

Pemanfaatan Aval dan Batok Kelapa sebagai Bahan Briket dengan Campuran Minyak Jelantah Terhadap Laju Nyala Api dan Laju Pembakaran

Dimas Febrian Nanda Putra ¹⁾, Djoko Hari Praswanto ²⁾

*^{1),2)} Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang
JL. Raya Karanglo KM. 2, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang, Jawa Timur 65153
Email : dnanda229@gmail.com*

Abstrak. *Berbagai upaya telah dilakukan untuk mencari sumber energi alternatif, salah satunya adalah dengan menggunakan limbah hasil perkebunan yang sampai saat ini masih belum dimanfaatkan secara optimal. Aval dan batok kelapa merupakan limbah yang dapat dimanfaatkan menjadi bahan penghasil briket sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif. Metode Penelitian yang dilakukan adalah eksperimental. Eksperimen dilakukan melalui proses eksperimental*

Aval kain dan batok kelapa dilakukan proses karbonisasi kemudian dicampur dengan perekat dan minyak jelantah lalu dimasukkan kedalam cetakan dan dilakukan pengepresan, sebelum dilakukan pengujian briket dilakukan pengeringan untuk mengurangi kadar air. Selanjutnya dilakukan pengujian nilai kalor, kadar air, dan laju pembakaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran aval kaini dan batok kelapa dengan perbandingan 10 gram : 20 gram adalah komposisi terbaik dengan hasil nilai kalor tertinggi sebesar 7033.006773 kal/gram, kadar air yang cukup rendah sebesar 6,33% dan waktu laju pembakaran sebesar 0,193 gr/menit dengan suhu maksimum 0,191 °C.

Katakunci: *Briket, Nilai Kalor, Kadar Air, Laju Pembakaran*

1. Pendahuluan

Sumber energi utama bagi manusia adalah sumber daya alam dari fosil karbon. Pertambahan jumlah penduduk menimbulkan peningkatan kebutuhan konsumsi bahan bakar fosil yang lama kelamaan akan habis sehingga dibutuhkan sumber alternatif yang lain. Pemerintah Indonesia berinisiatif mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan penggunaan sumber energi terbarukan yang bersifat berkelanjutan. Energi terbarukan yang perlu dikembangkan adalah biomassa. Biomassa merupakan bahan organik yang bersalah hasil proses fotosintesis, baik buangan maupun hasil produk. Biomassa berupa buangan biasa disebut sebagai limbah di daerah perdesaan yaitu sekam padi, serbuk kayu, serabut kelapa, ampas tebu, batok kelapa dan serabut siwalan [1].

Kain merupakan salah satu kebutuhan pokok yang harus dimiliki oleh setiap orang, oleh karena itu kain menduduki peran yang vital dalam kehidupan manusia. Untuk saat ini pabrik tekstil yang berbahan dasar kain kesulitan untuk mendaur ulang aval kain tersebut, sampah atau limbah merupakan salah satu permasalahan yang selalu ada di tiap daerah. Limbah tersebut terbagi menjadi limbah organik yang dapat mengalami pembusukan alami, dan limbah anorganik yang tidak mengalami pembusukan alami [2].

Sampai saat ini pengolahan limbah aval kain masih belum maksimal dikarenakan oleh beberapa faktor mulai dari kurangnya teknologi untuk mengolah limbah tersebut, Limbah kain merupakan salah satu jenis limbah yang sulit diolah karena merupakan limbah anorganik yang tidak mudah terurai sehingga tidak dapat dikompos, jika limbah kain di olah dengan cara pembakaran akan menimbulkan asap dan gas beracun yang juga membahayakan lingkungan. Ini menjadikannya suatu masalah karena berdasarkan volume dengan jumlah sampah harian ataupun sampah industri tekstil yang terus bertambah disetiap tahunnya, da nada juga salah satu bahan organik yang bisa dimanfaatkan untuk bahan energy alternative yaitu batok kelapa [3].

Batok kelapa merupakan limbah padat dari hasil olahan kelapa yang telah di ambil daging kelapa untuk mendapatkan santan (*coconut milk*). Tempurung kelapa pada umumnya digunakan untuk bahan bakar, keperluan rumah tangga atau souvenir. Desa Batuduwur, Kecamatan Bruno merupakan daerah penghasil tempurung kelapa yang dijual dengan harga murah. Untuk meningkatkan nilai ekonomi masyarakat, tempurung kelapa dapat diolah menjadi produk yang mempunyai nilai jual lebih tinggi [4].

