



Pengaruh minyak zippo dari komposit epoksi dengan penguat serat jute terhadap kecepatan rambatan api dan residu

Effect of Zippo oil of Coomposites Epoxy with Jute Fiber Reinforced Toward Flame speed propagation and residue

N.M.A.R. Adriani¹, I.G.K Sukadana¹, I.G.A.K.C. Adhi², I.D.G.A. Subagia^{1*}

¹Program Studi Teknik Mesin. Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran-Badung, (80361), Bali. Hp.081353651467

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram, Jl. Majapahit no. 62, Mataram, NTB, 83125, Indonesia.

*E-mail: arsubmt@unud.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 11 May 2021

Accepted 27 August 2021

Available online 1 October 2021

Keywords:

Composites

Flame propagation

Residue

Zippo oil

Pollutant



This study investigated the rate of flame propagation and residue quality of epoxy composite with jute fiber reinforcement. Three layer of jute fibers were stacked as reinforcement of composites. It was manufactured by the injection method (vacuum assisted injection, VARI). In this study, the zippo oil as flame trigger was added on the specimen. This study aims to investigate the effects of zippo oil on the rate of flame propagation and residue of composites. The flame rate testing was based on ASTM D 635 standard, with repetitions of 5 times for each sample that conducted inside of the combustion chamber. Test results obtained in addition to carbon dioxide (CO₂) are carbon monoxide (CO) and methane (CH₄), as well as dust particles (PM10). The result of measuring the flame propagation rate with zippo fuel is 0.23 mm/s, while composite without zippo oil is 0.17 mm/s. Furthermore, CO₂ residue with zippo oil addition is 1.55% and without zippo oil is 1.57%, respectively. Meanwhile, residual test results for contaminants such as carbon monoxide (CO) and Methane (CH₄) from composites with the addition of zippo oil were 0.006 % and 0.008% respectively. In additional, the remaining composite burned without zippo oil has an equal value of CO and methane about 0.002%. The conclusion shows that there was an increase of flame propagation rate and residual value produced after the addition of zippo oil, and that pollutant residues exceeded threshold value.

1. PENDAHULUAN

Komposit telah menjadi primadona dan secara luas diaplikasikan pada produk keteknikan seperti pada komponen dan element dari kendaraan bermotor (Prodanović dkk. (2017), Verma dkk. (2017)) pesawat terbang (Eloy dkk. (2015), Jawaid dkk. (2018)), kapal boat, peralatan olahraga, peralatan pertanian dan prabot rumah tangga Jeyanthi dkk. (2014), Sari (2018). Saat ini komposit juga diaplikasikan pada peralatan angkatan bersenjata seperti baju anti peluru, helm, dan perlengkapan perlindungan lainnya Yahaya dkk. (2016). Komposit terdiri dari dua material utama yang berbeda karakteristik dan disatukan menjadi material baru dengan sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda dari material-material pembentuknya (Begum dkk. (2013), Subagia dkk. (2017)).

Perkembangan material komposit dalam kurun waktu dua dekade terakhir diutamakan untuk menggunakan bahan alami baik yang bersumber pada tumbuhan, binatang, serta mineral Mitra (2014) Serat alami, meliputi serat daun nanas, serat pisang, serat sabut kelapa, serat jute, serat rami adalah jenis-jenis serat alam yang banyak dipergunakan sebagai penguat Mohd Nurazzi dkk. (2017). Sedangkan, matrik yang umum digunakan meliputi polimer dari kelompok *thermoplastic* dan *thermosetting*. Väisänen dkk. (2017) menjelaskan bahwa serat jute merupakan salah satu serat alam yang bersumber pada tumbuhan dengan kandungan terbesar adalah cellulose 64,4%, kadar air 12,5%, dan lignin 11,8%. Serat jute memiliki diameter 5,5 ~ 25 µm, dengan panjang serat 0,8 ~ 6 mm. Saat ini serat jute sangat dominan diaplikasikan sebagai penguat karena memiliki sifat mekanik dan fisik yang paling menonjol dibandingkan serat alami lainnya. Sifat mekanik dari serat jute adalah kuat, elastis, kasar, mudah didapat, harganya murah dan kadar air yang dimiliki lebih tinggi dari serat lainnya serta mudah terurai (*biodegradable*) sehingga ramah lingkungan Johnson dkk. (2016). Penelitian terkait kemampuan serat jute agar dapat menggantikan bahan sintetik pada struktur komposit telah dilakukan oleh Sanjay dkk. (2016). Kemudian kajian sifat bakar sebagai kelemahan dari serat alami dimana serat alam melepaskan panas relatif besar dibandingkan serat anorganik dilakukan oleh Prabhakar dkk. (2015).

