji.

3.2.3.2. Pengamatan kuantitas limbah kayu di pengrajin kelom

Pengamatan kuantitas limbah kayu diambil dari empat pengrajin kelom secara acak. Dari setiap pengrajin kelom dicatat variabel : (1) kuantitas balok kayu yang diolah; (2) kuantitas semua komponen limbah kayu, meliputi : serbuk gergaji, tatal, serbuk bor, dan serbuk amplas.

3.2.3.3. Pengamatan kuantitas hasil pirolisis limbah kayu

Setiap batch proses pirolisis mengolah 500 g limbah kayu sengong dari pengrajin kelom. Pengamatan proses ini adalah setiap periode 5 menit dan variabel hasil yang diamati pada percobaan ini adalah :

1) Volume asap cair

Volume asap cair kasar ini diukur selama sampai akhir proses hingga tidak ada tetesan yang keluar lagi dari pipa outlet kondensor.

2) Bobot ter

Bobot ter ialah banyak tar yang diperoleh selama proses pirolisis yang keluar dari tabung pemisah fraksi berat dan ditambah ter hasil pemisahan pada proses dekantasi selama 2 minggu.

3) Bobot arang

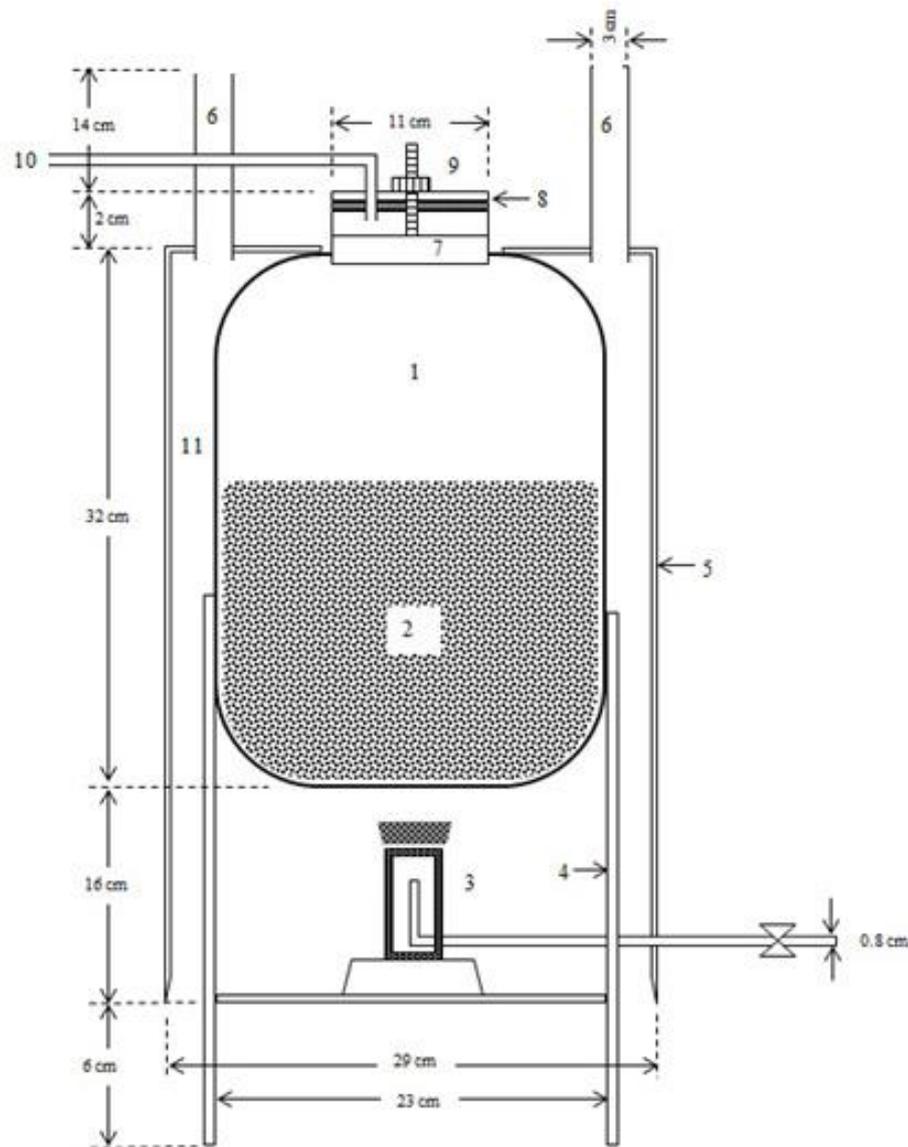
Bobot arang diukur setelah proses selesai dan suhu kiln telah dingin, namun tidak dibiarkan lebih dari 10 menit di udara terbuka untuk mencegah penyerapan uap air.

