

Manufacturing of aluminum composite panels (ACP) using polytetrafluoroethylene (PTFE)/Teflon core material for fire resistance testing **[Fabrikasi Alumunium Composite Panel (ACP) Menggunakan Material Inti Politetraflouoroetilena (PTFE)/Teflon Untuk Uji Ketahanan Api]**

Niko Arif Dewantara ¹⁾, Prantasi Harmi Tjahjanti ^{*,2)}

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

²⁾ Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

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

Abstract. *The use of conventional Aluminum Composite Panels (ACP) with Polyethylene (PE) cores poses a significant fire risk in high-rise buildings due to their low thermal stability. This study aims to fabricate and evaluate the fire resistance of ACP using Polytetrafluoroethylene (PTFE) as an alternative core material. Three specimens (B4, B5, and B6) were fabricated using Aluminum 5052 and PTFE core bonded with N 193 adhesive. The methodology involved direct fire exposure for 30 minutes, with temperature monitoring using a thermal gun and mass loss analysis. The results showed that the maximum surface temperature reached 320°C on specimen B5, which remains below the critical melting point of PTFE (327°C). Mass loss analysis indicated high stability with a very low percentage of shrinkage (under 0.5%). No flaming droplets were observed during the test, confirming that the PTFE core maintains structural integrity and provides superior fire safety compared to conventional ACP.*

Keywords - Aluminum Composite Panel (ACP), PTFE, Fire Resistance, Mass Loss, Aluminum 5052.

Abstrak. *Penggunaan Aluminum Composite Panel (ACP) konvensional dengan inti Polyethylene (PE) menimbulkan risiko kebakaran yang signifikan pada gedung bertingkat karena stabilitas termalnya yang rendah. Penelitian ini bertujuan untuk memfabrikasi dan mengevaluasi ketahanan api ACP menggunakan Polytetrafluoroethylene (PTFE) sebagai material inti alternatif. Tiga spesimen (B4, B5, dan B6) difabrikasi menggunakan Aluminium 5052 dan inti PTFE yang direkatkan dengan perekat N 193. Metodologi penelitian meliputi paparan api langsung selama 30 menit, dengan pemantauan suhu menggunakan thermal gun dan analisis penyusutan massa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu permukaan maksimal mencapai 320°C pada spesimen B5, yang tetap berada di bawah titik leleh kritis PTFE (327°C). Analisis penyusutan massa menunjukkan stabilitas tinggi dengan persentase penyusutan yang sangat rendah (di bawah 0,5%). Tidak ditemukan adanya tetesan api (flaming droplets) selama pengujian, mengonfirmasi bahwa inti PTFE menjaga integritas struktural dan memberikan keamanan kebakaran yang lebih unggul dibandingkan ACP konvensional.*

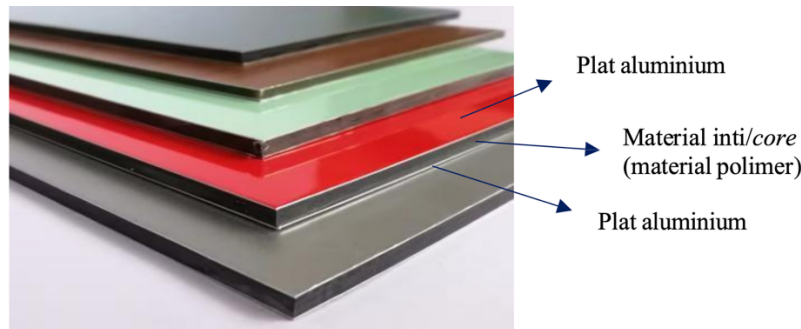
Kata Kunci - Aluminum Composite Panel (ACP), PTFE, Ketahanan Api, Penyusutan Massa, Aluminium 5052.

I. PENDAHULUAN

Pada perkembangan zaman di masa kini arus globalisasi dan modernisasi membawa pengaruh besar dalam segala aspek kehidupan Masyarakat terutama dalam bidang konstruksi, interior, dan arsitektur yang terdapat di Indonesia. Pesatnya pengaruh arus globalisasi dan modernisasi [1] telah membawa dampak positif salah satunya dalam pemanfaatan teknologi untuk menciptakan sebuah material bangunan. Dapat dilihat seperti mengganti sebuah material konstruksi yang lebih kuat dan murah dengan mengganti sebuah kebutuhan interior bangunan menjadi lebih bagus dan tahan lama [2].

