



**RANCANGAN DAN UJI UNJUK KERJA KILN METAL TIPE SINGLE DRUM
UNTUK PENGARANGAN SERBUK GERGAJIAN**

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan harma untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penuilisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penerjemahan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Oleh

FONDA MENSY SALLY

F 31.1197



2002

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**



Tuntutlah ilmu, sesungguhnya menuntut ilmu adalah pendekatan diri kepada Allah SWT dan mengajarkannya kepada orang yang tidak mengetahuinya adalah sodaqoh.

HR. Ar-rabii

Waktu adalah harta yang sangat berharga, jadi
gunakanlah waktu hidupmu sebelum matimu
waktu sehatmu sebelum sakitmu
waktu luangmu sebelum sempitmu
waktu kayamu sebelum miskinmu

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tulisan ini kupersembahkan untuk yang
tersayang...! NEG.....

Bapak, Ibu, Istriku dan Haykal, Mas Sunu
dan mbak, Mas Arief, Mas Budi dan
mbak, Mas Tia dan mbak, Pungkas serta
keponakanku Ammar, Hilmi dan Andika.



**RANCANGAN DAN UJI UNJUK KERJA KILN METAL TIPE SINGLE DRUM
UNTUK PENGARANGAN SERBUK GERGAJIAN**

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada Jurusan Teknik Pertanian,

Fakultas Teknologi Pertanian,

Institut Pertanian Bogor

Oleh

FONDA MENSY SALLY

F 31.1197

2002

**JURUSAN TEKNIK PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR**

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisasi kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



**INSTITUT PERTANIAN BOGOR
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN**

**RANCANGAN DAN UJI UNJUK KERJA KILN METAL TIPE SINGLE DRUM
UNTUK PENGARANGAN SERBUK GERGAJIAN**

SKRIPSI

**Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN**

**Pada Jurusan Teknik Pertanian,
Fakultas Teknologi Pertanian,
Institut Pertanian Bogor**

Oleh

FONDA MENSY SALLY

F 31.1197

**Dilahirkan pada tanggal 22 November 1975
di Jakarta**

Tanggal Lulus : Juni 2002

Menyetujui

Bogor, 21 Juli 2002

Ir. Sri Endah Agustina, MS





Fonda Mensy Sally. F 31.1197. Rancangan dan Uji Unjuk Kerja *Kiln Metal* Tipe *Single Drum* Untuk Serbuk Gergajian. Di bawah bimbingan Sri Endah Agustina 2002.

RINGKASAN

Potensi limbah kayu dan pertanian di Indonesia cukup tinggi. Dengan melihat potensi yang ada, maka perlu dilakukan upaya pemanfaatan limbah serbuk gergajian ini menjadi suatu produk yang berguna dan lebih mudah dalam penanganan maupun pemanfaatannya. Salah satu upaya tersebut adalah, mengolah serbuk gergajian menjadi arang.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pengarangan tipe *transportable metal kiln* serta melakukan pengujian terhadap alat tersebut untuk pengarangan serbuk gergajian.

Rancangan *kiln metal* tipe *single drum* ini merupakan modifikasi dari alat pengarangan konvensional dan silinder FAO. Kiln metal terbuat dari drum bekas dengan diameter ruang pengarangan 57 cm dan tingginya 90 cm. Alat ini memiliki cerobong asap yang terbuat dari plat dengan ketebalan 2 mm, tingginya 30 cm sedangkan diameter cerobong asap 100 mm. Lubang pemasukan udara seluruhnya 20 lubang dengan diameter lubang 20 mm. Kasa penyulut api pertama terbuat dari besi bulat sebagai rangkanya dengan diameter 100 mm dan tinggi 600 mm. Pada bagian dasar ruang pengarangan terdapat sarangan dengan diameter 55 cm. Hasil pengarangan dikeluarkan melalui pintu pengeluaran arang yang berdimensi 20 x 15 cm.

Pengujian alat dilakukan 2 tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian utama. Penelitian pendahuluan dilakukan dengan mencoba berbagai cara pengujian pada 3 tingkat jumlah pengisian serbuk gergajian yaitu, 5 kilogram, 10 kilogram dan 15 kilogram. Lubang pemasukan udara yang digunakan disesuaikan dengan keberadaan permukaan tumpukan serbuk yang akan diarangkan. Dari hasil penelitian pendahuluan diperoleh bahwa pengisian 10 kilogram menghasilkan rendemen tertinggi dibandingkan kedua jumlah pengisian yang lainnya. Penelitian utama dilakukan dengan mencoba massa 10 kilogram pada berbagai kombinasi lubang pemasukan udara.

Pengarangan optimum dicapai pada pengisian serbuk 10 kilogram untuk masing-masing jenis serbuk yang digunakan (kayu sengon, kayu kamper dan campuran). Hasil yang diperoleh dari pembakaran ketiga jenis serbuk tersebut, rendemen serbuk kayu sengon mencapai 34.80% dengan jumlah lubang udara 14 lubang, lama pengarangan 3 jam 25 menit, suhu pengarangan 485.2°C (suhu rata-rata pengarangan 399.67°C). Rendemen serbuk kayu kamper mencapai 31.90% dengan jumlah lubang udara 14 buah, lama pengarangan 4 jam, suhu pengarangan 476.4°C (suhu rata-rata pengarangan 394.87°C). Rendemen serbuk kayu campuran adalah 24.10% dengan lubang pemasukan udara 14 lubang, lama pengarangan 3 jam 45 menit, suhu pengarangan 440.7°C (suhu rata-rata pengarangan 372.37°C).

Pengujian mutu arang yang dilakukan pada penelitian ini antara lain, kadar abu, kadar karbon, kadar zat terbang dan nilai kalor. Kadar air yang diperoleh dari ketiga jenis bahan menunjukkan nilai lebih dari 10 %. Hal ini terjadi karena adanya



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penerapan ilmiah, penyusunan tesis/tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

penyerapan uap air di udara selama proses penyimpanan arang. Kandungan kadar air yang tinggi pada arang menyebabkan arang agak basah sehingga sulit untuk dinyalakan. Kadar abu yang diperoleh mencapai kisaran 2 sampai dengan 6 persen. Kadar abu tertinggi terdapat pada serbuk campuran (7.38%) sedangkan terendah pada serbuk kayu sengon (3.04%). Kadar abu yang tinggi mengakibatkan nilai arang menjadi rendah, karena mengandung bahan anorganik. Dari ketiga jenis arang yang diukur kadar karbonnya, yang memiliki nilai tertinggi adalah arang serbuk gergajian kayu kamper (74.16%). Sedangkan kadar kabon terendah terdapat pada arang serbuk gergajian kayu campuran (51.8%). Kadar zat terbang yang diperoleh mencapai kisaran 12 – 21 %.

Hasil analisa nilai kalor arang serbuk gergajian kayu sengon, kayu kamper dan campuran pada perlakuan 14 lubang pemasukan udara masing – masing adalah 7237.44 kal/gr pada kadar air arang 17.44 %, 7016.65 kal/gr pada kadar air arang 17.57%, dan 6873.95 kal/gr pada kadar air arang 17.33%. Dari ketiga nilai kalor di atas hanya dua nilai yang memenuhi syarat kualitas Departemen Perdagangan (\geq 7000 kal/gr) yaitu arang serbuk kayu sengon dan kamper, sedangkan nilai kalor arang serbuk kayu campuran lebih kecil bila dibandingkan keduanya. Hal ini disebabkan ketidakseragaman jenis serbuk yang digunakan untuk pengarangan.

Mutu arang terbaik dicapai pada hasil pengarangan serbuk gergajian kayu sengon dengan suhu pengarangan 485.2°C dan rendemen arang 34.8 %.



Bogor, Juli 2002

Penulis

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan ke hadapan Allah SWT, karena hanya dengan rahmatNyalah maka skripsi penelitian dengan judul ‘ Rancangan dan Uji Unjuk Kerja Kiln Metal Tipe Single Drum Untuk Pengarangan Serbuk Gergaji’..

Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Ir. Sri Endah Agustina, MS sebagai dosen pembimbing yang telah memberi petunjuk dan bimbingan sampai terselesaikannya skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir Edy Hartulistiyo, MSc dan Ir. Mad Yamin, MT sebagai dosen penguji.
3. Rekan – rekan ZOOM ACCELERATOR, Naim, Eloy, Scooterist AVC, dul, Ridho, Denny dan rekan lain yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Akhirnya kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan tulisan selanjutnya.





Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
I. PENDAHULUAN.....	1
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. TUJUAN PENELITIAN.....	2
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
A. SERBUK GERGAJIAN.....	3
B. ARANG.....	4
1. Bahan Bakar Arang.....	4
2. Kualitas Arang.....	6
C. PENGARANGAN.....	7
D. ALAT PENGARANGAN.....	8
III. RANCANGAN KILN METAL.....	15
A. PENDEKATAN RANCANGAN.....	15
B. RANCANGAN FUNGSIONAL DAN STRUKTURAL.....	16
1. Ruang Pengarangan.....	16
2. Sarangan.....	17
3. Lubang Pemasukan udara.....	17
4. Cerobong Asap.....	18



5. Kasa Penyulut Api Pertama.....	19
6. Pintu Pengeluaran.....	19
IV. METODOLOGI PENGUJIAN.....	20
A. TEMPAT DAN WAKTU.....	20
B. PARAMETER UNJUK KERJA ALAT.....	20
C. BAHAN DAN ALAT.....	23
D. METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA.....	23
1. Penelitian Pendahuluan.....	23
2. Penelitian Utama.....	24
E. PROSEDUR PENGUJIAN.....	25
1. Persiapan Bahan.....	25
2. Persiapan Kiln dan Pemasukan Bahan Baku.....	25
3. Pengarangan.....	25
4. Pembongkaran.....	25
5. Pengujian Mutu Arang.....	26
V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	27
A. KONSTRUKSI ALAT.....	27
B. UNJUK KERJA ALAT.....	28
1. Kapasitas Alat.....	28
2. Rendemen Arang.....	32
3. Suhu Pengarangan.....	33
4. Waktu Pengarangan.....	35
C. ANALISA MUTU HASIL ARANG.....	38
VI. KESIMPULAN DAN SARAN.....	41

A. KESIMPULAN.....	41
B. SARAN.....	42
DAFTAR PUSTAKA.....	44
LAMPIRAN.....	46

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisah karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Perbandingan nilai kalor beberapa jenis kayu dan limbah pertanian dengan hasil pengarangannya.....	5
Tabel 2.2. Nilai kalor beberapa bahan bakar.....	6
Tabel 2.3. Kualitas arang untuk keperluan industri.....	7
Tabel 2.4. Janis arang, kadar karbon, <i>volatile matter</i> pada suhu maksimal pengarangan.....	7
Tabel 2.5. Hasil pengujian alat pengarangan pada percobaan Isriyanto dan alat model dasarnya.....	14
Tabel 4.1. Perlakuan penelitian pendahuluan.....	24
Tabel 4.2. Perlakuan penelitian utama.....	25
Tabel 5.1. Rendemen arang dari beberapa kapasitas bahan baku serbuk gergajian kayu sengon dan kamper pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi.....	29
Tabel 5.2. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu sengon.....	32
Tabel 5.3. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu kamper.....	32
Tabel 5.4. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu campuran.....	32
Tabel 5.5. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu sengon.....	38
Tabel 5.6. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu kamper.....	38
Tabel 5.7. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu campuran.....	39



DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar	1. Kiln tanah konvensional.....	9
Gambar	2. <i>Transportable metal kiln</i>	10
Gambar	3. <i>Double drum kiln</i>	10
Gambar	4. Alat karbonisasi konvensional.....	11
Gambar	5. <i>Transportable metal kiln A</i>	12
Gambar	6. <i>Transportable metal kiln B</i>	13
Gambar	7. Lokasi titik pengukuran suhu (tanda X).....	21
Gambar	8. Skema sirkulaasi udara dalam ruang pengarangan untuk bahan baku berkapasitas 5 dan 10 kilogram.....	30
Gambar	9. Skema sirkulasi udara dalam ruang pengarangan untuk bahan baku berkapasitas 15	31
Gambar	10. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukkan udara dan lama pengarangan serbuk gergajian kayu sengon pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi.....	36
Gambar	11. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukkan udara dan lama pengarangan serbuk gergajian kayu kamper pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi.....	37
Gambar	12. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukkan udara dan lama pengarangan serbuk gergajian kayu campuran pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi.....	37



A. LATAR BELAKANG

Nurhayati T (1983) mengemukakan bahwa limbah industri kayu berupa sisa kupasan, sisa potongan dan serbuk gergajian sekitar $2.958.744 \text{ m}^3$ pada tahun 1978 belum dimanfaatkan. Serbuk gergajian adalah salah satu limbah hasil hutan yang perlu difikirkan cara pengolahannya. Hal ini disebabkan sifat serbuk gergajian yang tidak dapat dikonsumsi manusia, tahan terhadap pelapukan, kandungan abu yang tinggi dan mengandung karbon yang tinggi.

Indonesia sebagai salah satu negara agraris yang memiliki hutan telah berusaha memanfaatkan serbuk gergajian sehingga dapat mengurangi hasil limbah hutan secara tradisional. Para pengrajin kayu di areal pemotongan kayu telah membakar serbuk gergajian secara langsung selanjutnya disebarluaskan pada persawahan sebagai salah satu sumber hara bagi tanah. Serbuk gergajian juga telah dimanfaatkan sebagai media penyaringan, bahan campuran untuk pakan ternak, media tumbuh bibit tanaman, perekat pembuatan papan partikel dan kompos.

Serbuk gergaji dicampur tanah *utisol* dan residu fermentasi (kompos) dapat digunakan sebagai media tumbuh bibit sengon (*Paraserianthes falcataria*). Metode yang digunakan dengan mencampur serbuk gergaji, tanah *utisol* dan kompos ke dalam *polybag* sebanyak 400 gram (Sri Komaryati, 1993).

Ridwan Achmad Pasaribu (1987) mengemukakan bahwa serbuk gergaji memiliki kandungan fraksi organik tinggi yang sangat dibutuhkan oleh tanaman sebagai salah satu sumber hara. Untuk memperolehnya serbuk gergaji dan bahan campuran lainnya (kotoran ayam, jerami dan batu kapur) harus diubah menjadi kompos melalui metode *indoors* dalam kerangka kayu.

Pada proses pembuatan lembaran *hardboard* digunakan potongan kayu yang dicampur serbuk gergaji berbentuk *pulp* melalui proses soda panas terbuka dalam tanur (Ridwan. AP, 1977).



Sudrajat R (1985) mengemukakan bahwa arang merupakan sumber energi biomassa tradisional yang mempunyai sifat lebih baik dari bentuk aslinya. Sifat – sifat yang menguntungkan apabila biomassa dijadikan arang antara lain adalah kadar air, kadar abu dan pengotoran lainnya yang rendah, aktif dalam reaksi kimia, daya absorsi yang kuat dan dapat terbakar dengan sendirinya. Penelitian Nurhayati (1983), menunjukkan bahwa biomassa yang dijadikan arang akan mengalami peningkatan nilai kalornya yaitu berkisar antara 1.33 – 2.03 kali untuk kayu dan 1.11 – 3.05 kali untuk limbah pertanian.

Melihat potensi yang ada, maka perlu dilakukan upaya pemanfaatan limbah serbuk gergajian ini untuk meningkatkan nilai ekonomi dan menambah sumber devisa bagi negara. Salah satu upayanya, menjadikan serbuk gergajian sebagai arang yang merupakan sumber energi terbarukan.

B. TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pengarangan tipe *Transportable Metal Kiln* dan melakukan pengujian alat tersebut untuk pengarangan serbuk gergajian.



A. SERBUK GERGAJIAN

Serbuk gergajian adalah salah satu limbah hasil hutan yang dihasilkan dari kegiatan pemotongan ataupun penyerutan kayu. Hasil sampingan ini memerlukan penanganan lebih lanjut agar tidak menjadi masalah bagi lingkungan atau setidaknya mengurangi pengaruh buruknya bagi lingkungan. Keadaan ini menjadi tantangan bagi negara – negara penghasil kayu untuk memanfaatkan limbah ini secara langsung maupun tidak langsung.

Selain dimanfaatkan sebagai media penyaringan, bahan campuran untuk pakan ternak, media tumbuh bibit tanaman, serbuk gergajian telah dimanfaatkan untuk bahan bakar cair dengan memanfaatkan kandungan alkohol yang terdapat dalam kayu.

Menurut Nurhayati (1982), dari hasil penelitiannya dengan menggunakan limbah kayu, kadar alkohol yang terdapat dalam kayu masih rendah dan belum dapat digolongkan sebagai bahan bakar cair. Salah satu cara untuk meningkatkan kadar alkohol kayu (Wise, 1944) adalah dengan menggunakan asam yang lebih pekat pada proses hidrolisa. Makin tinggi kepekatan asam yang digunakan maka akan semakin tinggi kadar glukosa.

Serbuk gergajian dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi karena serbuk gergajian memiliki nilai panas sekitar 2282.40 – 3386.88 kalori tiap kg serbuk (Grist. 1959 dan Houston. 1972 dalam Isriyanto 1992).

Kapasitas produksi industri penggergajian kayu dan kayu lapis pada tahun 1982 diperkirakan sekitar 11.200.000 dan 8.293.000 meter kubik. Realisasi produksi untuk industri penggergajian kayu adalah sekitar 5.016.486 meter kubik dan industri kayu lapis adalah 1.012.240 meter kubik (Anonymous, 1983).



B. ARANG

I. Bahan Bakar Arang

Abdullah et al, (1991) menyatakan Biomassa mempunyai sejumlah kandungan zat arang (karbon) yang berguna dalam proses pembakaran. Makin besar kandungan zat arang per satuan bobotnya makin baik fungsi bahan bakar tersebut sebagai bahan bakar. Energi panas dilepaskan di dalam proses pembakaran dan diukur sebagai nilai kalor.

Ditinjau dari bahan baku, potensi arang di Indonesia cukup besar walaupun secara teliti belum diadakan perhitungan. Jenis – jenis kayu yang dipergunakan sebagai bahan baku pada umumnya adalah jenis kesambi, bakau, rasamala, puspa, sonokeling, laban, tancanang, akasia, waru dan kikiyang (Abidin, 1973).

Purwanto B (1984) mengatakan bahwa bahan baku arang batangan yang terbaik adalah jenis-jenis kayu dengan berat jenis tinggi dan kayu bagian batang dengan kadar air yang lebih kecil dibanding dengan bagian yang lain.

Menurut Rachman (1978) limbah industri kayu berupa serbuk gergajian sekitar 2.958.744 meter kubik. Jumlah inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi. Sampai saat ini belum banyak usaha yang dilakukan untuk memanfaatkan limbah kayu tersebut.

