

PEMANFAATAN LIMBAH DAKRON DAN TONGKOL JAGUNG SEBAGAI BAHAN BRIKET DENGAN CAMPURAN MINYAK SAWIT

Adam Bayu Setiawan ¹⁾, Djoko Hari Praswanto ²⁾

^{1),2)}Teknik Mesin, Institut Teknologi Nasional Malang
Jl. Sigura-gura 2 Malang
Email : sbayu4590@gmail.com

Abstrak.

Energi bahan bakar merupakan kebutuhan hidup manusia. Energi bahan bakar ini dipenuhi dengan mengandalkan fosil yang terkandung didalam perut bumi seperti batu bara. Namun, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi dapat menyebabkan habisnya sumber energi di dalam perut bumi karena tidak dapat diperbaharui. Limbah industri pertanian berupa tongkol jagung dan limbah industri tekstil berupa dakron bekas sering kali dijumpai dan kurang dimanfaatkan, dengan demikian pemanfaatannya untuk membuat briket dengan metode karbonisasi adalah solusi untuk dijadikan bahan bakar. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi komposisi tongkol jagung dengan limbah dakron dan minyak sawit terhadap nilai kalor, kadar air, dan laju pembakaran. Variasi campuran pada briket yaitu 2 : 0, 2 : 1, 1 : 1, 1 : 2, 0 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan beberapa tahapan yaitu : persiapan bahan, proses karbonisasi, pencampuran bahan, pencetakan, pengeringan, dan analisa kualitas briket. Hasil penelitian didapat campuran ideal tongkol jagung dan limbah dakron dengan campuran minyak sawit yaitu perbandingan 1 : 2 dengan nilai kalor pada briket sebesar 7986.46480 kal/gr dan kadar air sebanyak 3.45%, dengan laju pembakaran 0.166gr/m dan temperatur pembakaran sebesar 498°C, 476°C, 441°C, 437°C, 388°C, dan 350°C per-5 menit selama 30 menit.

Katakunci: Tongkol Jagung, Dakron, Briket, Minyak Sawit, Bahan Bakar Padat.

1. Pendahuluan

Energi bahan bakar merupakan salah satu kebutuhan hidup manusia. Kebutuhan akan energi bahan bakar ini dipenuhi dengan mengandalkan fosil yang terkandung didalam perut bumi seperti batu bara. Namun, seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi tersebut dapat menyebabkan habisnya sumber energi di dalam perut bumi karena tidak dapat diperbaharui. Berkaitan dengan cadangan batu bara global, Indonesia saat ini menempati peringkat ke-9 dengan sekitar 2.2 persen dari total cadangan batubara global terbukti berdasarkan BP Statistical Review of World Energy. Berdasarkan informasi yang disampaikan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, cadangan batu bara Indonesia diperkirakan habis kira-kira dalam 83 tahun mendatang apabila tingkat produksi saat ini diteruskan. Banyaknya pertambangan batu bara praktis akan mengurangi habitat hidup binatang dan tumbuhan karena tempat hidupnya dijadikan daerah pertambangan. Kemudian, pertambangan batu bara seringkali meninggalkan jejak lubang yang sangat dalam dan membahayakan bagi masyarakat. Energi biomassa dapat menjadi solusi untuk mengatasi hal tersebut.

Biomassa yang berasal dari limbah hasil pertanian merupakan bahan yang tidak berguna, tetapi dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi bahan bakar alternatif, yaitu dengan mengubahnya menjadi bioarang yang memiliki nilai kalor lebih tinggi daripada biomassa melalui proses karbonisasi [1]. Selain itu limbah industri tekstil juga bisa dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif dari pada langsung di bakar atau dibiarkan percuma, tentu saja hal ini bisa menyebabkan pencemaran lingkungan. Dalam rangka pemanfaatannya sebagai bahan bakar maka limbah tersebut dapat diolah menjadi bahan bakar padat dalam bentuk briket [2]. Masing-masing bahan memiliki sifat tertentu untuk dimanfaatkan sebagai briket namun yang paling penting adalah bahan tersebut harus memiliki sifat termal yang tinggi.