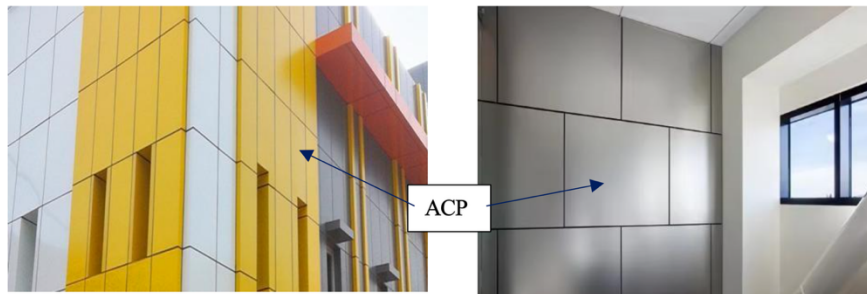
Karena itu, terdapat berbagai macam material yang baru yang sebagian besar berbahan sintesis dan fabrikasi yang memiliki banyak kemudahan seperti kemudahan dalam perawatan dan kecepatan dalam pengaplikasian [3]. Seperti pada Aluminium Composite Panel (ACP) merupakan material yang terdiri dari tiga lapisan utama dimana lapisan atas ACP berupa lembaran aluminium tipis yang telah di coating, lapisan kedua ACP berupa lapisan inti (core) umumnya terbuat dari PolyEthylene (PE), dan lapisan ketiga berupa lembar aluminium tipis yang di-coating juga (Gambar 1) [4]. Jenis aluminium yang umumnya dipakai adalah 5052 paduan Aluminium. Paduan aluminium 5052 memiliki beberapa karakteristik pengelasan terbaik, memiliki kualitas finishing yang bagus, memiliki ketahanan korosi air asin yang sangat baik, tetapi tidak mudah dikerjakan. Paduan ini juga tidak dapat diolah dengan panas dan hanya dapat diperkuat menggunakan proses pengerasan kerja. Karena alasan ini, aluminium 5052 bekerja sangat baik sebagai lembaran dan logam pelat, menggabungkan kemampuan bentuk dan kemampuan las yang sangat baik dengan peningkatan kekuatan. Densitasnya sedikit lebih rendah dari aluminium murni pada 2,68 gr/cm³ (0,0968 lb/in³), dengan komposisi kimia adalah 2,5%Mg, 0,25%Cr, dan 97,25% Al. 5052 aluminium tidak mengandung tembaga, yang berarti tidak rentan terhadap

korosi air asin seperti paduan aluminium lainnya, membuatnya pilihan yang sempurna untuk aplikasi ke lautan. 5052 aluminium juga sering digunakan dalam selang elektronik, tanda perangkat keras, bejana tekan, dan peralatan medis.



Gambar 1. Plat/lembaran Aluminium Composite Panel (ACP) [4]

Fungsi ACP sering digunakan untuk menutup permukaan pada dinding bangunan. Biasa digunakan untuk gedung perkantoran, mall, dan rumah material ini dipilih untuk memberikan kesan keindahan pada bagian eksterior bangunan [5]. Pada saat ini penggunaan bahan ACP sudah banyak digunakan pada gedung- gedung dan mall sebagai penutup permukaan dinding sebagai nilai tambah pada bangunan karena dapat merubah tampilan menjadi lebih elegan, dan megah pada eksterior bangunan Gambar 2.



Gambar 2. ACP untuk eksterior dan ACP untuk interior

Desain fasad pada bangunan iklim tropis memiliki tantangan khusus yang perlu dipertimbangkan untuk mencapai keseimbangan antara keindahan arsitektur, kenyamanan termal, dan efisiensi energi. Menurut Chen, J, Yan, W, Shen G, (2019) [6] konsep pembangunan berkelanjutan menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya perubahan iklim dan risiko lainnya, yang memungkinkan bangunan tahan terhadap bencana alam dan bencana akibat ulah manusia di masa depan dengan tetap mempertahankan fungsinya [7]. ACP dapat di pasang pada beberapa jenis bangunan sebagai pelapis dinding, dapat memungkinkan jika ACP dipasang di bangunan gedung kam pus sebagai pelapis dinding luar. Adapun kelebihan dan kekurangan untuk ACP sebagai berikut [8].

Kelebihan ACP antara lain

- (a) Memiliki daya tahan yang cukup kuat terhadap cuaca, tahan terhadap korosi dan karat
- (b) Memiliki bahan yang cukup ringan dengan ketebalan 1-10 mm dan lebar kemungkinan 1.200 – 1.600 mm dengan berat sekitar 3,5kg sampai 5,6kg per m²
- (c) Mudah untuk pengaplikasian
- (d) Pemeliharaan yang mudah
- (e) Permukaan yang rata dan halus
- (f) Tahan terhadap benturan
- (g) Harga yang cukup terjangkau.

