

ASPEK THERMOFISIS PEMANFAATAN KAYU SEBAGAI BAHAN BAKAR SUBSTITUSI DI PABRIK SEMEN

Thermophysical Aspect of Wood Utilization as Substitution Fuel at Cement Factory

Teket DWI CAHYONO¹, Zahrial COTO², Fauzi FEBRIANTO³

ABSTRACT

Wood has specific base properties of thermal and combustion. Since being grown normally at marginal soil of mining area, sengon buto, waru and gmelina woods were objectified to investigate thermophysical aspect of their usage as substitution fuel in cement production. Examination based on species, ages and horizontal positions of those woods showed that mean of heating value in oven dry and air dry condition was 4.505 kkal/kg and 4.084 kkal/kg, respectively. Determination of wood substitution to ordinary fuel was acquired by accumulating heating value with prediction value of plantation biomass potency; and enquiry for 850 ha mining area resulted that waru wood will contribute about 5,14% to coal total requisite per year, gmelina and sengon buto will contribute about 5,03% and 4,49%, respectively.

Keywords: Wood, heating value, substitution fuel

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

PT Holcim Indonesia (nama baru PT Semen Cibinong), telah berdiri dan aktif melakukan kegiatan pertambangan sejak tahun 1971. PT. Holcim Indonesia memiliki dua pabrik semen yang beroperasi di Narogong dan Cilacap serta tambang agregat terbesar di pulau Jawa dengan kapasitas produksi sebesar 7,9 juta ton semen. Pabrik Narogong memiliki 2 buah tanur semen, yaitu NR3 dan NR4 dengan kapasitas total terpasang sebesar 4,1 juta ton semen/tahun. (Bertschinger, 2006).

Secara umum, kegiatan pabrik semen terdiri atas tiga tahap, yaitu penambangan bahan baku, proses produksi semen dan proses pemasaran. Proses produksi secara khusus terdiri dari 4 tahap yaitu penggilingan bahan baku, pembakaran, penggilingan akhir dan pengantongan semen. Kegiatan pembakaran dalam proses produksi merupakan proses inti, karena sebagian besar energi diperlukan dalam

proses ini. Ditinjau dari pengaruh lingkungan, maka proses pembakaran termasuk salah satu yang paling berpotensi (disamping juga kegiatan penambangan) dalam mempengaruhi kualitas lingkungan (Bertschinger, 2006).

Indonesia termasuk negara dengan sumber tambang batu bara terbesar di dunia. Cadangannya diperkirakan 36,3 milyar ton. Dari total resources tersebut, hanya 7,6 milyar ton yang dapat dikatakan sebagai cadangan pasti (*reserve*). Ini pun, hampir 58,5% nya adalah batu bara muda (*lignite*), selain *sub-bituminous* (26.6%), *bituminous* (14%) dan sisanya adalah *antrasit*. Kendala yang dihadapi dalam pemakaian batu bara muda ini adalah nilai kalori pembakarannya yang rendah dan kadar sulfur yang tinggi. Batu bara muda pada saat dibakar memiliki nilai kalor kecil karena energinya digunakan untuk menguapkan air. Kandungan sulfur yang tinggi akan menjadi gas pencemar, sehingga diperlukan biaya tambahan untuk mengurangi emisi gas sulfur (Widagdo, 2004).

Sementara itu, harga batu bara kualitas baik terus naik dari US\$ 50,54/ton (Maret 2004) menjadi US\$ 70/ton (Januari 2008). Harga batu bara kualitas rendah berada pada kisaran US\$32 - US\$34/ton, naik hampir 100% dibandingkan awal tahun 2007 yang masih berada pada kisaran US\$ 16 - US\$ 20/ton (Budhiwijayanto, 2008). Selain masalah harga, batu bara berkualitas baik semakin sulit untuk didapatkan. Sebagai contoh, masalah yang dihadapi PT. Indocement Tunggul Prakarsa adalah jika sebelumnya pasokan batu bara memiliki nilai kalor 6.500 kkal/kg, maka sekarang hanya mencapai 5.600 kkal/kg (Susianto, 2005). Untuk mengatasi masalah tersebut, industri yang menggunakan batu bara sebagai bahan bakar mulai mengintensifkan program substitusi batu bara dengan bahan bakar dan material alternatif (BBMA).

Salah satu pemanfaatan energi alternatif adalah energi yang berasal dari biomassa. Pemanfaatan energi alternatif dari biomassa akan terus dikembangkan sampai tersedia sumber energi yang murah dan tersedia berlimpah. Smith (1981) dalam Haygreen *et al.* (2003) menyatakan bahwa pada tahun 2000, secara menyeluruh di dunia, kayu yang akan digunakan sebagai bahan energi berjumlah 10% dari pemakaian energi.

¹ Staf pengajar Fakultas Pertanian Universitas Darussalam Ambon

² Staf pengajar Departemen Hasil Hutan IPB

³ Staf pengajar Departemen Hasil Hutan IPB

Sementara itu menurut Buongiorno *et al* (2003), pemakaian kayu sebagai bahan bakar selama tahun 1961 – 1997 meningkat hampir 53% dan diprediksikan peningkatannya akan mencapai 73% pada tahun 2010. Bahan bakar biomassa lain selain kayu juga digunakan dalam memenuhi kebutuhan energi alternatif. Sebagai contoh, PT. Indocement Tunggul Perkasa telah menanam 100.000 bibit jarak pagar yang dimulai pada bulan Januari 2007 (Lavalle, 2007). PT. Semen Padang mempersiapkan limbah tandan kosong sawit (TKS) sebagai bahan bakar substitusi. Tahap awal substitusi adalah 5% dari kebutuhan batu bara. Bahan substitusi ini bisa dicampur dengan batu bara ataupun tanpa dicampur (Saksono, 2006).