Briket merupakan bahan bakar yang berbentuk padat berukuran kecil [3]. Kualitas briket ditentukan dari bahan yang digunakan, konsentrasi perekat, jenis perekat yang digunakan, dan kuat tekan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oRDF atau briket yang terbuat dari sludge industri tekstil dengan residu dari industri tekstil dapat digunakan sebagai bahan baku untuk RDF dengan perbandingan yang digunakan yaitu 25% sludge dapat menghasilkan briket dengan kandungan volatil tinggi, fixed carbon tinggi, nilai kalor yang lebih tinggi, kepadatan dan kuat tekan yang tinggi, serta rendahnya kandungan abu dan kadar air dengan tekanan kompaksi sebesar 6.205 kPa [4]. Karakteristik briket yang dibuat menggunakan 25% sludge dan residu dari industri tekstil [5].

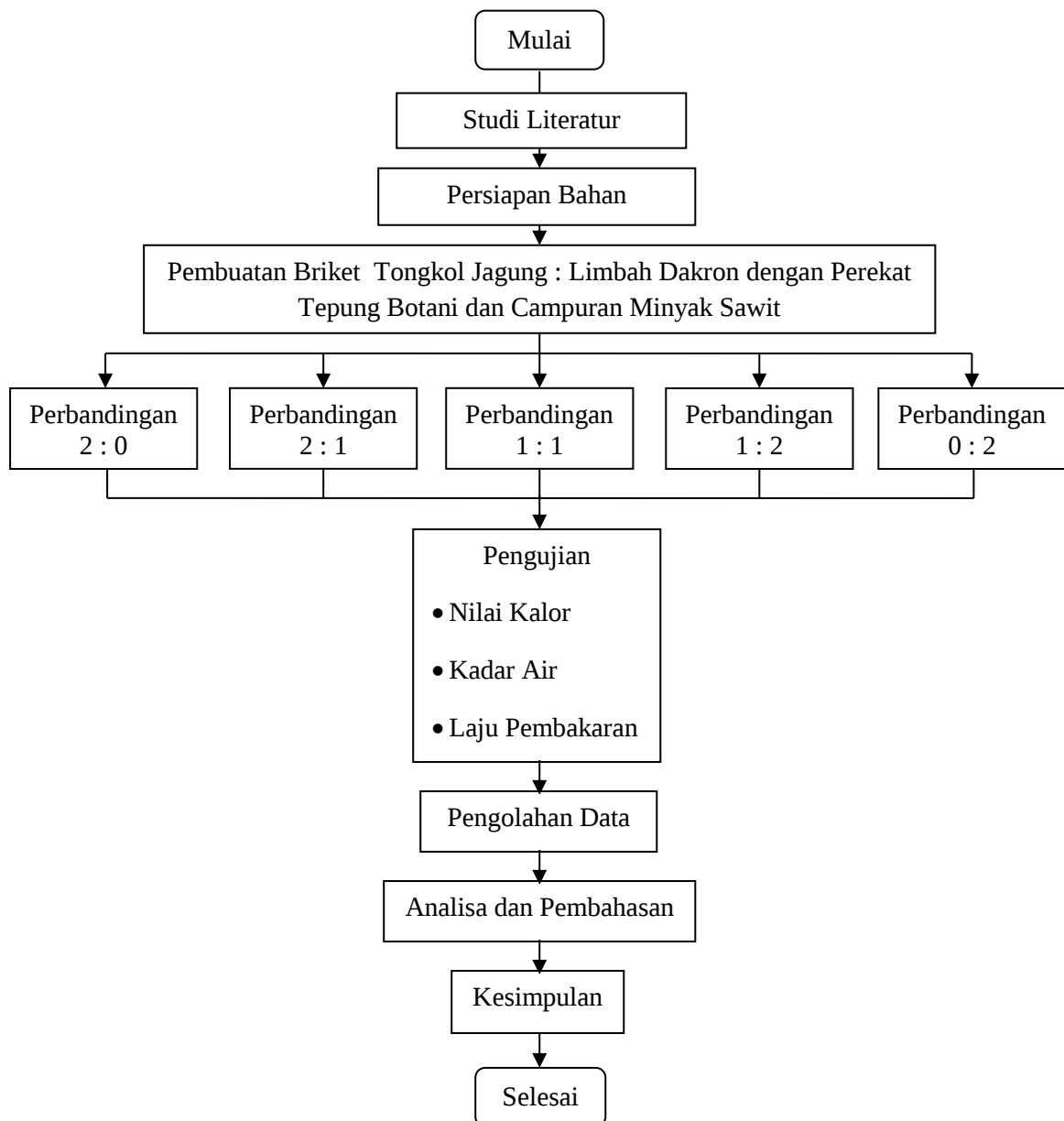
Salah satu bahan baku briket yang dapat digunakan adalah tongkol jagung. Tongkol jagung merupakan salah satu limbah pertanian yang sangat potensial dimanfaatkan untuk dijadikan briket, karena limbah tersebut sangat banyak dan terbuang percuma. Selama ini masyarakat cenderung memanfaatkan limbah tongkol jagung hanya sebagai bahan pakan ternak, bahan bakar atau terbuang percuma. Dari 100% berat total jagung, 30% nya adalah tongkol jagung, sedangkan sisanya adalah kulit dan bijinya [6]. Untuk menghindari hal ini perlu adanya pemanfaatan limbah tongkol jagung tersebut, salah satunya yaitu sebagai bahan baku briket. Tongkol jagung mengandung komponen yang terdiri dari air 7,68%, serat kasar 38,99%, selulosa 19,49%, hemiselulosa 12,4%, lignin 9,1%, abu 1,5%, selulosa 41,0% pektin 3,0% dan pati 0,014% [7]. Tongkol jagung memiliki nilai HHV yang cukup tinggi yaitu berkisar 14,7-18,9 MJ/Kg sehingga akan menghasilkan panas yang cukup baik apabila dibakar [8]. Karena itu tongkol jagung memiliki potensi untuk dijadikan bahan bakar alternatif yaitu dikonversikan menjadi briket.

