

PENGARUH KONSENTRASI BRIKET CAMPURAN SEKAM PADI DAN SERUTAN KAYU ALBASIA TERHADAP EMISI KARBON MONOKSIDA DAN LAJU PEMBAKARAN

ANNISA NURFITRI SARI, OTONG NURHILAL, SRI SURYANINGSIH[†]

*Departemen Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran
Jl. Raya Bandung-Sumedang Km 21, Jatinangor 45363*

Abstrak. Biomassa merupakan salah satu sumber energi yang dapat dijadikan sebagai bahan bakar alternatif karena memiliki molekul hidrokarbon. Pada penelitian ini, dilakukan pengolahan biomassa menjadi briket. Biomassa yang digunakan penelitian ini berasal dari limbah pertanian yaitu sekam padi dengan penambahan serutan kayu albasia guna meningkatkan nilai kalor yang dihasilkan. Dalam penggunaannya, briket melalui proses pembakaran akan mengemisi gas karbon monoksida yang memiliki banyak dampak negatif. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh konsentrasi briket campuran sekam padi dan serutan kayu albasia terhadap emisi karbon monoksida dan laju pembakarannya. Hasil pengujian kadar karbon monoksida terendah sebesar 650,12 ppm, yaitu sampel briket campuran dengan konsentrasi 50:50 ukuran 60 mesh. Hal ini menunjukkan bahwa semakin sedikit konsentrasi sekam padi maka akan semakin rendah kadar karbon monoksidanya. Hasil Pengujian laju pembakaran tercepat diperoleh sebesar 0,5595 gram/menit, yaitu pada briket campuran dengan konsentrasi 50:50 dan ukuran 100 mesh. Sedangkan laju pembakaran terendah diperoleh sebesar 0,3778 gram/menit, yaitu pada sampel briket campuran dengan konsentrasi 90:10 dan ukuran 60 mesh..

Kata kunci : briket, sekam padi, kayu albasia, karbon monoksida, laju pembakaran

Abstract. Biomass is an energy source that can be used as an alternative fuel due to hydrocarbon molecules. In this study, processing of biomass into solid form is carried out in the form of briquettes. The precursor of biomass are agricultural waste, namely rice husk with the addition of Albasia wood shavings to increase the calorific value produced. This research was conducted to determine the effect of the concentration of mixed rice husk briquettes and Albasia wood shavings on carbon monoxide emissions and their combustion rate. The lowest test results for carbon monoxide levels were 650.12 ppm in a mixture of 50:50 briquettes and 60 mesh sizes. It shows carbon monoxide will decrease by decreasing of rice husk. The results of the testing of the fastest combustion rate were obtained at 0.5595 grams/minute, which is on the mixture of briquettes with a concentration of 50:50 and the size of 100 mesh. While the lowest combustion rate was obtained at 0.3778 grams/minute, which is in the mixture of briquettes with a concentration of 90:10 and size of 60 mesh..

Keywords: briquette, rice husk, albasia wood, carbon monoxide, combustion rate

1. Pendahuluan

Penggunaan energi setiap negara meningkat sesuai dengan kebutuhan energi untuk masyarakat atau penduduk yang populasinya semakin meningkat. Konsumsi energi tertinggi masih didominasi oleh energi fosil yaitu mendekati angka 90%, namun diperkirakan persediaan bahan bakar fosil kian lama semakin habis [1]. Sehingga kelangkaan bahan bakar fosil akan menjadi suatu masalah yang cukup berdampak terhadap masyarakat. Saat ini telah dilakukan beberapa cara untuk mendapatkan energi pengganti dari energi fosil antara lain dari energi terbarukan. Salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tersebut adalah biomassa. Biomassa merupakan sumber daya terbarui yang bahannya dapat berasal dari tanaman baik secara langsung ataupun