4) Volume biooil

Volume biooil ialah banyak biooil yang diperoleh selama proses yang mengambang di permukaan asap cair; dan hasil pemisahan pada proses dekantasi selama 2 minggu.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Rancang-Bangun Kiln Pirolisis



Gambar 2. Kiln pirolisis limbah kayu

Keterangan: (1) ruang pirolisis; (2) limbah kayu/bahan baku; (3) kompor LPG; (4) kakitiga pendukung; (5) isolator panas; (6) cerobong asap; (7) lubang masuk; (8) tutup kedap; (9) baut dan mur; (10) pipa gas terhubung ke kondensor; (11) ruang isolasi.

4.2. Kuantitas Limbah Kayu di Penggergajian

Table 1. Proporsi limbah kayu pada proses penggergajian batang kayu menjadi balok bahan kelom

Sampel Pergajian	Batang kayu (kg)	Limbah kayu (kg)			
		Sebetan Kayu	Potongan kayu	Serbuk gergaji	Total (%)
1	578	112	49,5	67	
2	706	107,8	57	65,6	
3	677	115	55	70,1	
4	447	103,5	57,6	72	
Rata-rata (kg)	602	109,564	54,782	68,628	
	Persentase (%)	18,2	9,1	11,4	38,7

Kuantitas limbah yang dihasilkan pada level penggergajian kayu mencapai 38,7%. Suatu tingkat volume yang besar bila diperhitungkan dengan volume produksi kayu nasional sebesar 4 Juta m³ (BPS, 2011). Porsi terbesar di sebetan kayu, yaitu bagian kayu yang terbuang dari bagian luar gelondongan kayu waktu membentuk balok; kemudian disusul oleh serbuk gergaji, dan potongan kayu. Volume ini akan bertambah besar bila digunakan gergaji manual dan penarikan garis yang tidak akurat.

4.3. Kuantitas Limbah Kayu di Pengrajin Kelom

Table 2. Proporsi limbah kayu pada proses pengolahan balok kayu menjadi kelom

Sampel Industri	Balok Bahan (kg)	Limbah kayu (kg)				Total (%)
		Serbuk Gergaji	Total Kayu	Serbuk Amplas	Serbuk Bor	
1	70	4,3	13,2	5,75	0,8	
2	27,5	0,5	14,9	0,3	1,35	
3	25	0,45	12,4	0,2	0,9	
4	26	0,45	13,1	0,25	0,95	
Rata-rata	37,125	1,425	13,4	1,625	1	
	Persentase (%)	3,84	36,09	4,38	2,69	47

Jumlah limbah kelom tergantung dari teknik pemotongan kelom (pembuatan pola) dan jenis kelom (berdasarkan ketinggian, 3 hingga 15 cm). Jenis kayu yang digunakanpun diduga akan mempengaruhi volume limbahnya, adapun pada pengrajin yang diamati seluruhnya menggunakan kayu sengon sebagai bahan dasarnya. Satu gelondong kayu dipecah menjadi 2 hingga 3 balok kelom, yang tergantung pada diameter gelondongnya.

4.4. Hasil Pirolisis Limbah Kayu

Perolehan setiap komponen produk pirolisis dari bahan 1.000 g limbah kayu sengon yang diproses. Pengamatan hasil yang diperoleh pada setiap periode 5 menit dan hasilnya seperti tersaji pada Tabel 3.

Table 3. Komposisi hasil pirolisis limbah kayu sengon

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Asap cair (mL)	Ter (mL)
0	25	0	
5	245	33	
10	300	98	
15	345	70	
20	380	100	
25	375	63	44
30	375	30	
35	370	4	
40	370	0	
45	370	0	5
Jumlah		398	49
		Arang = 237,4 gram	

Dari Tabel 3 terlihat bahwa, suhu proses pirolisis tercapai mulai menit ke-10. Sedangkan asap cair diperoleh sejak menit ke-5, namun masih berupa pelepasan uap air. Sedangkan puncak hasil pada menit ke-20. Setelah itu hasil terus menurun dan mencapai 0 pada menit ke-40.