Disamping keunggulannya, ACP juga memiliki sifat kelemahan-kelemahan antara lain :

1. Dalam suhu tinggi, lapisan inti bisa mengembang dapat mengakibatkan permukaan tidak rata
2. ACP dengan menggunakan bahan inti dari PE dan lem lapisan aluminium dalam suhu panas dapat mengeluarkan gas beracun
3. Kurangnya kekuatan tekanan angin, yang dapat mengakibatkan konstruksi yang kurang baik dan beresiko pada keselamatan [8].

Dari penelitian-penelitian yang telah dilakukan di atas, maka akan dibuat material inti ACP pengganti PE yang tidak tahan terhadap panas diganti dengan material PoliTetraFluoroEtilena (PTFE)/Teflon (Gambar 3). PTFE adalah fluoropolimer tetrafluoroetilena sintetis. Senyawa polimer ini lebih dikenal dengan nama dagang Teflon. Teflon diciptakan oleh Roy J. Plunkett (1910–1994) di DuPont pada tahun 1938 dan diperkenalkan sebagai produk yang

dikomersialkan pada tahun 1946. Pemilihan PTFE sebagai material inti dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengkaji karakteristik ketahanan terhadap paparan panas serta perubahan fisik dan massa yang terjadi selama pengujian. Penelitian ini dilakukan melalui proses fabrikasi ACP menggunakan Aluminium 5052 sebagai lapisan luar, PTFE sebagai material inti, dan perekat N193 sebagai bahan penyatu antar-lapisan. Selanjutnya, dilakukan pengujian ketahanan api untuk mengamati perubahan temperatur, kondisi fisik, perubahan massa, dan struktur mikro spesimen setelah pengujian. Material PTFE berwarna putih dan memiliki sifat tahan terhadap suhu panas sehingga berpengaruh terhadap daya bakar. Rumus kimia dan sifat PTFE ditunjukkan dalam Tabel 1. Teflon disebut juga Politetrafluoroetilena (PTFE) yang merupakan sebuah polimer ethylene fluorine yang memiliki sebuah ketahanan terhadap suhu tinggi, dengan titik leleh sekitar 370°C. Oleh karena itu, jika PTFE digunakan dalam sebuah reactor, maka temperature operasi reactor idealnya dirancang hingga sekitar 350°C, yaitu dibawah titik leleh PTFE [9].



Gambar 3. Material PoliTetraFluoroEtilena (PTFE)/Teflon

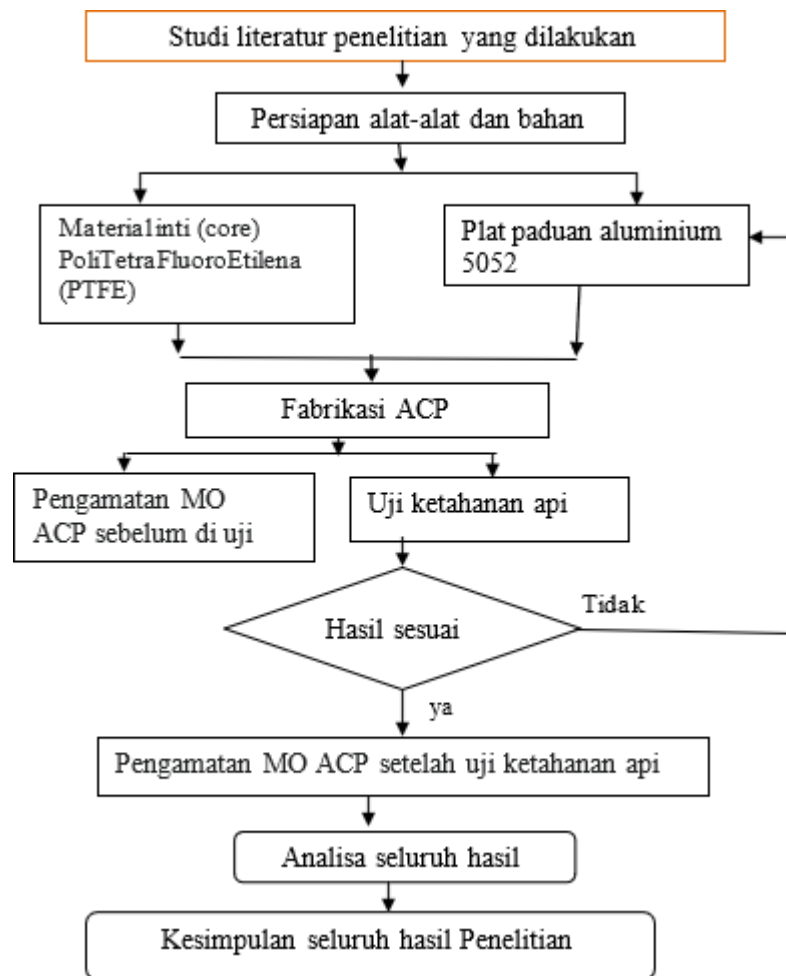
Tabel 1. Sifat PTFE

Sifat	
Rumus kimia	$(C_2F_4)_n$
	$\left\{ \begin{array}{c} F \\ \\ C - C \\ \\ F \end{array} \right\}_n$
Densitas	2200 kg/m ³
Titik lebur	600 K atau 327 °C
Konduktivitas termal	0.25 W/(m·K)