[†] Email : sri@phys.unpad.ac.id

secara tidak langsung untuk dimanfaatkan sebagai energi [2]. Salah satu bentuk pengolahan biomassa sebagai bahan bakar yaitu briket. Beberapa sumber biomassa yang dapat digunakan yaitu sekam padi dan serutan kayu albasia. Briket berbahan baku sekam padi hanya memiliki nilai kalor yaitu 3300 kkal/kg [3]. Oleh karena itu diberi penambahan serutan kayu albasia yang memiliki nilai kalor lebih tinggi yaitu 4663,5 - 4916,6 kkal/kg [4]. Dalam penggunaannya, briket melalui proses pembakaran dimana dapat terjadi pembakaran sempurna atau pembakaran tidak sempurna. Pada pembakaran tidak sempurna akan menghasilkan emisi karbon monoksida, sehingga karbon pada bahan tidak berikatan seluruhnya dengan oksigen. Emisi gas ini memiliki dampak negatif baik untuk lingkungan dan kesehatan. Gas ini bersifat racun karena dapat berikatan dengan hemoglobin dalam darah membentuk karboksihemoglobin dimana menyebabkan tubuh kekurangan oksigen [5]. Semakin rendah kadar emisi karbon monoksida, maka semakin baik kualitas dari briket tersebut. Selain itu, briket juga harus memiliki laju pembakaran yang baik. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh variasi konsentrasi briket campuran sekam padi dan serutan kayu albasia terhadap emisi karbon monoksida yang dihasilkan dan mengetahui pengaruh variasi konsentrasi briket campuran sekam padi dan serutan kayu albasia terhadap laju pembakaran yang dihasilkan.

2. Eksperimen

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sekam padi, serutan kayu albasia, air dan tepung tapioka. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *furnace*, drum karbonisasi, alat ukur suhu, blender, saringan ukuran 60 dan 100 mesh, alat cetak briket, kompor briket, kompor uji gas CO, dan CO meter.

Penelitian ini terdiri dari persiapan bahan, pembuatan briket dan pengujian briket. Persiapan bahan dimulai dengan pengeringan bahan sekam padi dan serutan kayu albasia secara alami selama 1 hari. Pembuatan briket dimulai dengan proses pirolisis (karbonisasi) untuk pengarangan bahan dilakukan pada suhu 233,96°C untuk sekam padi dan 300°C untuk serutan kayu albasia. Arang hasil karbonisasi disaring dengan ukuran 60 dan 100 mesh. Pencampuran bahan dilakukan dengan 6 variasi konsentrasi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi pencampuran bahan arang

Bahan	Konsentrasi (%)	Kode Sampel	Ukuran Partikel	Perekat
Sekam Padi : Serutan Kayu Albasia	100:0	A1	100 Mesh	7%
	90:10	A2		
	80:20	A3		
	70:30	A4		
	50:50	A5		
	0:100	A6		
	100:0	B1	60 Mesh	
	90:10	B2		
	80:20	B3		
	70:30	B4		
	50:50	B5		
	0:100	B6		

Perekat dari tepung tapioka yang digunakan sebesar 7%. Bahan-bahan yang telah dicampurkan dicetak berbentuk silinder dan dipadatkan dengan tekanan rata-rata 4,2 psi. Selanjutnya, dilakukan pengeringan briket secara alami selama 8 jam dan dengan oven pada suhu 50°C selama 4,5 jam. Massa rata-rata dari briket yang dihasilkan yaitu 73 gram dengan tinggi 9,5 cm. Pengujian karakteristik briket meliputi kadar zat terbang, karbon terikat dan nilai kalor dilakukan sesuai dengan metode *American Standard Testing and Material (ASTM)*.

Pengujian emisi karbon monoksida (CO) dilakukan melalui proses pembakaran. Sebelum melakukan pembakaran, ditimbang terlebih dahulu massa briket yang akan diujikan. Selanjutnya memasukan briket ke dalam kompor khusus pengujian CO. Kompor uji CO terbuat berbentuk silinder dan dikelilingi dinding penghalang dengan tujuan pengukuran kadar CO lebih akurat. Diameter dari tabung silinder yaitu 11 cm dengan tinggi 11,5 cm. Tinggi dinding penghalang yaitu 30 cm.



Gambar 1. Alat Uji CO meter

Kadar emisi karbon monoksida dideteksi menggunakan alat uji CO meter seperti terlihat pada Gambar 1 dengan pencatatan data pada interval 3 menit sampai briket terbakar habis menjadi abu. Pengujian laju pembakaran dilakukan dengan cara membakar briket dan membiarkannya menyala pada kompor biobriket.