Melimpahnya tempurung kelapa dapat diangkat sebagai potensi desa dalam meningkatkan perekonomian masyarakat. Kendala yang di temui untuk memaksimalkan limbah tempurung kelapa adalah kurangnya keterampilan warga dalam pemanfaatan potensi yang ada. Program pemberdayaan masyarakat ini memiliki tujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Pelaksanaan ini dirancang menggunakan metode pelatihan dengan sistem penyampaian materi secara teori atau sosialisasi dan praktik atas pembelajaran yang telah dilakukan. Arang tempurung kelapa dapat dijadikan sebagai bahan arang batok kelapa dan karbon aktif [5].

Karbon aktif adalah material perpori yang mempunyai kemampuan untuk menyerap pengotor yang terdapat dalam air yaitu sebagai filter air. Pelaksanaan program di lakukan dengan proses sosialisasi dan mengaplikasikannya kepada masyarakat. Program pendampingan kepada Sumber Daya Manusia (SDM) dan menyerahkan alat produksi kepada masyarakat memberikan peluang yang baik untuk membangun industri rumah tangga. Hal ini perlu adanya dukungan dari beberapa pihak dan dapat melalui beberapa system seperti pembentukan program kemitraan dengan perguruan tinggi. Hasil pengabdian masyarakat di desa Batuduwur dapat memberikan dampak positif dalam mengembangkan usaha mandiri untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekitar.

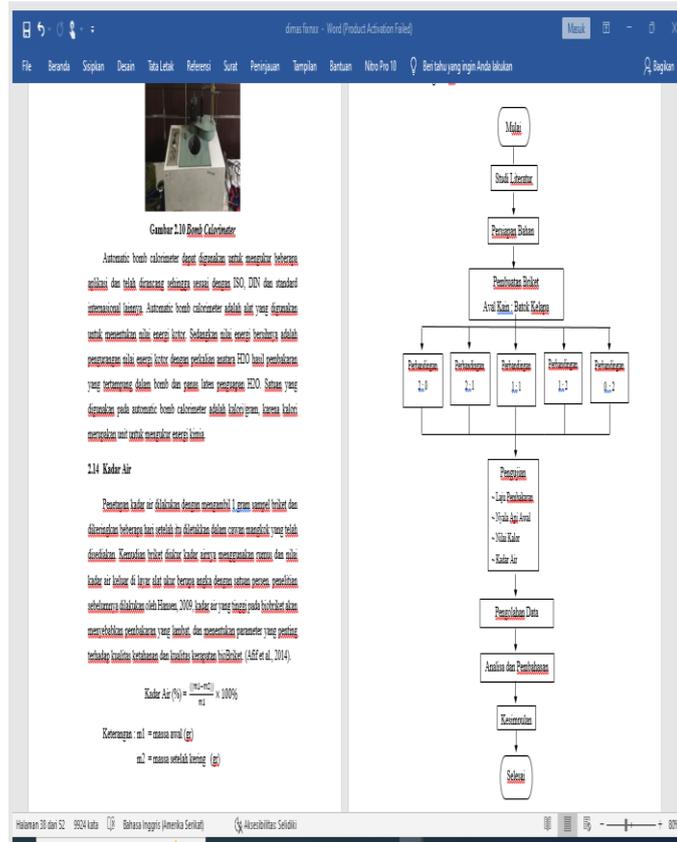
Bio energi merupakan energi yang dihasilkan dari biomassa energi dapat dikonversi menjadi produk briket. Briket adalah salah satu cara yang digunakan untuk mengkonversi sumber energi biomassa yang diolah dan dipadatkan sehingga mudah dibentuk menjadi lebih teratur dan menghasilkan nilai kalor yang tinggi [6], [7].

Briket karbonisasi adalah jenis briket yang terlebih dahulu mengalami proses yaitu proses pengkarbonan/pengarangan/pembakaran media bahan baku (umpan) di dalam tungku pembakaran (incenerator) [8], [9].

Kondisi ini memberikan dorongan untuk mencari sumber-sumber energi alternatif yang melimpah serta dapat diperbaharui dibandingkan dengan minyak bumi, gas alam maupun batu bara. Salah satu pilihan menarik adalah briket [10].