Nurhayati (1983) mengatakan bahwa limbah industri penggergajian kayu berupa serbuk gergaji dan potongan kayu kecil pada tahun 1982 bila dikonversi menjadi arang atau briket arang akan menghasilkan energi tambahan sebesar 63.401 TCE (Ton Coal Equivalent)

Biomassa yang berasal dari tanaman dan limbah pertanian dapat dikonversi menjadi arang dengan nilai panas yang lebih besar dibanding bahan baku semula. Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.1

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Tabel 2.1. Perbandingan nilai kalor beberapa jenis kayu dan limbah pertanian dengan hasil pengarangannya

Jenis kayu dan limbah pertanian	Nilai kalor (kal/gram)	
	Bahan	Arang
a. Kayu		
Agathis (<i>Agathis alba Fowx</i>)	4495	5989
Jati (<i>Tectona grandis L.f.</i>)	4359	7058
Jéunjing (<i>Albasia falcataria Fosberg</i>)	4365	5964
Kaliandra (<i>Calliandra callothyrsus</i>)	4607	7516
Karet (<i>Havea brasiliensis Muel Arg</i>)	4108	6040
Lamtorogung (<i>Leucaena leucocephala lam de wit</i>)	4586	7271
Meranti merah (<i>Shorea parvifolia Dyer</i>)	4294	7212
Serbuk gergaji rasamala (<i>Altingia excelsa noronha</i> †)	4069	6954
Turi	4365	7471
a. Limbah Pertanian		
Batang singkong varietas gading (<i>Manihot utilisima</i>)	4238	7434
Batang padi varietas syntha (<i>Oryza sativa Linn</i>)	3257	4967
Tongkol jagung varietas permadi (<i>Zeamays Linn</i>)	2976	9091
Kulit singkong varietas gading (<i>Manihot Utilisima Pohl</i>)	3910	6341
Kulit kacang tanah varietas macan (<i>Arachis hypogaea L</i>)	4344	5662
Tempurung kelapa (<i>Cocos Nucifer Linn</i>)	4950	7332
Sekam padi varietas sintha (<i>Oryza sativa Linn</i>)	3217	3574

Sumber : Nurhayati T (1982)

Hartoyo (1986) dalam Nurhayati T (1986) menyatakan bahwa nilai kalor tinggi identik dengan kualitas bahan tersebut sebagai bahan bakar. Bahan bakar dengan nilai kalor di atas 4800 kal/gr termasuk baik.

Sebagai salah satu bahan bakar arang menduduki urutan ke empat nilai kalornya setelah BBM, minyak tanah dan gas alam (Wegener. 1988 dalam Isriyanto, 1992). Hal ini dapat dilihat pada tabel 2.2

Tabel 2.2. Nilai kalor beberapa bahan bakar

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kalori/gram)
Kayu kering mutlak	4 491.16
Batu bara muda	1 887.24
Batu bara	6 999.52
Arang kayu	7 047.30
Minyak bumi mentah	10 081.22
BBM	10 224.56
Gas Alam	9 755.89

Sumber : Wegener (1988) dalam Isriyanto (1992).

2. Kualitas Arang

Arang yang memiliki kualitas yang baik harus dimulai dari tahap awal pembuatannya. Secara umum menurut Wardi (1969) dalam Tandiano (1974) bahwa arang yang baik memiliki ciri – ciri antara lain berwarna hitam, mengkilat pada pecahannya, tidak mengotori tangan, terbakar tanpa asap, tidak memercik dan berbau, menyala terus tanpa dikipas, tidak terlalu cepat terbakar dan berdenting seperti logam.

Menurut Hartoyo dan Nurhayati T (1986) faktor yang mempengaruhi kualitas arang kayu antara lain adalah jenis kayu dan cara pengolahannya. Kualitas tersebut umumnya ditentukan berdasarkan komposisi kimia dan sifat fisika. Kualitas arang untuk industri antara lain ditentukan oleh kadar air, kadar abu, kadar karbon, nilai kalor, berat jenis, kekerasan dan titik bakar.

Arang banyak digunakan untuk keperluan industri, diantaranya pada industri semen, peleburan timah dan lain - lain Hal ini seperti disajikan pada tabel 2.3.



Tabel 2.3. Kualitas arang untuk berbagai keperluan industri

Jenis Industri	Kadar air (%)	Kadar abu (%)	Volatile (%)	Kadar C (%)
Semen	< 4	4	20	-
Cellophane	-	3	-	80
Metalurgi	-	2 – 3	15	> 80
Di AS	2 – 4 ↑	2 – 4	18 – 23	74 – 81
Plbr. Timah	-	4	10	70
Arang aktif	3 - 10	1 – 2	15 – 20	70 - 80
Arang (FAO)	≤ 10	3 – 4	20 – 25	75 - 80

Sumber : Beglinger et.al, 1957 dalam Isriyanto, 1992

Jenis arang dengan suhu pengarangan dan kadar karbon serta zat terbang dapat dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4. Jenis arang, kadar karbon, *Volatile matter* pada suhu maksimal pengarangan

Suhu maksimum pengarangan (°C)	Jenis Arang ↑	volatile Matter (%)	Kadar Karbon (%)
300	Mentah	40 – 45	45 – 50
400	Hitam	20 – 40	50 – 70
500 – 700	Hitam	10 – 30	60 – 80
700 – 1000	Hitam	5 – 10	80 – 85

Sumber : Kuriyama, 1974 dalam Isriyanto, 1992

C. PENGARANGAN

Menurut Abdullah et.al, (1991), pengarangan merupakan proses pirolisa primer lambat. Pirolisa primer adalah proses pemanasan yang diberikan ke suatu bahan baku (umpam) pada suhu 150 – 300 °C dengan hasil penguraian yang utama adalah karbon (arang).



Ishikawa dalam Isriyanto 1992 mengatakan bahwa pengarangan suatu proses pemisahan zat-zat kayu dengan hawa panas, hampir tidak memakai oksigen.

Hartoyo (1978), menyatakan bahwa pembuatan arang dimulai dari suhu kamar sampai maksimal 500 – 600 °C dalam waktu 4 – 5 jam. Abidin (1973) menggolongkan pembuatan arang kayu ke dalam empat cara yaitu :

1. Karbonisasi dengan memasukan udara terhadap kayu. Pertama-tama udara dimasukan secara bebas sampai dicapai temperatur pengkarbonan, ditandai dengan api telah menyala dan keluar asap. Kemudian udara dibatasi sampai selesainya pengarangan.
2. Karbonisasi dengan sirkulasi gas api panas terhadap massa kayu, gas api panas berasal dari pembakaran sisa-sisa kayu di luar dapur pengarangan.
3. Karbonisasi dengan pemanasan di luar tempat pembakaran massa kayu. Massa kayu yang terdapat dalam tempat pengarangan yang tertutup rapat dan kuat dipanasi dari luar.
4. Karbonisasi dalam tempat tertutup sekali dimana kayu dimasukan secara teratur ke dalam tempat yang panas.

Brown (1950) dalam Purwanto (1984) mengatakan bahwa komposisi bahan baku sangat berpengaruh terhadap rendemen dan mutu arang yang dihasilkan. Komposisi bahan baku yang beragam akan menghasilkan mutu arang yang kurang baik sebagai akibat laju penguraian bahan yang tidak seragam (Abdullah et. al, 1991).

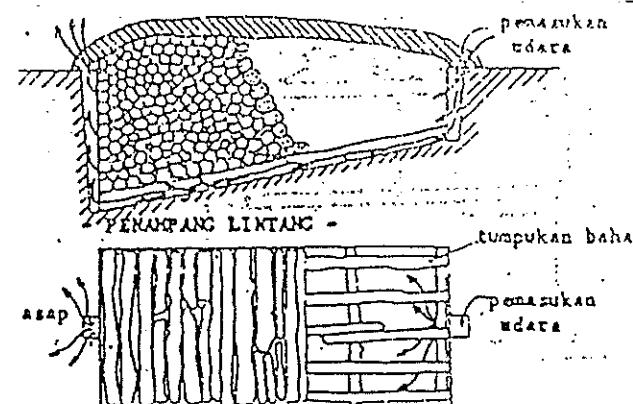
Penelitian Isriyanto (1992), mengemukakan bahwa sirkulasi udara akan lebih baik dan menghasilkan rendemen yang tinggi apabila sirkulasi udara dari bagian atas ke bagian bawah (menuju cerobong pengeluaran) dibantu udara masuk dari lubang pemasukan udara yang berada di atas permukaan tumpukan bahan yang akan diarangkan.

D. ALAT PENGARANGAN

Secara umum ada dua tipe alat pengarangan berdasarkan cara pemberian energi panas. Kedua tipe tersebut adalah *kiln* dan *retort*. Pada tipe *kiln* energi

panas diperoleh dari pembakaran sebagian bahan baku, sedangkan tipe *retort* energi panas diberikan dari luar sistem.

Beberapa macam kiln antara lain adalah kiln tanah, kiln bata dan kiln metal. Contoh kiln tanah seperti disajikan pada Gambar 1, sedangkan beberapa contoh kiln metal ditunjukkan pada Gambar 2, 3, 4 dan 5, 6, yang merupakan penelitian Isriyanto dengan hasil pengarangan yang diperolehnya.



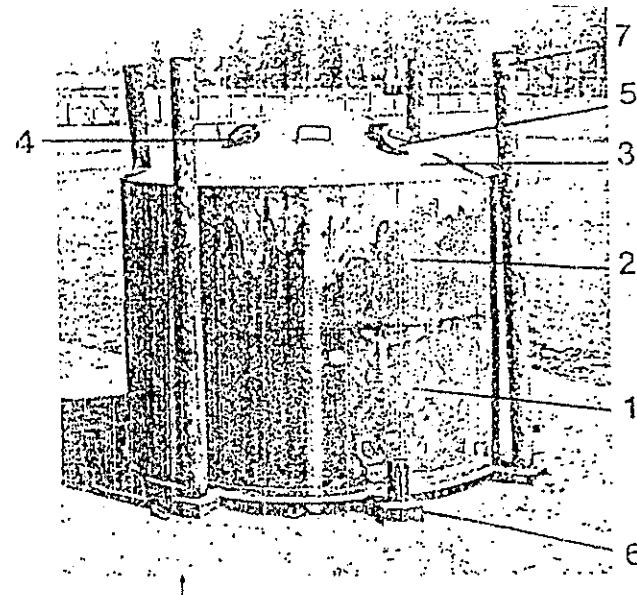
Gambar 1. Kiln tanah konvensional

Kiln silinder (Hartoyo, 1983) ini berkapasitas 500 – 1000 kg serbuk gergaji dengan diameter 2.30 m dan tinggi badan kiln 0.9 m. Jumlah cerobong asap 2 buah dengan diameter 12.5 cm dan tinggi 2.30 m. Lubang api 6 buah dengan ukuran 15 x 15 cm letaknya di dalam tanah (di bawah kiln), tersusun simetris melingkar sepanjang sisi badan kiln. Tutup kiln berbentuk kerucut landai dengan 4 buah lubang udara. Pada lantai kiln dibuat dua buah selokan mengikuti arah garis tengah yang saling berpotongan tegak lurus dibagian tengah kiln dan di bagian sisi dalam badan kiln. Ukuran selokan tersebut adalah lebar 15 – 20 cm dan dalam 15 – 30 cm. Di atas selokan tersebut ditutupi bata secara melintang dengan jarak antar bata kurang lebih 5 cm. Lubang antar bata ini berfungsi sebagai jalan masuknya udara dari luar dan menghasilkan rendemen serbuk

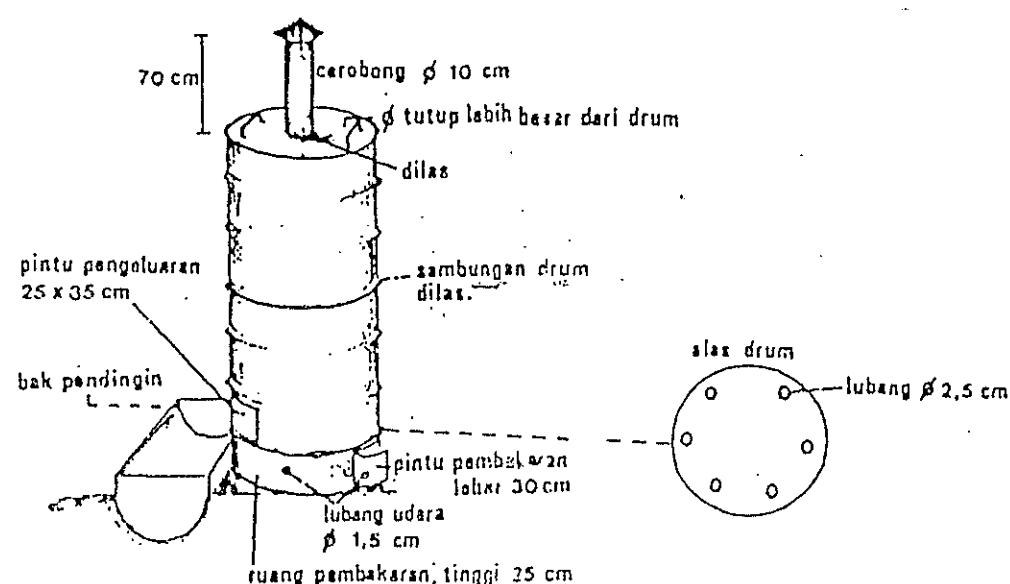
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

gergajian 25.65 %, kadar air 2 – 6 %, kadar abu 1.4 – 4 %, *fixed carbon* 67 – 88 % dan nilai kalor 6500 – 7500 kJ/kg, *volatile matter* 10 – 30 %.



Gambar 2. *Transportable metal kiln (Silinder)*



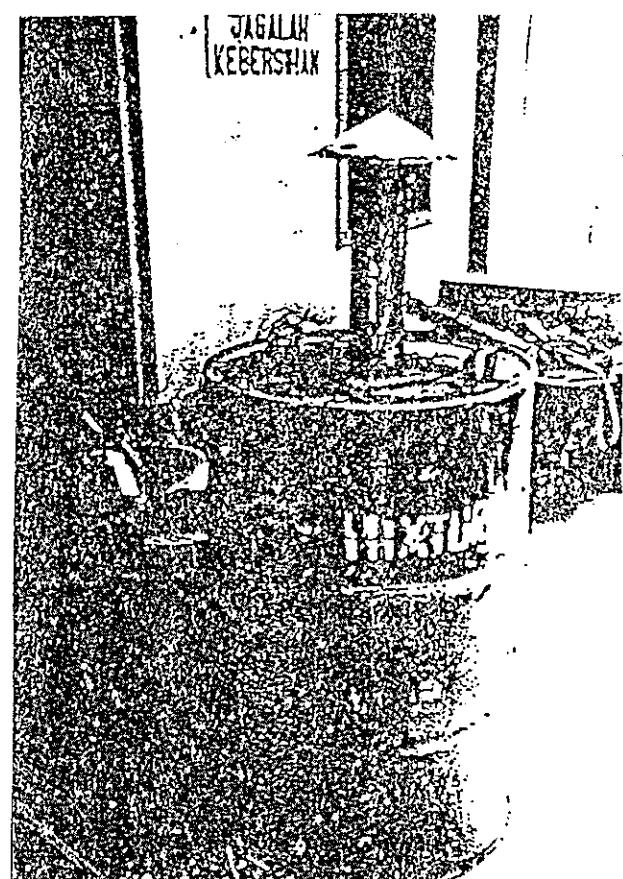
Gambar 3. *Double drum kiln*

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

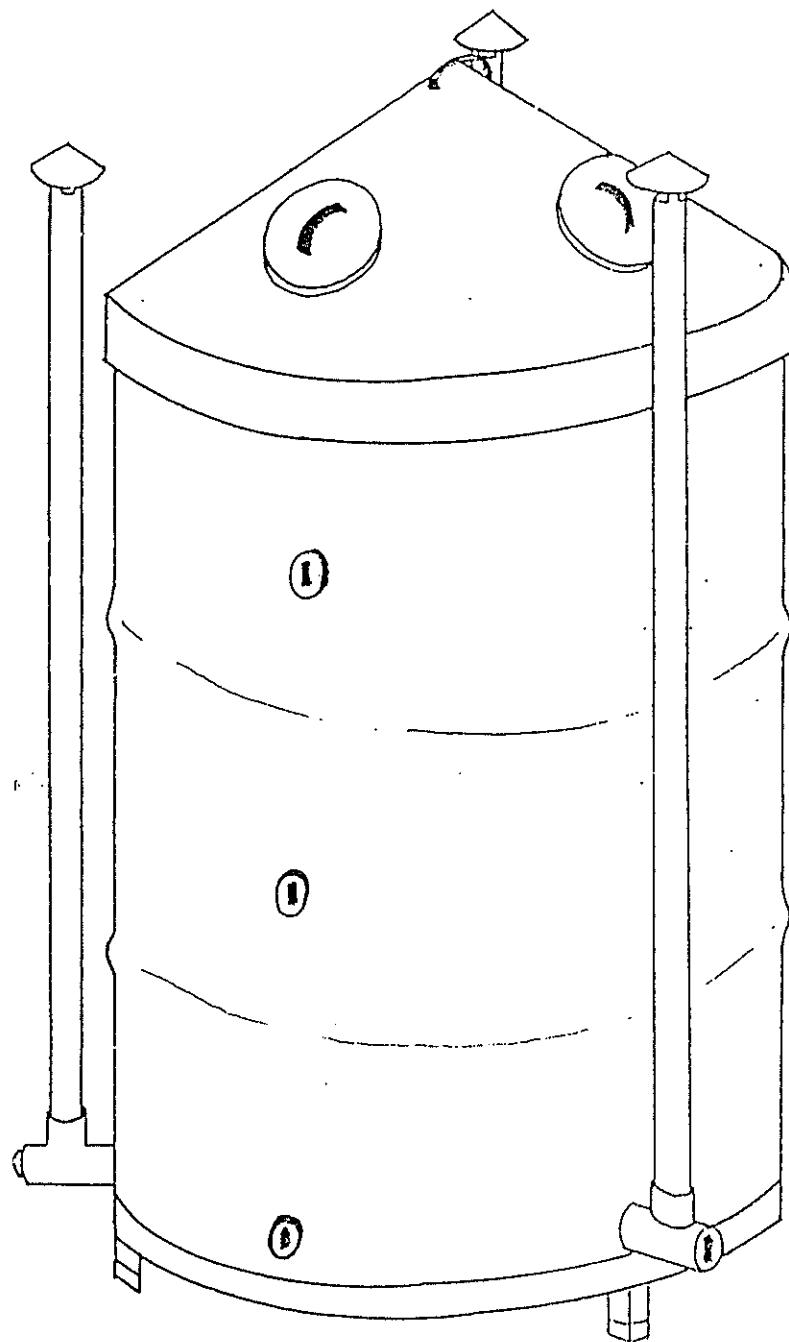
Double Drum Kiln (pohan H.G dan Medrano, 1985) terbuat dari dua drum bekas yang disambung menjadi satu, volume \pm 400 liter. Pintu pembakaran di bawah kiln. Rendemen arang tempurung kelapa yang dihasilkan adalah 22% dengan waktu pengarangan 3 – 4 jam. Kadar abu arang 4.5%, volatile matter 19.53% dan karbon 72.65%.

Alat pengarangan model konvesional (Hartoyo,1974) terbuat dari drum bekas dengan volume kurang dari 200 liter. Cerobong berdiameter 250 mm dengan tinggi 300 mm, gulungan kawat kasa untuk penyulutan api pertama pada bagian tengah kiln (diameter 250 mm) dan lubang pemasukan udara berada di sekeliling badan kiln (12 buah) dengan diameter 13 mm. Suhu karbonisasi yang dicapai antara 300 – 400°C dan menghasilkan rendemen arang tempurung biji karet 34.54%. Kadar air arang 5.61%, kadar abu 3.64%, volatile matter 22.27%.