Untuk memperbaiki kualitas briket, perlu adanya gabungan bahan dengan sifat yang berbeda. Selain tongkol jagung yang digunakan sebagai bahan briket dapat menggunakan bahan lain seperti dakron. Dakron sendiri yaitu Polyethylene terephthalate (PET) terdiri dari unit terpolimerisasi dari monomer ethylene terephthalate, dengan unit pengulangan ($C_{10}H_8O_4$) yakni thermoplastic polymer resin dari keluarga polyester serta memiliki titik didih diatas temperatur 250 °C [9]. Dakron yaitu sebuah bahan sintesis yang banyak digunakan sebagai bahan untuk mengisi bantal dan boneka, selain itu juga sebagai serat untuk pakaian, untuk wadah pembungkus benda cair dan makanan dan lain-lain. Dalam kasusnya di industri tekstil, dakron yang sudah rusak atau sudah tidak layak pakai sering tidak dimanfaatkan atau langsung di bakar agar tidak menumpuk menjadi sampah.

Kedua bahan di atas dapat dijadikan bahan bakar alternatif berupa briket dengan memiliki kelemahan pada laju nyala api. Oleh karena itu dilakukan penambahan bahan bakar cair berupa minyak sawit untuk meningkatkan laju nyala api briket tongkol jagung dan dakron. Crude palm oil (CPO) berasal dari buah kelapa sawit yang didapatkan dengan cara mengekstrak buah sawit tersebut. Selain berupa minyak sawit sebagai produk utama, proses ini pula menghasilkan produk sampingan berupa tandan kosong yang biasanya diolah menjadi kompos, serat perasan, lumpur sawit/solid, dan bungkir kelapa sawit [10]. Minyak sawit mengandung asam lemak dalam minyak nabati yang merupakan bahan baku dari biodiesel. Terlebih lagi dengan fakta bahwa Indonesia merupakan penghasil minyak sawit terbesar di dunia, kebijakan pemanfaatan minyak sawit sebagai bahan bakar pun dapat lebih mudah diterapkan.

Pada penelitian briket perlu dilakukan penegujian laju pembakaran. Laju pembakaran ialah untuk dapat mengetahui berapa lama nyala briket yang dilakukan pembakaran dan di hitung menggunakan stopwatch, sebelum dilakukan pembakaran briket harus di timbang terlebih dahulu. Laju pembakaran briket akan mengalami kenaikan dengan adanya kenaikan kecepatan aliran udara dan kenaikan temperatur, temperatur udara pembakaran, kenaikan temperatur pembakaran menyebabkan semakin pendeknya waktu pembakaran, sehingga menyebabkan laju pembakaran meningkat [11].