Pabrik semen PT. Holcim yang beroperasi di Narogong terletak di Kecamatan Klapanunggal Kabupaten Bogor menempati areal seluas 1.337,81 Ha. Aktifitas pertambangan yang telah dilakukan sampai Desember 2006, quari batu gamping yang telah terbuka seluas 214,69 Ha, tanah liat 47,8 Ha dan luas areal yang sudah ditambang sampai elevasi terendah mencapai 78,9 Ha. Areal dengan elevasi terendah tersebut telah dimanfaatkan untuk penghijauan 15,43 Ha, *settling pond* 8,19 Ha, reklamasi 8 Ha, areal topsoil 0,65 Ha dan tapak pabrik/bangunan 46,63 Ha. Dengan demikian, lahan yang akan ditanami dengan kayu energi seluas kurang lebih 850 Ha. Jenis tanaman penghijauan yang telah ditanam sejak tahun 2001 diantaranya adalah sengon buto, gmelina, waru, lamtoro, trembesi, turi, gamal dan angkana (Bertschinger, 2006).

Sehubungan dengan uraian diatas, maka diperlukan suatu kajian thermofisis pemanfaatan hasil penghijauan pada area bekas tambang untuk penyediaan kayu energi sebagai bahan bakar dan material alternatif (BBMA) substitusi¹ batu bara.

1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui aspek thermofisis pemanfaatan kayu yang ditanam pada areal bekas tambang maupun lahan yang direncanakan ditambang sebagai bahan bakar substitusi pada proses produksi semen.

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada pengelola pertambangan untuk menggunakan kayu dari jenis-jenis cepat tumbuh yang secara teknis layak ditanam di area bekas tambang maupun area yang akan ditambang sebagai bahan bakar substitusi batu bara dalam proses produksi semen.

II. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Pabrik Semen PT. Holcim, Kecamatan Klapanunggal Kabupaten Bogor dan Bagian Peningkatan Mutu Kayu Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Kegiatan Penelitian dimulai dari bulan Februari 2007 sampai bulan Januari 2008.

2.2. Alat dan Bahan

Bahan dan peralatan yang digunakan untuk dapat memenuhi tujuan penelitian tersebut diatas antara lain meliputi :

1. Peralatan analisis nilai kalor kayu, kadar air dan berat jenis (kalorimeter, jangka sorong, cawan petri, oven, timbangan, parafin.
2. Peralatan tulis menulis dan dokumentasi.
3. Bahan yang digunakan adalah kayu sengon buto, kayu gmelina dan kayu waru dari beberapa kelas umur.

2.3. Pengujian sifat dasar kayu dan nilai kalor.

2.3.1. Pembuatan sampel

Sampel diambil pada tiga bagian pohon yaitu bagian teras, gubal dan kulit. Dari setiap bagian ini dibuat sampel untuk penentuan berat jenis dan kadar air (KA) dengan panjang 2,5 cm. Demikian juga sampel untuk penentuan nilai kalor. Selanjutnya sampel dibuat dan disesuaikan dengan kebutuhan pengujian lanjutan.

2.3.2. Pengujian berat jenis

Berat jenis kayu atau kulitnya ditentukan berdasarkan berat contoh kering oven dibagi dengan volume basah. Contoh kayu atau kulit berukuran lebih kurang 5 cm x 5 cm x 2,5 cm untuk kayu dan 5 cm x 2,5 cm dan tebalnya menurut tebal kulit. Berat jenis kayu atau kulit dapat ditentukan dengan rumus :

$$\text{Berat Jenis} = \frac{\text{Berat Kering Oven}}{\text{Volume Basah}}$$

2.3.3. Pengujian Nilai Kalor

Contoh kayu atau kulit secara terpisah dibuat serpihan-serpihan kecil dengan menggunakan gergaji. Untuk menetapkan nilai kalor pada kadar air tertentu, maka serpihan kayu tersebut langsung hitung nilai kalornya. Sedangkan untuk menetapkan nilai kalor ada saat kering tanur, serpihan kayu dikeringkan dalam oven selama 24 jam pada suhu 103 ± 2 °C. Nilai kalor dihitung berdasarkan banyaknya kalor yang dilepaskan yang akan sama dengan kalor yang akan diserap oleh air dalam kalorimeter, yang dinyatakan dalam kilokalori per kilogram dan dihitung dengan memakai rumus sebagai berikut :

¹ Istilah substitusi batu bara digunakan dalam penelitian ini, sedangkan kata yang digunakan dalam surat KepMenLH tentang penggunaan bahan bakar menggunakan kata "alternatif".

Aspek Thermofisis Pemanfaatan Kayu

$$\text{Nilai kalor} = \frac{W \times (t_2 - t_1)}{A} - B$$

Keterangan : W : Nilai air dari alat kalorimeter,
 t_1 : Suhu mula-mula,
 t_2 : Suhu setelah pembakaran
 B : Koreksi panas pada kawat besi,
 A : Berat contoh

ϵ_{ijk} = kesalahan percobaan karena faktor umur ke i, letak ke j dalam kelompok ke k

S_{ijkl} = kesalahan sampling pada satuan pengamatan ke l karena faktor umum ke i, faktor letak ke j dalam kelompok ke k

Sebagai kelompok dalam penelitian ini berupa jenis kayu berikut lingkungannya (ρ_k , $k = 1,2,3$). Sedangkan sebagai faktor terdiri atas umur (α_i , $i = 2, 4, 6$) dan letak dalam pohon (β_j , $j = 1,2,3$) yaitu teras, gubal dan kulit.

