

Initial Study Of Fire Resistance Test Of Poly Ether Ether Ketone (PEEK) Core Materials for Alumunium Composite Panels

Study Awal Uji Ketahanan Api Material Inti Poly Ether Ether Ketone (PEEK) untuk Alumunium Composite Panel

Mohamad Fatur Rohman¹⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti ^{*,2)}

¹⁾Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: prantasiharmi@umsida.ac.id

Abstract. *Alumunium Composite Panel (ACP) is a flat panel, with alumunium plates/sheets that are rigid, strong, but have a relatively light weight, and between the two plates is filled with core material which is generally made of polyethylene (PE) and polyurethane (PU). Therefore, the purpose of this study is to replace the core material by using PolyEtherEtherKetone (PEEK) which is tested for fire resistance. Weighing and observing the microstructure using an optical microscope (MO) were carried out before and after testing. Fire resistance testing at a temperature of 150°C for 5 minutes, 200°C for 10 minutes, and 250°C for 15 hours. Observation of the microstructure/microstructure using an Optical Microscope (MO) with a magnification of 1000x showed that before the fire resistance test on the ACP with PEEK core material, there were many carbon elements (C), After the fire resistance test, element C spread more widely.*

Keywords - Alumunium Composite Panel (ACP); core material; PolyEtherEtherKetone (PEEK); fire resistance test

Abstrak. *Alumunium Composite Panel (ACP) merupakan panel datar, dengan plat/lembaran alumunium yang kaku, kuat, tetapi memiliki berat yang relatif ringan, dan diantara kedua plat di isi material inti (core) yang umumnya terbuat dari polietilen (PE) dan poliuretan (PU). Karena itu tujuan penelitian ini adalah mengganti material inti dengan menggunakan PolyEtherEtherKetone (PEEK) yang diuji ketahanan terhadap api. Dilakukan penimbangan dan pengamatan mirostruktur menggunakan mikroskop optik (MO) sebelum dilakukan pengujian dan sesudah pengujian. Pengujian ketahanan api pada suhu 150°C selama 5 menit, 200°C selama 10 menit, dan 250°C selama 15 menit. Pengamatan mikrostruktur/struktur mikro menggunakan Mikroskop Optik (MO) dengan perbesaran 1000x terlihat bahwa sebelum pengujian ketahanan api pada ACP dengan material inti PEEK, nampak banyak unsur karbon (C), sementara setelah uji ketahanan api unsur C makin menyebar lebih banyak, tidak meleleh.*

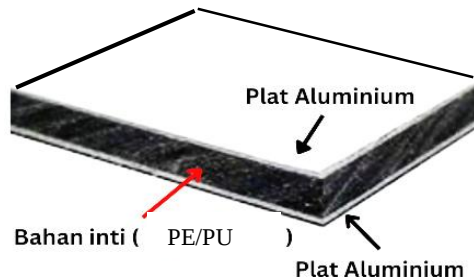
Kata Kunci - Alumunium Composite Panel (ACP); material inti; PolyEtherEtherKetone (PEEK); uji ketahanan api

I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

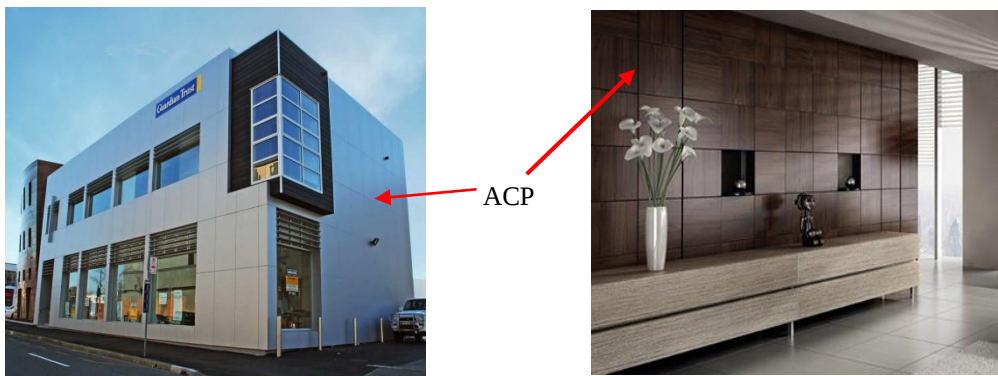
Pembangunan membawa dampak yang besar terhadap perkembangan kehidupan manusia, termasuk kemajuan dibidang teknologi konstruksi. Ciri - ciri dari kemajuan tersebut adalah meluasnya penggunaan material dan teknologi baru pada bangunan, salah satunya adalah dinding eksterior bangunan. Sampai saat ini, untuk dinding luar bangunan, tidak hanya digunakan dinding plester biasa, tetapi juga bahan lain yang lebih kuat, lebih murah dan praktis, untuk mencapai tampilan bangunan dan fasad yang lebih indah. Beberapa di antaranya menggunakan kayu, aluminium, dan keramik untuk melengkapi material komposit seperti *Aluminum Composite Panel (ACP)* [1]. ACP berupa panel datar, dengan plat/lembaran aluminium yang kaku, kuat, tetapi memiliki berat yang relatif ringan, dan diantara kedua plat di

isi material inti (*core*) yang umumnya terbuat dari polietilen (PE) dan poliuretan (PU), Terbuat dari bahan polietilen ringan dengan lapisan pelindung tahan api [2].