Tujuan penelitian ini adalah membuat ACP dengan material inti PTFE/Teflon dengan menggunakan material inti (core) PoliTetraFluoroEtilena (PTFE) dan melakukan uji ketahanan api, serta melakukan pengamatan mikrostruktur ACP yang dibuat dengan plat Aluminium dan material inti PTFE sebelum dan sesudah uji ketahanan api.

II. METODE

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, untuk melakukan manufaktur/pembuatan ACP dengan material inti PTFE. Diawali dengan penyediaan bahan/material untuk penelitian ini, kemudian dilanjutkan dengan fabrikasi, pengujian-pengujian, dan analisa hasilnya. Secara lengkap tahapan-tahapan penelitian ditambillkn dam flow chart/Diagram Alir Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir pelaksanaan penelitian

1. Material dan Peralatan

Peralatan-peralatan yang dipakai untuk pembuatan ACP antara lain adalah penggaris siku, meteran, spidol hitam, kuas cat, timbangan digital, thermo gun, mesin gerinda, dan mesin press.

2. Variabel Penelitian

Penelitian ini menggunakan beberapa variabel yang meliputi variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

a. Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah kondisi pengujian ketahanan api yang meliputi temperatur dan waktu paparan panas pada spesimen *Aluminium Composite Panel (ACP)* dengan inti *Politetrafluoroetilena (PTFE)*.

b. Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini meliputi :

1. Temperatur permukaan spesimen selama pengujian
2. Perubahan massa spesimen sebelum dan sesudah pengujian
3. Perubahan kondisi fisik spesimen setelah pengujian
4. Perubahan struktur mikro spesimen setelah pengujian

c. Variabel kontrol

Variabel kontrol yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jenis material Aluminium 5052, material inti PTFE/Teflon, perekat N 193, metode *manual pressing*, *fire-retardant coating*, ukuran spesimen, metode pengujian, serta alat pengukuran temperatur.

3. Fabrikasi Material Panel

Pekerjaan selanjutnya setelah alat dan bahan tersedia maka dilakukan fabrikasi/manufaktur untuk pembuatan ACP. Dilakukan pengukuran dan pemotongan untuk lembar aluminium 5052 sebagai lapisan luar bagian depan dan belakang ACP (Gambar 5) dengan ukuran $25\text{ cm} \times 24\text{ cm} \times 5\text{ mm}$. Fabrikasi pengukuran dan pemotongan material PTFE/Teflon pada Gambar 6 dengan ukuran sama dengan ukuran potongan lembar aluminium 5052. Hasil potongan aluminium 5052 dan PTFE/Teflon, pada Gambar 7.



Gambar 5. Lembar plat Paduan Aluminium 5052

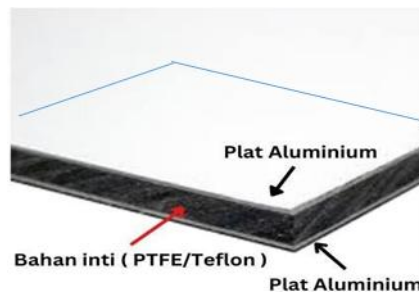


Gambar 6. Fabrikasi pengukuran dan pemotongan material PTFE/Teflon



Gambar 7. Hasil potongan aluminium 5052 dan PTFE/Teflon

Langkah selanjutnya 2 lembar sampel Paduan Aluminium 5052 direkatkan dengan sampel PTFE menggunakan lem Aluminium jenis N 193 dan di tekan/press menggunakan mesin press manual. Hasil jadi ACP seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema Material ACP yang telah jadi

Sampel ACP yang telah jadi, dan sebelum dilakukan pengujian, maka dilakukan pelapisan tahan api (*fire-retardant coating*) pada sampel tersebut untuk tahan terhadap api dan suhu tinggi.

4. Penimbangan Material ACP dan Pengamatan Mikrostruktur Sebelum Pengujian Suhu Tinggi

Pekerjaan selanjutnya adalah menimbang material ACP dengan material inti PTFE/Teflon sebelum pengujian suhu tinggi, dengan timbangannya ditunjukkan pada **Gambar 9** Dilakukan juga pengamatan mikrostruktur/struktur mikro ACP tersebut menggunakan Mikroskop Optik (**Gambar 10**).