V. SIMPULAN DAN SARAN

5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

- 1) Kuantitas limbah kayu yang dihasilkan sebagai limbah pada level penggergajian kayu, yaitu dari kayu glondongan menjadi balok kayu bahan kelom, adalah jumlahnya 37,8%, yang terdiri dari sebetan kayu, potongan kayu dan serbuk gergaji masing-masing 18,2 %; 9,1% dan 11,4%.
- 2) Pada level pengolahan balok kayu menjadi kelom diperoleh limbah limbah kayu sebanyak adalah 47 %, yang terdiri dari serbuk gergaji, tatal kayu, serbuk amplas dan serbuk bor masing-masing 3,84 %, 36,09%, 4,38% dan 2,69%.
- 3) Proses pirolisis 1.000 g limbah kayu sengon dari proses produksi kelom diperoleh komposisi hasil sebagai berikut: asap cair kasar (398 mL), ter (49 mL) dan arang (237,4 g).

DAFTAR PUSTAKA

- Berg, H.O., 2013, Comparison of Conversion Pathways for Lignocellulosic Biomass to Biofuel in Mid-Norway. *Master Thesis of Norwegian University of Science and Technology*. 102 pp.
- Gomez, K. A. and Gomez, A. A.. 1984. *Statistical Procedures for Agricultural Research*. John Wiley & Sons, Inc. Terjemahan E. Syamsudin, Justika. B. dan Hakim Nasution. UI Press, Jakarta.
- Kementerian Pertanian RI, 2014, Kebijakan Pembangunan Pertanian dan Pengembangan Kawasan. Diakses 12 Desember 2014, Tersedia di <http://www.pertanian.go.id/eplanning/pdf>.
- Komarayati, S., Gusmailina, dan Pari, G., 2011. Produksi Cuka Kayu Hasil Modifikasi Tungku Arang Terpadu. *J. Penelitian Hasil Hutan*, (5):1-4
- Megawati, Sediawan W.B., Sulistyono, H., dan Hidayat, M. , 2009, Kinetika Reaksi Hidrolisis Ranting Kering dengan Asam Encer pada Kondisi Non Isotermis. *Jurnal Reaktor* 12 (4): 211-217.
- Octavia, S., Soerawidjaja, T.H Purwadi, P., Putrawan, I.D.G., 2011, Pengolahan Awal Lignoselulosa Menggunakan Amoniak Untuk Meningkatkan Perolehan Gula Fermentasi. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” *Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia*, Yogyakarta.
- Onuegbu, T.U., Ekpunobi, U.E., Ogbu, I.M. , Ekeoma, M.O. , and Obumelu, F.O., 2011, Comparative Studies of Ignition Time and Water Boiling Test of Coal and Biomass Briquettes Blend. *IJRRAS* 7(2): 153-159.
- Prodest, E., 2012, Methane gas: Its Role as Greenhouse Gas. Article on *Greenhouse Gases Professional Development Workshop*, California, April 21, 2012: 23pp.
- Purwanto, D., 2011, Pembuatan Balok dan Papan dari Limbah Industri Kayu. *Jurnal Riset Industri* 5(1):13-20.
- Rahmat, B., Setiasih, I.S., dan Kastaman, R. , 2013, Biodiesel Reactor Design with Glycerol Separation to Increase Biodiesel Production Yield. *J. Makara Seri Teknologi* 17(1): 11-16.
- Rahmat, B., Hartoyo, B., dan Sunarya, Y., 2014 a, Biogas Production from Tofu Liquid Waste on Treated Agricultural Wastes. *American Journal of Agricultural and Biological Science* 9(2): 226-231.
- Rahmat, B., Pangesti, D., Natawijaya, D., Suyadi, D., 2014 c, Generating Wood-waste Vinegar and Its Effectiveness as A Plant Growth Regulator and Insect Pest Repellent. *BioResources J.* 9(4):6350-6360.
- Sugianto, Y., 2013, Study Analisis Residu Klorpirifos dalam Minyak Sawit (*Elais guinensis*) Menggunakan Kromatografi Gas dengan Detektor

Penangkap Elektron. Diakses 22 Februari 2015. Tersedia di <http://respitary.usu.ac.id/>.

- Sun, Y. and Cheng, J. , 2002, Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83 (2002):1–11.
- Tiilikkala, K., Fagernäs, L., and Tiilikkala, J., 2010, History and Use of Wood Pyrolysis Liquids as Biocide and Plant Protection Product. *The Open Agriculture Journal*, 4 (-): 111-118.
- United Nations, 1998, Kyoto Protocol to The United Nation Framework Convention on Climate Change. Diakses 20 Maret 2015. Tersedia di <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>
- Yokoyama, S., 2008, The Asian Biomass Handbook, A Guide to The biomass Production and Utilization. *The Japan Institute of Energy*. 324 pp.