Rifaida Eriningsih dkk. (2011) telah melakukan penelitian terhadap material komposit dengan bahan serat nanas terhadap ketahanan panas dengan menambahkan zat kimia seperti ZnCl₂, KSCN, Na₂SiO₃ dan MgCl₂. Diharapkan bahwa penambahan zat kimia tersebut yang dilakukan dengan proses *impragnasi* zat aditif telah meningkatkan ketahanan api dari material komposit. Sebaliknya apabila zat tersebut dilakukan meleui pelarutan bersama dengan matrik ketahanan api material komposit menurun. Hesham Moustafa dkk. (2016) menyelidiki komposit hijau dengan menambahkan cangkang kerang (sea shells) terhadap sifat ketahanan api. Penelitian kemampuan bakar dari turunan bio komposit dengan bahan penguat serat alami dilakukan oleh Chai dkk. (2012). Selain itu, penelitian serupa juga dilakukan oleh (Pappalardo dkk. (2016), Salasinska dkk. (2019), Šehić dkk. (2016), Shaikin dkk. (2020), Toldy dkk. (2017)). Secara menyeluruh didapatkan hasil bahwa laju pembakaran sangat dipengaruhi oleh temperatur glass dan *oxygen indek* (LOI) dari masing-masing tipe komposit.

Terkait dengan kemampuan bakar dari bahan komposit, pada penelitian ini dilakukan pengujian kecepatan perambatan api dan residu yang dihasilkan dengan menambahkan minyak Zippo. Tujuan penelitian ini untuk mengukur kecepatan pembakaran dan kandungan residu dari komposit. Penambahan minyak Zippo dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang ditimbulkan terhadap kecepatan pembakaran dan residu terhadap lingkungan. Penelitian ini belum banyak yang melakukan sehingga penting untuk dikaji dalam karya ini. Pengujian dilakukan dengan pembakaran datar (horizontal burning) menurut standar ASTM D635. Benda uji dibuat melalui proses *vacuum assisted resin injection* (VARI). Residu diuji dengan menggunakan *portable infrared syngas analyzer*.

2. METODE PENELITIAN

Eksperimen telah dilakukan terhadap kecepatan perambatan bakar pada komposit. Komposit terdiri dari serat alami yaitu serat jute. Serat jute yang diaplikasikan berbetuk anyaman sederhana 1 x 1 dengan orientasi anyaman arah 0° (*warp*) dan 90° (*weft*) seperti ditunjukkan pada Gambar 1a. Matrik dari komposit (lihat gambar 1b) adalah epoksi resin *unmodified, liquid standar epoxy resin based Bisphenol A Bakelite-EPR-174, Bakelit Korea* dan pengering tipe *Cycloaliphatic amine curing agent Bakelite-EPH-555, Korea*, dipasarkan oleh PT.Justus Kimiaraya, Jakarta, Indonesia. Epoksi dan pengering memiliki kekentalan (*viscosity*) pada temperatur 25°C masing – masing 0.13^{±0.02} mPa·s dan 0.5 ~ 1.0 poise. Campuran efektif dari resin dan pengering pada penelitian ini dipergunakan rasio fraksi berat 100:20%. Sedangkan untuk sifat mekanik dasar dari bahan serat dan matrik ditunjukkan pada Tabel 1. Pada penelitian ini minyak *Zippo* yang diproduksi oleh *Zippo Manufacturing Company, USA*. dipergunakan sebagai pemicu pembakaran. Pemilihan minyak *Zippo* karena merupakan bahan bakar cair dari kelompok *hydrotreated petroleum distillates* dan bersifat *flammable and vapor* dengan *flash point* < 100°F

(37,78°C), serta tekanan uap adalah 6.9 psi, dengan pH 0.706. serta menghasilkan *carbon monoxide* dan *Asphyxiants*.