Gambar 2. Kompor Briket dan Anemometer dalam Pengujian Laju Pembakaran

Selama pembakaran, waktu dan perubahan suhu dicatat setiap 3 menit hingga briket terbakar habis menjadi abu. Pembakaran dilakukan dengan kecepatan aliran udara dalam kompor konstan yaitu 1,2 m/s. Laju pembakaran suatu briket dapat diketahui dengan mencatat massa briket sebelum dan sesudah proses pembakaran serta waktu yang dibutuhkan briket terbakar sampai menjadi abu.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Uji Karakterisasi Briket

Hasil pengujian karakteristik briket meliputi uji kadar air, kadar abu, zat terbang, dan karbon terikat dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kadar Air, Kadar Abu, Zat Terbang, Karbon Terikat, dan Nilai Kalor Briket.

Kode Sampel	Kadar Air (%)	Kadar Abu (%)	Kadar Zat Terbang (%)	Karbon terikat (%)	Nilai Kalor (kal/gram)
A1	6,28	38,54	16,04	39,14	3840
A2	6,39	36,10	16,84	40,67	3990
A3	6,88	33,22	18,22	41,68	4070
A4	7,28	30,19	19,52	43,01	4173
A5	7,93	24,29	22,01	45,88	4438
A6	9,73	10,04	29,48	50,75	4981
B1	6,53	39,98	16,43	38,06	3764
B2	6,71	36,10	17,32	39,87	3906
B3	7,32	30,23	20,62	41,83	4120
B4	6,88	33,31	19,20	40,61	4022
B5	8,02	24,52	22,76	44,70	4371
B6	9,84	9,62	29,83	50,71	4951

Pengujian kadar air dilakukan untuk mengetahui persentase kandungan air dalam briket. Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa kadar air pada briket dengan konsentrasi bahan 100 % sekam padi (kode sampel : A1 dan B1) lebih rendah apabila dibandingkan dengan briket berbahan 100% serutan kayu albasia (kode sampel : A6 dan B6) untuk kedua variasi ukuran partikel. Hal ini dikarenakan jumlah air yang terkandung pada serutan kayu albasia lebih besar dibandingkan dengan sekam padi. Semakin rendah kadar air yang dimiliki suatu briket, maka akan meningkatkan kualitas dari briket. Hal ini dikarenakan kadar air yang tinggi, akan menghambat proses penyalaan karena membutuhkan waktu lebih lama dibandingkan briket dengan kadar air yang rendah. Hasil pengujian menunjukkan setiap penambahan serutan kayu albasia, kadar air yang dimiliki lebih besar yang disebabkan jumlah air yang terkandung pada serutan kayu albasia lebih besar dibandingkan dengan sekam padi sementara perlakuan pengeringan yang diberikan sama sehingga berpengaruh terhadap kadar air akhir yang dimiliki briket.

Pengujian kadar abu pada Tabel 2 terlihat bahwa kadar abu menurun seiring dengan kenaikan variasi konsentrasi bahan serutan kayu albasia yang ditambahkan. Nilai kadar abu tertinggi terdapat pada sampel A2 yaitu 36,10%, sementara nilai kadar abu terendah dimiliki sampel briket A5 yaitu 24,29%. Hal ini berkaitan dengan kandungan silika yang dimiliki setiap bahan berbeda. Semakin rendah kandungan silika yang dimiliki maka akan semakin rendah kadar abu dari suatu bahan. Kandungan silika pada serutan kayu albasia cukup kecil yaitu 0,2% [8] sehingga kadar abunya kecil. Ukuran partikel briket yang lebih kecil menghasilkan kadar abu yang rendah.

Pengujian karakteristik briket lainnya adalah zat terbang atau zat mudah menguap pada briket merupakan senyawa selain abu, air dan karbon. Unsur-unsur dari zat terbang diantaranya adalah

hidrokarbon, metana dan karbon monoksida. Briket dengan kadar zat terbang yang tinggi akan mudah terbakar namun asap yang dihasilkan banyak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar zat terbang yang dimiliki briket dengan bahan serutan kayu albasia lebih tinggi dibandingkan briket berbahan sekam padi sebesar 29,48%. Semakin banyak konsentrasi dari serutan kayu albasia maka kadar zat terbang yang dihasilkan juga akan semakin tinggi. Hal ini dapat dipengaruhi oleh kadar abu yang dimiliki. Semakin tinggi kadar abu yang dimiliki suatu briket, maka unsur-unsur lainnya yang mudah menguap pada bahan akan semakin sedikit dan menghasilkan kadar zat terbang yang semakin sedikit.