Gambar 1 Skema Aluminum Composite Panel (ACP).

ACP umumnya bahan yang digunakan dalam berbagai aplikasi desain arsitektur baik interior maupun eksterior. ACP sering digunakan sebagai material *finishing* pada bangunan modern tampilannya yang menarik dan mampu memberikan beragam pandangan serta membantu meningkatkan keselamatan bangunan sehingga dapat tahan terhadap bencana di masa depan dan bencana akibat ulah manusia dalam jangka panjang seiring dengan meningkatnya perubahan iklim dan bahaya lainnya. Karena keindahannya yang luar biasa, kinerja dan daya tahan [3]. Keunggulan ACP antara lain memiliki permukaan yang rata dan halus, memiliki daya tahan yang cukup kuat terhadap cuaca, mudah dibentuk, dilipat, dibor dan dilengkungkan. Memiliki bahan yang cukup ringan, mudah diaplikasikan dengan berbagai konsep dan tahan terhadap benturan tinggi. Sementara kelemahannya adalah apabila terkena suhu tinggi, maka lapisan akan menggelembung dan mengakibatkan permukaan aluminium tidak rata sehingga mengurangi keindahan, kurangnya kekuatan terhadap tekanan angin sehingga mengakibatkan beresiko pada keselamatan. Jika ACP tidak dipasang dengan benar/tepat, maka tidak dapat menahan kelembapan dibawah permukaannya [4].



(A)

(B)

Gambar 2 (A) ACP untuk eksterior,
(B) ACP untuk interior

Kekurangan/kelemahan material inti dari PE dan PU yang tidak tahan terhadap suhu tinggi, merupakan latar belakang dalam tujuan penelitian ini, yaitu mengganti material inti dengan menggunakan Polieter Eter Keton (PEEK) yang diuji ketahanan terhadap api. Pemilihan material karena memiliki titik leleh tinggi mencapai 334 °C.

PEEK adalah homopolymer termoplastik semikristalin dengan struktur molekul linier dan rantai tulang punggung yang relatif kaku. Polimer ini termasuk dalam keluarga poli (eter keton) yang gugus fungsi eternya dihubungkan bersama melalui gugus aromatik. PEEK adalah polimer berkinerja tinggi yang menampilkan kombinasi unik dari ketangguhan, kekakuan, ketahanan abrasi yang kuat dan kinerja tribologi, penyerapan air rendah, stabilitas termooksidatif, ketahanan kimia dan pelarut, biokompatibilitas, penghambat api, dan retensi sifat fisik pada suhu tinggi (hingga 200 °C) [5]. Karena keseimbangan yang sangat baik antara sifat mekanik dan fisik, polimer dan komposit dengan matriks PEEK ini banyak digunakan dalam industri kedirgantaraan [6,7].



Gambar 3 Plat/lembaran Polieter eter keton (PEEK)

PEEK salah satu polimer termoplastik yang diperkenalkan dan dikembangkan oleh Imperial Chemical Industries (ICI) pada tahun 1977. Selain itu PEEK juga merupakan polimer yang sangat potensial dalam berbagai aplikasi terutama dimana stabilitas termal dan sifat mekanik yang baik diperlukan. Material ini adalah bahan yang sangat tahan api dan digunakan dalam berbagai aplikasi yang memerlukan ketahanan terhadap suhu tinggi [8]. Polimer yang diperoleh melalui polimerisasi pertumbuhan bertahap melalui dialkilasi garam bis fenolat. Reaksi dilakukan sekitar 300 °C dalam pelarut aprotik polar seperti difenil sulfon [9,10]. PEEK memiliki keunggulan terhadap ketahanan panas, ketahanan api, ketahanan radiasi, ketahanan kimia, kekuatan benturan tinggi, ketahanan aus dan sifat listrik yang baik [11].

Material ini memiliki titik leleh adalah 334 °C, suhu transisi gelasnya (T_g) adalah 143 °C. Kristinitas maksimum yang dapat dicapai adalah sekitar 48%, biasanya antara 20% dan 30%. Kepadatannya dalam keadaan amorf memiliki densitas 1,265 g/cm³. Densitas pada kristinitas maksimum mencapai 1,320 g/cm³[12].