Gambar 9. Timbangan untuk ACP



Gambar 10. Mikroskop Optik

5. Pengujian Ketahanan Api pada Material ACP

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 ACP dijepit seperti Gambar 11 kemudian dilakukan pembakaran dengan api (Gambar 12).



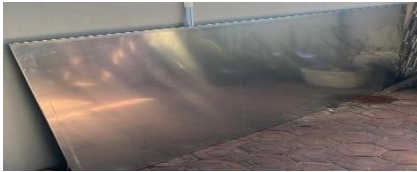
Gambar 11. Plat ACP



Gambar 12. Plat ACP di uji ketahanan api

Pengujian ketahanan api dimulai pada suhu kamar (saat waktu 0 menit), bergerak ke 5menit hingga 30menit dengan interval 5menit, seperti ditunjukkan pada pada Tabel 2. Kontrol temperatur menggunakan *Thermal Thermocouple Gun*.

Tabel 2. Diagram Morfologi

<i>Option</i>		1	2
A. Material Plat Luar	Plat Aluminium 5052		
B. Material Inti (Core)	PTFE (Teflon)		

C. Metode Perekat Lem N 193



Lem silikon sealant netral serbaguna yang tidak berbau, tidak korosif terhadap logam, dan tahan terhadap air serta panas. Dalam penelitian ini, Perekat N193 digunakan sebagai bahan penyatu antara lapisan aluminium 5052 dan material inti PTFE. Perekat diaplikasikan pada permukaan yang akan disatukan, kemudian akan dilakukan proses *manual pressing* untuk membentuk ikatan antar-lapisan.

D. Metode Pressing

Manual Press



E. Lapisan Tambahan

Fire Retardant Coating



Cat pelapis khusus yang berfungsi memperlambat rambatan api dan melindungi struktur bangunan (seperti baja, besi, kayu, dan beton) dari suhu ekstrem saat terjadi kebakaran.

Dalam penelitian ini *Coating* digunakan sebagai lapisan penghambat api pada spesimen ACP. Lapisan ini diaplikasi pada permukaan panel sesuai dengan prosedur fabrikasi yang digunakan dalam penelitian.

F. Metode Uji Ketahanan Api

Torchgun Dan gas

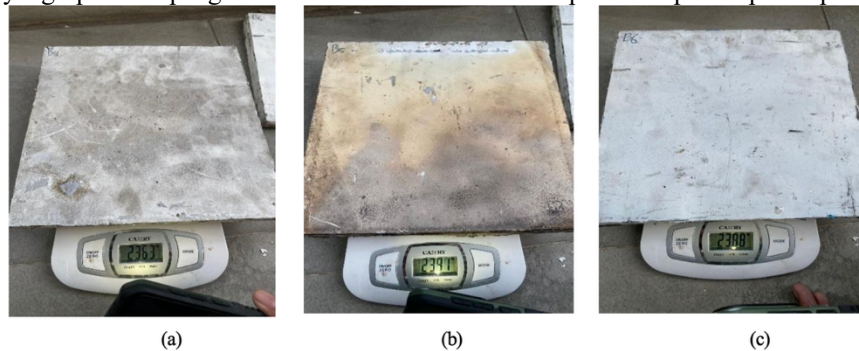


III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1. Hasil Fabrikasi Aluminium Composite Panel (ACP)

Proses hasil fabrikasi telah berhasil menghasilkan suatu specimen Aluminium Composite Panel (ACP) dengan material inti Polytetrafluoroethylene (PTFE). Spesimen yang dihasilkan memiliki ikatan yang kuat antara plat Aluminium 5052 dan inti PTFE melalui penggunaan perekat N 193. Berdasarkan penimbangan awal, specimen **B4** memiliki berat 2363 gram, specimen **B5** memiliki berat 2391 gram, dan specimen **B6** memiliki berat 2388 gram. Perbedaan berat yang tipis ini dipengaruhi oleh variasi ketebalan lem pada saat proses penempelan manual.