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui Analisa Laju Pembakaran pada Briket Limbah Dakron dan Tongkol Jagung dengan campuran Minyak Sawit karena sebagian masyarakat membutuhkan bahan bakar alternatif dari pemanfaatan limbah dakron dan tongkol jagung untuk kelangsungan hidup sehari-hari. Bahan dasar dari pembuatan briket ini berasal dari limbah dakron dan tongkol jagung yang dibuang disekitar rumah dan masih belum memiliki nilai fungsi dan mudah didapat dan memiliki sifat yang ekonomis. Metode penelitian yang dilakukan adalah eksperimental, dengan diagram alir seperti dibawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian ^[1]

2. Pembahasan

Menguraikan Hasil uji penelitian dari briket tongkol jagung dan limbah dakron dengan perekat tepung botani dan minyak sawit disajikan dalam bentuk tabel dan gambar. Hasil uji nilai kalor dan kadar air dilanjutkan dengan uji laju pembakaran. Nilai kalor dan kadar air yang terkandung dalam briket cukup mempengaruhi perbedaan nilai laju pembakaran pada setiap spesimen briket.

2.1. Nilai Kalor

Nilai kalor menjadi parameter mutu kualitas briket arang dengan variasi campuran bahan tongkol jagung dan limbah dakron 2:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:2 dengan perekat sebanyak 7,5 gram dan campuran minyak sawit sebanyak 30 gram. Rata-rata massa briket setiap spesimennya 5 gram. Untuk menentukan nilai kalor dapat menggunakan rumus :

$$HHV = [(T \text{ akhir} - T \text{ awal}) \times \text{Standart benzoic}] - \frac{((P \text{ awal kawat} - P \text{ sisa kawat}) \times 2.3) - \text{nilai kalor abu}}{\text{massa bahan uji}} \dots\dots\dots(1)$$

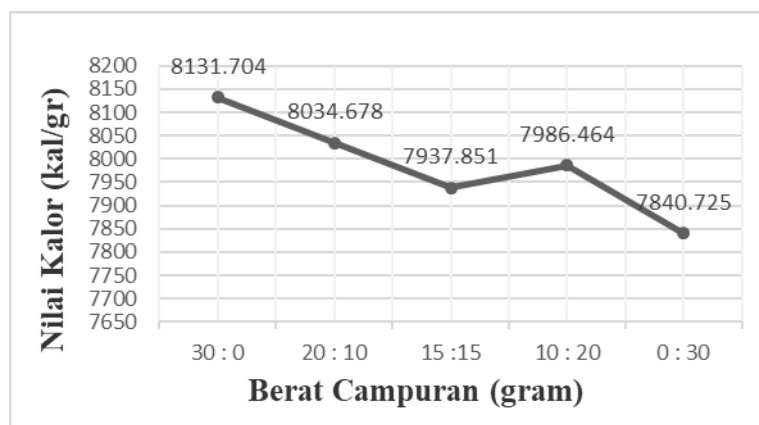
Dimana : Nilai kalor abu = 10 kal/gr

Hasil pengujian dapat ditunjukkan didalam tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengujian Nilai Kalor

No	Tongkol Jagung (gram)	Limbah Dakron (gram)	Tepung Botani (gram)	Minyak Sawit (gram)	Nilai Kalor (kal/gram)
1	30	0	7.5	30	8131.70416
2	20	10	7.5	30	8034.67792
3	15	15	7.5	30	7937.85168
4	10	20	7.5	30	7986.46480
5	0	30	7.5	30	7840.72544

Dari tabel 1 didapatkan grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap nilai kalor seperti pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Variasi Komposisi Briket Terhadap Nilai Kalor ^[1]