Tabel 1 Sifat PEEK

Sifat PolyEtherEtherKetone (PEEK)	
Rumus kimia	(C ₁₉ H ₁₂ O ₃) _n
Massa molar	288,3 gram/mol
Densitas	1,32 gram/ cm ³
Titik Lebur	343 °C (649 °F; 616 K)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar belakang diatas maka Rumusan masalah ini adalah :

- Bagaimana melakukan fabrikasi Aluminium *Composite* Panel (ACP) dengan menggunakan material inti (*core*) PoliEter Eter Keton (PEEK)?
- Bagaimana melakukan uji ketahanan api pada ACP dengan menggunakan material inti (*core*) PoliEter Eter Keton (PEEK)?
- Bagaimana mikrostruktur ACP yang dibuat dengan plat Aluminium dan material inti PEEK sebelum dan sesudah uji ketahanan api?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

- Fabrikasi Aluminium *Composite* Panel (ACP) menggunakan material paduan aluminium 5052.
- Material inti (*core*) menggunakan Polieter Eter Keton (PEEK)
- Sampel yang dibuat untuk: Ukuran aluminium sebagai lapisan penutup (depan dan belakang) dengan dimensi ukuran panjang 20 cm x lebar 17 cm x tebal 5mm, Ukuran dimensi sampel PEEK dengan ukuran panjang 20 cm x lebar 17 cm x tebal 5mm.
- Pelekatan/perekatan antara sampel aluminium dengan PEEK menggunakan lem aluminium jenis N 193.
- Pengepresan menggunakan mesin pengepress manual dengan waktu pengepressan tiap sampel selama 45 menit.
- Fabrikasi ACP yang telah jadi sebelum dilakukan uji ketahanan api akan dilapisi dengan lapisan tahan api (*fire-retardant coating*) yang pemakaiannya dicampur dengan thinner.
- Pengujian ketahanan api dilakukan dengan membakar plat sampel ACP dengan variasi suhu dan variasi waktu pembakaran (menggunakan SNI 1741 2008 tentang cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan dan ASTM E119: *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*
- Pengamatan mikrostruktur ACP menggunakan Mikroskop Optik (MO)