Pengujian keempat yaitu pengujian karbon terikat yang dilakukan untuk mengetahui fraksi karbon (C) pada briket melalui perhitungan 100% dikurangi jumlah dari ketiga karakteristik briket lainnya (kadar air, kadar abu dan kadar zat terbang). Serutan kayu albasia memiliki nilai karbon terikat yang lebih tinggi sebesar 50,75% dibandingkan dengan sekam padi sebesar 39,14%. Kondisi ini dipengaruhi oleh komponen-komponen penyusun biomassa seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin yang berbeda jumlahnya untuk serutan kayu albasia dan sekam padi. Serutan kayu albasia memiliki kandungan selulosa yang lebih tinggi (51,54%) dibandingkan dengan sekam padi (31,12%) [7]. Selain itu suhu karbonisasi mempengaruhi hasil kadar karbon terikat suatu briket, suhu karbonisasi serutan kayu albasia lebih tinggi sebesar 300°C dibandingkan suhu karbonisasi sekam padi sebesar 233,96°C, sehingga penguraian komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin pada setiap bahan berbeda-beda untuk menghasilkan kadar karbon terikat yang tinggi. Dalam penelitian ini, penambahan konsentrasi serutan kayu albasia pada briket meningkatkan nilai karbon terikat briket. Nilai karbon terikat tertinggi untuk briket campuran dengan ukuran 60 mesh dan 100 mesh terdapat pada briket dengan perbandingan konsentrasi sekam padi : serutan kayu albasia 50 : 50 yaitu 45,88% dan 44,7%.

Pengujian nilai kalor yang dimiliki oleh briket menentukan kualitas dari briket tersebut dan tinggi atau rendahnya nilai kalor dipengaruhi oleh kadar karbon terikat. Selain itu juga dipengaruhi oleh karakteristik briket lainnya meliputi kadar air, kadar abu dan kadar zat terbang. Nilai kalor tertinggi untuk briket campuran dengan ukuran 60 mesh dan 100 mesh terdapat pada briket dengan perbandingan konsentrasi sekam padi : serutan kayu albasia 50 : 50 yaitu 4371 kkal/kg dan 4438 kkal/kg. Hal ini menunjukkan bahwa serutan kayu albasia mampu meningkatkan nilai kalor dari briket berbahan utama sekam padi. Dan jika ditinjau berdasarkan ukuran partikel briketnya, maka semakin halus partikel briket akan menghasilkan nilai kalor yang semakin tinggi. Hal ini karena dengan ukuran partikel briket yang semakin kecil maka akan diperoleh briket dengan kerapatan yang lebih baik, sehingga pada saat pembakaran dapat menghasilkan panas dengan baik.

3.2 Hasil Uji Emisi Karbon Monoksida

Pengujian emisi karbon monoksida dilakukan untuk mengetahui kandungan CO yang terbentuk pada saat proses pembakaran briket yang tidak sempurna. Semakin sedikit kandungan CO yang dihasilkan, maka kualitas briket semakin baik dari segi bahan bakar ramah lingkungan. Pengujian kadar karbon monoksida dilakukan untuk setiap variasi konsentrasi briket dengan dua jarak pengukuran yaitu 15 cm dan 20 cm. Hasil uji emisi CO yang diperoleh seperti yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Emisi CO.