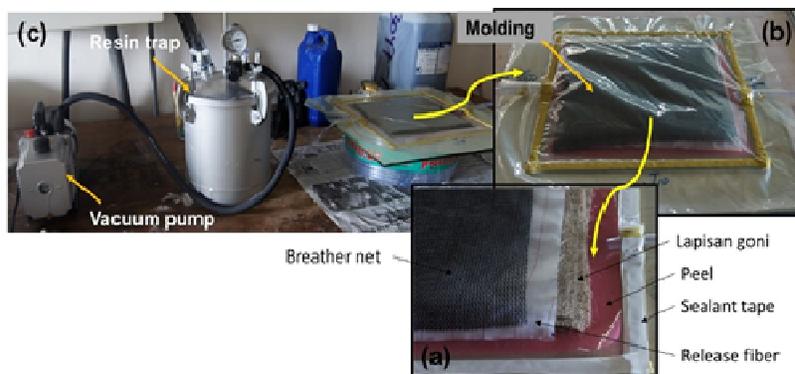


Gambar 1 (a) anyaman serat jute, (b) Epoksi resin (EPR-147) dan c) hardener (EPH-555)

Tabel 1. Karakteristik bahan pembentuk Komposit

Sifat	Serat Jute	Epoksi EPR-174	Hardner EPH-555
Kerapatan Massa pada 25°C (g/cm ³)	1.46	1.17 ^{±0.01}	1.01
Tegangan Tarik (MPa)	393-773	58.8	55.15
Modulus (GPa)	13-26.5	5.0	3.3
Regangan saat putus (%)	1.16-1.5	4	6

Komposit panel dibuat melalui proses pencetakan berbasis injeksi, sebagaimana ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Proses *vakum assisted resin injection*

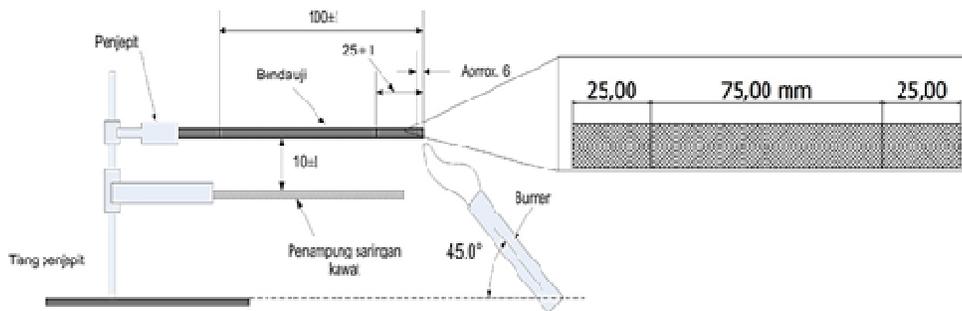
Tabel 2 desain komposit epoksi dengan penguat serat jute

Beda Uji	Kode	Serat penguat	Matrik	Perlakuan
Komposit	KG _N	Jute	Epoksi	N
	KG _T	Jute	Epoksi	T
Penguat	G _N	Jute	-	N
	G _T	Jute	-	T
Matrik	E _N	-	Epoksi	N
	E _T	-	Epoksi	T

Tabel 2 menunjukkan komposisi bahan pembentuk komposit dengan KG adalah komposit serat jute, G adalah serat jute dan E menyatakan epoksi resin serta N dan T masing- masing adalah normal dan *treatment* dengan minyak Zippo.

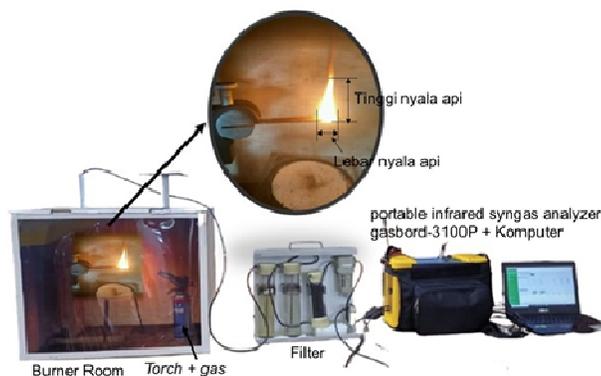
Gambar 2 menunjukkan tahapan dalam pencetakan komposit dengan menggunakan *vacumm assisted resin injection* (VARI). Tahap prmbuatan komposit adalah diawali dari proses laminasi serat jute di atas plat kaca yang berukuran 500 x 500 x 8 mm. Jumlah serat adalah sebanyak 3 (tiga) lapis ditunjukkan seperti tabel 2. Selanjutnya, proses pemasangan perlengkapan cetakan berupa *breater net*, *peel*, *release fiber sealent tape* seperti ditunjukkan pada gambar 2a. Tahap selanjutnya adalah pemasangan pipa *inlet* dan *out-let* sebagai tempat aliran dari campuran resin dan penering dengan rasio