Dimana briket sendiri sangat cocok dikembangkan di Indonesia, karena jumlah aval kain dan batok kelapa yang cukup melimpah dan masih belum di manfaatkan secara maksimal.

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui “analisa pemanfaatan aval dan batok kelapa sebagai bahan briket dengan campuran minyak jelantah terhadap laju nyala api dan laju pembakaran” karena sebagian masyarakat membutuhkan bahan bakar alternatif dari pemanfaatan aval kain dan batok buah kelapa untuk kelangsungan hidup sehari-hari. Bahan dasar dari pembuatan briket ini berasal dari aval kain dan batok kelapa yang dibuang disekitar rumah yang sangat melimpah, batok kelapa yang sangat banyak dan masih belum memiliki nilai fungsi yang optimal dan mudah didapat dan memiliki sifat yang ekonomis.



Gambar 1 Diagram alir penelitian

2. Pembahasan

2.1 Nilai Kalor

Pengujian nilai kalor dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Universitas Brawijaya menggunakan alat Bomb Calorimeter.



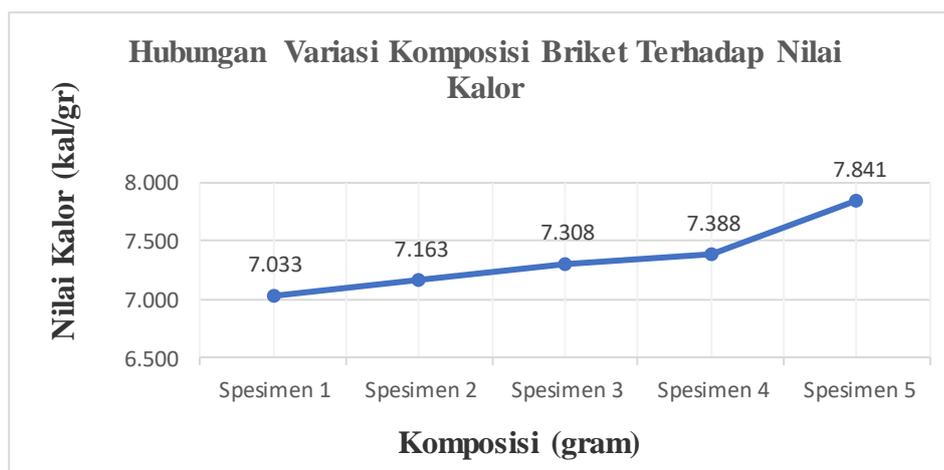
Gambar 2. Bomb Calorimeter

Penetapan nilai kalor bertujuan untuk mengetahui intensitas nilai panas pembakaran yang dihasilkan briket arang. Nilai kalor menjadi parameter mutu kualitas briket arang dengan variasi campuran bahan Awal kain dan Batok Kelapa 2:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:2 dengan perekat sebanyak 7,5 gram dan campuran minyak jelantah sebanyak 30 gram. Rata-rata massa briket setiap spesimennya 5 gram. Hasil pengujian dapat ditunjukkan didalam tabel 1.

Tabel 1 Hasil Pengujian Nilai Kalor

No	Aval Kain	Batok Kelapa	Perekat Briket	Minyak Jelantah	Nilai Kalor (kal/gram)	Rata-rata Nilai Kalor
1	30gr	0gr	7,5gr	30gr	7018.8024	7033.006773
					7113.12864	
					6967.08928	
2	20gr	10gr	7,5gr	30gr	7113.62864	7162.875093
					7161.94176	
					7213.05488	
3	15gr	15gr	7,5gr	30gr	7307.48112	7307.78112
					7114.42864	
					7501.4336	
4	10gr	20gr	7,5gr	30gr	7646.77296	7388.03632
					7404.30736	
					7113.02864	
5	0gr	30gr	7,5gr	30gr	7840.82544	7840.82544
					6482.25808	
					7018.8024	

Dari tabel 1 didapatkan grafik pengaruh komposisi briket terhadap nilai kalor seperti pada gambar 3.