Berdasarkan grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap nilai kalor diperoleh hasil uji nilai kalor terendah sebesar 7840.72544 kal/gr yaitu pada spesimen ke-5 dengan komposisi 0 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron, sedangkan nilai kalor tertinggi adalah sebesar 8131.70416 kal/gr yaitu pada spesimen ke-1 komposisi 2 : 0 tongkol jagung dan limbah dakron. Nilai kalor pada spesimen ke-2 variasi komposisi 2 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron sebesar 8034.67792 kal/gr. Pada spesimen ke-3 dengan variasi komposisi 1 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron, nilai kalor mengalami penurunan dengan hasil pengujian 7937.85168 kal/gr. Dan pada spesimen ke-4 dengan variasi komposisi 1 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron, nilai kalor yang dihasilkan sebanyak 7986.46480 kal/gr. Faktor yang mempengaruhi naik turunnya nilai kalor dari setiap spesimen adalah perbedaan jumlah campuran dari tongkol jagung dan limbah dakron yang bervariasi serta perbedaan kadar air pada briket. Nilai kalor suatu senyawa hidrokarbon terjadi karena adanya energi akibat reaksi kimia pemutusan ikatan antara atom-atom pada suatu senyawa yang bereaksi dan penggabungan kembali atom-atom yang bereaksi membentuk senyawa baru. Semakin panjang ikatan rantai atom suatu senyawa, maka energi yang dihasilkan juga semakin tinggi yang menyebabkan nilai kalor juga semakin tinggi. Briket limbah dakron yang terbuat dari plastik jenis Polyethylene Terephthalate (PET) memiliki rumus molekul (C₁₀H₈O₄). Sedangkan nilai kalor pada tongkol jagung juga bisa dipengaruhi oleh zat yang terkandung didalamnya, Tongkol jagung mengandung komponen yang terdiri dari air 7,68%, serat kasar 38,99%, selulosa 19,49%, hemiselulosa 12,4%, lignin 9,1%, abu 1,5%, selulosa 41,0% pektin 3,0% dan pati 0,014%. Tingginya kandungan selulosa pada tongkol jagung menyebabkan rendahnya kadar air dan meningkatkan nilai kalor pada briket dengan campuran tongkol jagung yang lebih tinggi.

2.2. Kadar Air

Kadar air adalah kandungan air yang masih terdapat dalam briket setelah dilakukannya proses pengeringan, pengeringan dilakukan dengan waktu 20 menit dengan menggunakan dehydrator pada temperatur sekitar 100 - 160°C untuk mengurangi kadar air yang ada pada briket. Besar kecilnya persentase kadar air berpengaruh pada nilai kalor yang ada pada briket. Pengujian kadar air menggunakan alat Moisture Meter. Dengan cara memasukkan sampel sesuai dengan berat yang diinginkan, kemudian tutup bagian penutup alat, lalu pilih kondisi yang sesuai dengan bahan yang di uji. Kemudian tekan start untuk memulai pembacaan dan hasil persentase kadar air akan tertera di layar. Untuk menentukan nilai kadar air dapat menggunakan rumus :

$$\text{Kadar Air (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_1} \times 100\% \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan : m_1 = massa awal (gr)

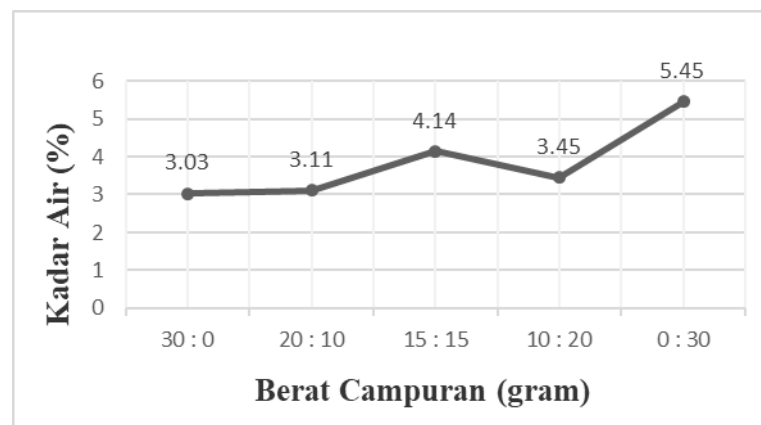
m_2 = massa setelah kering (gr)

Hasil pengujian kadar air dapat ditunjukkan didalam tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Nilai Kadar Air

No	Tongkol Jagung (gram)	Limbah Dakron (gram)	Tepung Botani (gram)	Minyak Sawit (gram)	Kadar Air (%)
1	30	0	7.5	30	3.03
2	20	10	7.5	30	3.11
3	15	15	7.5	30	4.14
4	10	20	7.5	30	3.45
5	0	30	7.5	30	5.45

Dari tabel 2 didapatkan grafik pengaruh komposisi briket terhadap kadar air seperti pada gambar 3.