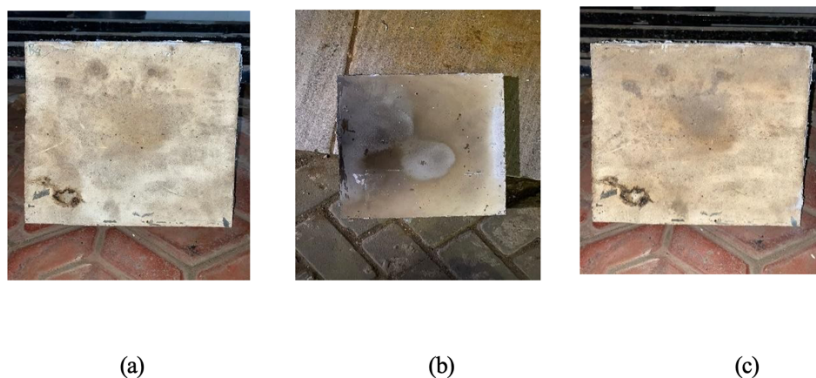
Gambar 13. Spesimen B4 (b) Spesimen B5 (c) Spesimen B6

2. Hasil Pengujian Ketahanan Api

Dalam pengujian ketahanan api dilakukan selama 30 menit dengan suhu 150°C selama 5 menit, 200°C selama 10 menit, dan 250°C selama 15 menit untuk mengamati stabilitas termal material inti PTFE. Berdasarkan kesesuaian data yang diperoleh, suhu meningkat secara bertahap namun terkendali. Berikut adalah data hasil dari pengukuran menggunakan *thermal gun*.

Tabel 3. Hasil Pengukuran *thermal gun*

Sampel ke	Jenis Material Inti/core	Berat/massa (gram) Sebelum di uji tahan api	Rata-rata (gram)	Berat/massa (gram) Sesudah uji suhu	Rata-rata (gram)	Keterangan
PTFE/Teflon (untuk Uji suhu tinggi)						Inti PTFE tidak meleleh
B4		2363	2380	2358	2373	
B5		2391		2382		
B6		2388		2380		

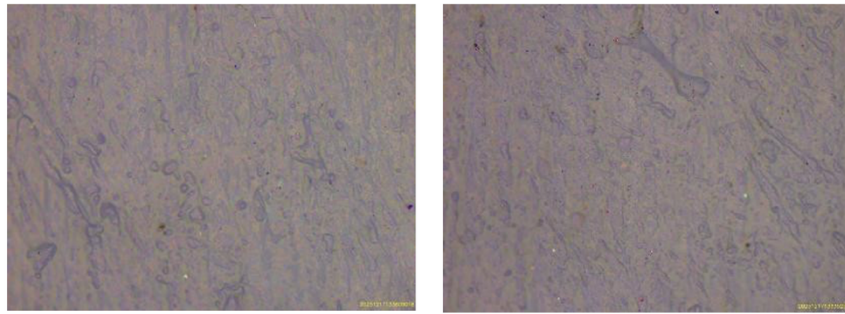


Gambar 14. Kondisi visual spesimen setelah uji api 30 menit

3. Analisis Struktur Mikro Spesimen

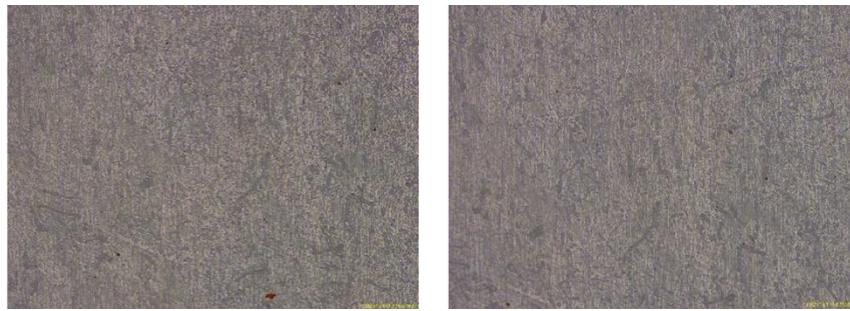
a. Berdasarkan hasil pengamatan menggunakan mikroskop optik pada perbesaran 500×, struktur butiran (*grain*)

Aluminium 5052 pada area pengamatan masih dapat diamati setelah spesimen mengalami pengujian ketahanan api. Pada spesimen B5 yang mencapai temperatur maksimum 320°C, tidak terlihat adanya retakan mikroskopis yang jelas pada area yang diamati. Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa pada area pengamatan, struktur Aluminium 5052 masih terlihat relatif utuh setelah mengalami paparan panas.