Gambar 3 grafik variasi komposisi briket terhadap nilai kalor

Berdasarkan pada Grafik Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Nilai Kalor diperoleh hasil hasil uji nilai kalor terendah sebesar 7033.006773 kal/gr yaitu pada spesimen 1 komposisi 30 gr aval kain : 0 gr batok kelapa, sedangkan nilai kalor tertinggi sebesar 7388.03632 kal/gr terdapat pada specimen 5 komposisi 30 gr Batok kelapa : 0 gr Aval kain. Nilai kalor mengalami kenaikan pada specimen ke-2 variasi komposisi 20 gr aval kain : 10 gr batok kelapa, dengan hasil 7162.875093 kal/gr. Pada spesimen ke-3 variasi komposisi 15 gr aval kain: 15 gr batok kelapa, nilai kalor mengalami kenaikan dengan hasil uji 7307.781123 kal/gr. pada spesimen ke-4 variasi komposisi 10 gr aval kain: 20 gr batok kelapa, nilai kalor yang dihasilkan sebanyak 7388.03632 kal/gr dan pada spesimen ke-5 dengan variasi komposisi 0 gr aval kain: 30 gr batok kelapa, nilai kalor yang dihasilkan sebanyak 7840.82544 kal/gr. Kenaikan nilai kalor pada setiap sampel dikarenakan dari campuran batok kelapa yang mempunyai pembakaran yang merata dan nilai kalor yang meningkat.

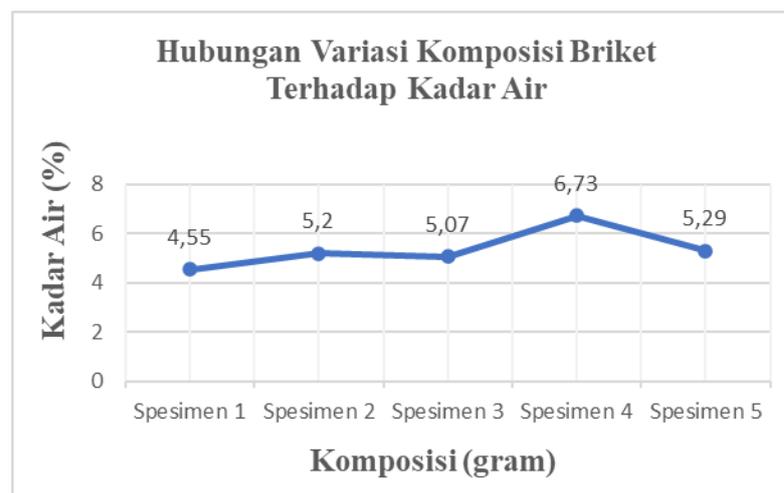
2.2 Kadar Air

Kadar air adalah jumlah air yang terdapat dalam biobriket setelah dilakukannya proses pengovenan, pengovenan dilakukan dengan waktu 20 menit pada temperatur 90 sebelum pengujian untuk mengurangi kadar air yang ada pada briket. Besar kecilnya persentase kadar air berpengaruh pada nilai kalor yang ada pada briket. Data hasil pengujian nilai kadar air ini dilakukan terhadap masing-masing spesimen dengan 3 kali pengujian menggunakan alat Moisture Meter dan hasil pengambilan data yang di dapatkan dari Labolatorium Motor Bakar Universitas Brawijaya di uraikan pada tab di bawah ini :

Tabel 2 Hasil Pengujian Kadar Air

No	Aval Kain	Batok Kelapa	Perekat briket	Minyak jelantah	Kadar Air (%)	Rata-rata
1	30gr	0gr	7,5gr	30gr	4.18	4.55
					4.73	
					4.74	
2	20gr	10gr	7,5gr	30gr	5.17	5.2
					5.38	
					5.05	
3	15gr	15gr	7,5gr	30gr	5.05	5.07
					4.93	
					5.24	
4	10gr	20gr	7,5gr	30gr	7.11	6.73
					6.91	
					6.17	
5	0gr	30gr	7,5gr	30gr	5.25	5.29
					5,22	
					5.40	

Dari tabel 2 didapatkan Tabel Hasil Pengujian Kadar Air seperti pada gambar 4.