Gambar 3. Grafik pengaruh variasi komposisi briket terhadap kadar air ^[1]

Berdasarkan pada grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap kadar air didapatkan hasil kadar air tertinggi sebesar 5.45% yang diperoleh dari spesimen ke-5 dengan komposisi 0 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron, sedangkan kadar air terendah didapat dari spesimen ke-1 dengan komposisi 2 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron dengan nilai kadar air sebesar 3.03%. Pada spesimen ke-2 dengan komposisi 2 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron didapatkan kadar air sebesar 3.11%, kemudian pada spesimen ke-3 dengan komposisi 1 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron diperoleh 4.14% kandungan

kadar air. Pada spesimen ke-4 dengan komposisi 1 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron di dapat nilai kadar air sebanyak 3.45%. Kadar air pada jenis briket limbah dakron disebabkan oleh faktor eksternal dari briket yang terjadi pada saat proses pembuatan briket, faktor yang mempengaruhi kadar air adalah suhu dan cara penyimpanan. Hal ini disebabkan karena suhu akan menyebabkan kelembaban udara yang berdampak pada kadar air, begitu juga dengan cara penyimpanan akan mempengaruhi penyerapan. Kadar air briket sangat mempengaruhi nilai kalor. Hal ini disebabkan karena panas yang tersimpan dalam briket terlebih dahulu digunakan untuk mengeluarkan air yang ada, kemudian selanjutnya menghasilkan panas yang dapat dipergunakan sebagai panas pembakaran.

2.3. Laju Pembakaran

Pengujian laju pembakaran dilakukan secara manual dengan menggunakan alas plat besi, dimana laju pembakaran dari setiap spesimen dilihat mana yang tercepat dan terlama dalam proses pembakaran. Pengujian laju pembakaran dilakukan secara manual menggunakan plat besi setebal 1mm. 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 tongkol jagung dan limbah dakron 2:0, 2:1, 1:1, 1:2, 0:2 dengan perekat sebanyak 7,5 gram dan campuran minyak sawit sebanyak 30 gram. Rata-rata massa btiket setiap spesimennya 5 gram. Untuk menghitung nilai laju pembakaran dapat menggunakan rumus :

$$\text{Laju pembakaran} = \frac{a}{b} = \dots \text{gr/menit} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana : a = Massa Briket terbakar

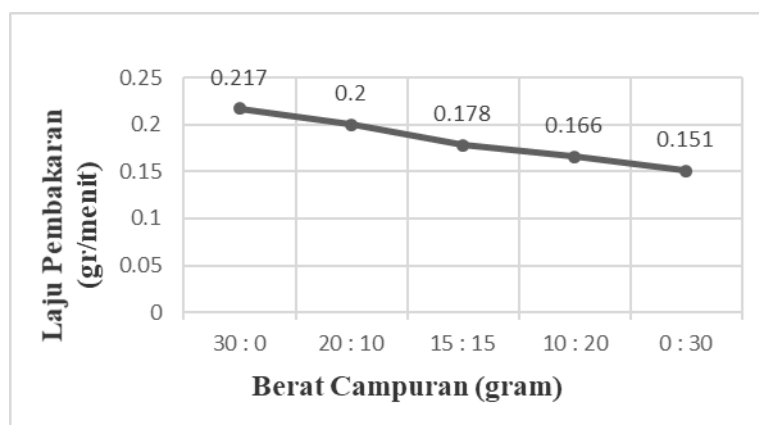
b = Waktu Pembakaran [11]

Hasil pengujian dapat ditunjukkan didalam tabel 3 dan 4.

Tabel 3 Hasil Pengujian Laju Pembakaran

No	Tongkol Jagung (gram)	Limbah Dakron (gram)	Tepung Botani (gram)	Minyak Sawit (gram)	Massa Briket (gram)	Waktu Pembakaran (menit)	Laju Pembakaran (gr/m)
1	30	0	7.5	30	5	23	0.217
2	20	10	7.5	30	5	25	0.200
3	15	15	7.5	30	5	28	0.178
4	10	20	7.5	30	5	30	0.166
5	0	30	7.5	30	5	33	0.151

Dari tabel 3 didapatkan grafik pengaruh variasi komposisi briket terhadap laju pembakaran seperti pada gambar 4.