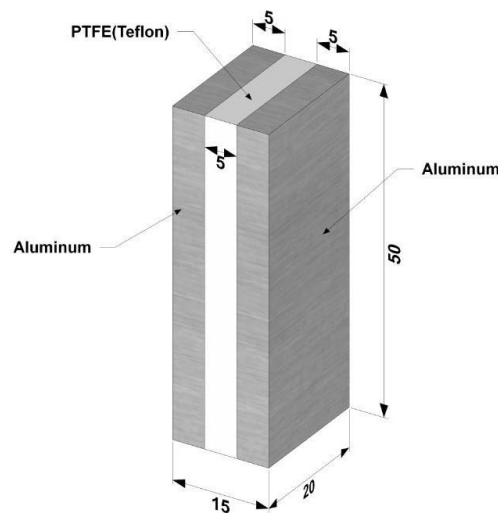


Gambar 15. (Perbesaran 500x)

b. Pada perbesaran 100× Gambar 16 terlihat area antara Aluminium 5052, perekat N 193, dan inti PTFE. Pada area pengamatan tidak terlihat rongga (*void*) atau pemisahan antar-lapisan (*delamination*). Hasil pengamatan ini menunjukkan bahwa pada area yang diamati, hubungan antar-lapisan ACP masih terlihat menyatu setelah pengujian.



Gambar 16. (Perbesaran 100x)



Dimensions are in millimeter

Gambar 17. Skema MO

4. Analisis Penyusutan Berat (Mass Loss)

Setelah dilakukan pengujian ketahanan api selama 30 menit, setiap spesimen ditimbang kembali untuk mengetahui perubahan massa setelah mengalami paparan panas. Perubahan massa dihitung berdasarkan selisih antara massa awal sebelum pengujian dan massa akhir setelah pengujian. Persentase kehilangan massa (*mass loss*) dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$ML(\%) = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100\%$$

Keterangan :

- ML = persentase kehilangan massa (%)
- m_0 = massa awal spesimen sebelum pengujian (g)
- m_1 = massa akhir spesimen setelah pengujian (g)

Tabel 4. Hasil Perhitungan Spesimen

Spesimen	Massa Awal (g)	Massa Akhir (g)	Kehilangan Massa (g)	Massa Loss (%)
B4	2363	2358	5	0,21
B5	2391	2382	9	0,38
B6	2388	2380	8	0,34
Rata-rata				0,31

Berdasarkan hasil perhitungan, persentase kehilangan massa pada spesimen B4, B5, dan B6 masing-masing sebesar 0,21%, 0,38%, dan 0,34%, dengan rata-rata sebesar 0,31%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa perubahan massa spesimen setelah pengujian relatif kecil. Kehilangan massa terbesar terjadi pada spesimen B5 sebesar 0,38%. Hasil pengukuran massa tersebut selanjutnya dianalisis bersama dengan data temperatur dan pengamatan kondisi fisik untuk mengetahui respons material ACP berbasis PTFE terhadap paparan panas selama pengujian.

B. Pembahasan

Berdasarkan data diatas, ketiga spesimen menunjukkan hasil ketahanan api yang konsisten. Spesimen B5 mencapai suhu yang tertinggi sebesar 320°C, yang secara teknis hampir mendekati titik leleh PTFE yaitu sekitar 327°C. Namun, secara visual tidak ditemukan adanya pelelehan pada material inti maupun kebocoran api dari sisi depan dan sisi belakang panel [10,11].

Stabilitas ini disebabkan oleh adanya struktur kimia PTFE yang terdiri dari Karbon-Fluorin (C-F) yang sangat kuat. PTFE memiliki ketahanan terhadap temperatur serta konduktivitas termal yang relatif rendah. Karakteristik tersebut dapat memengaruhi perpindahan panas pada material selama proses pengujian. Penggunaan Aluminium 5052 dalam penelitian ini, juga terbukti efektif sebagai pelindung awal.

Meskipun terjadi adanya perubahan warna (Menghitam) pada menit ke-15 akibat oksidasi dan reaksi lapisan *fire-retardant coating*, integritas struktural panel juga tetap terjaga. Tidak ditemukan *flaming driplets* (tetesan api) selama dalam pengujian 30 menit dengan suhu 150°C selama 5 menit, 200°C selama 10 menit, dan 250°C selama 15 menit yang dapat dibuktikan bahwa ACP berbasis PTFE jauh lebih aman dibandingkan ACP berinti *Polyethylene* (PE) yang cenderung mencair dan menyebarkan api pada suhu diatas 200°C [12].