Gambar 4. Alat karbonisasi konvensional

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 5. *Transportable metal kiln A* (rancangan Isriyanto, 1992)



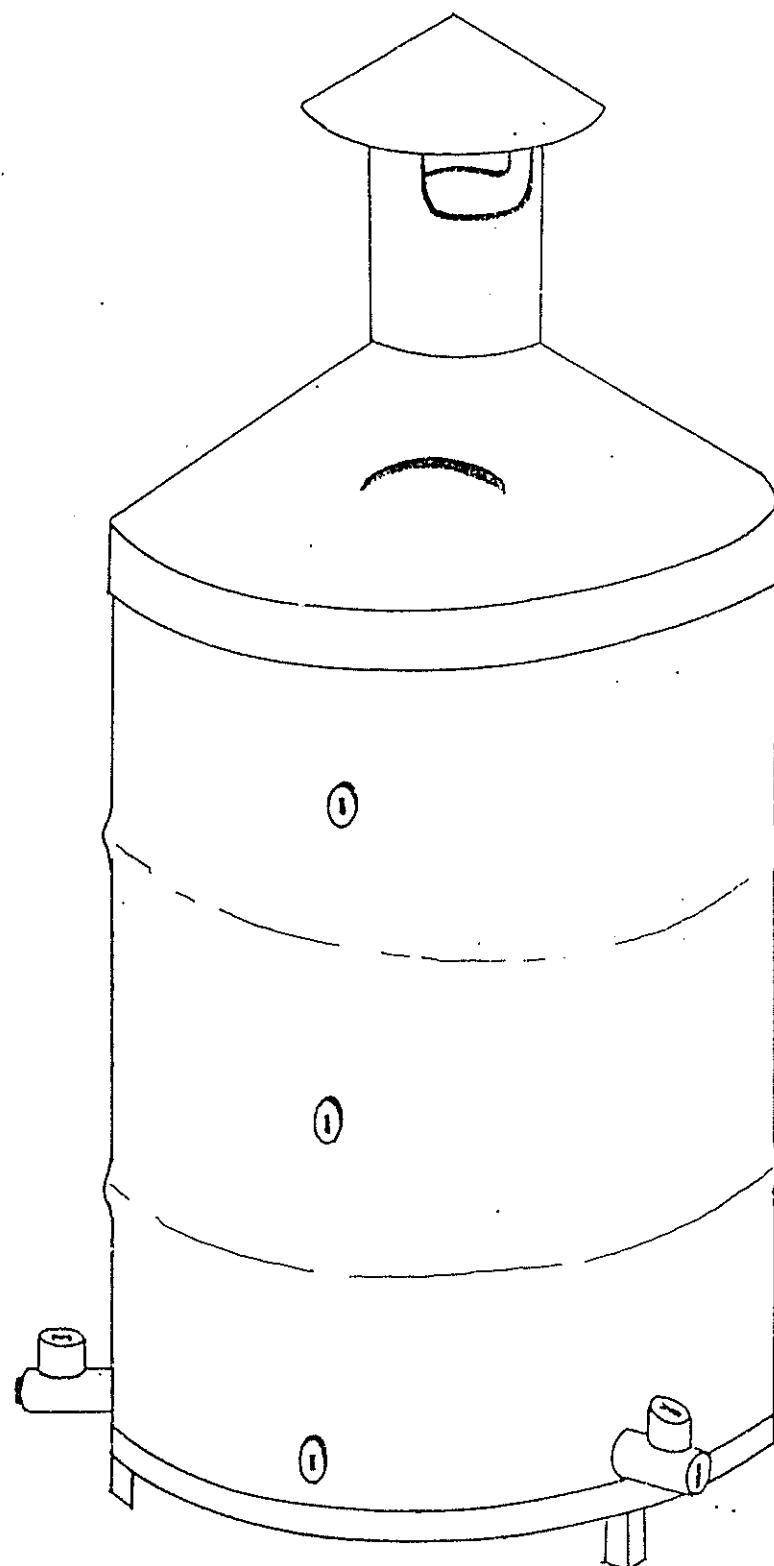
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 6. *Transportable metal kiln B* (rancangan Isriyanto, 1992)



Tabel 2.5. Hasil pengujian alat pengarangan pada percobaan Isriyanto dan alat model dasarnya

Alat	Bahan Baku	Rendemen (%)	Kadar abu (%)	Kadar karbon (%)	Kadar air (%)
Kiln metal A	kayu karet	14.23	1.51	63.32	3.40
	tpr. kelapa	31.97	3.69	56.51	10.78
	tpr. klp sawit	27.05	-	-	-
Mark V kiln	Kayu	30.00	-	-	-
T. metal kiln	Kayu	30.00	-	-	-
Kiln metal B	kayu karet	16.67	1.50	78.26	4.10
	tpr. kelapa	26.36	1.61	74.80	8.80
Konvensional	tpr. biji karet	34.54	-	-	-
Double drum	tpr. kelapa	22.00	-	-	-

Sumber : Isriyanto (1992)



III. RANCANGAN KILN METAL

A. PENDEKATAN RANCANGAN

Alat pengarangan (kiln) yang dirancang merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengarangkan beberapa macam limbah pertanian yang diharapkan akan menghasilkan arang dengan mutu dan rendemen yang cukup baik.

Alat ini diharapkan mempunyai banyak keuntungan, antara lain konstruksinya sederhana sehingga tidak terlalu sulit untuk membuatnya, bahan konstruksi mudah didapatkan sehingga akan mempermudah penggantian apabila terjadi kerusakan, ukuran dan bentuknya tidak memerlukan banyak ruangan dan biaya pembuatannya tidak terlalu mahal.

Rancangan alat pengarangan ini berdasarkan pada *Transportable Metal Kiln* model konvensional dan bentuk silinder tipe FAO yang pernah dicoba di Lembaga Pengolahan Hasil Hutan Bogor. Pemilihan model dasar untuk alat pengarangan *kiln metal* konvesional dan silinder berdasarkan kegunaan alat-alat tersebut yang sesuai untuk jenis bahan baku yang bersifat curah atau yang memiliki kepadatan rongga antar bahan cukup tinggi dan dapat dipindahkan sesuai keberadaan bahan baku sehingga mengurangi biaya angkut bahan baku yang akan diarangkan

Modifikasi yang dilakukan pada rancangan alat pengarangan ini antara lain adalah :

1. Memperkecil ukuran alat pengarangan sehingga dapat dipindahkan sesuai tempat keberadaan bahan baku dan dapat digunakan untuk industri kecil.
2. Menambah lubang pemasukan udara yang ada di sekeliling permukaan drum atau kiln sebanyak enam lubang pada deret atas dan empat belas lubang pada deret tengah untuk mencari kebutuhan udara optimum. Seperti telah dijelaskan sebelumnya pada penelitian Isriyanto (1992) bahwa sirkulasi udara akan lebih baik dan menghasilkan rendemen yang tinggi apabila sirkulasi udara dari bagian atas ke bagian bawah menuju cerobong pengeluaran



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

dibantu udara masuk dari lubang pemasukan udara yang berada di atas permukaan tumpukan bahan yang akan diarangkan. Medrano et.al, 1985 menyatakan bahwa penambahan lubang pemasukan udara dari satu deret menjadi tiga deret pada *single drum* dapat menaikan rendemen arang yang dihasilkan dari 22% menjadi 32%.

B. RANCANGAN FUNGSIONAL DAN STRUKTURAL

Alat pengarangan *kiln metal* model konvensional yang telah dimodifikasi ini memiliki bagian – bagian dan fungsi yang berlainan satu sama lain, diantaranya adalah :

1. Ruang pengarangan

Ruang pengarangan terbuat dari drum bekas dengan ukuran diameter 57 cm, tinggi 90 cm dan pada bagian atas (penutup) berdiameter 55 cm. Ishikawa dalam Hartono 1983 mengatakan bentuk ruang pengarangan yang baik adalah bundar. Volume ruang pengarangannya adalah 0.153028 m^3 atau $2/3$ dari keseluruhan volume drum tersebut. Volume kiln tersebut diperkecil dari alat pengarangan sebelumnya (tipe konvensional, Hartoyo (1974) dan silinder FAO, Hartoyo (1983)) karena sepertiga ruangannya dipergunakan sebagai dasar kiln yang dibuat miring sepanjang diagonal dasar kiln. Selain sebagai dasar kiln, sepertiga ruangan tersebut digunakan untuk mengatur masuknya udara melalui pintu pengeluran saat penyulutan api pertama hingga bahan baku agak tampak membara. Keberadaan ruangan ini dinilai perlu dan sama fungsinya dengan selokan-selokan yang ada pada alat pengarangan silinder FAO Hartoyo (1983) sedangkan pada alat pengarangan konvensional Hartoyo (1974) dan Nurmala Hudaya (1990) tidak terdapat ruang tersisa pada dasar kilnnya. Pengecilan volume ruang pengarangan juga bertujuan untuk mempercepat proses pengarangan dengan harapan rendemen yang dihasilkan tetap tinggi.



Ruang pengarangan berfungsi sebagai tempat bahan baku yang diarangkan.

2. Sarangan

Sarangan terbuat dari plat besi 3 mm yang diperkecil diameternya menjadi 55 cm. Sarangan tersebut dibuat sedar mungkin agar tidak menjadi penghambat laju udara masuk. Sarangan berfungsi sebagai penyangga dari tumpukan bahan baku yang akan diarangkan, media masuknya udara dari pintu pengeluaran ter dan penyaring ter agar jatuh ke bagian dasar kiln yang miring. Sarangan dilubangi dengan diameter 5 mm dan jarak tiap lubang proporsional sesuai luasan keliling lingkaran..

Nurhayati (1982) mengemukakan bahwa sarangan dibuat tetap (permanen) agar tidak terjadi perubahan dimensi atau bentuk akibat panas yang ditimbulkan saat pengarangan berlangsung.

Letak sarangan 30 cm dari dasar drum dan 5 cm dari permukaan atas dasar kiln yang miring. Sarangan tersebut dilas permanen pada badan kiln.

3. Lubang pemasukan udara

Lubang pemasukan udara berada di sekeliling badan kiln dengan ukuran diameter 20 mm. Lubang – lubang udara tersebut menggunakan baut dan mur yang dilas pada badan bagian luar kiln.

Penentuan ukuran diameter lubang pemasukan udara sebesar 20 mm didasari pada percobaan pengarangan tempurung biji karet (hartoyo, 1974), Nurmala Hudaya (1990) untuk pengarangan sekam padi dengan diameter lubang pemasukan udara 13 mm pada alat pengarangan *single drum* berkapasitas kurang dari 200 liter dan Isriyanto (1992) untuk pengarangan tempurung kelapa dengan diameter lubang pemasukan udara 2.54 cm. Rendemen rata – rata yang diperoleh dari masing – masing percobaan 34.54 %, 35.6 % dan 26.36 %.



Perubahan diameter lubang pemasukan pada alat pengarangan ini berdasarkan jenis bahan baku yang diarangkan berupa serbuk gergajian dengan tingkat kerapatan yang lebih tinggi jika dibandingkan tempurung biji karet, sekam padi dan tempurung kelapa. Jumlah lubang pemasukan udara yang ada pada alat pengarangan ini sebanyak 20 buah dengan jumlah berbeda pada tiap deretnya.

Laju udara yang masuk ke dalam alat pengarangan ini diharapkan mencapai $5.024 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ pada kecepatan udara rata – rata 0.08 m/detik (pengukuran kecepatan udara dilakukan sebelum pelaksanaan penelitian utama)

Fungsi bagian ini sebagai tempat masuknya udara optimal yang dibutuhkan selama pengarangan berlangsung.

4. Cerobong asap

Cerobong asap terbuat dari plat besi dengan ketebalan 2 mm, tinggi cerobong asap 300 mm dan berdiameter 100 mm yang diperkuat dengan pengait dari plat seng yang menempel pada penutup.

Untuk menghasilkan rendemen yang tinggi dan menghindari pembakaran sempurna, maka diharapkan laju udara yang keluar melalui cerobong lebih kecil (diasumsikan $\pm 50\%$ lebih kecil) dari laju udara masuk melalui lubang pemasukan udara. Laju udara keluar mencapai $2.417 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{detik}$ (termasuk faktor kesalahan alat $\pm 10\%$).

Pada percobaan Hartoyo (1974) dan Nurmala Hudaya (1990) tinggi cerobong asap pada alat karbonisasi konvensional 300 mm dengan diameter 250 mm menghasilkan rendemen masing-masing 34.54 % dan 35.6 %. Sedangkan percobaan Isriyanto (1992) tinggi cerobong pada alat karbonisasi tipe B 250 mm dengan diameter 100 mm menghasilkan rendemen 26.36 %. Fungsi dari cerobong asap sebagai tempat pengeluaran asap saat pengarangan berlangsung.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan, karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.....

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

5. Kasa penyulut api pertama

Pada bagian tengah ruang pengarangan dipasang kawat kasa pasir secara melingkar yang berfungsi untuk penyulutan api pertama. Menurut Lusianti M (1989) dalam Isriyanto (1992) pada alat karbonisasi konvensional kasa penyulut api pertama berdiameter 250 mm dengan ukuran badan kiln lebih besar menghasilkan rendemen yang cukup tinggi.

Oleh karena itu modifikasi yang dilakukan dengan memperkecil diameter kasa penyulut pertama menjadi 100 mm disesuaikan dengan ukuran volume ruang pengarangan yang lebih kecil sehingga tidak mengurangi jumlah bahan baku yang akan diarangkan.

Sistem pemberian panas pertama dengan cara membuat lubang tengah sampai ke dasar tumpukan bahan baku menggunakan sarangan penyulut umpan yang dibentuk silinder setinggi 60 cm.

6. Pintu Pengeluaran

Pada alat pengarangan ini terdapat dua pintu yang berdimensi 20 x 15 cm. Pintu pertama untuk pengeluaran arang hasil karbonisasi. Kedua untuk pengeluaran ter atau bahan yang tidak terbakar. Proses pengeluaran arang hasil karbonisasi pada percobaan Isriyanto (1992) dengan cara membalikan kiln ke bawah sehingga arang tersebut keluar. Percobaan Nurhayati T (1982) dan Hartoyo (1983) melakukan pembongkaran arang hasil karbonisasi dengan cara membuka penutup bagian atas kemudian arang diambil dengan sekop setelah arang agak dingin.



IV. METODOLOGI PENGUJIAN

A. TEMPAT DAN WAKTU

Pembuatan alat dilakukan oleh bengkel las umum yang terdapat di daerah Cibanteng, Bogor. Pengujian dilakukan pada bulan September 2000 di laboratorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, FATETA – IPB.

B. PARAMETER UNJUK KERJA ALAT

Parameter yang digunakan pada uji unjuk alat kerja pengarangan yang telah dibuat adalah :

1. Suhu ruang pengarangan, dinding dan lingkungan serta penyebarannya
2. Waktu pengarangan
3. Rendemen arang yang dihasilkan
4. Mutu arang yang dihasilkan

Pengukuran suhu alat pengarangan ini dilakukan pada tiga titik pengukuran yang berbeda. Suhu ruang pengarangan diukur di dalam ruang pengarangan (pada tumpukan bahan) tepat di tengah volume tumpukan bahan. Pengukuran ini bertujuan mengetahui suhu pengarangan yang dibutuhkan selama pengarangan bahan berlangsung.

Suhu dinding diukur di bagian luar badan kiln tepat di tengah tumpukan bahan yang diarangkan. Pengukuran ini erat kaitannya dengan waktu bongkar bahan yang diarangkan.

Selain suhu ruang pengarangan dan dinding, pengukuran terhadap suhu lingkungan juga perlu dilakukan. Hal ini penting karena perubahan suhu lingkungan di sekitar alat pengarangan akan mempengaruhi laju udara yang masuk melalui lubang pemasukan udara sehingga sirkulasi udara yang ada pada ruang pengarangan tidak stabil.



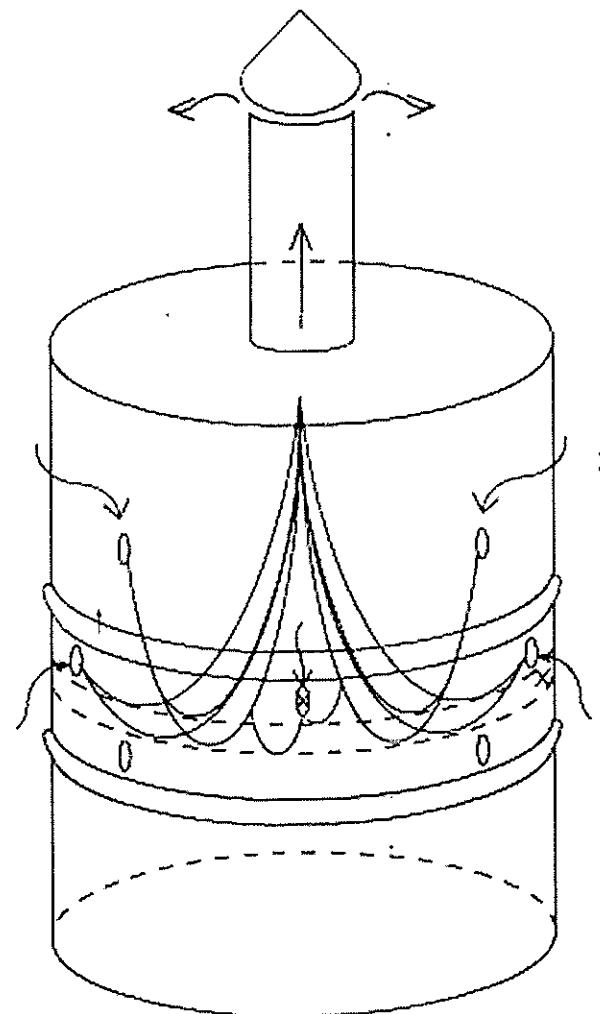
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



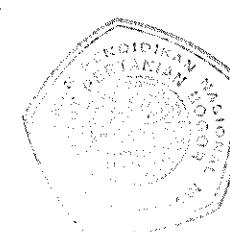
Gambar 7. Lokasi titik pengukuran suhu (tanda X)

Pengujian mutu arang yang dihasilkan dari alat konvensional yang dimodifikasi ini antara lain adalah :

a. Rendemen

Rendemen dihitung berdasarkan perbandingan bobot bahan baku dengan bobot arang jadi.

$$\text{Rendemen (\%)} = \frac{\text{Bobot arang}}{\text{Bobot bahan baku}} \times 100 \%$$



**b. Kadar Air**

↑
Kadar air bahan baku dan arang jadi diukur dengan *moisture tester*.

c. Nilai Kalor

Parameter untuk mendapatkan nilai kalor arang diukur dengan menggunakan *Bomb Calorimeter*. Adapun perhitungan atau rumus yang digunakan adalah

$$NK_s = \frac{T(Na + Wa)}{Wb} \times 4.186$$

Dimana ; Na : Nilai ekivalen air (592.5 gr)

NKs : Nilai Kalor Sampel (J/gram)

Wa : Massa air pada bejana dalam (gram)

Wb : Massa bahan (gram)

T : Kenaikan suhu pada bejana dalam (C)

d. Kadar Abu

Arang ditimbang \pm 1 gram dan dimasukan ke dalam cawan porselein yang telah diketahui bobotnya. Setelah contoh dipanaskan pada suhu 600°C selama 3 sampai dengan 4 jam sehingga menjadi abu.

$$\text{Kadar abu (\%)} = \frac{\text{Bobot abu}}{\text{Bobot contoh}} \times 100 \%$$

e. Volatile Matter (Kadar Zat Terbang)

Contoh ditimbang sebanyak 2 gram dan dipanaskan dalam tanur pada suhu 800 – 900°C selama 15 menit, kemudian setelah dingin ditimbang.



$$\text{Zat Terbang (\%)} = \frac{(a - b)}{a} \times 100 \% - c$$

a : bobot bahan mula - mula

b : bobot bahan sesudah dipanaskan

c : kadar air bahan

C. BAHAN DAN ALAT

Bahan yang digunakan dalam pengujian alat pengarangan ini adalah serbuk gergajian kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), kamper (*Drybalanovs campora*) dan campuran (*mix*) beberapa jenis kayu yang didapatkan dari tempat pemotongan kayu di daerah Bogor.