Gambar 4 grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap kadar air

Berdasarkan pada grafik Hubungan Variasai Komposisi Briket Terhadap Kadar Air didapatkan hasil kadar air tertinggi sebesar 6,73% yang diperoleh dari spesimen 4 variasi komposisi 10 gr aval kain : 20 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah, sedangkan kadar air terendah didapat dari spesimen 1, variasi komposisi 30 gr aval kain : 0 gr serbuk kayu, 7,5 gr perekat dan 30 gr minnyak jelantah dengan nilai kadar air sebesar 4,55 %. Pada spesimen pertama dengan variasi komposisi 30 gr aval kain : 0 gr serbuk kayu, 7,5 gr perekat dan 30 gr oli bekas didapatkan kadar air sebesar 4,55%. Kemudian pada spesimen ke-2 dengan variasi komposisi 20 gr aval kain : 10 gr batok kelapa, 7,5 gr

perekat dan 30 gr minyak jelantah diperoleh 5,2% kandungan kadar air. Pada spesimen ke-3 dengan variasi gr aval kain komposisi 15: 15 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan minyak jelantah 30 gr, kadar air turun menjadi 5,07 % dan naik lagi pada spesimen ke-4 dengan variasi komposisi 10 gr aval kain : 20 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah, naik menjadi . Pada 6,73 % spesimen ke-5 dengan variasi komposisi 0 gr aval kain: 30 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan minyak jelantah 30 gr, kadar air diperoleh 5,75%.

2.3 Laju Pembakaran

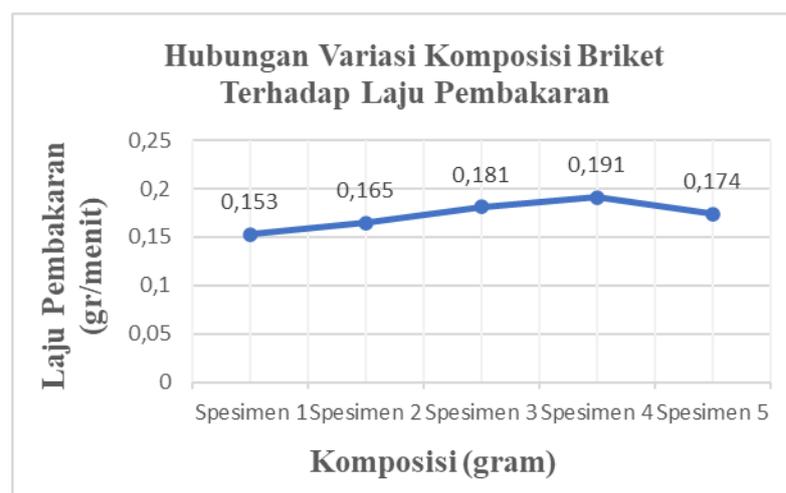
Pengujian laju pembakaran dilakukan secara manual dengan menggunakan alas plat besi yang diletakkan di atas kompor gas, dimana laju pembakaran dari setiap spesimen dilihat mana yang paling cepat dan paling tahan lama waktu pembakaran. Pengujian laju pembakaran dilakukan secara manual menggunakan plat besi setebal 1mm dengan temperatur suhu plat 100°C.

Sebelum melakukan pengujian, massa setiap spesimen di timbang. Kemudian setiap spesimen dibakar sampai menjadi abu, waktu pembakaran tersebut dihitung menggunakan stopwatch dengan variasi campuran bahan Aval kain dan Batok kelapa 2:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:2 dengan perekat sebanyak 7,5 gram dan campuran minyak jelantah sebanyak 30 gram. Rata-rata massa briket setiap spesimennya 5 gram. Hasil pengujian dapat ditunjukkan didalam tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian Laju Pembakaran:

No	Aval kain	Batok kelapa	Perekat Briket	Minyak Jelantah	Massa Briket (gr)	Waktu Pembakaran (m)	Laju Pembakaran (gr/menit)
1	30gr	0gr	7,5gr	30gr	5gr	32,6	0,153
2	20gr	10gr	7,5gr	30gr	5gr	30,3	0,165
3	15gr	15gr	7,5gr	30gr	5gr	27,5	0,181
4	10gr	20gr	7,5gr	30gr	5gr	26,1	0,191
5	0gr	30gr	7,5gr	30gr	5gr	28,7	0,174

Dari tabel 3 didapatkan grafik pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran seperti pada gambar 5.