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian, dan analisis yang telah dilakukan mengenai fabrikasi dan uji ketahanan api pada Aluminium Composite Panel (ACP) dengan material inti Polytetrafluoroethylene (PTFE), maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam Proses Fabrikasi, Spesimen ACP dengan material inti PTFE dan plat Aluminium 5052 berhasil difabrikasi menggunakan perekat N 193. Hasil fabrikasi menunjukkan ikatan yang kuat dan stabil pada ketiga spesimen (B4, B5, dan B6) dengan variasi berat awal antara 2363 gram hingga 2391 gram
2. Dalam Ketahanan Api, Pengujian api langsung selama 30 menit menunjukkan bahwa material inti PTFE memiliki ketahanan termal yang sangat baik. Suhu permukaan tertinggi tercatat pada spesimen B5 sebesar 320°C, namun suhu tersebut tetap berada di bawah titik leleh kritis PTFE (327°C), sehingga tidak terjadi kegagalan struktur pada panel
3. Stabilitas Massa (Mass Loss) Terjadi penyusutan berat yang sangat minimal pada ketiga spesimen dengan persentase di bawah 0,5%. Penyusutan terendah terjadi pada B4 (0,21%) dan tertinggi pada B5 (0,37%). Hal ini membuktikan bahwa PTFE tidak mengalami dekomposisi kimia yang signifikan dan tidak menghasilkan tetesan api (*flaming droplets*)
4. Integritas Material, Penggunaan Aluminium 5052 dan *fire-retardant coating* efektif dalam melindungi inti panel. Meskipun terjadi perubahan warna (*menghitam*) pada permukaan luar, bagian inti PTFE tetap utuh

dan mempertahankan bentuk aslinya, sehingga sangat direkomendasikan sebagai material fasad gedung tinggi yang aman terhadap risiko kebakaran.

REFERENSI

- [1] A. Riyanti, N. D. Pratiwi, N. Y. Nainggolan, N. R. Sardi, and A. B. Satrya, "Globalisasi dan Transfer Teknologi: Penopang Industri Manufaktur pada Perkembangan Marketplace di Regional ASEAN," *Review of International Relations (Jurnal Kajian Ilmu Hubungan Internasional)*, vol. 3, no. 1, pp. 65–78, 2021, doi: 10.24252/rir.v3i1.20562.
- [2] M. Tanubrata, "Bahan-Bahan Konstruksi dalam Konteks Teknik Sipil," *Jurnal Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha*, vol. 15, p. 23, 2015.
- [3] Radinal, M. R. Putra, dan S. Wijaya, "Perbandingan Biaya dan Waktu Pekerjaan Pelapis Dinding Luar antara Konvensional dan Aluminium Composite Panel (ACP)," *Jurnal Civronlit Unbari*, vol. 2, p. 13, 2022.
- [4] R. Bahari dan C. Anam, "Pemanfaatan Potongan Aluminium Composite Panel (ACP) sebagai Work Station," dalam *Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan, dan Infrastruktur FTSP ITATS*, p. 5, 2019.
- [5] H. R. Wingrum dan I. P. Rochana, "Perbandingan dan Penerapan Material Fasad ACP dan Aluminium Sheet terhadap Iklim Tropis pada Bangunan Apartemen di Surabaya," dalam *SIAR V 2024: Seminar Ilmiah Arsitektur*, p. 9, 2024.
- [6] J. Chen, W. Yan, dan G. Shen, "Climate Change and Building Façade Materials: A Review of Impacts and Mitigation Strategies," 2019.
- [7] R. Sihotang, B. M. Suherlan, dan D. Rahmawaty, "Analisis Perbandingan Penggunaan Gypsum, GRC, ACP, Panel Anyaman Rotan Sintetis dalam Interior Rumah dan Gedung," *Jurnal Rekayasa Teknologi Nusa Putra*, vol. 7, p. 12, 2021.
- [8] P. H. Tjahjanti, Iswanto, E. Widodo, dan S. Pramuji, "Examination of Thermoplastic Polymers for Splicing and Bending," *Nano Hybrids and Composites*, vol. 38, pp. 87–97, 2023.
- [9] L. Arroja, I. Capela, A. C. Dias, dan P. Quinteiro, "Environmental Impact of Building Materials: Production, Processing, and Transportation of Concrete," tahun publikasi belum tersedia.
- [10] P. H. Tjahjanti, A. Fahrudin, Mulyadi, S. H. Sujiatanti, M. E. Wicaksono, dan R. B. Jakaria, "Core Material Manufacturing Study on Aluminum Composite Panel (ACP)," *Journal of Engineering Sciences (ImproSci)*, vol. 2, no. 3, Des. 2024. [Online]. Available: <https://annpublisher.org/ojs/index.php/improsci/article/view/579>
- [11] P. H. Tjahjanti, Mulyadi, dan M. E. Wicaksono, "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. [Online]. Available: <http://ejournal.umm.ac.id/index.php/JEMMME>
- [12] M. E. Wicaksono, P. H. Tjahjanti, M. I. Mauliana, dan E. Widodo, "Simulasi Numerik Aluminium Composite Panel (ACP) dengan Variasi Material Inti," dalam *Prosiding Seminar Sosial Politik, Bisnis, Akuntansi dan Teknik (SOBAT)*, vol. 6, pp. 189–196, Feb. 2025, doi: 10.32897/sobat.2024.6.1.4182. [Online]. Available: <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.