Peralatan pengukuran yang digunakan dalam pengujian alat pengarangan ini antara lain *termokopel CA*, *pen recorder* tipe Yokogawa 305631, *cold junction* tipe 2TA/9a/132-100 V AC, *termometer* 0 – 100°C, neraca pegas kapasitas 22 kg, gelas ukur 1000 ml, *moisture tester*, *anemometer*, *bomb calorimeter* dan peralatan pelengkap lainnya.

Alat yang diuji pada penelitian ini adalah alat pengarangan tipe *single drum* dengan volume ruang pengarangan kurang dari 200 liter yang merupakan hasil modifikasi dari model dasar tipe konvensional (Hartoyo, 1974 dan Nurmala Hudaya, 1990) dan silinder FAO (Hartoyo, 1983) untuk pengarangan serbuk gergajian kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*), kamper (*Drybalanovs campora*) dan campuran (*mix*).

D. METODE PENGUJIAN DAN PENGAMBILAN DATA

1. Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan dilakukan untuk menentukan kebutuhan bahan baku dan udara pengarangan optimum, yaitu dengan mencari jumlah lubang udara yang dapat menghasilkan rendemen tertinggi.



Pengujian alat pengarangan dilakukan dengan menggunakan bahan baku berupa serbuk gergajian kayu sengon, kamper dan campuran beberapa macam kayu yang ada di tempat pemotongan kayu.

Pengarangan pendahuluan dilakukan dengan mencoba mengarangkan serbuk gergajian kayu sengon dan kamper ke dalam tiga bagian yang berbeda berdasarkan kapasitasnya. Pertama kapasitas lima kilogram dengan empat belas lubang. Kedua kapasitas sepuluh kilogram dengan empat belas lubang. Ketiga kapasitas lima belas kilogram dengan enam lubang.

2. Penelitian Utama

Penelitian utama dilakukan berdasarkan penelitian pendahuluan. Jumlah bahan baku dan lubang udara optimum digunakan untuk uji performansi alat pengarangan. Dari jumlah bahan baku dan lubang yang paling optimum dalam menghasilkan rendemen tertinggi, diambil satu jumlah bahan baku dan lubang yang paling optimum tersebut. Kemudian dilakukan pengujian pengarangan dengan empat kondisi jumlah lubang yang berbeda dengan tiga kali ulangan untuk tiap perlakuan lubang sehingga diperoleh satu data yang menghasilkan rendemen tertinggi. Kondisi pertama semua lubang tertutup. Kedua hanya enam lubang (deret paling atas). Ketiga delapan lubang (deret tengah). Terakhir empat belas lubang

Sebagai pembanding digunakan bahan baku serbuk gergajian kayu campuran berkapasitas sepuluh kilogram dengan empat kondisi perlakuan yang sama seperti untuk jenis serbuk gergajian kayu sengon dan kamper.

Tabel 4.1. Perlakuan penelitian pendahuluan (serbuk kayu sengon dan kamper)

Bahan Baku (kg)	Jumlah Lubang	Rendemen (%)
a = 5	14	a1
b = 10	14	b1
c = 15	6	c1



Tabel 4.2. Perlakuan penelitian utama (serbuk kayu sengon, kamper dan campuran)

Bahan baku (kg)	Jumlah Lubang	Ulangan			Rendemen (%)		
		1	2	3	1	2	3
b = 10	Tanpa lubang = 0	0 ₁	0 ₂	0 ₃	0 ₁₁	0 ₂₁	0 ₃₁
	6	6 ₁	6 ₂	6 ₃	6 ₁₁	6 ₂₁	6 ₃₁
	8	8 ₁	8 ₂	8 ₃	8 ₁₁	8 ₂₁	8 ₃₁
	14	14 ₁	14 ₂	14 ₃	14 ₁₁	14 ₂₁	14 ₃₁

E. PROSEDUR PENGUJIAN

1. Persiapan Bahan

Bahan baku berupa serbuk gergajian yang berasal dari kayu sengon, kamper dan campuran beberapa kayu dijemur untuk meratakan kadar airnya. Kemudian bahan baku ditimbang sesuai dengan kapasitas optimum ruang pembakaran.

2. Persiapan Kiln dan Pemasukan Bahan Baku

Semua lubang pemasukan udara dan tutup atas badan kiln dibuka. Gulungan kawat kasa penyulut api pertama dipasang tepat di tengah ruang pembakaran dan di sekelilingnya dipasang lima gulungan kawat kasa untuk dimasukan umpan sebagai penyulutnya. Selanjutnya bahan baku serbuk gergajian dimasukan secara merata, dilanjutkan pemasangan *termokopel* pada ruang pembakaran, dinding dan lingkungan

3. Pengarangan

Penyulutan api pertama dilakukan melalui gulungan kawat kasa. Setelah umpan membara, tutup kiln bagian atas dan lubang pemasukan udara ditutup kecuali lubang udara yang diinginkan.

4. Pembongkaran

Pengarangan dianggap selesai apabila sudah tidak terlihat lagi asap dari cerobong. Pada saat itu semua lubang udara dan cerobong ditutup sehingga



- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

tidak ada udara yang masuk. Apabila suhu badan kiln mendekati 50 – 70°C (Isriyanto, 1992) dilaksanakan pembongkaran. Pembongkaran dilakukan dengan cara mengeluarkan arang yang ditampung pada alas penampungan dan diberikan sedikit air agar tidak terjadi pembakaran lanjutan. Arang yang telah dikeluarkan dipisahkan dari abu dan bahan-bahan yang tidak terpakai.

5. Pengujian Mutu Arang

Pengujian mutu arang yang dilakukan antara lain adalah kadar abu, kadar zat terbang (*volatile matter*), kadar karbon terikat, nilai kalor pada saat kadar air arang tersebut.



V. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KONSTRUKSI ALAT

Alat pengarangan *kiln metal* model konvensional yang telah dimodifikasi ini terdiri dari satu ruang pengarangan dan penampungan ter atau bahan yang tidak ikut terbakar dengan letak di bawah ruang pengarangan. Cerobong asap yang terdapat pada alat ini berdiameter 10 cm dan tingginya 30 cm. Cerobong terbuat dari plat besi setebal 2 mm yang terdapat di bagian atas ruang pengarangan. Alat pengarangan ini dilengkapi pintu pengeluaran arang jadi dan pintu pengeluaran ter atau bahan yang tidak ikut terbakar dengan dimensi 20 x 15 cm. Gambar detail alat disajikan pada lampiran 7.

Beberapa modifikasi yang dilakukan pada alat pengarangan ini adalah dengan menambah jumlah lubang pemasukan udara yang berbeda pada tiap deretnya. Deret atas terdiri dari enam lubang, deret kedua (tengah) terdiri dari delapan dan enam lubang. Masing – masing lubang berdiameter 2 cm yang terbuat dari baut dan mur yang ditempelkan (dilas) pada dinding luar kiln. Hal ini bertujuan untuk mencari kebutuhan udara optimum. Menambah saluran pembuangan ter atau bahan yang tidak terbakar dalam bentuk sarangan berdiameter 55 cm yang diberi lubang 5 mm dengan jarak proporsional antar lubang yang satu dengan lainnya. Pemasangan alat penyulut api pertama untuk memasukan sedikit umpan sebagai media pembakaran dan memperkecil ukuran alat sehingga dapat dipakai untuk skala rumah tangga atau industri kecil.

Pemasukan bahan baku dilakukan dengan cara membuka tutup bagian atas. Pembongkaran arang dilakukan melalui pintu pengeluaran arang yang terdapat tepat di atas sarangan. Adanya penambahan bagian – bagian seperti pintu, sarangan, penyangga tutup atas memungkinkan adanya celah yang dapat mempengaruhi proses pengarangan. Oleh karena itu untuk mengatasinya disain terhadap permukaan sambungan yang terdapat pada permukaan kiln harus benar – benar rata.

Ter yang dapat dikeluarkan melalui lubang pengeluaran hanya sebagian kecil saja. Hal ini selain karena sebagian ter ikut terbakar juga karena ikut



terbawa oleh asap sisa pengarangan. Sehingga akan menempel pada dinding – dinding ruang pengarangan dan cerobong asap. Hal ini mengakibatkan tertutupnya lubang cerobong asap. Oleh karena itu pembersihan terhadap ter yang melekat sebelum pengarangan dimulai adalah perlu.

Pada alat pengarangan konvensional yang telah dimodifikasi ini cerobong asap terlalu besar sehingga pengarangan berlangsung cepat yang berpengaruh terhadap kecilnya rendemen. Oleh karena itu untuk meningkatkan rendemen, pada bagian cerobong asap perlu dilakukan pengecilan diameter.

B. UNJUK KERJA ALAT

1. Kapasitas Alat

Kapasitas alat pengarangan ini tergantung dari bahan baku curah yang akan diarangkan. Apabila bahan baku yang akan diarangkan bentuk curahnya kecil atau rongga udara antar bahan baku lebih kecil maka kapasitas alat akan lebih besar.

Kapasitas alat pengarangan serbuk gergajian kayu sengon dan kamper dilakukan dengan mencoba berbagai kombinasi jumlah bahan baku dan lubang pemasukan udaranya. Kombinasi yang dilakukan antara lain adalah, 5 kg bahan baku dengan jumlah enam lubang, 10 kg bahan baku dengan 14 lubang (delapan dan enam lubang), 15 kg bahan baku dengan 6 lubang.

Pengujian kapasitas alat yang optimum dilakukan dengan mengadakan penelitian pendahuluan. Adapun bentuk penelitian pendahuluannya seperti yang telah disebutkan di atas. Kapasitas dianggap optimum apabila menghasilkan rendemen tertinggi dengan kondisi perlakuan lubang pemasukan tertentu, sesuai keadaan tumpukan bahan baku yang akan diarangkan.

Secara umum kapasitas alat pengarangan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang akan diarangkan dan pengaturan tumpukan bahan yang akan diarangkan.



Tabel 5.1 Rendemen arang dari beberapa kapasitas bahan baku serbuk gergajian kayu sengon (*Paraserianthes Falcataria*) dan kamper (*Drybalanovs Campora*) pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi.

Bahan baku	Massa Bahan (kg)	Jumlah lubang	Massa Arang (kg)	Rendemen (%)
Sengon	5	14	0.98	19.60
Sengon	10	14	3.48	34.80
Sengon	15	6	3.31	22.07
Kamper	5	14	0.93	18.60
Kamper	10	14	3.19	31.90
Kamper	15	6	3.04	20.27

Berdasarkan hasil pengujian seperti terlihat pada tabel 5.1, pengarangan dengan kapasitas 10 kg menghasilkan rendemen yang paling tinggi dibandingkan dengan kapasitas 5 dan 15 kg. Hal ini ada hubungannya dengan sempurna atau tidaknya sirkulasi udara yang terjadi di ruang pengarangan akibat perbedaan tumpukan bahan baku. Perbedaan tumpukan dan jenis bahan baku serbuk menyebabkan penggunaan jumlah lubang berbeda untuk tiap jumlah bahan yang digunakan.

Ketinggian tumpukan bahan baku untuk kapasitas 5 kg menggunakan 14 lubang (delapan dan enam Lubang) atau berada di bawah lubang – lubang pada deret atas dan tengah. Sehingga sirkulasi udara yang masuk melalui lubang – lubang tersebut sangat cepat yang mengakibatkan pembakaran mendekati kesempurnaan.

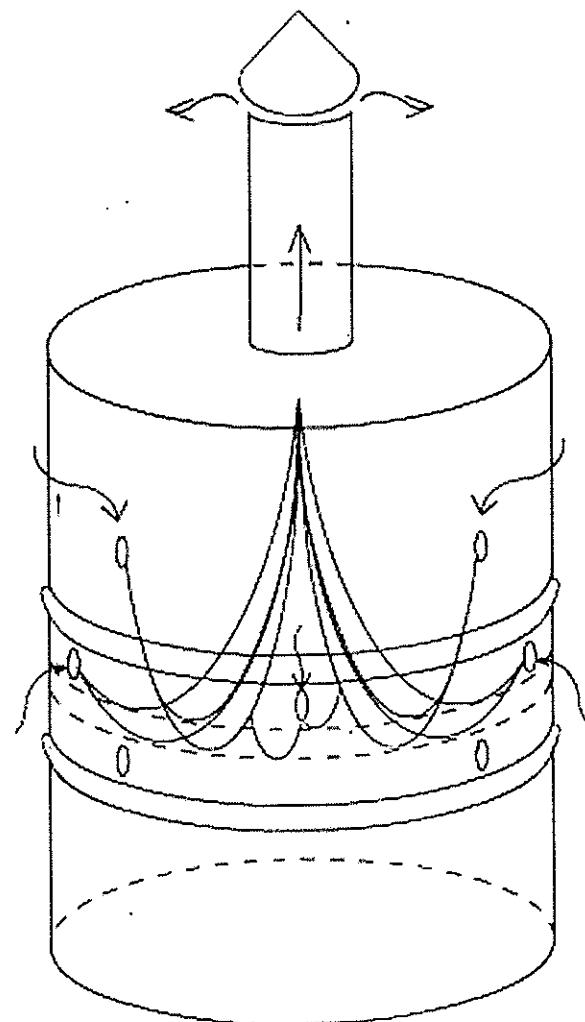
Berbeda halnya dengan bahan baku kapasitas 10 kg yang menggunakan 14 lubang (delapan dan enam lubang) atau berada di bawah deret atas dan tengah juga. Perbedaannya pada bahan baku berkapasitas 10 kg permukaan atas tumpukan bahan hampir mendekati lubang – lubang deret tengah (delapan lubang) atau tidak terlalu jauh jaraknya seperti kapasitas 5 kg yang permukaan tumpukan bahannya lebih rendah. Sirkulasi udara yang berlangsung pada kapasitas bahan 10 kg lebih lambat walaupun dibantu oleh

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



dorongan udara masuk melalui lubang pada deret atas. Sehingga laju pembakaran atau penggunaan oksigen lebih optimum menghasilkan rendemen sebesar 34.8 % untuk serbuk kayu sengon dan 31.9 % untuk kayu kamper. Sedangkan tumpukan bahan baku 15 kg menghasilkan rendemen 22.07 % untuk serbuk kayu sengon dan 20.27 % untuk serbuk gergajian kayu kamper. Hal ini disebabkan tumpukan bahan baku hanya menggunakan lubang – lubang pada deret atas yang berjumlah enam lubang, sehingga jumlah udara yang masuk lebih sedikit untuk proses pengarangan. Skema sirkulasi udara dalam ruang pengarangan disajikan pada Gambar 8 dan 9.

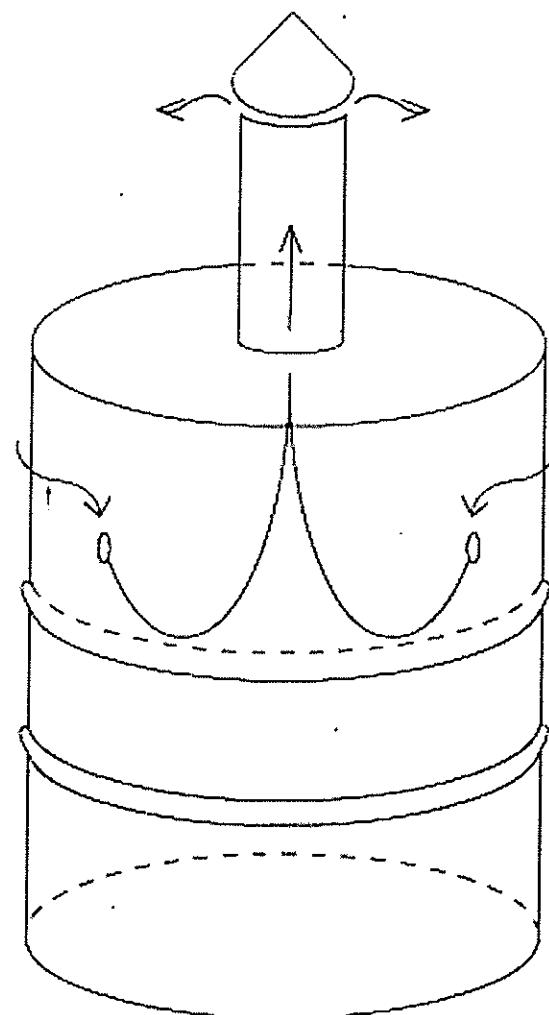


Gambar 8. Skema sirkulasi udara dalam ruang pengarangan untuk bahan baku berkapasitas 5 dan 10 kg.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tajuk suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Gambar 9. Skema sirkulasi udara dalam ruang pengarangan untuk bahan baku berkapasitas 15 kg.

Setelah mendapatkan kapasitas bahan baku dan jumlah lubang udara yang optimum, maka penelitian utama untuk menguji performansi alat menggunakan serbuk gergajian kayu sengon dan kamper berkapasitas 10 kg dengan jumlah 14 lubang (deret tengah dan atas), 8 lubang (deret tengah) 6 lubang (deret atas) dan tanpa lubang pemasukan udara. Sebagai pembanding digunakan serbuk gergajian kayu campuran dengan kombinasi lubang pemasukan udara yang sama.



2. Rendemen Arang

Hasil rata-rata rendemen arang dari 3 jenis serbuk gergajian menunjukkan perbedaan pada tiap proses perlakuan pengarangan yang dilakukan. Adapun hasil pengarangannya seperti ditunjukan pada tabel 5.2, 5.3 dan 5.4

Tabel 5.2. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*).

Perlakuan (lubang)	Kadar air bahan (%)	Berat arang (kg)	Suhu rata-rata pengarangan (°C)	Lama pengarangan (jam)	Rendemen (%)
14	20.70	3.48	399.67	3.25	34.80
8	20.40	2.74	353.53	4.00	27.40
6	20.80	2.93	364.78	4.28	29.30
Tanpa lubang	21.35	1.67	323.16	5.20	16.70

Tabel 5.3. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu kamper (*Drybalanovs campora*).

Perlakuan (lubang)	Kadar air bahan (%)	Berat arang (kg)	Suhu rata-rata pengarangan (°C)	Lama pengarangan (jam)	Rendemen (%)
14	21.27	3.19	394.87	4.00	31.90
8	21.82	2.43	333.75	4.20	24.30
6	21.43	2.61	348.43	4.37	26.10
Tanpa lubang	22.31	1.42	291.02	5.41	14.20

Tabel 5.4. Kadar air, rendemen, lama dan suhu pengarangan alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi dengan bahan baku serbuk gergajian kayu campuran (*mix*).

Perlakuan (lubang)	Kadar air bahan (%)	Berat arang (kg)	Suhu rata-rata pengarangan (°C)	Lama pengarangan (jam)	Rendemen (%)
14	21.20	2.41	372.37	3.45	24.10
8	21.10	2.15	306.73	4.25	20.05
6	20.95	2.05	326.65	4.00	21.50
Tanpa lubang	21.35	1.05	253.00	5.29	10.50



Berdasarkan hasil pengujian yang didapatkan, nilai rendemen tertinggi secara berurutan untuk tiap perlakuan yang dilakukan terdapat pada serbuk gergajian kayu sengon, kamper dan campuran yang masing-masing bernilai 34.80 %, 31.90 % dan 24.10 %. Perbedaan nilai rendemen ini dipengaruhi beberapa sebab diantaranya adalah adanya suhu pengarangan, perbedaan jenis serbuk yang digunakan, kadar air bahan baku, lubang pemasukan udara yang digunakan. Serbuk kayu sengon lebih halus dibandingkan kayu kamper (kasar) dan campuran (tidak tentu), sehingga pada proses pembakaran (tinggi dan penyebaran suhu pengarangan lebih optimal) bahan baku lebih mudah dibandingkan yang kasar dan tak seragam seperti pada serbuk campuran. Kadar air bahan baku yang akan diarangkan juga sebagai penyebab adanya perbedaan nilai rendemen. Pada serbuk kayu sengon kadar air 20.70 % sedangkan bahan baku yang lain masing-masing 22.31 % untuk kayu kamper dan 21.20 % untuk kayu campuran. Selain kedua penyebab di atas hal lain yang menyebabkan perbedaan nilai rendemen adalah jumlah lubang yang digunakan selama proses pengarangan.