5:1, dan ditutup dengan *plastic bag* sebagaimana ditampilkan pada gambar 2b. Sebelum proses injeksi dilakukan terlebih dahulu dilakukan pencampuran *epoksi resin* dan pengering yang di vakum pada tekanan 75 cmHg kurang lebih selama 30 menit, dengan maksud untuk menghilangkan gelembung udara akibat pengadukan sehingga campuran menjadi merata. Setelah itu, dilakukan proses injeksi (lihat gambar 2c) pada tekanan -0.8 atm kurang lebih selama 40 menit (hingga seluruh bidang serat terlapisi matrik). Tahap akhir adalah proses pengerasan selama 24 jam. Setelah proses pengerasan, dilakukan proses pemotongan dengan menggunakan *diamond cutter 7"* pada kecepatan 3500 rpm. Ukuran dari benda kerja ditunjukkan seperti gambar 3 .



Gambar 3. skematik uji bakar arah *horizontal* (inzet; dimensi benda uji)

Gambar 3 menunjukkan skematik uji pembakaran dari benda uji komposit. Inzet pada gambar 3 menunjukkan geometri benda kerja dengan dimensi panjang $125^{±0.01}$ mm, lebar $13\text{ mm}^{±0.02}$, dan tebal $3^{±0.02}$ mm. Pada proses pengujian, sebagaimana disyaratkan pada standar ASTM D 635 Astika dkk. (2018) benda uji dijepit pada salah satu ujung sampel dan ujung lainnya dibiarkan bebas sebagai penerima nyala api seperti gambar 3. Pengukuran kecepatan dilakukan setelah jarak pembakaran sejauh 25 mm dari ujung penerima nyala api hingga api mati atau berhenti dengan menggunakan pencatat waktu stopwatch. Sudut serang api pada ujung bebas benda uji adalah sebesar 45° .



Gambar 4. Proses pengujian bakar komposit

Proses pembakaran benda kerja dilakukan pada ruang bakar (*combustion chamber*), dengan pengulangan uji dilakukan sebanyak 5 (lima) kali untuk setiap kelompok benda uji. Pengujian dilakukan untuk sampel dengan dan tanpa perlakuan minyak Zippo. Untuk sampel dengan penambahan minyak Zippo terlebih dahulu di rendam selama ± 30 menit sebelum dilakukan pengujian. Proses pengujian dan pengukuran waktu penyalaan (*time of burning*) dan kecepatan pembakaran (*rate of burning*) sepanjang 75 mm ditunjukkan seperti pada gambar 4.

Tahapan pengujian bakar dilaksanakan sebagai berikut; pertama adalah tahap preparasi sampel menurut standar ASTM D 635, dan menentukan jarak uji kecepatan pembakaran. Dilanjutkan dengan seting alat ukur *portable infrared syngas analyser gasbord-3100P* serta penimbangan sample sebelum perlakuan sebagai berat awal w_0 (gram). Kemudian tahap set-up sampel pada alat pengikat sampel. Tahap berikutnya adalah menentukan nyala api dengan nyala api biru setinggi 20 mm dengan meniadakan *yellow flame*, dilanjutkan proses pembakaran dengan meletakkan *blue flame* pada ujung sample hingga terbakar dan setelah itu dilepaskan, dan biarkan nyala api merambat hingga batas 25 mm untuk awal penghitungan kecepatan pembakaran. Berikutnya, saat nyala api telah mencapai batas 25

mm dari sample proses penghitungan kecepatan pembakaran dimulai, dan rekam waktu menggunakan *stopwatch* hingga api padam. Dilanjutkan dengan pencatatan jarak dan waktu api padam di daerah 100 mm. Tahap akhir dari proses uji bakar adalah pengolahan data untuk kecepatan pembakaran dengan persamaan;

$$V = 60 \left(\frac{L}{t} \right) \quad (1)$$

Perhitungan residu pembakaran dihitung dengan persamaan Astika et al. (2018) yaitu:
Pengurangan berat benda uji (w)

$$w = w_0 - w_1 \quad (2)$$

Sedangkan laju kehilangan berat (W) pada proses pembakaran dihitung dengan persamaan;

$$W = \frac{w}{t} \quad (3)$$

Dimana: V adalah notasi kecepatan bakar (mm/detik), L adalah notasi dari panjang spesimen yang terbakar (mm), t menunjukkan waktu pembakaran (detik), W adalah kehilangan berat dari specimen setelah pembakaran (gram), w adalah residu pembakaran (gram), w_0 berat awal dari specimen (gram) dan w_1 adalah berat akhir (gram).

Hasil perhitungan untuk kecepatan bakar dan residu dari komposit dengan dan tanpa minyak zippo yang diolah dengan persamaan di atas dan didapatkan rata-rata seperti tampilan pada Tabel 3.