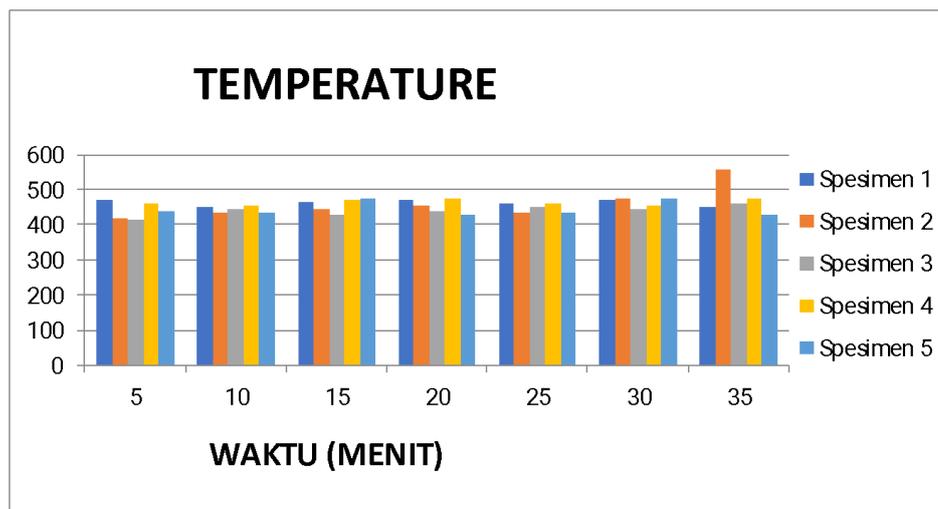


Gambar 5 grafik pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran

Tabel 4 Hasil Pengujian Temperatur Per-10 Menit

No	Aval Kain	Batok kelapa	Perekat briket	Temperatur /menit (°C)						
				5	10	15	20	25	30	35
1	30gr	0gr	7,5gr	470	450	465	472	460	470	450
2	20gr	10gr	7,5gr	423	437	445	458	434	476	560
3	15gr	15gr	7,5gr	415	425	433	440	453	448	460
4	10gr	20gr	7,5gr	460	455	470	475	460	458	478
5	0gr	30gr	7,5gr	440	425	445	430	435	415	430

Dari tabel 4 didapatkan grafik pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran seperti pada gambar 6.



Gambar 6 grafik hubungan temperature variasi briket terhadap waktu pembakaran

Berdasarkan pada grafik Hubungan Temperatur Variasi Briket Terhadap Waktu Pembakaran dan Hubungan Variasi Komponen Briket Terhadap Laju Pembakaran didapatkan hasil uji lahu pembakaran paling cepat yaitu pada spesimen ke-1 variasi komposisi 30 gr aval kain : 0 gr serbuk kayu , 7,5 gr perekat dan 30 gr oli bekas dengan waktu 0,181 gr/menit, pada komposisi ini pembakaran briket memiliki estimasi waktu pembakaran selama 27,6 m/s dengan temperature nyala nyala tertinggi mencapai 580⁰c, sedangkan temperature terendah 483⁰c. Cepatnya laju pembakaran pada spesimen ke-1 hal ini disebabkan oleh nilai kadar air yang cukup rendah. Sedangkan laju pembakaran paling lama ada pada spesimen ke-5 variasi komposisi 0 gr aval kain : 30 gr serbuk kayu, 7,5 gr perekat dan 30 gr oli bekas. Dengan waktu 0,132 gr/menit. Pada komposisi ini pembakaran briket memiliki estimasi waktu pembakaran selama 37,7 m/s temperature nyala tertinggi yang dihasilkan 535⁰c dan temperature terendah 454⁰c. Lamanya waktu pembakaran disebabkan oleh rendahnya nilai kalor dan tingginya kadar air pada spesimen ini. Variasi komposisi ke-2 20 gr aval kain : 10 gr serbuk kayu, 7,5 gr perekat dan 30 gr oli bekas laju pembakaran 0,145 gr/menit atau 34,4 m/s waktu pembakaran dengan temperatur terendah 450⁰c dan temperatur tertinggi 543⁰c. Variasi komponen ke-3 15 gr aval kain : 15 gr serbuk kayu, 7,5 gr perekat dan 30 gr oli bekas laju pembakaran 0,153 gr/menit atau 32,5 m/s waktu pembakaran dengan temperatur terendah 462⁰c dan temperatur tertinggi 548⁰c. Variasi komponen ke-4 10 gr aval kain : 20 gr serbuk kayu, perekat 7,5 gr dan oli bekas 30 gr laju pembakaran 0,151 gr/menit atau 33,1 m/s waktu pembakaran dengan temperatur terendah 460⁰c dan temperature tertinggi 543⁰c.