Kombinasi penggunaan lubang udara pada tiap bahan hampir menghasilkan pola nilai rendemen yang sama yaitu, semakin banyak jumlah lubang yang digunakan semakin besar rendemen yang dihasilkan. Tetapi pada lubang pemasukan yang berjumlah enam lubang, rendemen yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan yang delapan lubang. Hal ini disebabkan pola sirkulasi udara yang masuk melalui lubang – lubang tersebut berbeda satu sama lain sesuai tumpukan bahan baku yang ada di dalam ruang pengarangan.

3. Suhu Pengarangan

Pengukuran suhu pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi ini menggunakan tiga buah *termokopel* sebagai media pengukuran yang disambungkan ke *cold junction* dan *pen recorder* sebagai pencatat nilai suhu. Suhu diukur pada tiga titik pengukuran. Pertama pada ruang pengarangan, kedua pada dinding kiln dan ketiga pada lingkungan. Perkembangan suhu selama proses pengarangan berlangsung dapat dilihat



pada lampiran 1 sampai dengan 6. Sedangkan suhu rata – rata pengarangan setelah satu jam pertama disajikan pada tabel 5.2, 5.3 dan 5.4.

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran yang dilakukan selama penelitian maka suhu pengarangan yang diperoleh telah mencukupi kebutuhan pengarangan bahan baku (serbuk gergajian kayu). Menurut Abdullah et.al, (1991), pengarangan merupakan proses pirolisa primer lambat. Pirolisa primer adalah proses pemanasan yang diberikan ke suatu bahan baku (umpan) pada suhu $150 - 300^{\circ}\text{C}$ dengan hasil penguraian yang utama adalah karbon (arang).

Secara umum semakin tinggi suhu pengarangan yang terjadi maka rendemen yang dihasilkan cenderung meningkat.

Suhu rata – rata tertinggi setelah satu jam pertama yang terukur selama proses pengarangan serbuk gergajian kayu sengon yaitu 399.67°C dengan waktu pengarangan 3 jam 25 menit dan rendemen yang dihasilkan 34.8%. Suhu rata – rata tertinggi untuk serbuk gergajian kayu kamper 394.87°C dengan lama pengarangan 4 jam dan rendemen yang dihasilkan 31.90%. Sedangkan suhu rata – rata tertinggi untuk serbuk gegajian kayu campuran 372.37°C dengan lama pengarangan 3 jam 45 menit dan rendemen yang dihasilkan 24.10%.

Tetapi ada perlakuan yang menghasilkan nilai rendemen lebih besar dengan menggunakan jumlah lubang yang lebih sedikit tetapi suhu selama proses pengarangannya lebih besar. Hal ini terjadi pada perlakuan yang menggunakan 6 lubang pemasukan udara untuk tiap jenis bahan baku serbuk gergajian yang digunakan. Untuk serbuk gergajian kayu sengon dengan lubang pemasukan udara yang berjumlah 6 lubang suhunya mencapai 448.2°C (suhu rata-rata pengarangan 364.78°C) dengan waktu pengarangan 4 jam 28 menit dan rendemen yang dihasilkan 29.30%. Jika dibandingkan dengan lubang pemasukan udara yang berjumlah 8 lubang suhunya mencapai 423.9°C (suhu rata-rata pengarangan 353.53°C) dengan waktu pengarangan 4 jam dan rendemen lebih kecil yaitu 27.40%. Keadaan seperti ini terjadi juga pada bahan baku serbuk gergajian kayu kamper dan campuran. Hal ini dapat terjadi karena beberapa sebab diantaranya adalah pola sirkulasi udara yang



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

masuk ke dalam ruang pengarangan yang menggunakan 8 lubang lebih lambat akibat kondisi permukaan atas tumpukan bahan terlalu dekat dengan lubang pemasukan udara sehingga suhu dan rendemen yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan 6 lubang pemasukan udara.

Suhu badan kiln (dinding) selama pengarangan berlangsung cenderung mengalami peningkatan akibat aliran panas dari ruang pengarangan yang merambat ke badan kiln. Penurunan suhu pada badan kiln baru terjadi pada akhir proses pengarangan dimana semua bahan yang diarangkan telah menjadi arang. Menurunnya suhu badan kiln menandakan pengarangan selesai dan siap untuk dibongkar. Pembongkaran dapat dilaksanakan apabila suhu badan kiln mendekati $50 - 70^\circ\text{C}$ (Isriyanto, 1992). Pembongkaran arang dilakukan saat suhu mulai tampak menurun (lampiran 1 sampai dengan 3) dan tidak terlihat asap pada cerobong pengeluran. Tetapi ada beberapa perlakuan dimana suhu badan kiln mengalami peningkatan diakhiri proses pengarangan. Seperti pada pengarangan serbuk gergaji kayu sengon suhunya mencapai 153.9°C dengan 8 lubang pemasukan udara dan serbuk gergaji campuran suhunya mencapai 130.7°C dengan perlakuan tanpa lubang (lampiran 1 – 3). Hal ini dapat terjadi karena perubahan kecepatan udara sekitar alat pengarangan yang masuk ke lubang pemasukan udara akibat naiknya suhu lingkungan dan adanya celah masuk bagi udara di sekitar alat pengarangan melalui sambungan – sambungan antar bagian alat pengarangan (bagian pintu pengeluran arang jadi dan pintu sisa bahan atau ter yang tidak ikut terbakar).

4. Waktu Pengarangan

Pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi ini, waktu pengarangan ditentukan oleh beberapa faktor antara lain adalah kecepatan udara di sekitar tempat pengarangan. Berdasarkan pengamatan dan pengukuran yang dilakukan dengan *anemometer* kecepatan angin selama proses pengarangan pada tiap bahan baku rata – rata 0.08 m/s .

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan wajar IPB University.

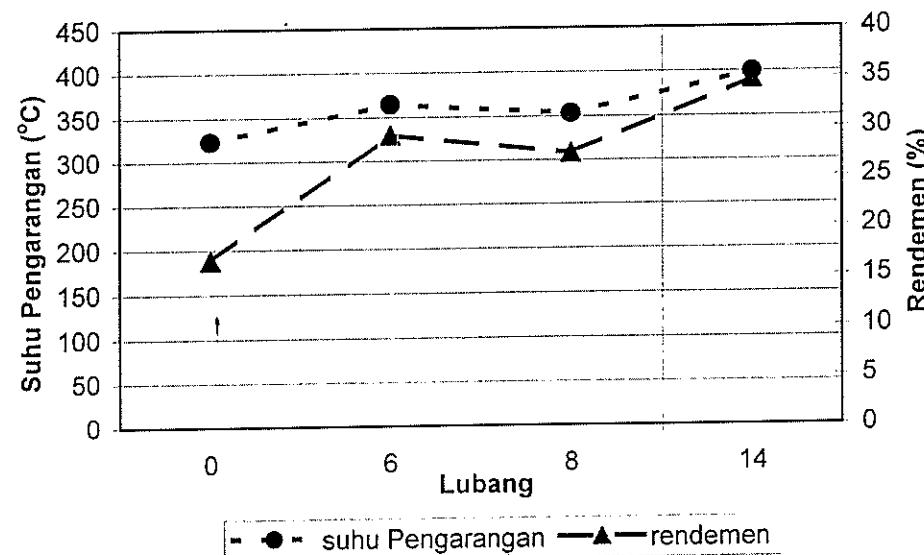
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Kecenderungan yang terjadi adalah semakin tinggi suhu pengarangan maka waktu pengarangan semakin cepat.

Pada tiap bahan baku yang digunakan, lubang udara yang berjumlah 14 memiliki waktu pengarangan tercepat dibandingkan yang berjumlah 8, 6 dan tanpa lubang yang dinotasikan dengan angka 0 untuk memudahkan dalam pembacaan grafik. Adapun secara berurutan waktu pengarangan yang diperoleh 3 jam 25menit, 4 jam, 4 jam 28 menit dan 5 jam 20 menit untuk serbuk gergajian kayu sengon.

Tapi pada perlakuan dengan 6 lubang pemasukan udara memiliki waktu pengarangan lebih lambat 28 menit dibandingkan dengan perlakuan 8 lubang dapat mencapai suhu pengarangan yang lebih besar. Hal ini mungkin terjadi karena adanya perbedaan kecepatan angin di sekitar alat pengarangan yang masuk melalui lubang pemasukan udara dan pola sirkulasi udara yang masuk melalui lubang – lubang tersebut.

Hubungan antara rendemen, lubang pemasukan udara dan suhu rata-rata pengarangan setelah satu jam pertama untuk tiap jenis serbuk kayu yang diarangkan disajikan pada Gambar 10, 11 dan 12

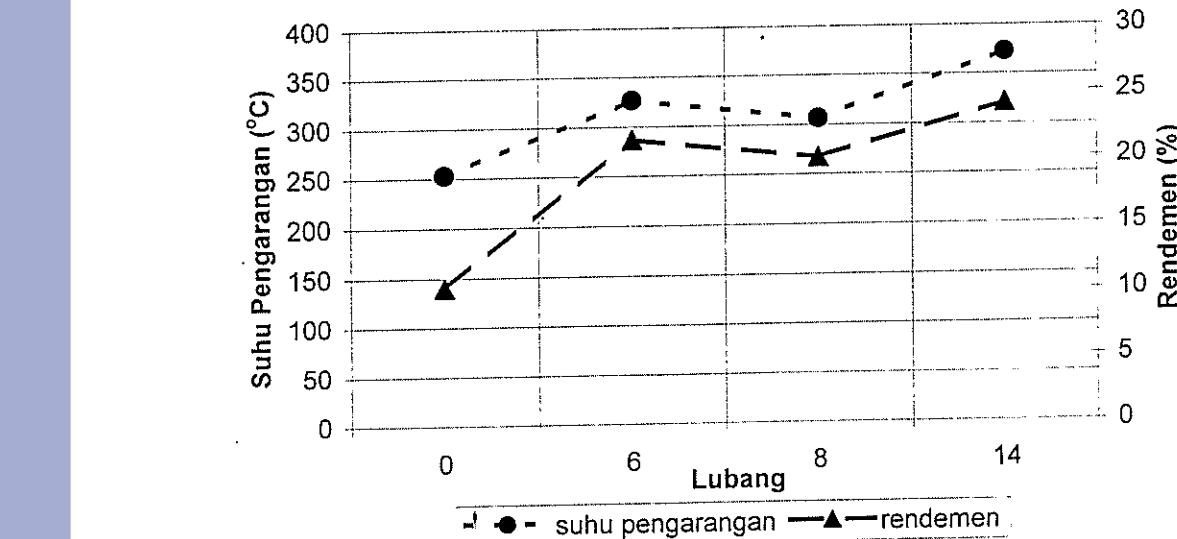


Gambar 10. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukan udara dan suhu rata-rata pengarangan setelah satu jam pertama untuk serbuk gergajian kayu sengon pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi

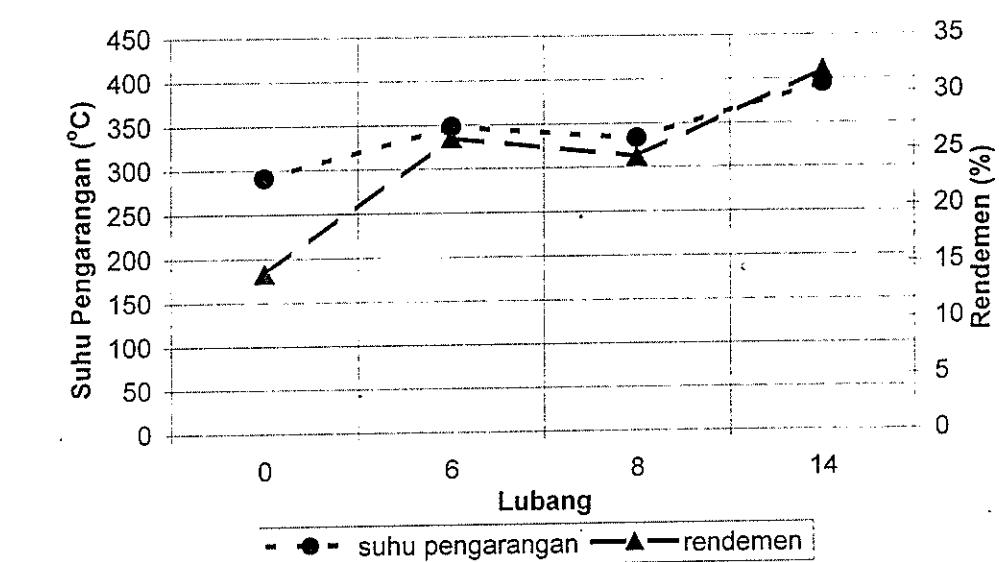


Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.



Gambar 11. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukan udara dan suhu rata-rata pengarangan setelah satu jam pertama untuk serbuk gergajian kayu kamper pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi



Gambar 12. Grafik hubungan rendemen, jumlah lubang pemasukan udara dan suhu rata-rata pengarangan setelah satu jam pertama untuk serbuk gergajian kayu kamper pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi



C. ANALISA MUTU HASIL PENGARANGAN

Hasil analisa mutu arang yang dilakukan meliputi kadar abu, kadar karbon dan nilai kalor. Adapun hasil yang diperoleh seperti tercantum pada tabel 5.5, 5.6 dan 5.7.

Tabel 5.5. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu sengon

Lubang	Kadar Abu (%)	Volatile Matter (%)	Kadar karbon (%)	Nilai Kalor pd (KA arang) (Kal/gr)
Tanpa lubang	5.713	18.16	58.37	6451.23 (16.40)
6	3.772	19.52	66.81	7108.20 (17.10)
8	4.314	17.85	60.73	6941.26 (16.70)
14	3.043	17.59	73.26	7237.44 (17.44)

Berdasarkan pengamatan dan pengukuran yang dilakukan pada tiap arang yang dihasilkan, nilai kadar air yang diperoleh lebih besar dari 10%. Kadar air yang tinggi kemungkinan disebabkan adanya selang waktu yang terlalu lama (± 36 jam) antara pengambilan contoh dengan waktu pengukuran kadar air. Sehingga memungkinkan adanya penyerapan air dari udara selama selang waktu tersebut. Jika dibandingkan dengan hasil percobaan Hartoyo (1983) yang menghasilkan kadar air arang serbuk gergaji 2 – 6 % maka nilai kadar air pada percobaan ini dinilai kurang baik. Keadaan arang yang demikian (agak basah) menyebabkan sulitnya arang tersebut terbakar.

Tabel 5.6. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu kamper

Lubang	Kadar Abu (%)	Volatile Matter (%)	Kadar karbon (%)	Nilai Kalor pd (KA arang) (Kal/gr)
Tanpa lubang	4.181	12.40	55.29	6281.60 (16.28)
6	3.737	18.74	69.51	7003.19 (16.64)
8	4.639	17.15	61.10	6071.58 (17.13)
14	3.285	20.17	74.16	7016.65 (17.57)

Kadar abu yang diperoleh pada tiap arang yang diukur memiliki kisaran 2 sampai dengan 6 persen. Sedangkan kadar abu yang baik sekitar 3 sampai dengan



4 persen (Tabel 2.4). Kadar abu yang tinggi akan mengakibatkan nilai arang menjadi rendah, karena kadar abu tersebut mengandung bahan anorganik.

Tabel 5.7. Hasil analisa mutu arang dari bahan serbuk gergajian kayu campuran

Lubang	Kadar air (%)	<i>Volatile Matter</i> (%)	Kadar karbon (%)	Nilai Kalor pd (KA arang) (Kal/gr)
Tanpa lubang	16.43	20.81	51.81	6001.58 (16.43)
6	16.04	18.95	59.72	6529.31 (16.04)
8	16.83	19.96	53.84	6278.91 (16.83)
14	17.33	12.48	62.94	6873.95 (17.33)

Pengukuran analisa mutu arang lainnya adalah kadar karbon terikat dan kadar zat terbang (*volatile matter*) yang terdapat pada tiap jenis arang. Kadar karbon terikat erat kaitannya dengan suhu pengarangan dan waktu pengarangan.

Makin tinggi suhu pengarangan maka makin banyak zat – zat kayu yang menguap sehingga kadar karbon akan tinggi. Dari ketiga jenis arang yang diukur kadar karbonnya, yang memiliki nilai tertinggi adalah arang serbuk kayu kamper (74.16%). Sedangkan nilai kadar karbon terendah terdapat pada arang serbuk kayu campuran (51.81%). Jika dibandingkan dengan nilai kadar karbon industri sekitar 75 sampai dengan 80 persen (tabel 2.4) maka nilai kadar karbon yang diperoleh masih perlu ditingkatkan. Nilai kadar karbon yang kecil ini disebabkan adanya ketidakseragaman jenis serbuk gergajian yang diarangkan (pada serbuk gergajian kayu campuran).

Kadar zat terbang pada pengukuran analisa mutu arang menunjukkan nilai 12.40 – 20.81 % yang berarti memenuhi syarat kebutuhan industri (Beglenger et.al, 1957 dalam Isriyanto, 1992). Nilai *volatile matter* menunjukkan senyawa karbon yang belum menguap pada proses karbonisasi. Hal ini mempengaruhi pada pembuatan arang aktif. Kisaran Nilai *volatile matter* masing – masing arang adalah 17 – 19.52 % untuk arang serbuk kayu sengon, 12.40 – 20.17 % untuk arang serbuk kayu kamper dan 12.47 – 20.81 % untuk arang serbuk campuran. *Volatile matter* erat kaitannya dengan kecepatan bakar, waktu pembakaran dan kecenderungan mengeluarkan asap (Hartoyo, 1984 dalam Isriyanto, 1992).



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Hasil analisa nilai kalor arang serbuk gergajian kayu sengon, kamper dan campuran pada perlakuan 14 lubang pemasukan udara masing – masing 7237.44 kal/gr pada kadar air arang 17.44 %, 7016.65 kal/gr pada kadar air arang 17.57 % dan 6873.95 kal/gr pada kadar air 17.33 %. Walaupun kadar air yang dikandung pada ketiga jenis arang serbuk gergaji tersebut agak basah, tetapi dua dari ketiga nilai kalor di atas memenuhi syarat kualitas Departemen Perdagangan (\geq 7000 kal/gr) yaitu arang serbuk gergajian kayu sengon dan kamper, sedangkan nilai kalor arang serbuk gergajian kayu campuran lebih kecil bila dibandingkan keduanya. Hal ini disebabkan ketidakseragaman jenis serbuk gergajian yang digunakan untuk pengarangan.