Tabel 3 Rata-rata kecepatan bakar dan residu komposit

Sampel	Berat sampel (gram)			Waktu (dtk)	W (gm/dtk)	Berat residu (gm)
	w_0	w_1	w			
Normal	5.50 ^{±0.02}	1.80 ^{±0.02}	3.70 ^{±0.02}	6.68	0.554 ^{±0.02}	0.370 ^{±0.02}
Treatmen	5.50 ^{±0.02}	1.70 ^{±0.02}	3.80 ^{±0.02}	6.22	0.611 ^{±0.02}	0.401 ^{±0.02}

Tabel 3 menunjukkan hasil rata-rata pengukuran dari pembakaran komposit tanpa dan dengan minyak Zippo. Dihasilkan bahwa minyak Zippo ditambahkan pada komposit epoxy dengan penguat anyaman serat jute lebih berat dari tanpa minyak Zippo. Hal ini dipengaruhi oleh saat terbakar dengan minyak Zippo terdapat penambahan berat oleh *pollutan* CH₄ yang terbentuk setelah pembakaran. Keenaikan berat residu tanpa dan dengan minyak Zippo adalah sebesar 9.3%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 4 menunjukkan nilai kecepatan pembakaran dari komposit, serat jute dan epoksi dengan dan tanpa penambahan minyak *Zippo*. Sebagaimana terlihat pada Tabel 4, N adalah kondisi bahan tanpa penambahan minyak *Zippo*, dan T menunjukkan bahan yang ditambahkan minyak *Zippo* dalam pengujian. Dapat diamati dari hasil pengujian bahwa kecepatan pembakaran pada untuk murni serat jute adalah paling cepat baik pada kondisi tanpa dan dengan penambahan minyak Zippo yaitu sebesar masing – masing 1.242 dan 1.518 mm/dtk. Tingginya nilai kecepatan pembakaran dari serat jute adalah disebabkan adanya pengaruh sifat alam seperti *lignin*, *cellulose* yang terkandung pada serat sehingga menjadi pemicu tambahan saat dibakar Pausas dkk. (2017). Antara tanpa dan dengan penambahan minyak Zippo diperoleh tingkat kecepatan pembakaran untuk serat jute (G) yaitu sebesar 0.81%. Kemudian, untuk bahan matrik (resin epoksi) (E) peningkatan nilai kecepatan pembakaran sebesar 0.85%. Selanjutnya setelah dikombinasikan menjadi bahan komposit, peningkatan kecepatan pembakaran tanpa dan dengan minyak *Zippo* sebesar 0.72%. Berdasarkan pada hasil dapat dinyatakan bahwa adanya minyak *Zippo* sebagai zat kimia yang ditambahkan berdampak pada peningkatan kecepatan pembakaran secara signifikan dan sangat berbahaya pada tingkat pembakaran yang lebih luas karena akan terjadi sangat cepat Jain dkk. (2016). Pada penggunaan Sodium hydroxide sebagai treatment yang dikombinasikan dengan zat kimia flame raterdant mengakibatkan perubahan pada sifat fisik dan mekanik dari material komposit dengan serat alami Misnon dkk. (2018). Kemudian, Suoware dkk. (2019) menyatakan penambahan flame raterdant (FRs) pada komposit polyester dengan serat kelapa sawit telah meningkatkan sifat mekanik berupa kekuatan impact dan memperbaiki sifat mudah terbakar dari bahan. Hasil penelitian oleh Ortega dkk. (2020) juga dihasilkan untuk komposit berbahan serat alami sebagai penguat dengan penambahan zat kimia sebagai penghambat pembakaran telah efektif mempengaruhi laju pembakaran dari material komposit.

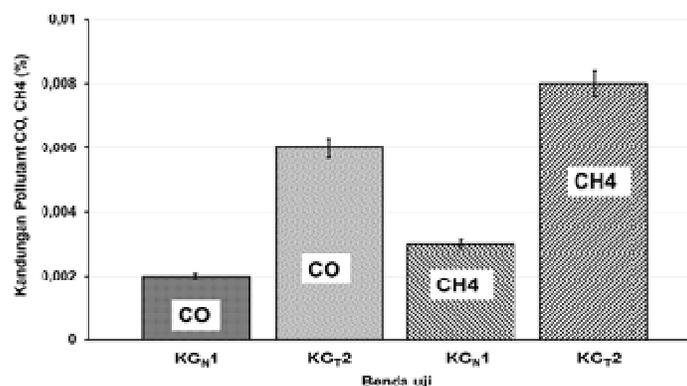
Tabel 4. Nilai Kecepatan pembakaran dari komposit, serat jute dan resin epoksi