Untuk mengetahui hubungan kadar air dengan nilai kalor, dibuat persamaan regresi antara kadar air dengan nilai kalor.

2.3.4. Pengujian Kadar Abu (TAPPI T211 om-93)

Sebelum dilakukan pengujian kadar abu, perlu dilakukan pengujian kadar air sesuai TAPPI T 264, yaitu :

Sampel ditimbang sekitar 2 gram sampel dengan toleransi 0,001 g (A). Selanjutnya dikeringkan selama 2 jam dalam oven pada suhu $102 \pm 3^\circ\text{C}$, didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Sampel dioven kembali selama 1 jam, dinginkan dan timbang. Pengulangan kegiatan dilakukan hingga dicapai berat konstan (B), yaitu berat sampel tidak berubah lebih dari 0,002 g. Kadar air kayu yang dinyatakan dalam persen dengan ketelitian 0,1% dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar air} = (A-B/B) \times 100 \%$$

Sedangkan prosedur penentuan kadar abu dalam kayu (TAPPI T 211 om-93) adalah sebagai berikut :

Cawan abu kosong dibersihkan dan dipanaskan pada suhu $525 \pm 25^\circ\text{C}$ selama 30-60 menit. Setelah pemanasan, cawan didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Sampel ekuivalen 1 g kering oven dipindahkan ke dalam cawan abu. Sampel dipanaskan pada suhu 100°C , secara bertahap ditingkatkan suhunya sehingga mencapai 525°C sehingga terjadi karbonasi tanpa pembakaran. Suhu pengabuan diatur pada $525 \pm 25^\circ\text{C}$. Pembakaran selesai jika partikel hitam telah hilang, lalu cawan didinginkan dalam desikator dan ditimbang. Pembakaran dan penimbangan dilakukan hingga berat abu konstan hingga $\pm 0,2$ mg.

Kadar Abu (%) = ((A/B) x 100), dimana :

A = berat abu, (g), B = berat kayu kering (g).

2.4. Metode Analisis

Dalam penelitian ini dipakai rancangan percobaan faktorial dalam kelompok dengan subsampling, dengan model umum sebagai berikut :

$$Y_{ijkl} = \mu + \rho_k + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk} + S_{ijkl}$$

Dengan,

Y_{ijkl} = nilai pengamatan,
 μ = nilai rata-rata umum
 ρ_k = pengaruh kelompok (jenis) ke k,
 α_i = pengaruh faktor umur ke i
 β_j = pengaruh faktor letak dalam pohon ke j
 $\alpha\beta_{ij}$ = pengaruh interaksi faktor umur ke i dengan faktor letak dalam pohon ke j

2.5. Analisis Persentase Bahan Bakar yang dapat di Substitusi oleh Kayu.

Analisis persentase bahan bakar dilakukan dengan beberapa tahap kegiatan berikut :

1. Penetapan RIAP volume dengan studi pustaka.
2. Penetapan etat terbang tahunan secara lestari dengan metode Cotta.
3. Menghitung jumlah kalor yang dapat disubstitusi oleh kayu per tahun.
4. Menghitung persentase nilai kalor kayu dibandingkan nilai kalor batu bara selama setahun.

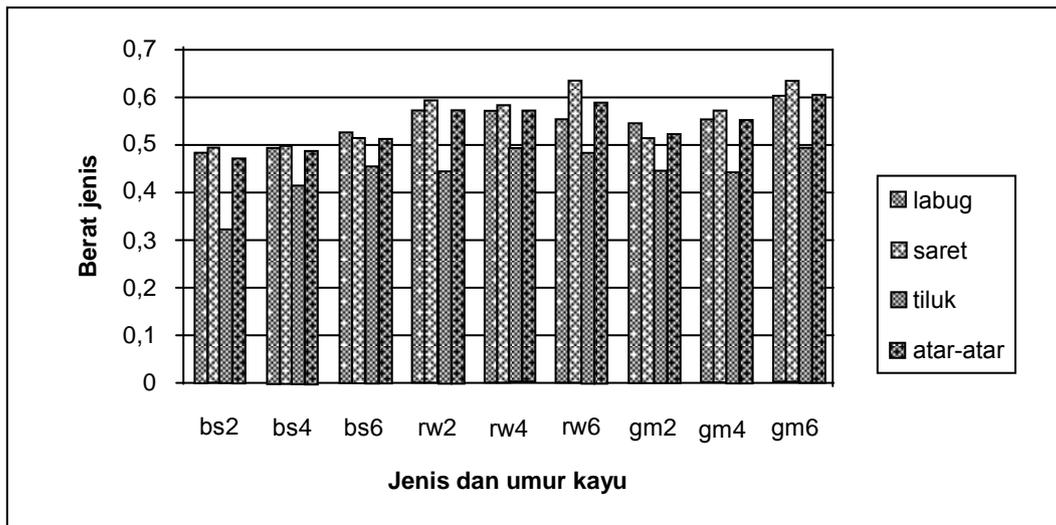
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Berat Jenis, Nilai Kalor dan Kadar Abu

Pada penelitian ini, sampel tanaman diambil dari tanaman yang ditanam pada areal bekas tambang kawasan Pabrik Semen PT. Holcim di Narogong, Kecamatan Klapanunggal Kabupaten Bogor. Penghijauan sudah dilakukan oleh bagian lingkungan PT. Holcim sejak tahun 2001 seluas kurang lebih 50 Ha dengan berbagai jenis tanaman yang dapat tumbuh pada kondisi yang kritis dan berpotensi sebagai kayu energi. Jenis yang telah ditanam diantaranya adalah sengon buto, waru, gmelina, lamtoro, trembesi, turi, gamal dan angkana. Tanaman sengon buto, waru dan gmelina digunakan dalam penelitian ini karena tersedia pada berbagai kelas umur. Berat jenis sengon buto, waru dan gmelina dianalisis berdasarkan faktor jenis, umur dan faktor posisi horisontal (gubal, teras dan kulit). Analisis berdasarkan faktor tersebut juga dilakukan dalam menghitung nilai kalor pada kondisi basah, kering udara dan kering tanur.