VI. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

1. Alat pengarangan *kiln metal* tipe konvensional yang dimodifikasi terdiri dari ruang pengarangan, kasa penyulut api pertama, cerobong asap, lubang pemasukan udara, sarangan, pintu pengeluaran bahan yang telah diarangkan, pintu pengeluaran ter dan bahan yang tidak ikut terbakar.
2. Waktu bongkar ditandai dengan menurunnya suhu badan kiln dan tidak ada lagi asap yang keluar melalui cerobong pengeluran. Pembongkaran arang yang ditandai kenaikan suhu badan kiln (walaupun asap tidak keluar melalui cerobong) diakhiri proses pengarangan dapat terjadi karena perubahan kecepatan angin yang masuk melalui lubang pemasukan udara akibat kenaikan suhu lingkungan sekitar alat dan masuknya udara melalui sambungan-sambungan antar bagian alat pengarangan.
3. Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran, suhu pengarangan yang dihasilkan menunjukkan perbandingan yang lurus dengan waktu pengarangan. Artinya semakin tinggi suhu pengarangan yang terjadi maka waktu pengarangan semakin singkat.
4. Suhu pengarangan berpengaruh pula pada rendemen yang dihasilkan. Semakin tinggi suhu pengarangan yang terjadi maka rendemen yang dihasilkan semakin tinggi
5. Pengarangan optimum dicapai pada kapasitas 10 kilogram dengan lubang pemasukan udara berjumlah 14 buah (delapan lubang pada deret tengah dan 6 lubang pada deret atas) menghasilkan rendemen 34.8%, lama pengarangan 3 jam 25 menit, suhu pengarangan 485.2°C (suhu rata-rata pengarangan 399.67°C) dan nilai kalor 7237.44 kal/gr pada kadar air arang 17.44 % dengan bahan serbuk gergajian kayu sengon.
6. Pengarangan serbuk gergajian kayu kamper menghasilkan rendemen 31.90%, lama pengarangan 4 jam, nilai kalor 7016.65 kal/gr pada kadar air arang 17.57%, suhu pengarangan 476.4°C (suhu rata-rata pengarangan 394.87°C)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengulik kepentingan yang wajar IPB University.

- dengan lubang pemasukan udara 14 buah (delapan pada deret tengah dan enam lubang pada deret atas).
7. Pengarangan dengan hasil rendemen terendah terjadi pada bahan serbuk gergajian kayu campuran yaitu 10.50%, lama pengarangan 5 jam 29 menit, lubang pemasukan udara tertutup seluruhnya, suhu pengarangan 328.9°C (suhu rata-rata pengarangan 253°C) dan nilai kalor 6002.98 kal/gr pada kadar air arang 16.43%.
 8. Mutu arang hasil pengarangan dengan ketiga macam serbuk gergajian menghasilkan nilai berbeda satu sama lain. kadar abu yang dihasilkan berkisar 2 sampai dengan 6 persen, kadar karbon terikat berkisar 50 sampai dengan 75 persen dan kadar zat terbang 12 sampai dengan 21 %. Mutu arang terbaik dicapai pada pengarangan serbuk gergajian kayu sengon dengan suhu pengarangan 485.2°C dan rendemen arang 34.8%

B. SARAN

Beberapa hal yang perlu diperbaiki pada alat pengarangan konvensional yang dimodifikasi adalah :

1. Untuk menghindari perubahan dimensi akibat panas yang terjadi sebaiknya digunakan plat besi atau bahan lain yang lebih tebal dan tahan panas (contohnya bagian sarangan dan kasa penyulu api pertama).
2. Permukaan sambungan bagian – bagian yang dilas harus lebih rata agar tidak ada celah masuk bagi udara bebas yang ada di sekitar alat pengarangan saat berlangsungnya pengarangan.
3. Sarangan tempat penyangga bahan baku yang diarangkan harus dapat dibongkar pasang secara bebas (untuk dibersihkan) tanpa menghasilkan celah masuk bagi udara bebas.
4. Selain sarangan bagian lain yang menjadi media bagi lewatnya udara harus selalu dibersihkan.
5. Diameter cerobong asap dikecilkan ukurannya agar proses pengarangan tidak terlalu cepat sehingga diharapkan akan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi.



6. Pintu pengeluaran arang lebih baik dilengkapi penampung atau jalur yang agak menurun agar arang mudah dikeluarkan.
7. Pergunakan pencetak umpan di sela – sela bahan yang akan diarangkan untuk mempermudah pembakaran awal bahan baku.
8. Proses pengukuran kadar air arang sebaiknya dilakukan segera mungkin setelah pengarangan selesai (jangan terlalu lama disimpan).
9. Titik pengukuran suhu ruang pengarangan sebaiknya dilakukan lebih dari satu titik agar dapat mewakili suhu ruang pengarangan yang diharapkan.
10. Perlu penelitian lebih lanjut untuk memanfaatkan energi panas yang terbuang selama pengarangan berlangsung.

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengikuti kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



DAFTAR PUSTAKA

- Abidin. 1973. Beberapa Cataatan tentang Arang Kayu di Indonesia. Dirjen Kehutanan. Direktorat Pemasaran. Jakarta.
- Abdullah. K et al., 1991. 'Energi dan Listrik Pertanaian. Diktat. FATETA – IPB. Bogor.
- Anonymous. 1983. Program Nasional Penelitian dan Pengembangan Energi Biomassa di Bidang Pertanian Pusat Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Departemen pertanian, Bogor.
- Hartoyo. 1974. Petunjuk Pembuatan Arang Batok Secara Komersial di Desa-desa. LPHH – Bogor.
- Hartoyo et al., 1978. Percobaan Pembuatan Briket Arang dari 5 Jenis Kayu. LPHH. Bogor.
- Hartoyo et al., 1983. Pemanfaatan Limbah Pertanian Sebagai Sumber Energi. LPHH. Bogor.
- Hartoyo dan Nurhayati T. 1986. Gasifikasi Arang Kayu untuk Pembangkit Tenaga Listrik. J. Penelitian Hasil Hutan. Vol III no 2 : 33-38. Bogor.
- Isriyanto. 1992. Modifikasi dan Uji Unjuk Kerja Alat Pengarangan *Kiln Metal Sederhana*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. IPB – Bogor.
- Komaryati, S. 1993. Pemanfaatan serbuk gergajian, tanah utisol dan residu sebagai media tumbuh bibit sengon. Laporan Penelitian. LPHH Bogor.
- Medrano. E.M. et al., 1985. Design of Charcoal Making Equipment and Promotion of Charcoal Production. Forest Product Research and Industries Development Commission.
- Nurhayati. T. 1982. Beberapa Sifat Kayu dan Limbah Pertanian Sebagai Sumber Energi. Laporan No 161. LPHH Bogor.
- Nurhayati. T. 1983. Sifat Arang, Briket Arang dan Alkohol yang dibuat dari Limbah Industri. Laporan No 165. LPHH – Bogor.
- Pasaribu, Ridwan A. 1987. Pemanfaatan serbuk gergaji jeuning sebagai kompos untuk pupuk tanaman. Laporan Penelitian no. 4 (4). LPHH Bogor.



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

- Pasaribu, Ridwan A. 1977. Kualitas hardboard dari jenis kayu tumbuh cepat dengan campuran serbuk gergajian. Lapaoran Penelitian no. 93. LPHH Bogor.
- Purwanto. B. 1984. Studi Biaya Pembuatan Arang Secara Jobongan Desa di Areal Hutan Kesatuan Pemangkuhan Hutan Cianjur Perum Perhutani Unit III Jawa Barat. Skripsi. Fakultas Kehutanan IPB. Bogor.
- Rachman, O. Karnasudirdja. 1978. Limbah Kilang Penggergajian di kalimantan Selatan dan Kalimantan Timur. Laporan No.116. LPHH – Bogor.
- Sudrajat. R. 1985. Permasalahan dan Karakteristik Industri Arang di Indonesia. Laporan No. 1. LPHH - Bogor
- Tandiano. 1974. Kemungkinan Pengembangan Proyek Pengolahan Arang di Lampung. Laporan No. 39. LPHH – Bogor.
- Wise. 1944. Wood Chemistry Reinhold Publishing, New York.

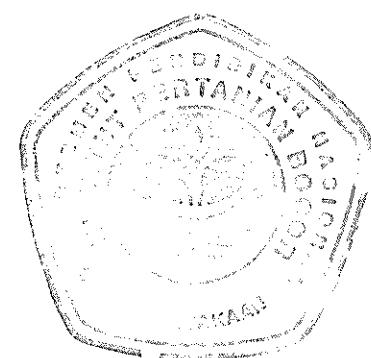


©Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

L A M P I R A N





Lampiran 1. Perkembangan suhu selama proses pengarangan pada serbuk gergajian kayu sengon

Lubang	Waktu (Jam)	Suhu (°C)		
		Ruang	Dinding	Lingkungan
0	0	87.8	54.7	33.2
	1	101.4	101.3	31.9
	2	239.2	113.6	32.6
	3	288.3	132.9	32.8
	4	326.5	141.2	33.7
	5	367.6	154.3	32.1
	6 †	394.2	142.8	33.8
6	0	98.7	58.2	31.2
	1	154.8	114.8	32.5
	2	262.4	119.1	32.8
	3	334.9	138.3	33.6
	4	413.6	145.6	32.9
	5	448.2	153.9	31.7
8	0	96.4	62.8	33.4
	1	141.2	123.3	33.6
	2	257.8	131.7	31.8
	3	378.9	144.6	32.5
	4	423.9	127.9	32.7
14	0	103.7	89.2	32.4
	1 †	142.9	132.6	31.6
	2	303.6	148.3	33.7
	3	410.8	151.1	32.5
	4	485.2	146.3	31.9

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 2. Perkembangan suhu selama proses pengarangan pada bahan serbuk gergajian kayu kamper

Lubang	Waktu (Jam)	Suhu (°C)		
		Ruang	Dinding	Lingkungan
0	0	76.8	50.2	31.1
	1	100.4	99.3	32.5
	2	198.5	112.8	32.9
	3	245.2	121.6	31.2
	4	298.4	132.8	31.6
	5	345.7	147.9	32.3
	6	367.3	121.4	33.8
6	0	94.3	52.9	32.3
	1	132.7	109.3	31.1
	2	253.9	115.7	32.6
	3	318.7	121.3	33.7
	4	401.3	159.2	32.9
	5	419.8	133.7	31.7
8	0	88.6	51.0	31.3
	1	111.3	100.2	33.3
	2	221.7	107.3	32.8
	3	312.9	118.6	31.7
	4	399.2	137.9	32.9
	5	401.8	113.8	31.4
14	0	100.2	88.3	32.6
	1	137.9	129.4	32.9
	2	300.4	132.9	33.6
	3	407.8	158.3	31.7
	4	476.4	144.2	32.2



Lampiran 3. Perkembangan suhu selama proses pengarangan pada bahan serbuk gergajian kayu campuran

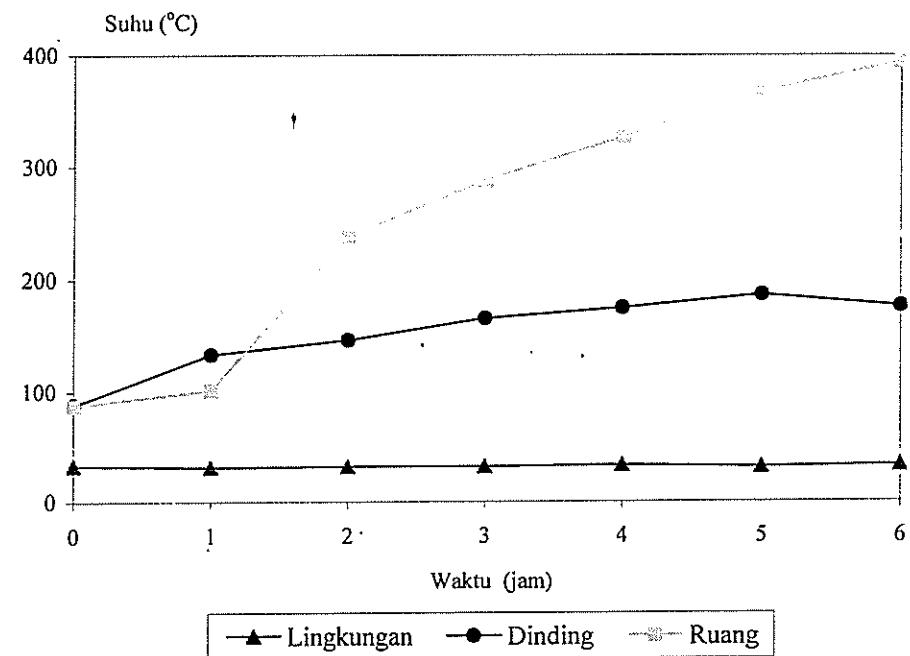
Lubang	Waktu (Jam)	Suhu (°C)		
		Ruang	Dinding	Lingkungan
0	0	67.3	43.8	31.5
	1	98.1	76.9	32.3
	2	156.8	102.9	33.1
	3	189.3	104.4	33.9
	4	287.9	111.6	32.4
	5	302.1	121.3	33.0
	6	328.9	130.7	31.9
6	0	77.1	58.1	33.0
	1	111.2	100.8	33.1
	2	224.8	121.3	32.8
	3	298.3	129.7	32.2
	4	357.4	132.4	31.9
	5	426.1	113.3	33.6
8	0	80.1	56.5	32.0
	1	107.8	101.4	33.1
	2	209.2	119.2	33.8
	3	276.3	121.9	32.7
	4	331.9	130.7	32.2
	5	409.5	121.1	33.3
14	0	100.1	78.3	31.2
	1	121.1	121.9	32.7
	2	298.1	131.5	33.0
	3	378.3	142.8	33.9
	4	440.7	123.9	32.3

Lampiran 4a

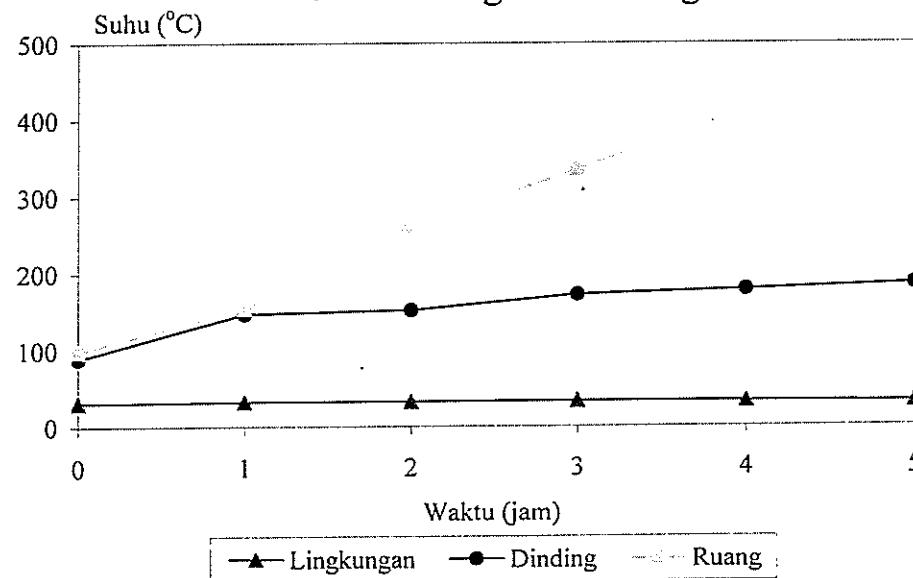
@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Serbuk Sengon Tanpa Lubang

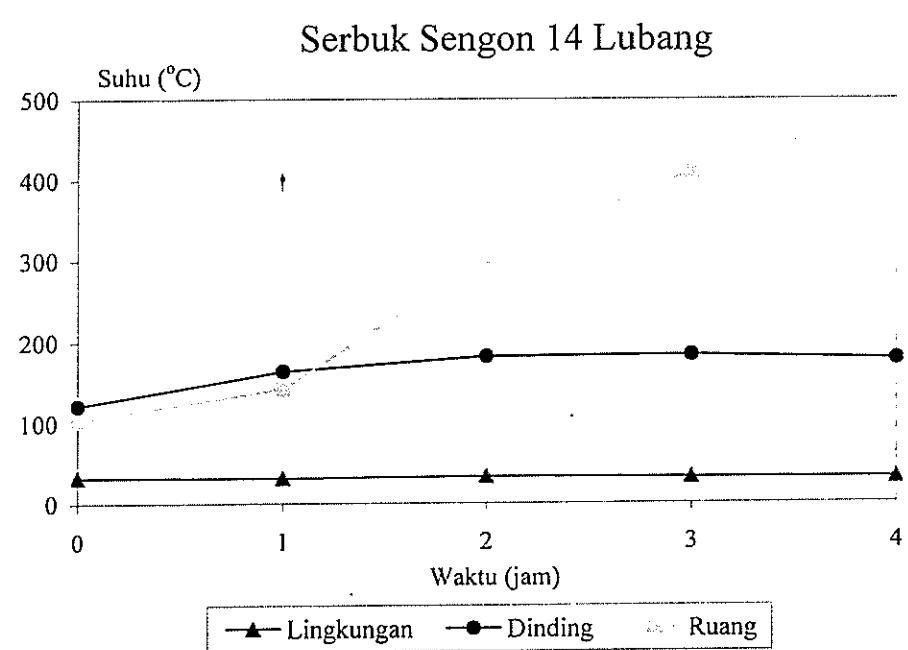
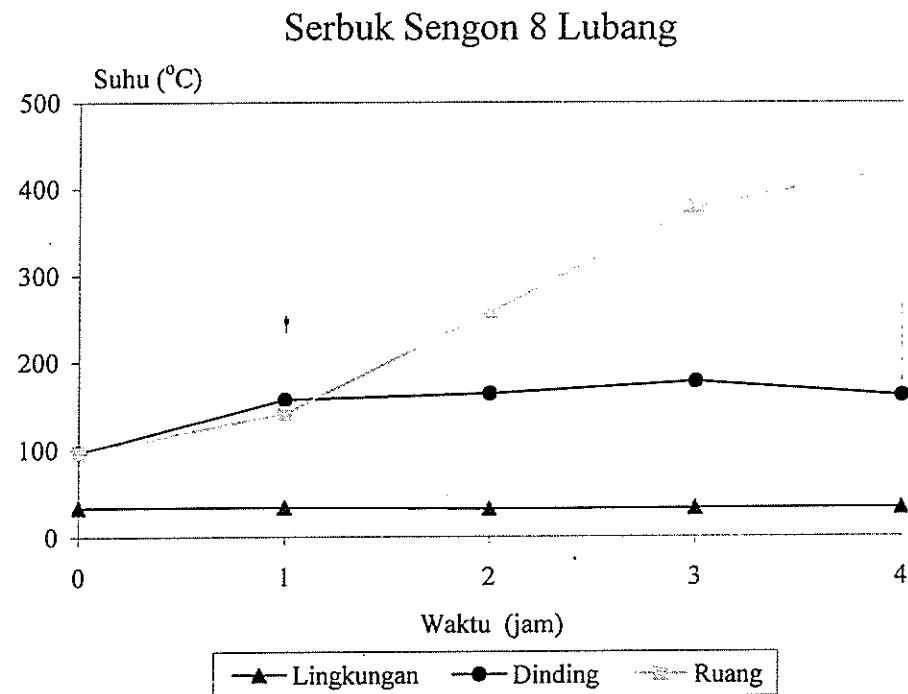