Kondisi	Perlakuan	Komposit (KG)	Serat Jute (G)	Epoksi resin (E)
Normal	N	0.168	1.242	0.188
Treatment	T	0.234	1.518	0.222

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran kandungan unsur pada residu dari komposit jute-epoksi (KG), serat jute (G) dan resin epoksi (E). Pada pengujian residu diberikan perlakuan dengan menambahkan minyak *Zippo* pada benda kerja (T) dan dibandingkan dengan residu tanpa minyak *Zippo* (N). Berdasarkan hasil pengujian didapatkan 3 unsur dominan yaitu unsur *carbon monoxides* (CO), *carbon dioxides* (CO₂) dan *methane* (CH₄). Pada tabel 4 ditunjukkan bahwa dengan penambahan minyak *Zippo* pada setiap bahan komposit dan serat jute meningkat pada ketiga unsur. Namun untuk CO pada residu resin epoksi tidak terjadi peningkatan, sedangkan pada CH₄ dan CO₂ meningkat sama dengan unsur residu bahan lainnya. Berdasarkan pada teori CO₂ atau zat asam arang yang terbentuk dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen pada atom karbon (C). CO₂ merupakan residu yang dihasilkan oleh semua makhluk hidup pada proses respirasi, serta dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil. CO₂ walaupun dihasilkan oleh makhluk hidup, karena sifatnya yang dapat memantulkan radiasi panas matahari sehingga menyebabkan peningkatan suhu di permukaan bumi atau pemanasan global (*global warming*) menjadi kurang ramah lingkungan. Selanjutnya, *Carbon monoxide* (CO) merupakan gas yang tidak berwarna dan berbau dimana timbul dari pembakaran yang tidak sempurna, bahan yang banyak mengandung karbon, serta gas beracun yang berasal dari pembakaran bensin, kayu, arang, propana, atau bahan bakar lainnya. CO akan sangat berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan Salasinska et al. (2019). Selain itu hasil pembakaran disebabkan oleh struktur kimia senyawa organik, khususnya keberadaan *lignin* dan selulosa yang mempromosikan pembentukan *char carbonaceous*, memiliki pengaruh pada kualitas residu. Selain itu, *hemicellulose* terdiri dari berbagai *saccharides* (*xylose*, *glukosa*, *galaktosa*, dll.) dan terdegradasi ke volatil yang berkembang (termasuk CO dan CO₂) .

Tabel 5. Data Polutan pembakaran

Unsur residu	KG _N	KG _T	G _N	G _T	E _N	E _T
Karbon Monoksida (%)	0.002	0.006	0.002	0.004	0.004	0.004
Metane (%)	0.003	0.008	0	0.004	0.002	0.004
Karbon Dioksida (%)	1.556	1.556	0.58	0.81	1.226	1.375

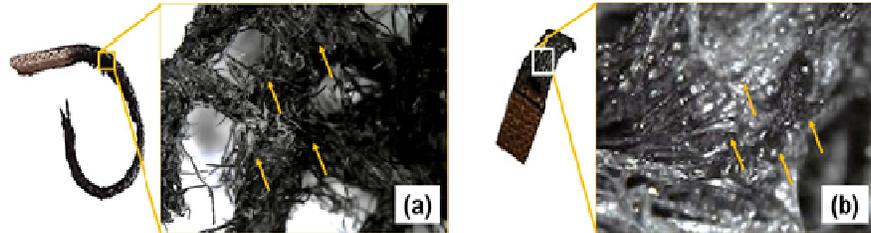


Gambar 5. kandungan *polutan* (CO) dan CH₄) terhadap benda uji

Gambar 5 menunjukkan grafik batang komposisi kandungan CO dan CH₄ material komposit sebelum dan setelah penambahan minyak *Zippo*. Pada grafik ditunjukkan bahwa setelah penambahan minyak *Zippo* terjadi peningkatan jumlah CO dan CH₄ terhadap kondisi tanpa minyak *Zippo*. Kenaikan jumlah CO dalam persen adalah 0.006%. Kemudian kenaikan dalam prosen untuk CH₄ adalah 0.008%. Hasil ini menunjukkan bahwa minyak *zippo* menjadi pemicu meningkatnya nilai CO dan CH₄ pada komposit yang cukup berbahaya bagi lingkungan ditinjau dari standar Nasional tentang nilai ambang batas.