3.1.1. Berat Jenis Kayu dan Kulit

Hasil pengujian berat jenis kayu menunjukkan rata-rata berat jenis kayu sengon buto adalah 0,50 dengan kisaran dari 0,48 - 0,52. Kayu waru memiliki rata-rata berat jenis 0,58 dengan kisaran dari 0,55 - 0,63. Kayu gmelina memiliki rata-rata berat jenis sebesar 0,57 dengan kisaran dari 0,51 - 0,63. Sementara itu untuk pengujian berat jenis kulit, kulit waru memiliki rata-rata berat jenis paling besar yaitu 0,47 dengan kisaran 0,44 - 0,49. Kulit gmelina memiliki rata-rata sebesar 0,46 dengan kisaran 0,44 - 0,49. Kulit sengon buto memiliki rata-rata 0,39 dengan kisaran 0,32 - 0,45.



Gambar 1. Berat jenis kayu sengon buto, waru dan gmelina pada umur dan posisi horisontal kayu yang berbeda

Keterangan : sb = sengon buto, wr = waru, gm = gmelina
 2, 4 dan 6 = menunjukkan umur 2, 4 dan 6 tahun
 Rata-rata dihitung sesuai proporsi kayu dan kulit

Secara umum, rata-rata berat jenis kayu lebih besar dibandingkan dengan berat jenis kulit. Sebagai contoh, kayu gmelina memiliki rata-rata berat jenis kayu sebesar 0,57 sedangkan rata-rata berat jenis kulitnya 0,47. Berat jenis kayu dan kulit juga meningkat seiring dengan pertambahan umur kayu. Sementara itu, berat jenis kayu gubal secara umum lebih rendah dibandingkan dengan kayu teras, kecuali pada beberapa sampel yang menunjukkan perbedaan. Sebagai contoh pada kayu sengon buto umur 4 tahun, rata-rata berat jenis kayu teras sebesar 0,50 dan rata-rata berat jenis kayu gubal sebesar 0,49 (Gambar 1).

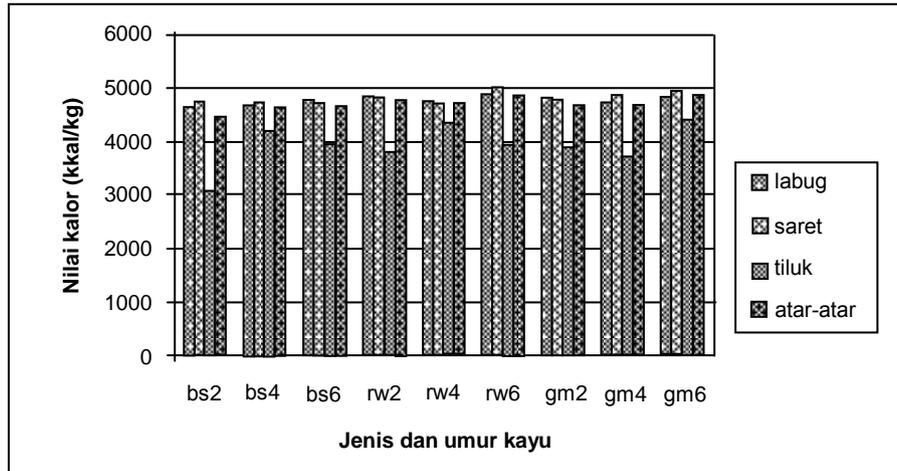
Berat jenis dan kerapatan dipengaruhi oleh kadar air, struktur sel, ekstraktif dan komposisi kimia. Berat jenis dan kerapatan bervariasi antara jenis, diantara jenis yang sama dalam satu spesies dan di dalam satu pohon. Kerapatan kulit luar kayu daun jarum bervariasi dari 0,29 sampai 0,70 g/cm³, sedangkan kayu daun lebar berkisar antara 0,28 sampai 0,81 g/cm³ (Tsoumis, 1991).

Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa jenis kayu, umur dan posisi horisontal berpengaruh sangat nyata terhadap berat jenis baik pada taraf 1% maupun 5%. Sedangkan interaksi antara umur dan posisi horisontal tidak berpengaruh, baik pada taraf 1% maupun 5%.

3.1.2. Nilai Kalor dan Kadar Abu

Hasil pengujian nilai kalor kayu menunjukkan bahwa rata-rata nilai kalor kayu sengon buto sebesar 4.700 kkal/kg dengan kisaran 4.647 kkal/kg - 4.777 kkal/kg. Kayu waru memiliki rata-rata nilai kalor sebesar 4.840 kkal/kg dengan kisaran antara 4.847 kkal/kg - 4.976 kkal/kg. Kayu gmelina memiliki rata-rata nilai kalor sebesar 4.840 kkal/kg dengan kisaran antara 4.735 kkal/kg - 4.963 kkal/kg. Pada bagian kulit, nilai kalor rata-ratanya lebih rendah dibandingkan dengan kayu. Pada bagian kulit, rata-rata nilai kalor kulit sengon buto adalah 3.746 kkal/kg dengan kisaran antara 3.056 kkal/kg - 4.206 kkal/kg, kulit waru memiliki rata-rata nilai kalor sebesar 4.025 kkal/kg dengan kisaran antara 3.809 kkal/kg - 4.342 kkal/kg dan kulit gmelina memiliki rata-rata nilai kalor sebesar 3.810 kkal/kg dengan kisaran antara 3.724 kkal/kg - 4.424 kkal/kg.