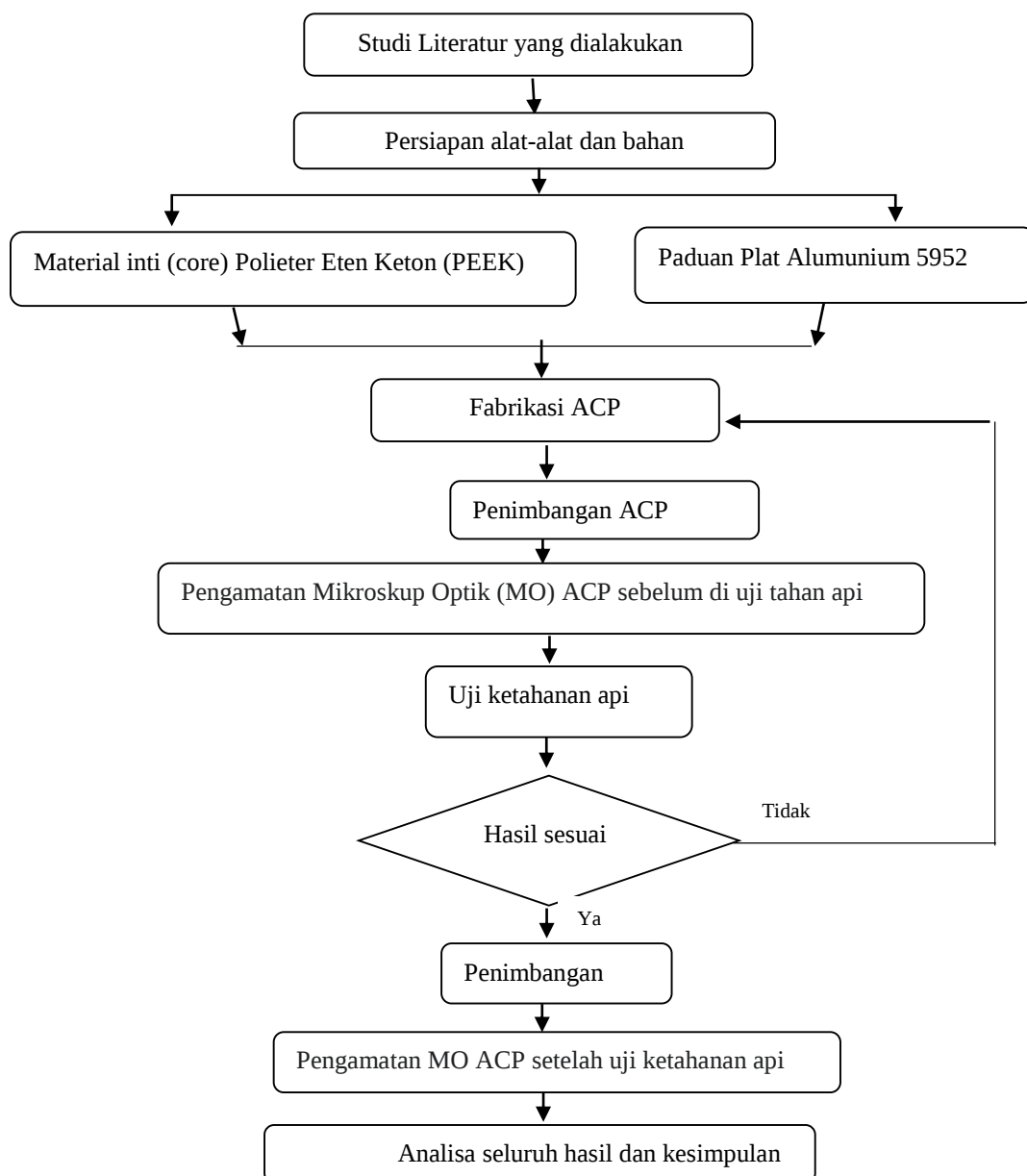
D. Tujuan penelitian

Dengan adanya permasalahan tersebut, maka tujuan penelitian ini adalah untuk :

- Melakukan fabrikasi Aluminium Composite Panel (ACP) dengan menggunakan material inti (*core*) Polieter éter keton (PEEK).
- Melakukan uji ketahanan api pada ACP) dengan menggunakan material inti (*core*) Polieter Eter Keton (PEEK).
- Memperoleh pengamatan mikrostruktur ACP yang dibuat dengan plat Aluminium dan material inti PEEK sebelum dan sesudah uji ketahanan api.

II. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di laboratorium Teknik mesin universitas Muhammadiyah sidoarjo, dimulai pada bulan juli 2024. Diawali dengan penyediaan bahan/material untuk penelitian ini, kemudian dilanjutkan dengan fabrikasi, pengujian dan analisa hasilnya. Secara lengkap tahapan-tahapan penelitian ditampilkan dalam *flow chart*/diagram alir .



Gambar 4 Diagram alir Penelitian

A. Alat dan Bahan Untuk Fabrikasi ACP

Peralatan yang di pakai untuk fabrikasi ACP antara lain adalah penggaris siku, meteran, spidol hitam, *compressor*, timbangan digital, *thermo gun*, mesin gerinda, dan mesin press.

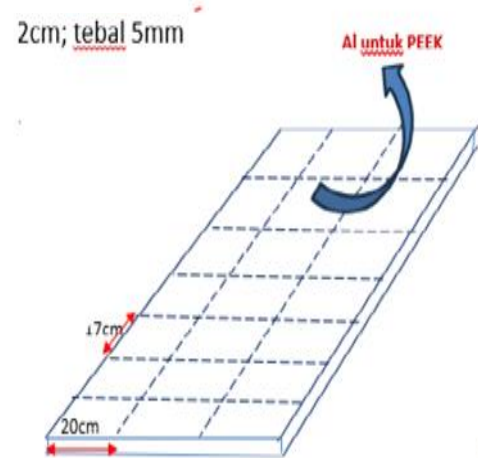
Sedangkan Bahan untuk proses pembuatan Alumunium *Composite* Panel Antara lain adalah Material inti Polieter Eter Keton, Alumunium 5052, dan serta Lem jenis N 193 adalah silikon multi fungsi merek OCI yang diproduksi di jepang. Digunakan untuk merekatkan berbagai material seperti logam, kaca, keramik, plastik, dan beton.

B. Fabrikasi Pembuatan ACP

Untuk tahap selanjutnya setelah alat dan bahan tersedia adalah melakukan fabrikasi untuk pembuatan ACP dengan melakukan pengukuran dan pemotongan lembar alumunium 5052 sebagai lapisan luar bagian depan dan belakang ACP dengan ukuran panjang 20 cm x lebar 17 cm x tebal 5 mm dan fabrikasi pengukuran dan pemotongan material *core* PEEK dengan ukuran yang sama dengan ukuran untuk potongan lembar alumunium 5052.



(A)



(B)

Gambar 5. (A) Alumunium 5052 dan (B) Skema Polieter Eter Keton

Langkah berikutnya adalah mengukur dan memotong lembar alumunium 5052 dan PEEK selanjutnya dilengketkan dengan lem alumunium jenis N 193, dan dilakukan pengepresan agar lengketnya lebih kuat selama 45 menit. Setelah menjadi ACP benar-benar lengket, untuk hasil jadi ACP. Sampel ACP tahap akhir dilapisi dengan lapisan cat tahan api (*fire-retardant coating/FRT*).