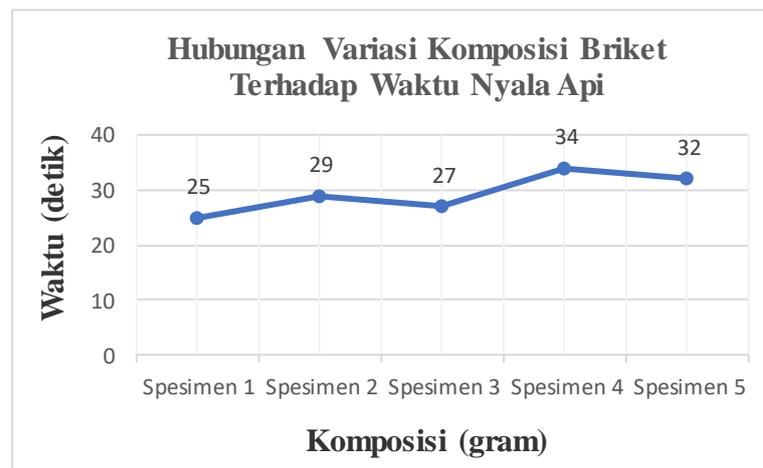
2.4 Laju Nyala Api

Pengujian nyala api awal dilakukan secara manual dengan menggunakan alas plat besi yang diletakkan di atas kompor gas, setiap spesimen briket diuji mana yang lebih mudah terbakar dan paling cepat menghasilkan bara api. Pengujian nyala api awal hanya sampai di detik-detik briket menghasilkan bara api dengan menggunakan plat besi setebal 1mm dengan temperatur suhu plat 100°C dan waktu pembakaran dihitung menggunakan stopwatch. Hasil pengujian dapat ditunjukkan didalam tabel 5.

Tabel 5 Hasil Pengujian Laju Nyala Api

No	Aval Kain	Batok Kelapa	Perekat Briket	Minyak Jelantah	Nyala Awal (detik)
1	30gr	0gr	7,5gr	30gr	25
2	20gr	10gr	7,5gr	30gr	29
3	15gr	15gr	7,5gr	30gr	27
4	10gr	20gr	7,5gr	30gr	34
5	0gr	30gr	7,5gr	30gr	32

Dari tabel 6 didapatkan grafik pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran seperti pada gambar 7.



Gambar 7 grafik pengaruh komposisi briket terhadap laju pembakaran

Berdasarkan pada grafik Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Waktu Nyala Awal didapatkan hasil nyala awal paling cepat diperoleh 21 detik dari spesimen 5 variasi komposisi 30 gr batok kelapa : 0 gr aval kaim, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah. Sedangkan komponen yang paling lama terbakar adalah variasi komposisi 15 gr aval kain : 15 gr batok kelapa , 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah. Dengan hasil nyala awal 35 detik. Spesimen 1 variasi komposisi 30 gr aval kain : 0 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah memiliki kadar air yang tinggi dan akan lebih lama pada proses pembakarannya. Spesimen 2 20 gr aval kain : 10 gr batok kelapa, 7,5 perekat dan 30 gr minyak jelantah lebih mudah terbakar karena tingginya nilai kalor dan rendahnya kadar air pada komposisi briket sehingga nyala awal pada briket terjadi lebih cepat. tingginya kadar air disebabkan karena jumlah pori-pori yang lebih banyak dan krangnya pencampuran bahan press briket kurang merata dan padat, Kadar air juga sangat berpengaruh terhadap kualitas briket yang dihasilkan, semakin rendah kadar air briket maka akan semakin tinggi nilai kalor dan daya pembakarannya. Kadar air yang tinggi juga membuat briket sulit dinyalakan pada saat pembakaran dan akan menghasilkan asap yang banyak, selain itu akan mengurangi temperatur penyalaan dan daya pembakarannya (Hutasoit, 2012).

3. Simpulan

Nilai kalor paling tinggi dari data penelitian dari spesimen 4, variasi komposisi bahan 20 batok kelapa gr: 10 gr aval kain, perekat 7,5 gr dan 30 gr minyak jelantah dengan hasil nilai kalor 7388.03632 kal/gr, sedangkan nilai kalor paling rendah didapat spesimen ke-1 komposisi 20 gr aval kain 10 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah dengan hasil nilai kalor 7033.006773 kal/gr.