Serbuk Sengon 6 Lubang



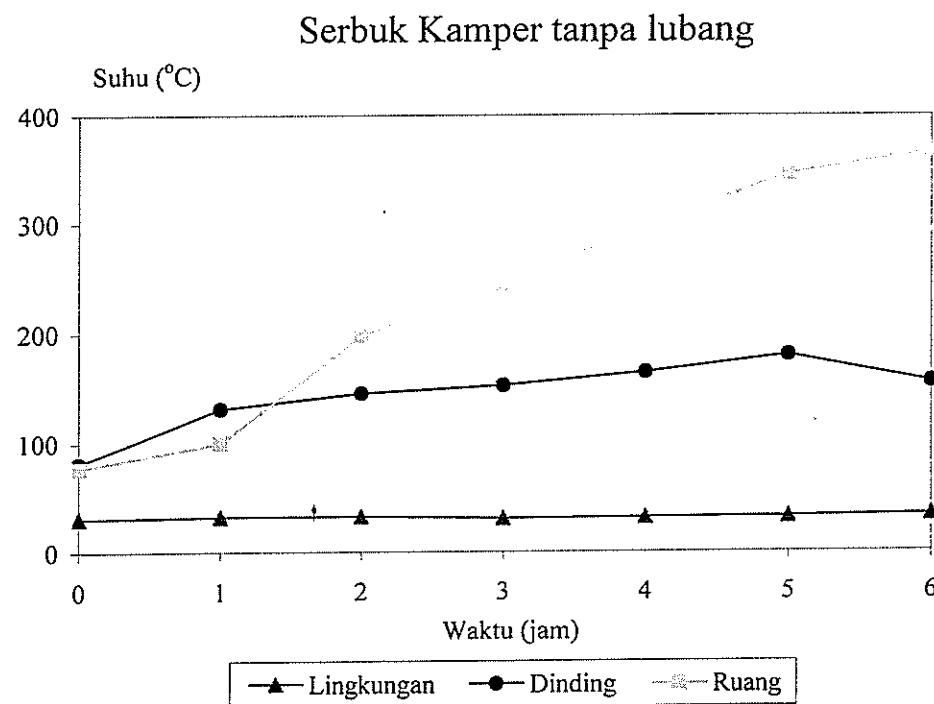
@Hak cipta milik IPB University

Lampiran 4b. Lanjutan

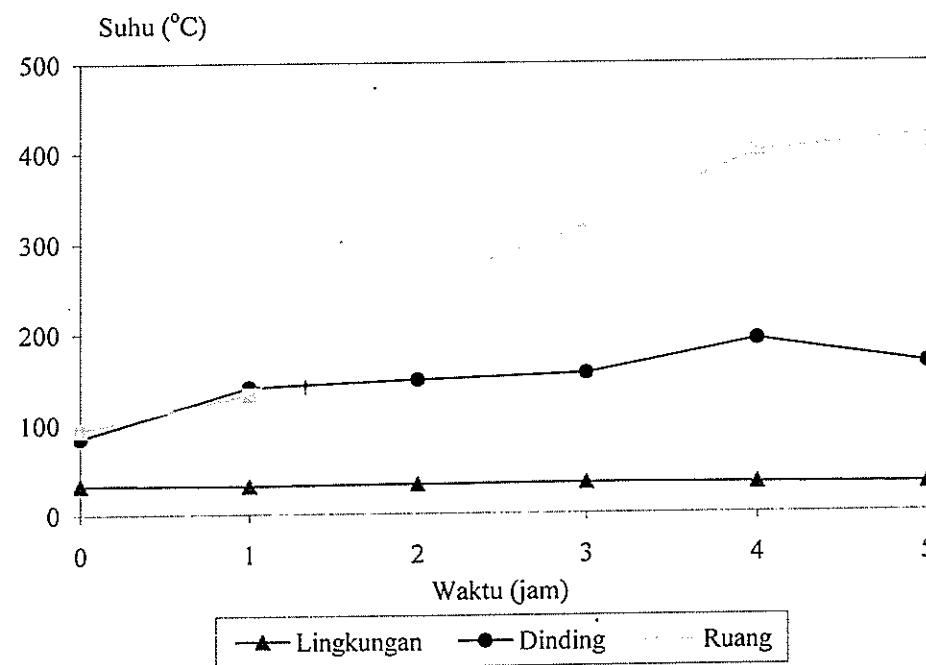


Lampiran 5a

@Hak cipta milik IPB University

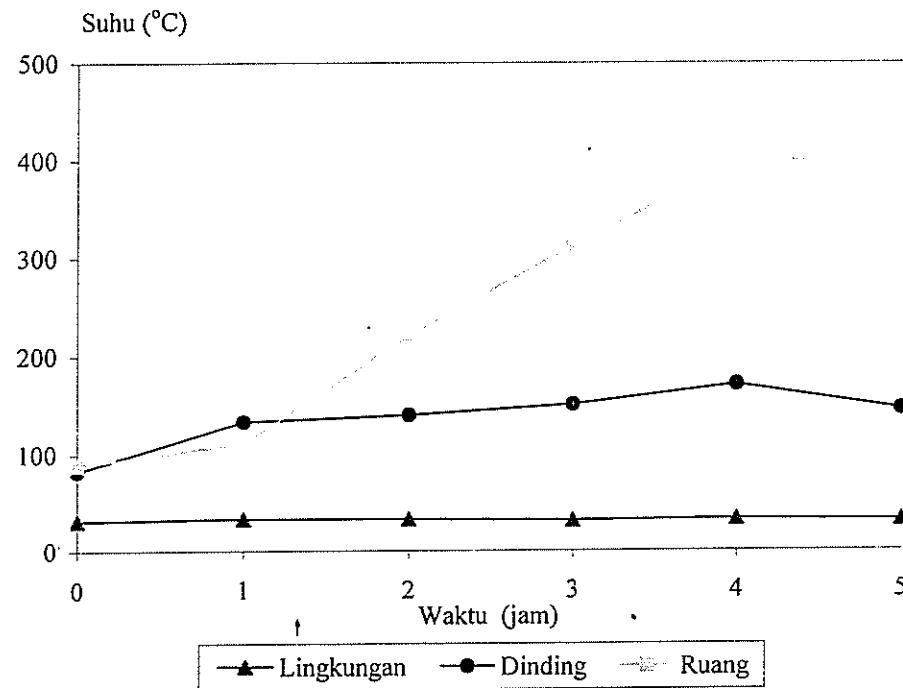


Serbuk Kamper 6 Lubang

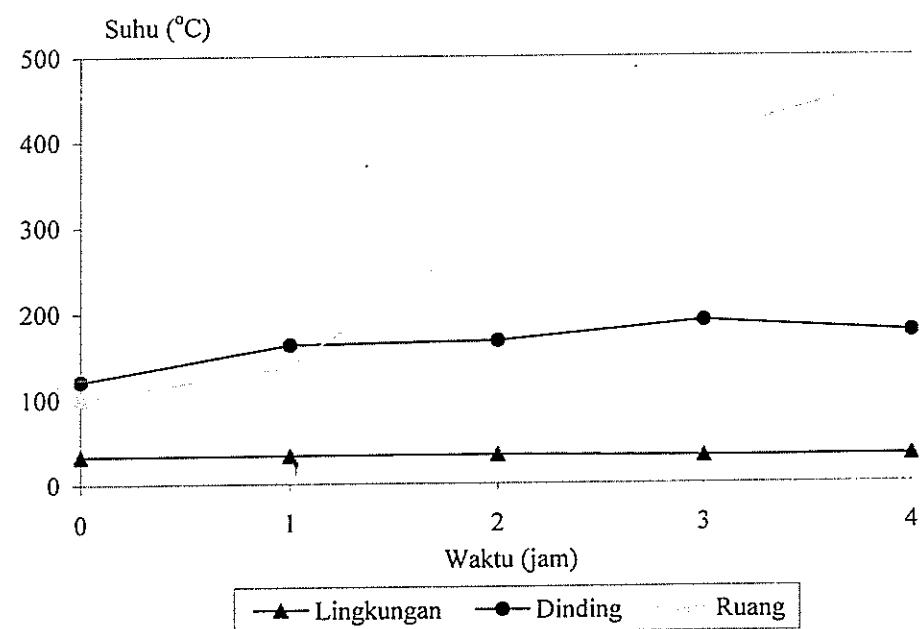


Lampiran 5b. Lanjutan

Serbuk Kamper 8 Lubang



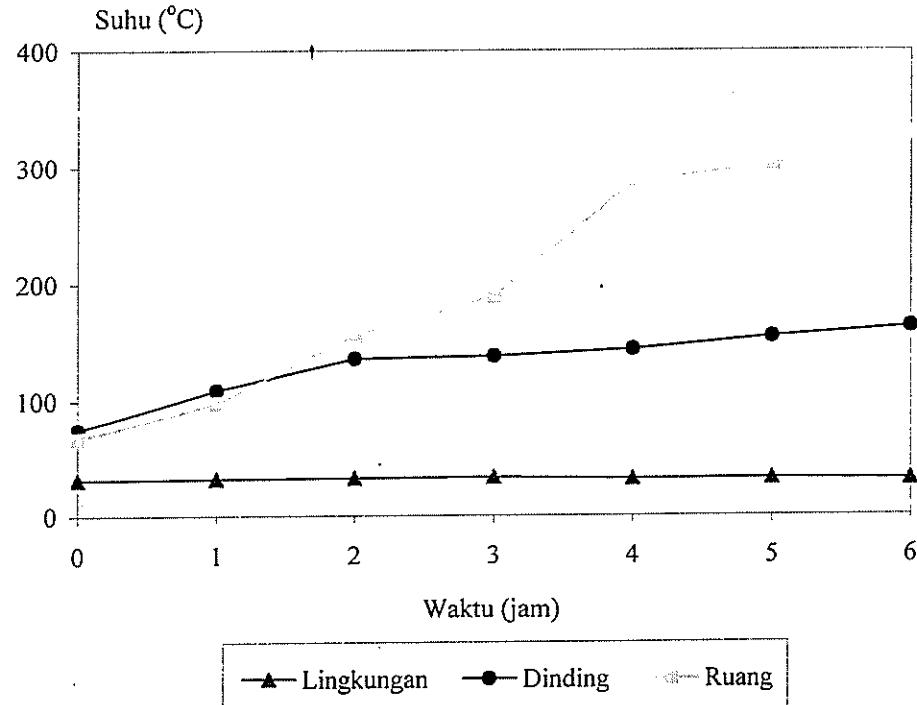
Serbuk Kamper 14 Lubang



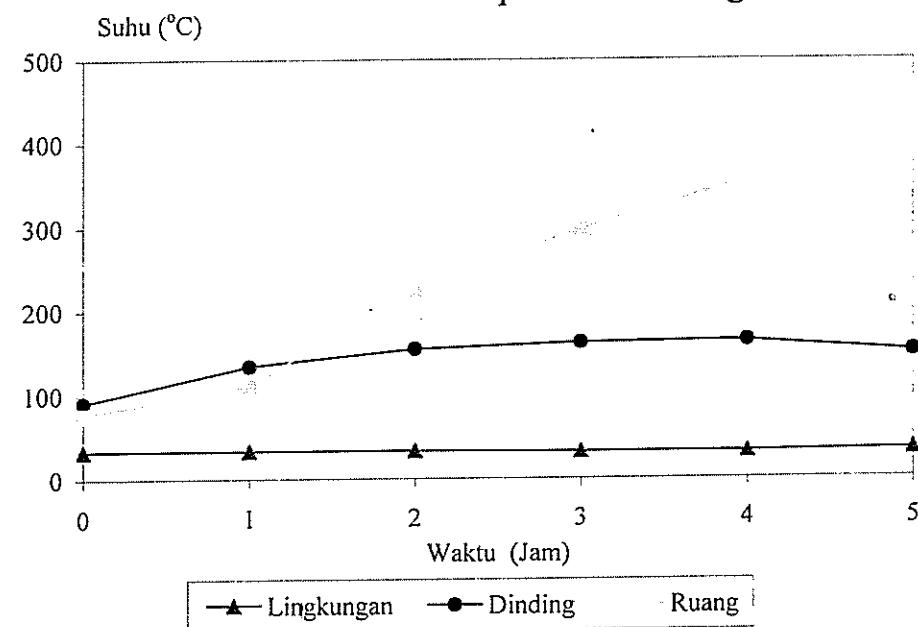
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 6a. Lanjutan

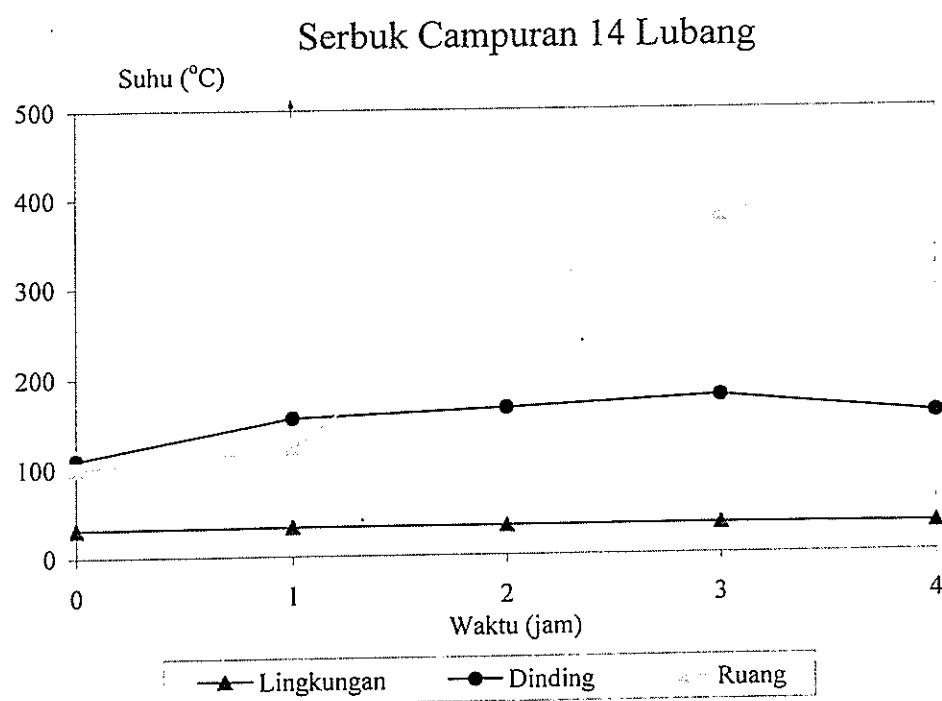
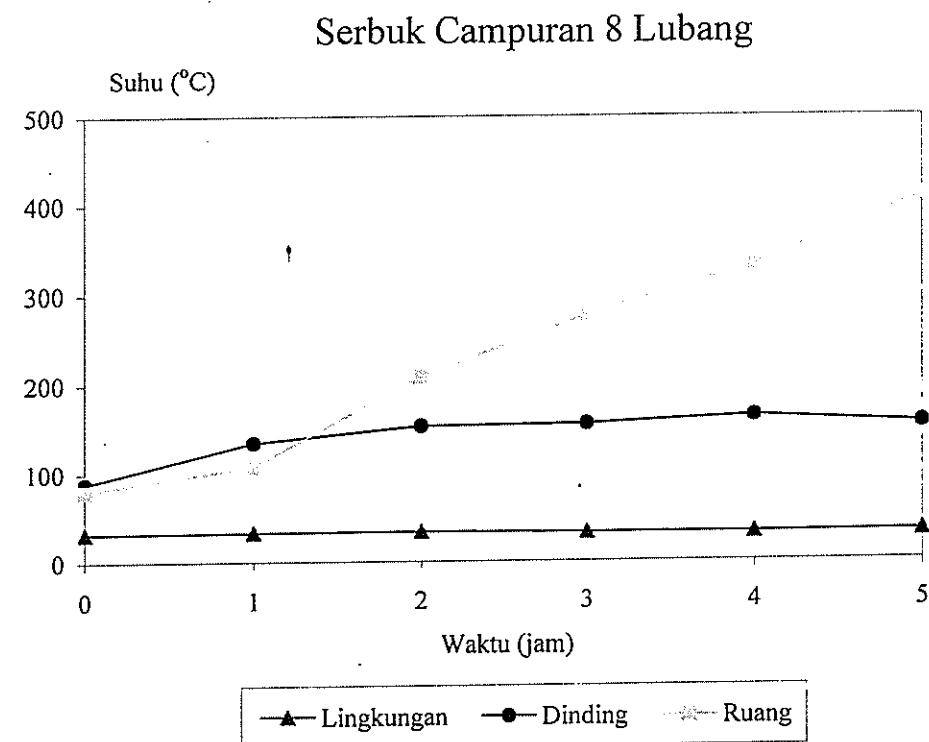
Serbuk Campuran Tanpa Lubang



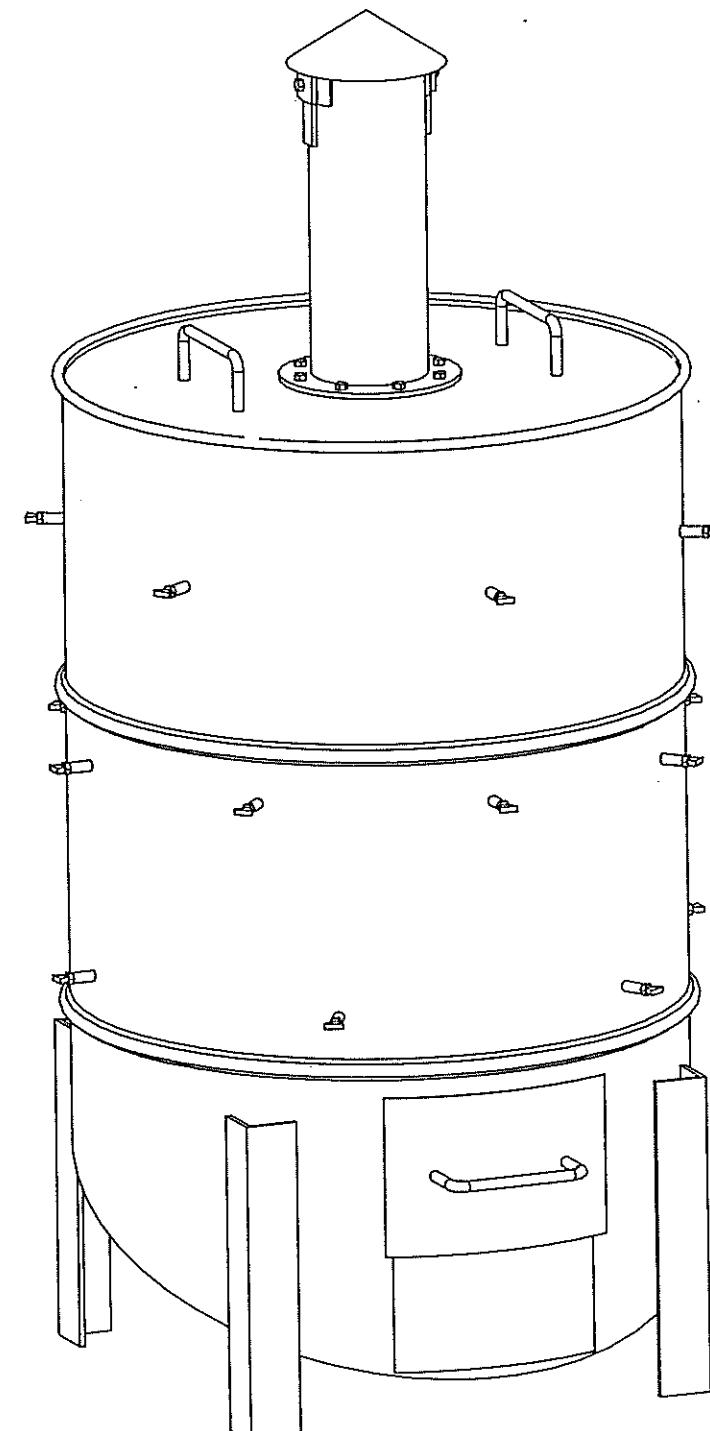
Serbuk Campuran 6 Lubang



Lampiran 6b. Lanjutan



Lampiran 7. Sketsa Gambar alat pengarangan konvesional yang dimodifikasi



 Lab. Gambar FATETA	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
Kilen Metal		Hal : 1	A4