(A)



(B)



(C)

Gambar 6 (A) Mengukur dan memotong lembar alumunium 5052 dan PEEK
(B) Melengketkan ACP dengan lem alumunium N 193
(C) Pengepresan agar lengketnya lebih kuat selama 45 menit



(A) (B) (C)
Gambar 7 (A) Sampel APC dengan material inti PEEK yang telah jadi
 (B) Dilihat dari atas
 (C) APC dengan material inti PEEK lengket dengan baik



(A) (B)
Gambar 8 (A) APC dilapisi lapisan cat tahan api (*fire-retardant coating/FRT*) menggunakan *compressor*
 (B) APC telah dilapisi cat tahan api

C. Penimbangan Material APC dan Pengamatan Mikrostruktur Sebelum Pengujian Tahan Api

Pekerjaan selanjutnya yaitu melakukan penimbangan sampel APC yang telah jadi dengan material inti PEEK sebelum dilakukan uji tahan api. Kemudian setelah proses penimbangan dilanjutkan pengamatan mikrostruktur/strukturmikro APC menggunakan Mikroskop Optik dengan perbesaran 1000x.



(A) (B)
Gambar 9. (A) Penimbangan sampel APC, (B) Uji Mikrostruktur

D. Pengujian Ketahanan Api pada material APC

Uji ketahanan api sesuai SNI 1741 2008 tentang: cara uji ketahanan api komponen struktur bangunan dan ASTM E119: *Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials*. Sampel APC dijepit seperti di skema pada, kemudian dilakukan proses pembakaran dengan api. Pengujian ketahanan api dimulai pada suhu kamar (saat waktu 0 menit), bergerak suhu 150°C selama 5 menit, lanjut ke suhu 200°C selama 10 menit, dan berakhir pada suhu 250°C selama 15 menit. Kontrol temperatur menggunakan *Thermal Thermocouple Gun*.

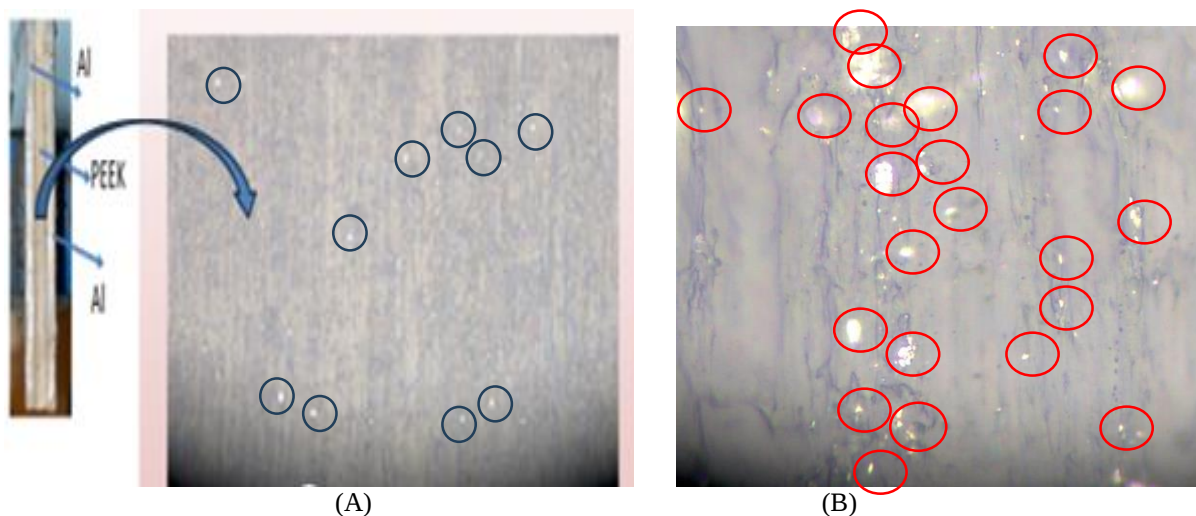


Gambar 10 Plat ACP di jepit untuk uji ketahanan api

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengamatan Mikrostruktur/Struktur mikro ACP Dengan Material Inti PEEK

Pengamatan mikrostruktur/struktur mikro ACP dengan material inti PEEK menggunakan Mikroskop Optik (MO) perbesaran 1000x, sebelum pengujian ketahanan api ditunjukkan pada. Nampak unsur karbon (C) (lingkaran biru) ada banyak pada mikrostruktur/struktur mikro material inti PEEK, karena PEEK terdiri dari unsur Hidrogen (H), Oksigen (O) dan C. H dan O adalah gas, jadi yang nampak hanya unsur C. Sedangkan pengamatan mikrostruktur/struktur mikronya setelah uji ketahanan api dengan perbesaran 1000x, ditunjukkan pada. Nampak bahwa unsur C makin menyebar lebih banyak karena mengalami uji ketahanan api, namun begitu unsur C tidak meleleh, karena suhu leleh karbon (C) tinggi mencapai 3.550°C , Sementara untuk Hidrogen (H) dan Oksigen (O) lepas.