Gambar 6 menunjukkan bentuk residu dari komposit epoksi dengan penguat serat jute setelah dibakar tanpa dan dengan minyak *Zippo*. Dari pengamatan photography digunakan *camera Digital Single-lens Reflex* (DSLR) Alpha 500 dengan lensa *micro*, pada *aperture* f/5,6. Dari hasil pengamatan didapatkan warna residu tanpa minyak *Zippo* berwarna hitam pekat (gambar 6a). Sedangkan komposit

epoksi dengan penguat serat jute yang ditambahkan minyak Zippo *residu* yang dihasilkan menunjukkan warna yang lebih terang yaitu keabu-abuan ditampilkan seperti gambar 6b. Warna ini disebabkan oleh pengaruh zat kimia yang terkandung pada minyak Zippo. Selain itu, residu yang terbentuk setelah pembakaran untuk kedua kondisi adalah sangat dipengaruhi oleh sifat dari resin epoksi yang masuk kedalam tipe *thermosetting* (Rusnák dkk. (2015), Szolnoki dkk. (2015)).



Gambar 6. (a) Residu komposit jute normal, (b) Residu komposit jute dengan minyak Zippo

4. KESIMPULAN

Penambahan minyak Zippo pada proses pembakaran telah meningkatkan kecepatan pembakaran dari material komposit berbasis epoksi dengan rata-rata penambahan kecepatan pembakaran adalah 0.8% dibandingkan dengan tanpa penambahan minyak Zippo. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa minyak Zippo sangat efektif meningkatkan kecepatan pembakaran sehingga perlu dihindarkan keberadaannya.

Residu hasil pembakar tanpa dan dengan penambahan minyak Zippo telah memberikan pengaruh terhadap peningkatan zat polutan yaitu berupa CO, CO₂ dan CH₄ dengan rata-rata kenaikan jumlah kandungan zat adalah sebesar 0.3% dari residu tanpa minyak Zippo.

Residu hasil pembakaran pada komposit *non lighter fluid* terbakar dengan sempurna dimana residu berwarna hitam dan residu masih membentuk serat. Untuk komposit *lighter fluid* terbakar dengan sempurna dimana residu cenderung berwarna abu-keputihan dan residu rapuh, ini diakibatkan oleh penambahan zat pemicu berupa bahan bakar dimana dapat menyebabkan pembakaran sempurna dan api cepat merambat pada sampel.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis pada kesempatan ini mengucapkan terimakasih kepada Lab Metalurgi PS. Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Udayana dan LPPM-Universitas Udayana yang telah memberikan dukungan pada penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Astika I.M., Sukadana I.G.K., Dwijana I.G.K., 2018, Karakteristik ketahanan api komposit polyester berpenguat serat sabut kelapa. Paper presented at the Prosiding Konferensi Nasional Engineering Perhotelan IX
- Begum K., and Islam M.A., 2013, Natural fiber as a substitute to synthetic fiber in polymer composites: A review. *Research Journal of Engineering Sciences*, 2(3), 46-53.
- Chai M.W., Bickerton S., Bhattacharyya D., Das R., 2012, Influence of natural fibre reinforcements on the flammability of bio-derived composite materials. *Composites Part B: Engineering*, 43(7), 2867-2874.
- Eloy F., Costa R., De Medeiros R., Ribeiro M., Tita V., 2015, Comparison between mechanical properties of bio and synthetic composites for use in aircraft interior structures. Paper presented at the Meeting on Aeronautical Composite Materials and Structures, São Carlos, Brazil.
- Moustafa H., Duquesne S., Darwish N.A., Youssef A.M., 2016, Highly flame retardant green composites using seashells. *Society of Plastics Engineers (SPE)*(10.2417/spepro.006334), 1-3.
- Jain S., Park W., Chen Y.P., Qiao L., 2016, Flame speed enhancement of a nitrocellulose monopropellant using graphene microstructures. *Journal of Applied Physics*, 120(17), 174902.
- Jawaid M., Thariq M., 2018, *Sustainable composites for aerospace applications: Woodhead publishing.*
- Jeyanthi S., Rani J., 2014, Development of natural long fiber thermoplastic composites for automotive frontal beams. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*, 21, 580-584.
- Johnson S., Kang L., Akil H.M., 2016, Mechanical behavior of jute hybrid bio-composites. *Composites Part B: Engineering*, 91, 83-93.