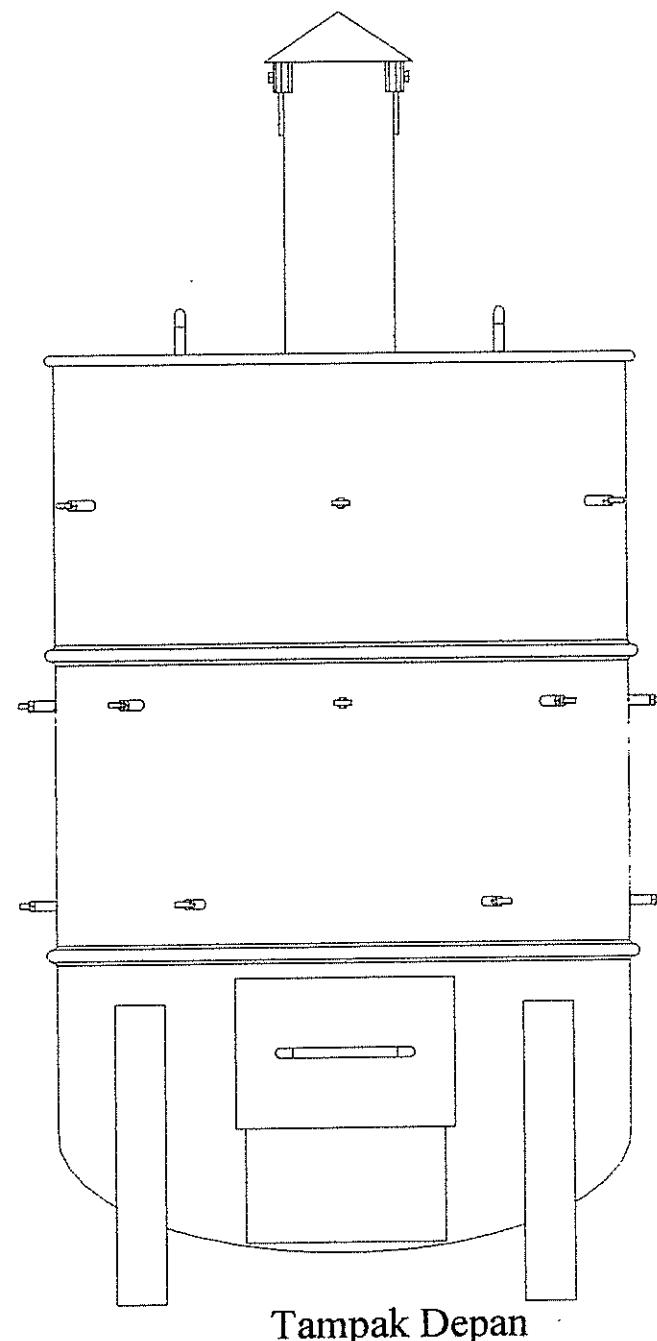


@Hak cipta milik IPB University

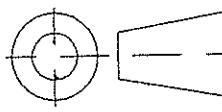
IPB University



Lampiran 7. (lanjutan)



Tampak Depan

 Lab. Gambar FATETA	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
	Kilen Metal		
Hal : 1 A4			

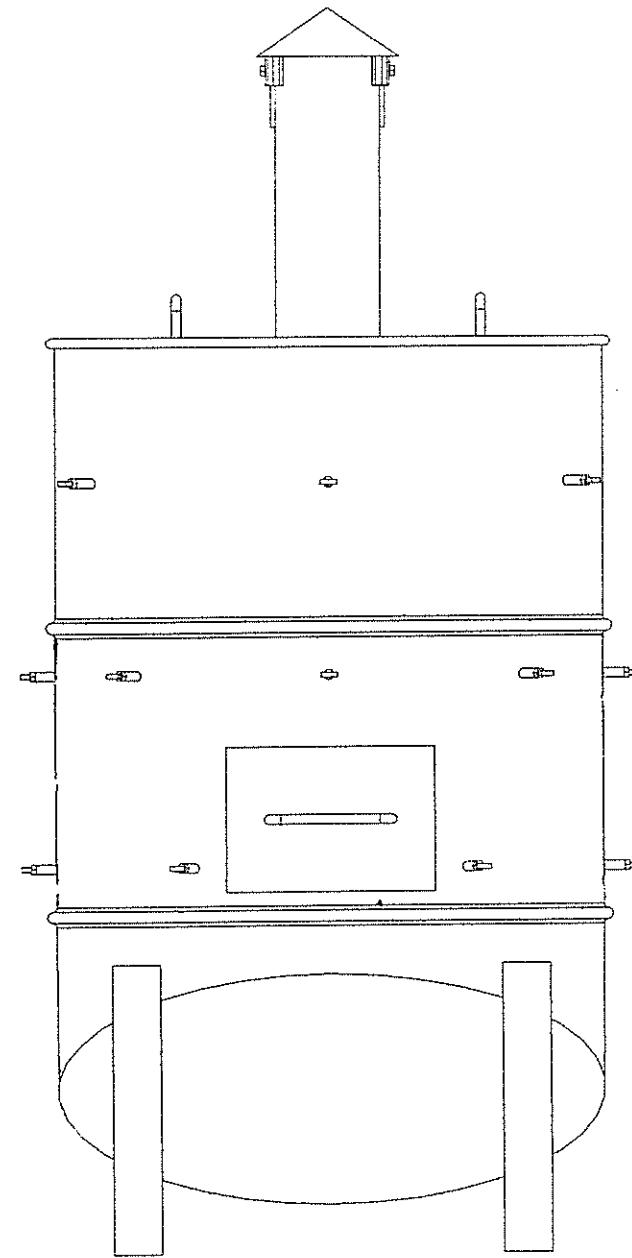


Lampiran 7. (lanjutan)

©Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.



Tampak Belakang

	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
	Lab. Gambar FATETA		
Kilen Metal			Hal : 1 A4



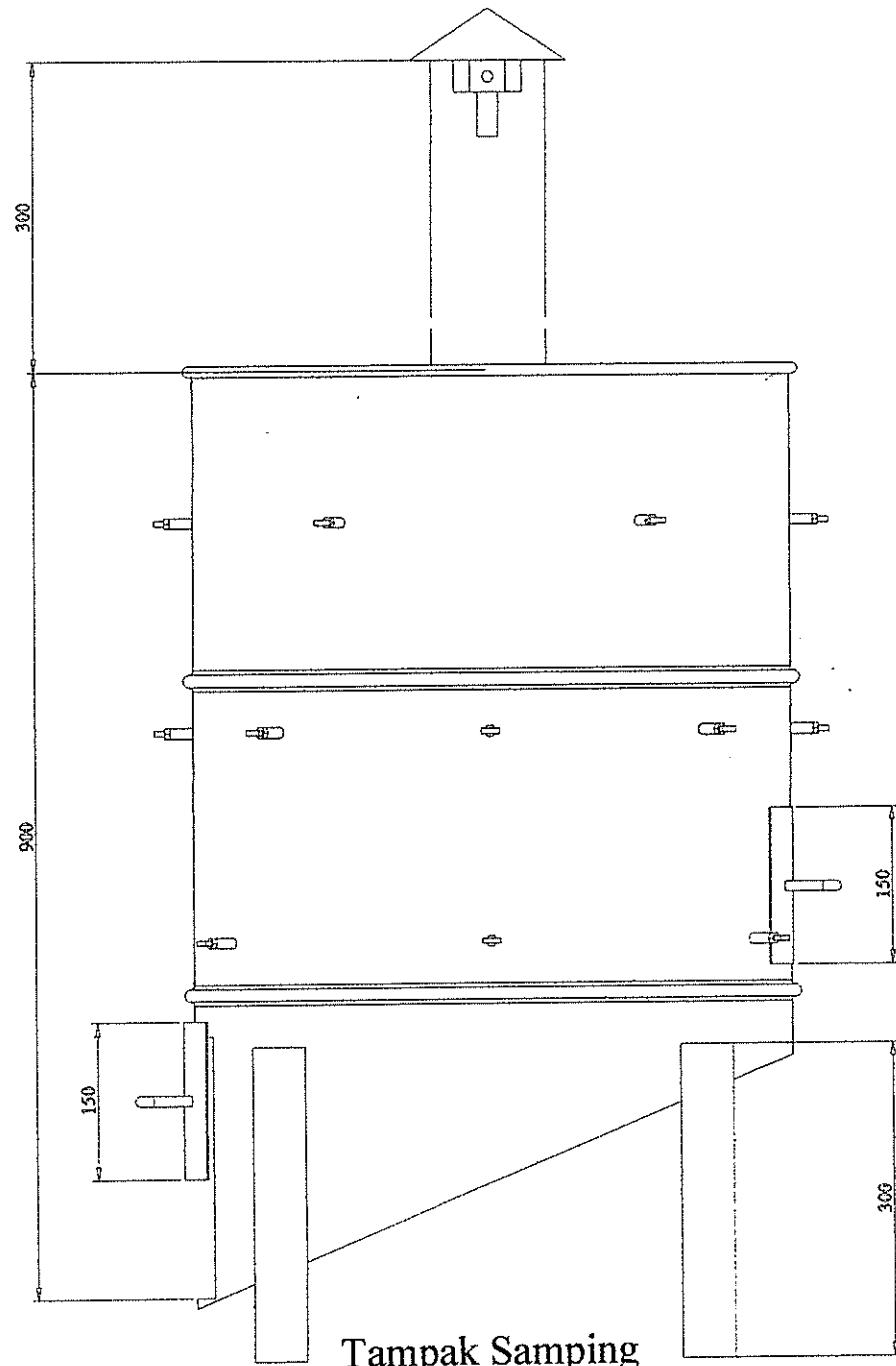
Lampiran 7. (lanjutan)

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

© 2002



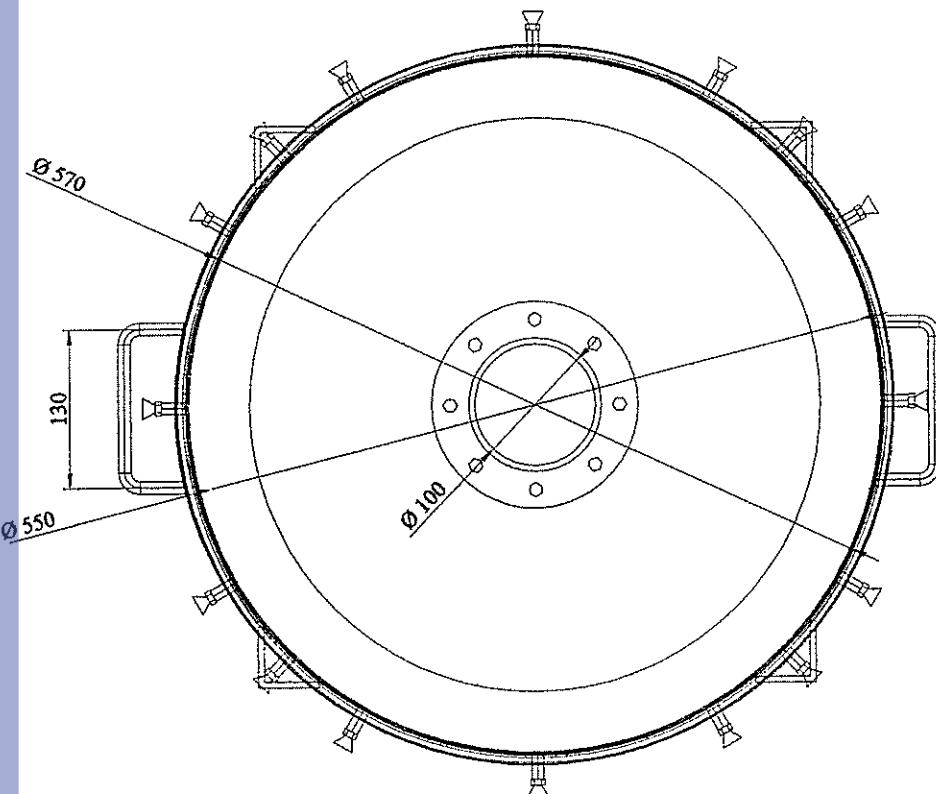
 Lab. Gambar FATEKA	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
	Kilen Metal		
Hal : 1			A4



Lampiran 7. (lanjutan)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

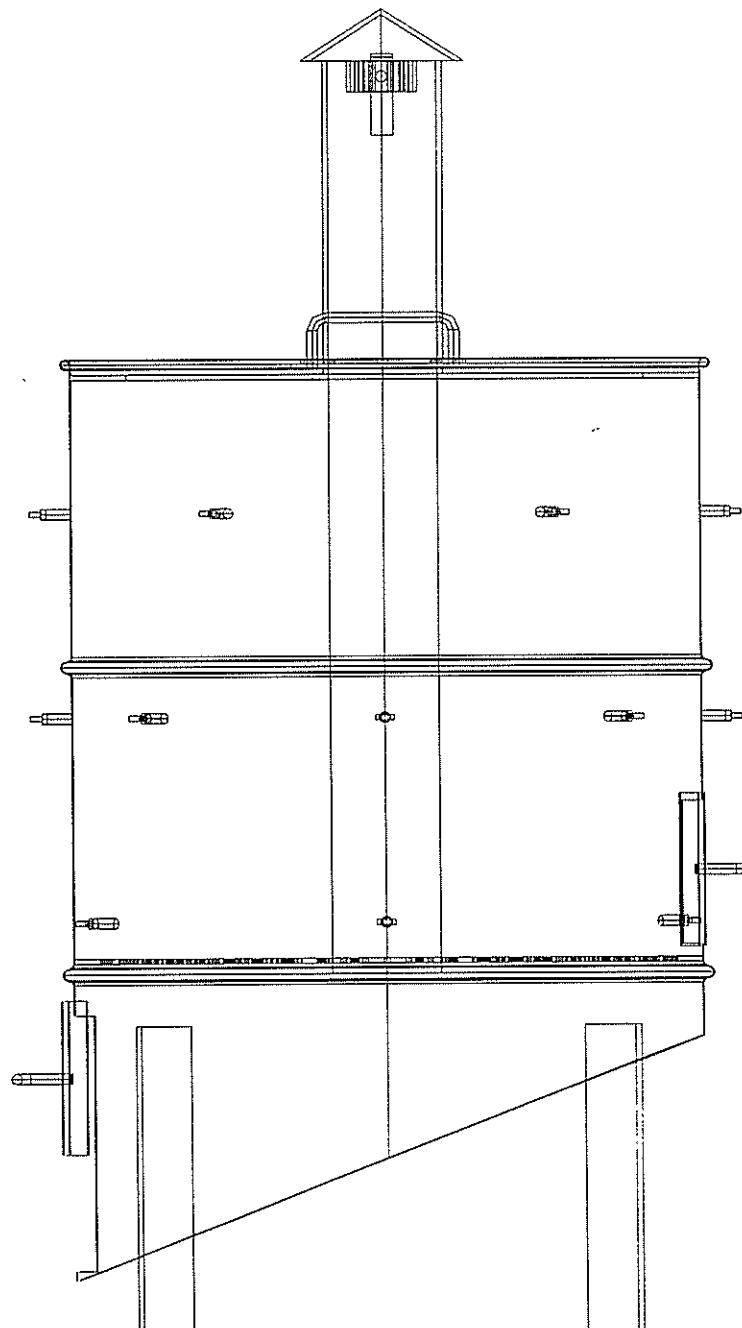


Tampak Atas

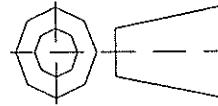
 Lab. Gambar FATETA	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
	Kilen Metal		
Hal : 1 A4			



Lampiran 7. (Lanjutan).



Potongan Samping

	Skala : 1 : 10	Nama : Fonda M.S.	Peringatan :
	Satuan : mm	NRP : F.31.1197	
	Tanggal : 30 Mei 2002	Pmrks : Ir. Sri Endah A.	
Lab. Gambar FATETA	Kilen Metal		Hal : 1 A4

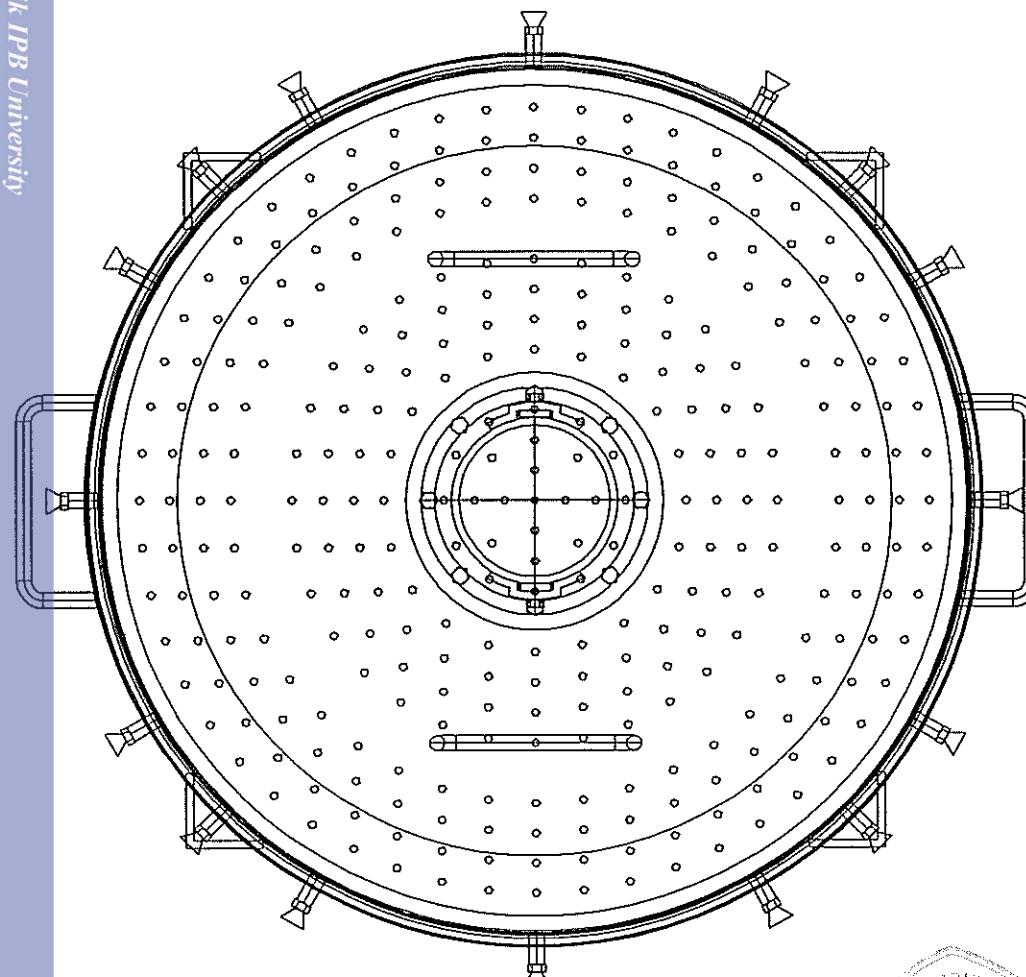
Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

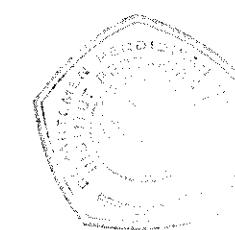
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Lampiran 7. (Lanjutan).



Potongan Atas



	Skala : 1 : 10 Satuan : mm Tanggal : 30 Mei 2002	Nama : Fonda M.S. NRP : F.31.1197 Pmrks : Ir. Sri Endah A.	Peringatan :
Lab. Gambar FATETA	Kilen Metal		
	Hal : 1		A4

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak mengurangi kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.