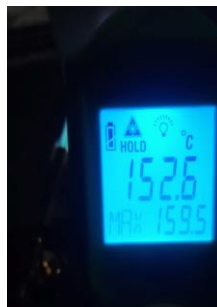
Gambar 11 (A) Pengamatan mikrostruktur/struktur mikro ACP dengan material inti PEEK sebelum uji ketahanan api (menggunakan Mikroskop Optik (MO) perbesaran 1000x)
(B) Pengamatan mikrostruktur/struktur mikro ACP dengan material inti PEEK sesudah uji ketahanan api (menggunakan Mikroskop Optik (MO) perbesaran 1000x)

B. Pengujian Ketahanan Api ACP Dengan Material Inti PEEK

Pengujian tahan api pada sampel ACP material inti PEEK dijepit pada ragum klem, kemudian sampel dibakar menggunakan *flame gun blow torch* (pemantik api) dimulai pada suhu 150°C dengan menggunakan *thermal thermocouple gun* (tertulis suhu $152,6^{\circ}\text{C}$). Dilanjutkan suhu 200°C selama 10 menit (tertulis suhu $202,2^{\circ}\text{C}$), dan berakhir pada suhu 250°C (tertulis suhu $250,6^{\circ}\text{C}$) selama 15 menit. ACP material inti PEEK setelah mengalami uji api ditunjukkan pada Gambar 3.5a,b,c. Nampak aluminium tidak lagi lengket dengan material inti PEEK.



(A)



(B)



(C)

Gambar 12 (A) Sampel ACP material inti PEEK dijepit pada ragum klem
(B) Pengukuran suhu menggunakan *thermal thermocouple gun*
(C) Sampel ACP material inti PEEK sesudah uji api pada suhu 150°C



(A)

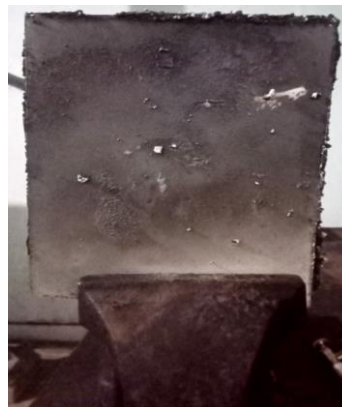


(B)

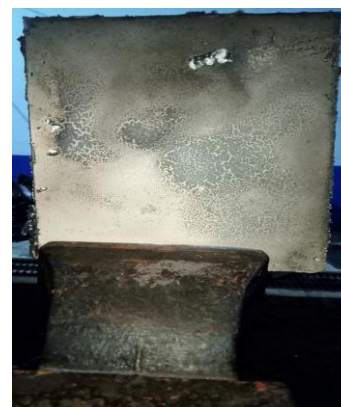
Gambar 13 (A) Sampel ACP material inti PEEK di uji api pada suhu 200°C menggunakan *thermal thermocouple gun*
(B) Sampel ACP material inti PEEK sesudah uji api pada suhu 200°C



(A)

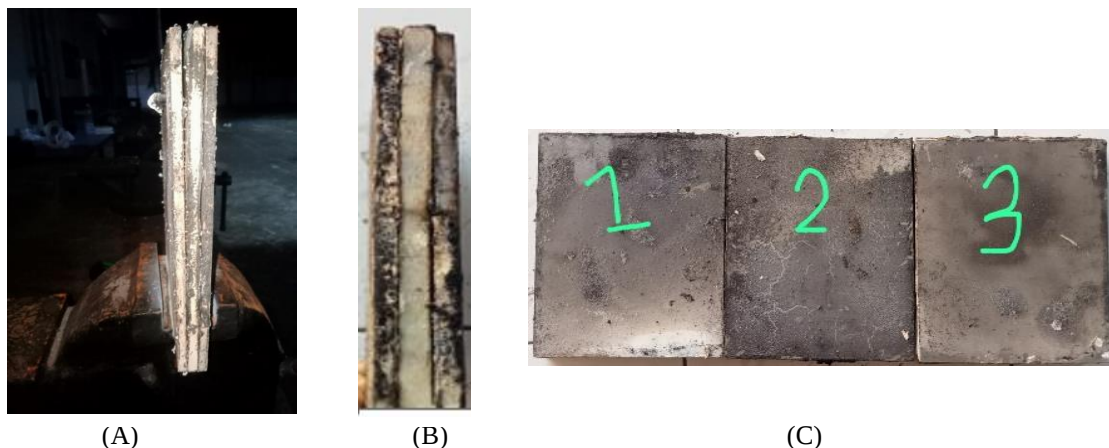


(B)