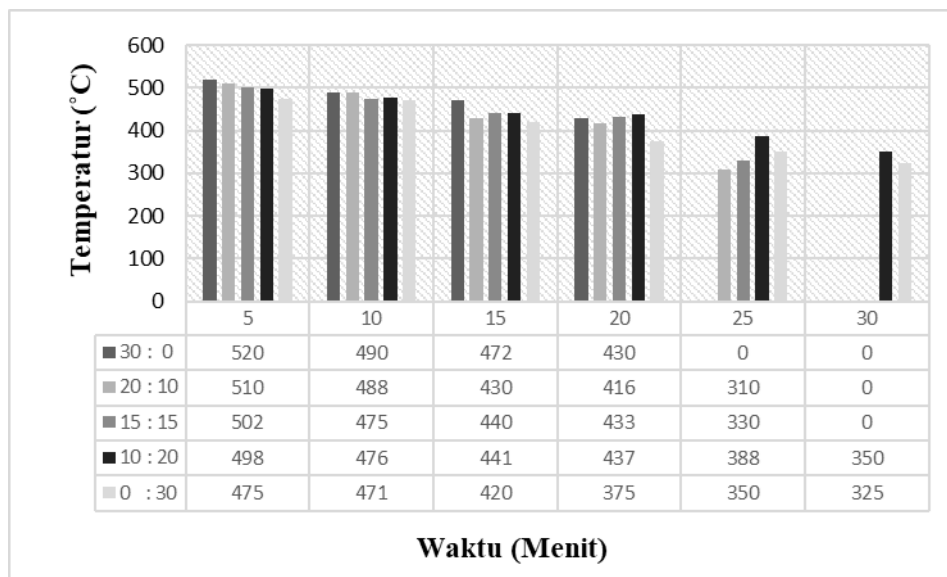


Gambar 4. Grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap laju pembakaran ^[1]

Tabel 4 Hasil Pengujian Temperatur Per-5 Menit

No	Tongkol Jagung (gram)	Limbah Dakron (gram)	Tepung Botani (gram)	Temperatur/menit (°C)					
				5	10	15	20	25	30
1	30	0	7.5	520	490	472	430	-	-
2	20	10	7.5	510	488	430	416	310	-
3	15	15	7.5	502	475	440	433	330	-
4	10	20	7.5	498	476	441	437	388	350
5	0	30	7.5	475	471	420	375	350	325

Dari tabel 4 didapatkan grafik hubungan temperatur terhadap waktu pembakaran briket seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik hubungan temperatur terhadap waktu pembakaran briket ^[1]

Berdasarkan pada grafik hubungan variasi komposisi briket terhadap laju pembakaran dan hubungan temperatur variasi briket terhadap waktu pembakaran didapatkan hasil uji laju pembakaran paling cepat yaitu pada spesimen ke-1 dengan komposisi 2 : 0 campuran tongkol jagung dan limbah dakron dengan laju pembakaran 0.217 gr/m, pada komposisi ini pembakaran briket memiliki estimasi waktu pembakaran selama 23 menit dengan temperatur nyala 520°C, 490°C, 472°C, dan 430°C per-5 menit. Hal ini dikarenakan tingginya nilai kalor pada komposisi ini sehingga pembakaran tidak memerlukan waktu yang lama untuk merata pada briket. Sedangkan laju pembakaran paling lama ada pada spesimen ke-5 dengan komposisi 0 : 2 campuran tongkol jagung dan limbah dakron dengan waktu 33 menit dan laju pembakaran 0.151 gr/m, temperatur nyala yang dihasilkan berkisar di 475°C, 471°C, 420°C, 375°C, 350°C dan 325°C per-5 menit, dikarenakan tingginya kadar air pada spesimen ini. Pada spesimen ke-2 dengan komposisi 2 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron, didapatkan hasil uji laju pembakaran 0,200 gr/m atau selama 25 menit waktu pembakaran dengan temperatur nyala 510°C, 488°C, 430°C, 416°C, dan 310°C per-5 menit, kemudian pada spesimen ke-3 dengan komposisi 1 : 1 tongkol jagung dan limbah dakron didapatkan hasil uji laju pembakaran 0.178 gr/m atau 28 menit waktu pembakaran dengan temperatur nyala 502°C, 475°C, 440°C, 433°C, dan 330°C per-5 menitnya. Spesimen ke-4 dengan komposisi 1 : 2 tongkol jagung dan limbah dakron didapat hasil uji laju pembakaran sebesar 0,166 gr/m atau 30 menit waktu pembakaran dengan temperatur nyala 498°C, 476°C, 441°C, 437°C, 388°C, dan 350°C per-5 menit. Semakin tinggi nilai kalor dan semakin rendah kadar air pada spesimen dapat menaikkan nilai laju pembakaran. Kadar air 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 akan membuat briket sulit dinyalakan pada saat pembakaran dan akan banyak menghasilkan asap, selain itu akan mengurangi temperatur penyalaan dan daya pembakarannya.