Hasil rata-rata pengukuran nilai kalor menunjukkan bahwa secara umum nilai kalor kayu teras lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalor kayu gubal kecuali pada beberapa sampel kayu menunjukkan hasil sebaliknya, misalnya kayu gubal gmelina umur 2 tahun nilai kalornya 4.820 kkal/kg sedangkan nilai kalor kayu terasnya sebesar 4.773 kkal/kg. Perbedaan nilai kalor pada kayu menurut faktor-faktor yang diteliti disajikan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Nilai kalor kayu sengon buto, waru dan gmelina pada umur dan posisi horisontal kayu yang berbeda

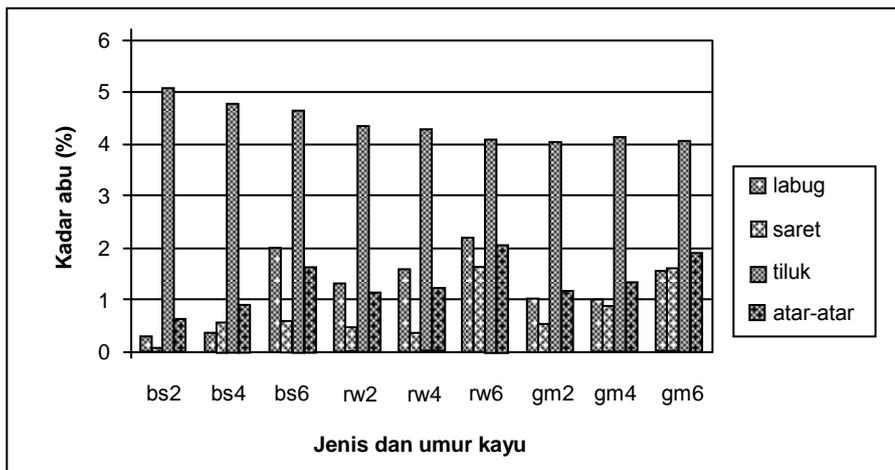
Keterangan : sb = sengon buto, wr = waru, gm = gmelina
 2, 4 dan 6 = menunjukkan umur 2, 4 dan 6 tahun
 Rata-rata dihitung sesuai proporsi kayu dan kulit

Menurut Haygreen *et al.* (2003), rata-rata nilai kalor pada kayu kering tanur adalah 4.500 kkal/kg. Nilai kalor dipengaruhi oleh kadar air, ekstraktif, susunan kimia kayu dan jenis kayu. Nilai kalor kayu kering udara 15% lebih kecil daripada kayu kering tanur. Selain kadar air sebagai faktor utama yang mempengaruhi nilai kalor kayu, ekstraktif merupakan faktor penting dalam menentukan nilai kalor. Sebagai contoh, oleoresin memiliki nilai kalor 8.500 kkal/kg. Pengaruh dari komposisi kimia diturunkan dari nilai kalor lignin (6.100 kkal/kg) lebih besar daripada nilai kalor selulosa (4.150 – 4.350 kkal/kg).

Hasil analisis sidik ragam terhadap nilai kalor kayu menunjukkan bahwa perbedaan posisi horisontal berpengaruh nyata terhadap nilai kalor kayu baik pada taraf 1% maupun 5%. Jenis kayu dan umur berpengaruh nyata pada taraf 5%, tidak nyata pada taraf 1%. Sedangkan interaksi antara jenis

dan umur tidak berpengaruh nyata terhadap nilai kalor baik pada taraf 1% maupun 5%.

Pengujian terhadap kadar abu mendapatkan hasil rata-rata kadar abu kulit sengon buto adalah 4,82%. Rata-rata kadar abu kulit waru dan gmelina masing-masing sebesar 4,23% dan 4,06%. Rata-rata kadar abu seluruh sampel kulit yang diteliti sebesar 4,37%. Rata-rata kadar abu kayu sengon buto adalah 0,65%. Kayu waru dan gmelina memiliki rata-rata kadar abu masing masing sebesar 1,27 dan 1,11%. Rata-rata kadar abu seluruh sampel kayu (gubal dan teras) adalah 1,01%. Hasil perhitungan ini masih dalam kisaran kadar abu yang disajikan oleh Tsoumis (1991), yaitu kadar abu kayu daun jarum berkisar antara 0,02 – 1,1%, kayu daun lebar berkisar antara 0,1 – 5,4% dan kulit kayu berkisar antara 0,6 – 10,7%. Variasi rata-rata kadar abu pada seluruh sampel yang diteliti dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini :



Gambar 3. Kadar abu kayu sengon buto, waru dan gmelina pada umur dan posisi horisontal kayu yang berbeda

Keterangan : sb = sengon buto, wr = waru, gm = gmelina
2, 4 dan 6 = menunjukkan umur 2, 4 dan 6 tahun
Rata-rata dihitung sesuai proporsi kayu dan kulit

Dari Gambar 3 di atas terlihat bahwa rata-rata kadar abu kayu memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata kadar abu kulit. Rata-rata kadar abu kayu sebesar 1,01% sedangkan rata-rata kadar abu kulit sebesar 4,37%. Hal ini sesuai dengan apa yang disajikan oleh Tsoumis (1991), yaitu kadar abu kulit (khususnya kulit bagian dalam) memiliki kandungan inorganik lebih besar dibandingkan dengan kayu gubal.