(C)

Gambar 14 (A) Sampel ACP material inti PEEK di uji api pada suhu 250°C menggunakan *thermal thermocouple gun*
(B) Sampel ACP material inti PEEK sesudah uji api pada suhu 250°C (tampak depan)
(C) Sampel ACP material inti PEEK sesudah uji api pada suhu 250°C (tampak belakang)



(A) (B) Sampel ACP material inti PEEK nampak tidak lengket lagi setelah uji ketahanan api.
thermal thermocouple gun
 (C) Sampel ACP material inti PEEK sesudah uji api

C. Hasil Penimbangan Sampel ACP dengan Material Inti PEEK Sesudah Uji Ketahanan Api

Massa/berat sampel ACP dengan material inti PEEK sebelum dan sesudah uji ketahanan api. Hasilnya berat/masaa setelah uji ketahanan api lebih rendah sedikit dibandingkan dengan sebelum uji ketahanan api. Karena material inti PEEK dan alumunium tidak leleh, namun kelengketan PEEK dengan alumunium mengalami lepas atau tidak lengket dengan sempurna lagi. PEEK tidak leleh karena memiliki titik leleh 343 °C, sementara uji tahan api yang tertinggi memakai suhu 250°C.

Tabel 2 Massa sampel ACP untuk material inti/core PEEK

Sampel Ke	Berat/massa (gram) sebelum uji tahan api	Rata – rata (gram)	Berat/massa (gram) sesudah uji tahan api	Rata – rata (gram)	Keterangan
1	1230	1236,6	1219	1226	Material inti PEEK dan Alumunium tidak leleh, namun kelengketan PEEK dengan Alumunium mengalami lepas, tidak lengket sempurna lagi
2	1247		1236		
3	1233		1223		

Hasil ACP dengan material inti PEEK setelah uji ketahanan api lebih tahan terhadap api, bila dibandingkan dengan ACP dengan material inti dari *PolyOxyMethylene* (POM) [13], karena POM memiliki titik leleh 260°C. Namun bila dibandingkan dengan material inti dari PoliTetraFluoroEtilena (PTFE)/Teflon, maka PTFE masih tahan terhadap uji api karena memiliki titik leleh 370°C lebih tinggi dari titik leleh PEEK [14]. Sementara itu APC material inti PEEK bila dibandingkan dengan material inti LDPE/*Low Density Polyethylene* dari simulasi numerik *software Ansys 2024 R2*, dengan variasi suhu 150°C, 200°C, 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, hasil suhu maksimal dari material inti LDPE menghasilkan suhu 116,12°C dari suhu maksimal 400°C dengan suhu rata rata 102,86°C [15], dilihat dari sifat kedua material tersebut LDPE memiliki ketahanan terhadap suhu rendah, sedangkan PEEK memiliki ketahanan termal dan kimia sehingga membuatnya ideal untuk aplikasi ekstrem. Sementara hasil pengujian api ACP dengan material inti PEEK masih bertahan pada suhu 250°C