3. Simpulan

1. Nilai kalor paling tinggi didapat dari spesimen ke-1 dengan komposisi bahan 2 : 0 tongkol jagung dan limbah dakron dengan perekat tepung botani dan campuran minyak sawit dengan hasil 8131.70416 kal/gr, Kadar air terendah didapat dari spesimen ke-1 dengan komposisi bahan 2 : 0 tongkol jagung dan limbah dakron dengan perekat tepung botani dan campuran minyak sawit dengan hasil 3.03%, Laju pembakaran tertinggi terdapat pada Spesimen ke-1 dengan komposisi 2 : 0 tongkol jagung dan limbah dakron dengan perekat tepung botani dan campuran minyak sawit dengan hasil 0,217 gr/m dengan waktu selama 23 menit.
2. Perbandingan ideal antara tongkol jagung dan limbah dakron dengan perekat tepung botani dan campuran minyak sawit adalah campuran dengan perbandingan 1 : 2 pada spesimen ke-4, dikarenakan memiliki nilai kalor pada briket yang relatif tinggi sebesar 7986.46480 kal/gr dan mengandung kadar air yang relatif rendah yaitu sebanyak 3.45%, dan memiliki temperatur pembakaran sebesar 498°C, 476°C, 441°C, 437°C, 388°C, dan 350°C per-5 menit selama 30 menit dan laju pembakaran 0.166gr/m.
3. Briket dari tongkol jagung dan limbah dakron dapat dijadikan bahan bakar alternatif.

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] A. N. Ajmi and R. Inglesi-Lotz, "Biomass energy consumption and economic growth nexus in OECD countries: A panel analysis," *Renew. Energy*, vol. 162, pp. 1649–1654, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2020.10.002.
- [2] K. Promdee *et al.*, "Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, no. November 2016, pp. 1175–1186, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.099.
- [3] M. Sawadogo, S. Tchini Tanoh, S. Sidibé, N. Kpai, and I. Tankoano, "Cleaner production in Burkina Faso: Case study of fuel briquettes made from cashew industry waste," *J. Clean. Prod.*, vol. 195, pp. 1047–1056, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.05.261.
- [4] A. A. Salema, M. T. Afzal, and L. Bennamoun, "Pyrolysis of corn stalk biomass briquettes in a scaled-up microwave technology," *Bioresour. Technol.*, vol. 233, no. February, pp. 353–362, 2017, doi: 10.1016/j.biortech.2017.02.113.
- [5] B. C. Falemara, V. I. Joshua, O. O. Aina, and R. D. Nuhu, "Performance evaluation of the physical and combustion properties of briquettes produced from agro-wastes and wood residues," *Recycling*, vol. 3, no. 3, 2018, doi: 10.3390/recycling3030037.
- [6] N. N. Chen, M. Q. Chen, B. A. Fu, and J. J. Song, "Far-infrared irradiation drying behavior of typical biomass briquettes," *Energy*, vol. 121, pp. 726–738, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.01.054.
- [7] I. Malico, R. Nepomuceno Pereira, A. C. Gonçalves, and A. M. O. Sousa, "Current status and future perspectives for energy production from solid biomass in the European industry," *Renew.*

- Sustain. Energy Rev.*, vol. 112, no. May, pp. 960–977, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2019.06.022.
- [8] N. Radenahmad *et al.*, “A review on biomass derived syngas for SOFC based combined heat and power application,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 119, no. October, p. 109560, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109560.
- [9] S. A. R. Shah, S. A. A. Naqvi, S. Riaz, S. Anwar, and N. Abbas, “Nexus of biomass energy, key determinants of economic development and environment: A fresh evidence from Asia,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 133, no. January, p. 110244, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110244.
- [10] G. Mao, N. Huang, L. Chen, and H. Wang, “Research on biomass energy and environment from the past to the future: A bibliometric analysis,” *Sci. Total Environ.*, vol. 635, pp. 1081–1090, 2018, doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.173.
- [11] M. Afif, S. Syahrul, and Y. A. Padang, “ANALISA NILAI KALOR DAN LAJU PEMBAKARAN PADA BRIKET CAMPURAN BIJI NYAMPLUNG (*Calophyllum Inophyllum*) DAN ABU SEKAM PADI,” *Din. Tek. Mesin*, vol. 4, no. 2, pp. 117–122, 2014, doi: 10.29303/d.v4i2.61.