Hasil analisis sidik ragam terhadap kadar abu menunjukkan bahwa perbedaan posisi horisontal berpengaruh sangat nyata terhadap kadar abu baik pada taraf 1% maupun 5%. Jenis dan umur kayu berpengaruh nyata pada taraf 5%, tidak nyata pada taraf 1%. Interaksi antara jenis dan umur tidak berpengaruh nyata terhadap kadar abu baik pada taraf 1% maupun 5%.

Abu dapat ditelusuri karena adanya senyawa yang tidak terbakar yang mengandung unsur-unsur seperti kalsium, kalium, magnesium, mangan dan silikon (Haygreen *et al*, 2003). Pada proses produksi semen, abu bukan merupakan masalah yang mengganggu, karena abu yang dihasilkan dari proses pembakaran dicampur pada proses produksi. Silika yang dihasilkan dalam proses pembakaran kayu juga merupakan salah satu bahan dasar pembuat semen.

3.1.3. Analisis hubungan antara kadar air dengan nilai kalor.

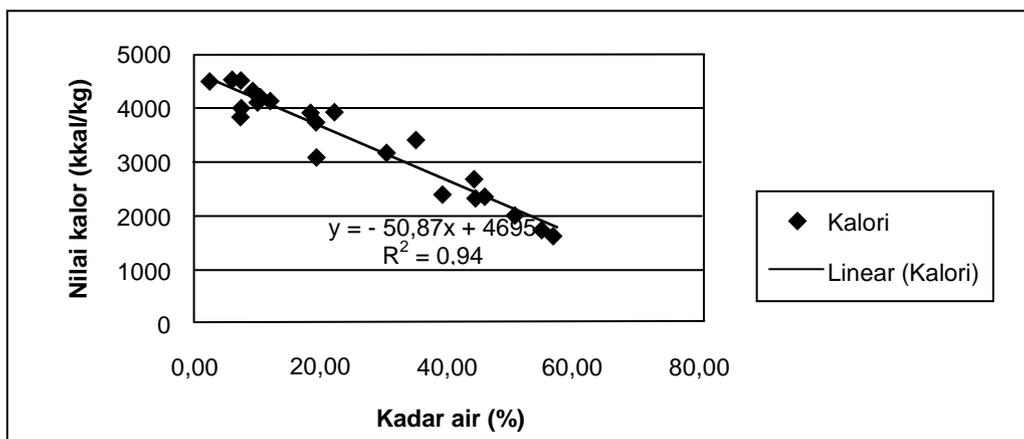
Faktor utama yang mempengaruhi nilai kalor kayu adalah kadar air. Nilai kalor kayu tertinggi dicapai jika kayu dalam kondisi kering tanur dan terus menurun dengan semakin tingginya kadar air di dalam kayu (Haygreen *et al*, 2003). Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan nilai kalor kayu berhubungan sangat signifikan dengan meningkatnya kadar

air. Sebagai contoh, nilai kalor kayu sengon buto umur 4 tahun pada kadar air 7,96% sebesar 4.011 kkal/kg, sedangkan pada kadar air 44,4% sebesar 2.677 kkal/kg, penurunannya di atas 50%. Hasil regresi antara nilai kalor dan kadar air pada seluruh sampel disajikan pada Gambar 4 berikut ini :

Dari regresi linier antara nilai kalor kayu (NK) dan kadar air (KA) (Gambar 4) didapatkan persamaan : $NK = -50,87 (KA) + 4695$. Dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94 menunjukkan adanya korelasi yang tinggi antara pengurangan nilai kalor dengan peningkatan kadar air. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan nilai f hitung yang sangat besar yaitu 394,18 sehingga dapat dikatakan kadar air memiliki korelasi yang sangat nyata dengan nilai kalor, baik pada taraf nyata 5% maupun 1%.

3.1.4. Nilai Kalor dan Kadar Abu berdasarkan Proporsi Kayu dan Kulit.

Hasil penelitian pada Sub Bab 3.1.2 menunjukkan nilai kalor kayu berdasarkan faktor jenis, umur dan posisi horisontal secara parsial. Pada pemakaian kayu sebagai bahan bakar dalam industri, penggunaan kayu tidak dipisah-pisahkan antara kayu atau kulit, melainkan campuran keduanya atau bahkan campuran dengan jenis lainnya. Nilai kalor tertinggi dicapai jika kayu dalam kondisi kering tanur, yaitu sekitar 4.500 kkal/kg. Dalam penggunaan praktis, mengeringkan kayu sampai kondisi kering tanur tidak ekonomis dari segi biaya. Untuk mendapatkan nilai kalor optimum, kayu dikeringkan dalam kondisi kering udara (kadar air 12%) dengan nilai kalor berkisar 4.000 kkal/kg. Perbandingan nilai kalor kayu dibandingkan dengan batu bara yang digunakan dalam industri disajikan dalam Tabel 1 berikut ini :



Gambar 4. Regresi linier antara nilai kalor dan kadar air

Tabel 1. Nilai kalor dan kadar abu tanaman yang ditanam di sekitar lokasi tambang dibandingkan dengan batu bara

Jenis Kayu	Parameter		
	Kadar Air (%)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Kadar Abu (%)
Lamtoro (<i>Leucaena leucocephala</i>)*	10,13	4.197	5,78
Trembesi (<i>Samanea saman</i>)*	10,36	3.926	1,92
Turi (<i>Sesbandia grandiflora</i>)*	6,83	3.965	0,62
Gamal (<i>Gliricidia maculate</i>)*	23,97	4.168	2,97
Angsana (<i>Pterocarpus indica</i>)*	7,53	4.060	9,08
Sengon Buto (<i>Enterolobium cylocarpum</i>) [⊗]	12	4.039	1,08
Waru (<i>Hibiscus tiliaceus</i>) [⊗]	12	4.196	1,48
Gmelina (<i>Gmelina arborea</i>) [⊗]	12	4.159	1,47
Batu bara muda (<i>lignite</i>)	2,8	5.600	19,2
Batu bara	2,1	6.300	18,1

* sampel diambil secara acak tanpa memperhatikan bagian kayu atau kulit.