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Telah dibuat Aluminium *Composite* Panel (ACP) dengan bahan aluminium 5052 direkatkan dengan material inti menggunakan PolyEtherEtherKetone (PEEK).
2. Hasil uji ketahanan api dengan suhu 150°C, 200°C, dan 250°C pada ACP dengan material inti PEEK tidak leleh dan tidak lengket dengan aluminium, hanya keduanya tidak lengket lagi, namun massa ACP setelah uji tahan api berkurang sekitar 0,86% dari massa awal sebelum uji tahan api.
3. Pengamatan mikrostruktur/struktur mikro menggunakan Mikroskop Optik (MO) dengan perbesaran 1000x terlihat bahwa sebelum pengujian ketahanan api pada ACP dengan material inti PEEK, nampak banyak unsur karbon (C), sementara setelah uji ketahanan api unsur C makin menyebar lebih banyak, tidak meleleh, karena suhu leleh karbon (C) tinggi mencapai 3.550°C dan untuk Hidrogen (H) dan Oksigen (O) lepas.
4. Secara keseluruhan material inti PEEK yang dipakai pada ACP ini dapat direkomendasikan untuk mengganti material inti dari LDPE.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Kemendikbudristek Dikti untuk dana hibah Riset Fundamental 2024 dan dukungan penuh dari Program Studi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sidoarjo Dalam melaksanakan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Mohaney, Priyanka, and Er Gaurav Soni, 2018, *Aluminium Composite Panel as a Facade Material*, International Journal of Engineering Trends and Technology 55.
- [2] Lahoz, E, and F Hernández de Olivares, 2014, *Preliminar Assessment of Durability for Aluminium Composite Panels*, In Construction and Building Research, 453–61, Springer.
- [3] Hiwang Rafika Wingrum, & Intan Pramesti Rochana, 2024, *Perbandingan Penerapan Material Fasad ACP Dan Aluminium Sheet Terhadap Iklim Tropis Pada Bangunan Apartemen Di Surabaya*, Siar-V Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [4] Rico Sihotang, Bugy Muhamad Suherlan, & Debby Rahmawaty, 2021, *Analisis Perbandingan Penggunaan Gypsum, Grc, ACP, Panel Anyaman Rotan Sintesis Dalam Interior Rumah Dan Gedung*, Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra. Vol. 7.
- [5] Diez-Pascual AM, Naffakh M., Marco C., Ellis G., Gomez-Fatou MA, *Nanokomposit Berkinerja Tinggi Berdasarkan Polieterketon*, 2012, Prog. Mater. Sci. 2012; 57 :1106–1190. doi: 10.1016/j.pmatsci.2012.03.003. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- [6] Flanagan M., Grogan DM, Goggins J., Appel S., Doyle K., Leen SB, O'Bradaigh CM, 2017, *Permeabilitas Komposit PEEK Serat Karbon Untuk Tangki Penyimpanan Kriogenik Peluncur Ruang Angkasa Masa Depan*, Composites A. 2017; 101 :173–184. doi: 10.1016/j.compositesa.2017.06.013. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- [7] Kalra S., Munjal BS, Singh VR, Mahajan M., Bhattacharya B, 2019, *Investigasi Tentang Kesesuaian Material PEEK Dalam Kondisi Lingkungan Antariksa Dan Penerapannya Dalam Antena Antariksa Parabola*. Adv. Space Res. 2019; 63 :4039–4045. doi: 10.1016/j.asr.2019.03.006. [[CrossRef](#)] [[Google Scholar](#)]
- [8] Won J., S. W. Choi, Y. S. Kang, H.Y. Ha, In-H. Oh, H. S. Kim, K. T. Kim and W. H. JO, 2014, J.Membr. Sci., 214 (2003) 245-257
- [9] Jan Bussink; Hendrik T.van de Grampe; Gary W.Wheatley; Ernst-Ulrich Dorf; Edgar Ostlinning; Klaus Reinking (15 April 2012). Polimer, Suhu Tinggi . Ensiklopedia Kimia Industri Ullmann.
- [10] Kemmish, David (2010). Update Teknologi dan Aplikasi PolyArylEtherKetones . Akulah yang pandai. ISBN 978-1-84735-408-2.
- [11] Wu Zhong-Wen, Situasi penelitian dan produksi dan pengembangan untuk plastik rekayasa khusus polieter sulfon dan polieter eter keton dalam dan luar negeri[J], Bahan Kimia Baru,2002 30 (06):15-18.
- [12] Saya JS, Lee SK, In SJ, dkk. Peningkatan sifat tahan api resin epoksi dengan aditif MMT/MWCNT berfluorinasi[J]. J Anal Appl Pirolisis, 2010, 89(2): 225-232.
- [13] Prantasi Harmi Tjahjanti, A'rasy Fahrudin, Mulyadi, Septia Hardy Sujiantanti, Majdi Ervandrie Wicaksono, Ribangun Bamban Jakaria, 2024, *Core Material Manufacturing Study On Aluminum Composite Panel (ACP)*, Journal Of Engineering Sciences (Improsci), Vol 2 No 3 December 2024, e-ISSN 3031-7088, p-ISSN 3032-3452, <https://annpublisher.org/ojs/index.php/improsci/article/view/579>

- [14] Prantasi Harmi Tjahjanti, Mulyadi, Majdi Ervandrie Wicaksono, 2025, *Analysis of PolyTetraFluoroEthylene (PTFE) fire resistance as core material for Aluminium Composite Panel (ACP)*, JEMMME (Journal of Energy, Mechanical, Material, and Manufacturing Engineering) Vol. 10, No. 1, 2025, ISSN 2541-6332 | e-ISSN 2548-4281 Journal homepage: <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/JEMMME>
- [15] [Majdi Ervandrie Wicaksono](#), [Prantasi Harmi Tjahjanti](#), [Metatia Intan Mauliana](#), [Edi Widodo](#), 2024, *Simulasi Numerik Aluminium Composite Panel (ACP) Dengan Variasi Material Inti*, 2025, [Prosiding Seminar Sosial Politik Bisnis Akuntansi dan Teknik](#) 6, page: :189-196, February 2025, DOI:[10.32897/sobat.2024.6.1.4182](https://doi.org/10.32897/sobat.2024.6.1.4182), <https://www.researchgate.net/publication/389875129>.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.