Kode Sampel	Emisi Karbon Monoksida Rata-rata (ppm)	
	15 cm	20 cm
A1	816,26	745,32
A2	897,12	834,56
A3	745,38	696,12
A4	865,13	806,84
A5	733,72	688,48
A6	799,38	717,76
B1	824,61	685,82
B2	895,00	825,81
B3	876,33	826,46
B4	864,48	798,33
B5	728,36	650,12
B6	826,94	680,78

Titik pengambilan data kadar karbon monoksida divariasikan untuk melihat pengaruh jarak terhadap kadar karbon monoksida pada udara. Hasil pengujian didapatkan bahwa pada jarak 20 cm dari sumber, kadar karbon monoksida yang terukur semakin rendah dibandingkan pada titik pengambilan dengan jarak 15 cm. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan aliran udara yang semakin besar pada jarak yang semakin jauh pada saat pengambilan data sehingga menyebabkan kadar karbon monoksida semakin kecil.

Apabila ditinjau dari konsentrasi sekam padi dan serutan kayu albasia secara keseluruhan, maka didapatkan kadar CO tertinggi untuk ukuran partikel 100 mesh dan 60 mesh yaitu pada variasi briket A2 dan B2 dengan nilai 897,12 ppm dan 895 ppm pada jarak pengukuran 15 cm. Sementara kadar CO terendah terdapat pada variasi briket campuran A5 dan B5 yaitu sebesar 688,48 ppm dan 650,12 ppm pada jarak pengukuran 20 cm. Hal ini menandakan bahwa semakin sedikit konsentrasi sekam padi pada briket campuran, maka emisi CO semakin rendah dengan rata-rata penurunan 6%. Pada pengujian emisi karbon monoksida dengan jarak pengukuran 20 cm, terlihat adanya pengaruh ukuran partikel briket yaitu kadar emisi karbon monoksida akan lebih sedikit pada ukuran 60 mesh dibandingkan ukuran 100 mesh. Data yang didapatkan untuk variasi A1 dan B1 berturut-turut yaitu 745.32 ppm dan 685.82 ppm. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Komala Affiyanti A (2018), yang mengatakan bahwa semakin kasar ukuran partikel briket maka akan menghasilkan kadar emisi karbon monoksida yang lebih optimum [6]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan didapatkan nilai emisi karbon monoksida optimum yaitu sebesar 650,12 ppm pada briket berukuran 60 mesh dengan konsentrasi perbandingan bahan sekam padi dan serutan kayu albasia 50:50. Standar karbon monoksida untuk briket batubara berdasarkan Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral yaitu sebesar 726 mg/Nm³ atau setara dengan 581 ppm. Dengan melihat standar ini, maka kadar karbon monoksida optimum dari briket campuran sekam padi dan serutan kayu albasia ukuran 60 mesh dari hasil penelitian masih tergolong tinggi yaitu 10% diatas standar baku. Berdasarkan standar kesehatan, 667 ppm memberikan dampak pembentukan 50% karboksil

hemoglobin pada tubuh. Kadar karbon monoksida terendah yang dihasilkan dalam penelitian ini dibawah standar namun tergolong cukup tinggi.

3.3 Hasil Uji Laju Pembakaran

Hasil uji laju pembakaran dapat dilihat pada Tabel 4 menunjukkan untuk setiap variasi ukuran partikel briket, laju pembakaran cenderung mengalami peningkatan seiring dengan penambahan konsentrasi serutan kayu albasia pada briket campuran. Salah satu karakteristik dari briket yang mempengaruhinya adalah karbon terikat.

Tabel 4. Hasil uji laju pembakaran briket.

Kode Sampel	Laju Pembakaran (gram/menit)	Kode Sampel	Laju Pembakaran (gram/menit)
A1	0,4556	B1	0,3929
A2	0,4646	B2	0,3778
A3	0,4343	B3	0,4815
A4	0,4667	B4	0,4643
A5	0,5595	B5	0,5556
A6	0,5882	B6	0,5686