Kadar air terendah didapat dari spesimen pertama variasi komposisi bahan 30 gr aval kain : 0 gr batok kelapa, perekat 7,5 gr dan 30 gr minyak jelantah dengan nilai kadar air 4,55%, sedangkan kadar air tertinggi didapat dari spesimen ke -4 variasi komposisi bahan 10 gr aval kain : 20 gr batok kelapa, perekat 7,5 gr dan 30 gr minyak jelantah dengan nilai kadar air 6,33%

Nyala awal paling cepat didapat spesimen pertama komposisi bahan 30 gr aval kain : 0 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah nyala awal 25 detik, sedangkan nyala yang paling lama ada

pada spesimen ke-4 komposisi bahan 0 gr aval kain : 30 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah dengan nyala awal 34 detik

Pembakaran paling cepat didapat spesimen pertama komposisi bahan 30 gr aval kain: 0 gr batok kelapa, 7,5 gr perekat dan 30gr minyak jelantah laju pembakaran memakan waktu 35,5 m/s atau 0,153 gr/menit, sedangkan laju pembakaran paling lama didapat spesimen ke-4 komposisi bahan 20 gr batok kelapa: 10 gr aval kain, 7,5 gr perekat dan 30 gr minyak jelantah waktu pembakaran selama 38,4 m/s atau 0,191 gr/menit.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terimakasih kepada civitas Program Studi Teknik Mesin S-1 yang telah memberikan ilmu teknik mesin sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.

Daftar Pustaka

- [1] Q. Li *et al.*, “Semi-coke briquettes: Towards reducing emissions of primary PM 2.5, particulate carbon, and carbon monoxide from household coal combustion in China,” *Sci. Rep.*, vol. 6, no. January 2016, pp. 1–10, 2016, doi: 10.1038/srep19306.
- [2] J. Qi, Q. Li, J. Wu, J. Jiang, Z. Miao, and D. Li, “Biocoal Briquettes Combusted in a Household Cooking Stove: Improved Thermal Efficiencies and Reduced Pollutant Emissions,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 51, no. 3, pp. 1886–1892, 2017, doi: 10.1021/acs.est.6b03411.
- [3] F. I. Nwabue, U. Unah, and E. J. Itumoh, “Production and characterization of smokeless bio-coal briquettes incorporating plastic waste materials,” *Environ. Technol. Innov.*, vol. 8, pp. 233–245, 2017, doi: 10.1016/j.eti.2017.02.008.
- [4] Y. Ding and Z. Q. Yue, “An experimental investigation of the roles of water content and gas decompression rate for outburst in coal briquettes,” *Fuel*, vol. 234, no. April, pp. 1221–1228, 2018, doi: 10.1016/j.fuel.2018.07.143.
- [5] S. Ujjinappa and L. K. Sreepathi, “Production and quality testing of fuel briquettes made from pongamia and tamarind shell,” *Sadhana - Acad. Proc. Eng. Sci.*, vol. 43, no. 4, 2018, doi: 10.1007/s12046-018-0836-8.
- [6] Q. Gan, J. Xu, S. Peng, F. Yan, R. Wang, and G. Cai, “Effect of heating on the molecular carbon structure and the evolution of mechanical properties of briquette coal,” *Energy*, vol. 237, p. 121548, 2021, doi: 10.1016/j.energy.2021.121548.
- [7] W. Mueller *et al.*, “Ambient particulate matter and biomass burning: An ecological time series study of respiratory and cardiovascular hospital visits in northern Thailand,” *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source*, vol. 19, no. 1, pp. 1–12, 2020, doi: 10.1186/s12940-020-00629-3.
- [8] S. Ullah, R. S. Noor, Sanaullah, and T. Gang, “Analysis of biofuel (briquette) production from forest biomass: a socioeconomic incentive towards deforestation,” *Biomass Convers. Biorefinery*, 2021, doi: 10.1007/s13399-021-01311-5.
- [9] S. A. Solarin, U. Al-Mulali, G. G. G. Gan, and M. Shahbaz, “The impact of biomass energy consumption on pollution: evidence from 80 developed and developing countries,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 23, pp. 22641–22657, 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2392-5.
- [10] W. U. K. Tareen *et al.*, “Present status and potential of biomass energy in pakistan based on existing and future renewable resources,” *Sustain.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/su12010249.