⊗ nilai kalor dan kadar abu merupakan rata-rata berdasarkan proporsi kayu dan kulit dan dimasukkan dalam rumus regresi pada kadar air 12%.

Tabel 1 di atas menunjukkan bahwa lamtoro pada kadar air 10,13% memiliki nilai kalor tertinggi dibandingkan dengan tanaman lainnya. Sedangkan kayu trembesi dengan kadar air 10,36 % memiliki nilai kalor terendah yaitu 3.926 kkal/kg. Sementara itu, angsana memiliki kadar abu tertinggi yaitu 9,08%, namun nilai ini masih jauh lebih kecil dibandingkan dengan kadar abu batu bara muda sebesar 19,2%. Nilai kalor sengon buto, waru dan gmelina pada kondisi kering udara (kadar air 12%) berdasarkan proporsi kayu dan kulit berada pada kisaran 4.000 kkal/kg dengan kadar abu berada pada kisaran 1%. Batu bara dengan kualitas lebih baik memiliki nilai kalor 6.300 kkal/kg pada kadar air 2,1% dan kadar abu yang lebih kecil, yaitu 18,1%.

3.2. Analisis Persentase Batu Bara yang dapat Disubstitusi oleh Kayu

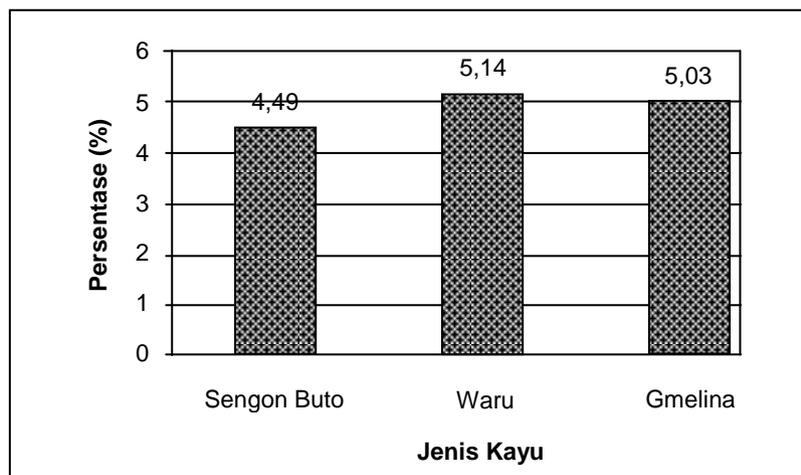
Tanaman digunakan sebagai kayu energi dengan dua alasan, yaitu riap pertumbuhan dan nilai kalor yang tinggi. Diantara jenis tanaman yang memiliki riap yang tinggi adalah jeunjing (*Paraserianthes falcataria*), yaitu 37,3 m³/ha/tahun, ki hujan (*Samanea saman*), yaitu 30,0 m³/ha/tahun. Tanaman lainnya adalah kaliandra merah memiliki riap 150 – 180

m³/ha/tahun. Percobaan penanaman jenis pohon kayu bakar yang dilakukan di Gunung Bromo pada ketinggian ± 250 mdpl, jenis tanah latosol coklat, tipe iklim C dan curah hujan rata-rata tahunan 2000 mm. Pada umur 3 tahun, jenis pohon yang tergolong memiliki pertumbuhan yang cepat adalah *Gmelina arborea* (280,67cm), jenis pohon yang pertumbuhannya sedang adalah *Eucalyptus degulpta* (176,67cm) dan jenis pohon yang pertumbuhannya termasuk rendah adalah *Eucalyptus Alba* (164,33cm) (Rostiwati, 2006). Sementara itu, hasil penelitian Asmarahman (2008) pada persemaian jenis pohon kayu bakar yang ditanam menggunakan media tanah pasca tambang menunjukkan bahwa pada pengukuran diameter tanaman umur 4 bulan, sengon buto menunjukkan pertumbuhan diameter 2 kali lipat dibandingkan dengan lamtoro, kaliandra dan jeunjing.

Persentase nilai kalor kayu terhadap batu bara dihitung berdasarkan perhitungan potensi kayu lestari (dalam ton/tahun) yang ditanam pada wilayah seluas 850 Ha kemudian dikalikan dengan rata-rata hasil pengukuran nilai kalor campuran antara kulit dan kayu pada ketiga jenis kayu (Tabel 2).