Dari Tabel 4 dapat dilihat bahwa nilai kalor meningkat terhadap nilai karbon terikat. Dengan nilai kalor tinggi yang tersimpan pada suatu briket maka akan menyebabkan pembakaran briket berlangsung dalam waktu yang lebih singkat. Karakteristik dari briket lainnya yang mempengaruhi laju pembakaran yaitu kadar zat terbang. Briket serutan kayu albasia memiliki kadar zat terbang yang lebih tinggi dibandingkan dengan briket sekam padi dan hal ini berpengaruh terhadap briket campuran dari sekam padi dan serutan kayu albasia. Semakin banyak konsentrasi serutan kayu albasia pada briket campuran, maka kadar zat terbang akan meningkat. Dengan kadar zat terbang yang tinggi, proses pembakaran berlangsung lebih cepat. Laju pembakaran tercepat pada briket campuran didapatkan pada variasi A5 dan B5 dengan konsentrasi sekam padi : serutan kayu albasia 50:50 yaitu sebesar 0,5595 gram/menit dan 0,5556 gram/menit dimana kedua briket ini memiliki kadar karbon terikat dan kadar zat terbang terbesar dibandingkan dengan briket campuran lainnya. Sementara waktu pembakaran briket terlama yaitu pada A3 dan B2 menghasilkan laju pembakaran paling lambat dibandingkan briket lainnya. Briket A3 memiliki laju pembakaran 0,4343 gram/menit dan briket B2 memiliki laju pembakaran 0,3778 gram/menit. Hal ini menunjukkan penambahan serutan kayu albasia mampu mempercepat laju pembakaran pada briket campuran 50:50 berukuran partikel 100 mesh dan 60 mesh sebesar 22% dan 41%.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian bahwa semakin sedikit jumlah konsentrasi bahan pencampur pada briket berbasis sekam padi, maka menghasilkan kadar emisi karbon monoksida yang lebih sedikit. Hasil pengujian kadar karbon monoksida terendah terdapat pada briket campuran dengan konsentrasi 50:50 yaitu 650,12 ppm. Sementara, konsentrasi serutan kayu albasia pada briket sekam padi yang semakin banyak, maka akan semakin cepat laju pembakarannya. Laju pembakaran

tercepat terdapat pada briket campuran dengan konsentrasi 50:50 yaitu 0,5595 gram/menit. Hal ini dapat dikatakan bahwa briket ini dapat digunakan sebagai bahan bakar yang baik.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Pada Masyarakat Universitas Padjajaran yang telah memberikan dana hibah internal melalui Hibah Riset Unggulan tahun anggaran 2018 dan Laboratorium Energi Terbarukan dan Sistem Departemen Fisika Unpad atas terselenggaranya penelitian ini.

Daftar Pustaka

1. Jaelani, A. 2017. Purnomo, Hadi. 2013. *Renewable Energy Policy in Indonesia: Scientific Signs of The Qur'an and Its Implementation in Islamic Economics*. MPRA Paper.
2. Yokoyama, S.. 2008. *Buku Panduan Biomassa Asia: Panduan untuk Produksi dan Pemanfaatan Biomassa*. Jepang: The Japan Institute of Energy.
3. Rahmawati, L., Rizky Stiyabudi, dan Christin Lita Agustiani. 2010. *Pengaruh Laju Aliran Udara Terhadap Karakteristik Laju Aliran Udara Terhadap Karakteristik Pembakaran Biobriket dari Limbah Penggilingan Padi (Sekam)*. Padang: Universitas Negeri Yogyakarta.
4. Winata, A. 2013. *Karakteristik Biopellet dari Campuran Serbuk Kayu Sengon Dengan Arang Sekam Padi Sebagai Bahan Bakar Alternatif Terbarukan*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
5. Yuliwati, E. 2013. *Emisi Gas Buang Biomassa dengan Menggunakan Sistem Pressurized Fluidized Bed Combustion*. Sumatera Selatan: Univeristas Bina Darma.
6. Affandi, K. A. 2018. *Analisa Ukuran Butir Briket Campuran Sekam Padi Dengan Cangkang Kopi Terhadap Laju Pembakaran dan Emisi Karbon Monoksida (CO)*. Jurnal Material dan Energi Indonesia, Vol. 08, No. 01 (2018), hal. 44 – 48, Departemen Fisika FMIPA Universitas Padjajaran.
7. Hartati, N. S. 2016. *Prospek Penggunaan Kayu Rendah Lignin Hasil Teknologi DNA untuk Proses Pulping Yang Efisien Dan Ramah Lingkungan*. Ecolab. 10.
8. Martawijaya, A dkk, 2005. *Atlas Kayu Indonesia Jilid 1*. Bogor: Badan Penelitian dan Pengembangan Departemen Kehutanan.