- Misnon M.I., Islam M.M., Epaarachchi J.A., Chen H., Goda K., Khan M.T.I., 2018, Flammability characteristics of chemical treated woven hemp fabric reinforced vinyl ester composites. *Science and Technology of Materials*, 30(3), 174-188.
- Mitra B., 2014, Environment friendly composite materials: Biocomposites and green composites. *Defence Science Journal*, 64(3), 244-261.
- Mohd Nurazzi N., Khalina A., Sapuan S., Dayang Laila A., Rahmah M., Hanafee Z., 2017, A review: Fibres, polymer matrices and composites. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 25(4).
- Ortega R., Monzón M.D., Ortega Z.C., Cunningham E., 2020, Study and fire test of banana fibre reinforced composites with flame retardance properties. *Open Chemistry*, 18(1), 275-286.
- Pappalardo S., Russo P., Acierno D., Rabe S., Schartel B., 2016, The synergistic effect of organically modified sepiolite in intumescent flame retardant polypropylene. *European Polymer Journal*, 76, 196-207.
- Pausas J.G., Keeley J.E., Schwilk D.W., Rees M., 2017, Flammability as an ecological and evolutionary driver. *Journal of Ecology*, 105(2), 289-297.
- Prabhakar M.N., Shah A.U.R., Song J.-I., 2015, A review on the flammability and flame retardant properties of natural fibers and polymer matrix based composites. *Composites Research*, 28(2), 29-39.
- Prodanović S., Milutinović M., 2017, Some applications of biomaterials in automotive industry *Advances in applications of industrial biomaterials* (pp. 1-20): Springer.
- Rifaida Eriningsih, Thersia Mutia, Judawisastra H., 2011, Komposit sunvisor tahan api dari bahan baku serat nanas. *Jurnal Riset Industri*, V(2), 181-203.
- Rusnák V., Rusnáková S., Fojtl L., 2015, Flame resistance and mechanical properties of composites based on new advanced resin system fr4/12. *Materiali in tehnologije*, 49(5), 821-824.
- Salasinska K., Barczewski M., Borucka M., Gorny R.L., Kozikowski P., Celinski M., Gajek A., 2019, Thermal stability, fire and smoke behaviour of epoxy composites modified with plant waste fillers. *Polymers (Basel)*, 11(8).
- Sanjay M.R., Arpitha G.R., Naik L.L., Gopalakrishna K., Yogesha B., 2016, Applications of natural fibers and its composites: An overview. *Natural Resources*, 07(03), 108-114.
- Sari N.H., 2018, Studi eksperimental terhadap porositas dan hambatan alir udara pada komposit penyerap suara. *Dinamika Teknik Mesin*, 8(2).
- Šehić A., Jordanov I., Demšar A., Vasiljević J., Bukošek V., Naglič I., Medved J., Simončič B., 2016, Influence of flame retardant additive on thermal behaviour and stability of fibre-forming polyamide 6. *Tekstilec*, 59(2), 149-155.
- Shaikin A.P., Galiev I.R., Epishkin V.E., 2020, Influence flame speed and flame thickness on completeness of combustion hythane. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 734, 012188.
- Subagia I.A., Sugita I.K.G., Wirawan I.K.G., Dwidiani N.M., Yuwono A.H., 2017, Thermal conductivity of carbon/basal fiber reinforced epoxy hybrid composites. *International Journal of Technology*, 8(8), 1498-1506.
- Suoware T.O., Edelugo S.O., Ezema I.C., 2019, Effect of flame retardants on flame propagation and flammability properties of oil palm fibre reinforced polyester composite. *Fire and Materials*, 43(7), 811-820.
- Szolnoki B., Bocz K., Sóti P.L., Bodzay B., Zimonyi E., Toldy A., Morlin B., Bujnowicz K., Wladyka-Przybylak M., Marosi G., 2015, Development of natural fibre reinforced flame retarded epoxy resin composites. *Polymer Degradation and Stability*, 119, 68-76.
- Toldy A., Niedermann P., Pomazi A., Marosi G., Szolnoki B., 2017, Flame retardancy of carbon fibre reinforced sorbitol based bioepoxy composites with phosphorus-containing additives. *Materials (Basel)*, 10(5).
- Väisänen T., Das O., Tomppo L., 2017, A review on new bio-based constituents for natural fiber-polymer composites. *Journal of Cleaner Production*, 149, 582-596.
- Verma D., Sharma S., 2017, Green biocomposites: A prospective utilization in automobile industry *Green biocomposites* (pp. 167-191): Springer.
- Yahaya R., Sapuan S., Jawaid M., Leman Z., Zainudin E., 2016, Investigating ballistic impact properties of woven kenaf-aramid hybrid composites. *Fibers and Polymers*, 17(2), 275-281.