Tabel 2. Proyeksi perhitungan kayu yang dapat mensubstitusi batu bara

No.	Uraian	Sengon buto	Waru	Gmelina
1	Volume tebang lestari (m ³ /th)	57.806	53.554	55.255
2	Kerapatan kayu kering udara (kadar air 12%) (g/cm ³)	0,55	0,65	0,62
3	Berat kayu kering udara (volume x kerapatan kayu) (ton).	31.637	34.872	34.443
4	Rata-rata nilai kalor kering udara, campuran kulit dan kayu (kkal/kg).	4.039	4.196	4.159
5	Nilai kalor yang dapat disubstitusi kayu pertahun (berat kayu x nilai kalor) (kkal)	1,27 x 10 ¹¹	1,46 x 10 ¹¹	1,43 x 10 ¹¹



Gambar 5. Persentase nilai kalor batu bara yang dapat di substitusi oleh kayu

Berdasarkan kebutuhan batu bara selama setahun (data tahun 2006), yaitu sebesar 474.440 ton dan menggunakan rata-rata nilai kalor 6.000 kkal/kg, maka nilai kalor batu bara sebesar $2,9 \times 10^{12}$ kkal/tahun. Jika dibandingkan dengan nilai kalor yang dapat di substitusi oleh kayu per tahun (Tabel 2), maka persentasenya disajikan pada Gambar 5 berikut ini :

Dari Gambar 5 di atas dapat dilihat bahwa jenis kayu yang dapat mensubstitusi batu bara paling besar adalah gmelina, dengan persentase 5,14 %. Kayu waru dan sengon buto masing-masing memberikan kontribusi sebesar 5,03% dan 4,49% terhadap substitusi batu bara selama setahun. Persentase ini dipengaruhi oleh perhitungan jatah tebang lestari, kerapatan dan nilai kalor. Kayu sengon buto memiliki volume tebang lestari terbesar yaitu 57.806 m³/th, tetapi karena kerapatan dan nilai kalornya kecil, persentase terhadap kebutuhan batu bara menunjukkan nilai paling kecil dibandingkan dengan kedua jenis lainnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah :

1. Nilai kalor kayu dipengaruhi oleh posisi horisontal, jenis dan umur kayu, sedangkan interaksi antara umur dan posisi horisontal tidak berpengaruh terhadap nilai kalor kayu.
2. Model regresi antara nilai kalor kayu dan kadar air memberikan persamaan : $NK = -50,87 (KA) + 4695$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,94.
3. Pengusahaan hutan untuk penyediaan kayu energi pada areal seluas 850 Ha disekitar pabrik semen, masing-masing untuk kayu waru, gmelina dan sengon buto memberikan kontribusi sebesar 5,14%, 5,03% dan 4,49% terhadap substitusi total batu bara selama setahun.

4.2. Saran

Saran yang diberikan pada hasil penelitian ini adalah :

1. Kegiatan penanaman seluruh lahan yang dimiliki oleh pabrik dapat dilanjutkan dengan tanaman waru, gmelina, sengon buto dan tanaman lainnya yang memiliki nilai kalor tinggi dan tingkat pertumbuhan yang cepat untuk dimanfaatkan sebagai bahan substitusi batu bara.
2. Kegiatan penanaman diharapkan melibatkan masyarakat sekitar pabrik semen, sehingga selain bermanfaat sebagai bahan bakar substitusi batu bara, kegiatan penanaman juga diharapkan mampu memperbaiki kualitas lingkungan, pemberdayaan ekonomi dan peningkatan citra perusahaan dimata negara dan masyarakat.

DAFTAR PUSTAKA

- Asmarahman C. 2008. Pemanfaatan Mikoriza dan Rhizobium untuk Meningkatkan Pertumbuhan Semai Kayu Energi pada Media Lahan Pasca Tambang Semen. Tesis Program Studi IPK IPB. Tidak dipublikasikan.
- Bertschinger P. 2006. Laporan Pelaksanaan RKL dan RPL PT Holcim Indonesia. Tbk Pabrik Narogong. Bogor.
- Budhiwijayanto E. 2008. Harga Jual Batu bara Akan Naik. Website kantor berita antara <http://www.antara.co.id/arc/2007/12/18/harga-jual-batu-bara-bakal-naik.mht> Dikunjungi 4 Januari 2008.
- Buongiorno J, Zhu S, Zhang D, Turner J, Tomberlin D. 2003. *The Global Forest Product Model. Structure, Estimation and Application*. San Diego : Academic Press. California. USA.
- Haygreen JG, Bowyer JL, Schmulsky R. 2003. *Forest Product and Wood Sciences an Introduction*. Ames : Iowa State University Press. USA.

Aspek Thermofisis Pemanfaatan Kayu

- Lavalle D. 2007. Indocement akan Garap Bahan Bakar Alternatif. *Bisnis Indonesia*, Senin 26 Februari 2007. [Http://www.pelangi.or.id/othernews.php?nid=2394](http://www.pelangi.or.id/othernews.php?nid=2394). Dikunjungi 15 Mei 2007.
- Rostiwati T, Yetti H, Sofwan B. 2006. Review Hasil Litbang Kayu Energi dan Turunannya. Bogor. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan Tanaman. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Departemen Kehutanan.
- Saksono M. 2006. PT. Semen Padang Menggalakkan Sumber Energi Alternatif. *Media Indonesia Online*. <http://www.mediaindo.co.id/berita.asp?id=90180>, Jumat 12 Februari 2006. Dikunjungi tanggal 13 Maret 2007.
- Susianto B. 2005. Pasokan batu bara untuk Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya, Banten, terancam tersendat. <http://www.mediaindo.co.id>. Senin, 29 Agustus 2005. Dikunjungi 13 Maret 2007.
- Tsoumis G. 1991. *Science and Technology of Wood*. New York : Van Nostrand Reinhold. USA.
- Widagdo S. 2004. Batu bara; Dilema antar Energi Strategis Nasional atau Komoditi. <http://turing.freelists.org/archives/geologiugm/01-2005/msg00133.html>. Dikunjungi 12 Maret 2007.