

Optimization Study of Sandwich Panels Using Polyol and Isocyanate Composition

[Studi Optimasi Sandwich Panel Menggunakan Komposisi Polyol dan Isocyanate]

Dimas Hardiyanto¹⁾, 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. *This research aims to examine the effect of material composition ratios on compressive strength. Three compositions tested were 50:50, 60:40, and 70:30. The results indicated that the 70:30 composition yielded the highest compressive strength of 1.13 MPa, while the 50:50 and 60:40 compositions showed 0.513 MPa and 0.696 MPa, respectively. These findings highlight the importance of composition ratios in determining material strength and provide a basis for further research in material composition optimization.*

Keywords - Sandwich Panel, Polyurethanes, Isocyanate, Compressive Test

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh perbandingan komposisi material terhadap tegangan tekan. Tiga komposisi yang diuji adalah 50:50, 60:40, dan 70:30. Hasil menunjukkan bahwa komposisi 70:30 menghasilkan tegangan tekan tertinggi sebesar 1,13 MPa, sedangkan komposisi 50:50 dan 60:40 masing-masing menunjukkan 0,513 MPa dan 0,696 MPa. Temuan ini menyoroti pentingnya perbandingan komposisi dalam menentukan kekuatan material, dan memberikan dasar untuk penelitian lebih lanjut dalam optimasi komposisi material.

Kata Kunci - Sandwich Panel, Polyurethanes, Isocyanate, Uji Tekan

I. PENDAHULUAN

Saat ini teknologi terkini di Indonesia dapat mempercepat pembangunan dan kualitas bangunan. Bahan bangunan diproduksi dengan komponen utamanya adalah sistem polistiren yang diperluas atau EPS dan kawat baja galvanis pada kedua tepi serta di dalam. Material ini adalah "Panel Bangunan" atau disebut dengan PANEL [1]. PANEL memiliki fungsi menggantikan material untuk rangka atap, dinding, partisi, tangga, lantai dan lain-lain [2].

Sandwich panel merupakan panel yang terdiri atas tiga lapisan, dengan layer bagian tengahnya merupakan sebuah lapisan material tebal dengan tingkat kepadatan tinggi namun memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dua layer pengapit. Seperti layaknya roti *sandwich*, dua lapisan tipis yang terdapat pada struktur *sandwich* ini disebut dengan lapisan kulit atau penutup, dan satu lapisan tengah disebut dengan lapisan inti core [3]. Kulit panel penutup dari *sandwich* panel terbuat dari pelat zinalume atau galvanis yang direkatkan pada kedua sisi lapisan insulasi. Karena itu tak jarang disebut juga *insulated sandwich* panel. Terdapat beberapa jenis insulasi pada *sandwich* panel yaitu *Expanded Polystyrene* (EPS), *Polyurethane* (PU), dan *Glasswool* Panel [4].

Kualitas merupakan aspek utama yang dipertimbangkan konsumen dalam pengambilan keputusan membeli atau tidak suatu produk. Kualitas menjadi aspek utama suatu produk karena kualitas dapat menjadi penilaian konsumen. Berdasarkan penelitian terdahulu ditemukan bahwa permasalahan kualitas dialami oleh perusahaan mengakibatkan kegagalan produk berupa dekok pada plat yang disebabkan dalam kotornya meja *double belt* lalu proses *roll press* saat proses produksi [5].

Kondisi serupa dialami oleh PT Starr Panel Industri, selain dekok pada platada juga kegagalan produk yang disebabkan pada proses perekatan yang dapat berdampak fatal seperti kecelakaan pada proses instalasi *sandwich* panel. Menurut data perusahaan kecelakaan instalasi *sandwich* panel tersebut dapat membuat karyawan cedera. Oleh karena itu bahan perekatan antara lapisan plat dengan foam harus dilakukan sebaik mungkin sehingga kualitas *sandwich* panel yang di produksi sesuai dengan produk standar [6].

PT. Starr Panel Industri merupakan perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur berupa panel *sandwich* yang dibuat dengan menggunakan *mold* sebagai alat pencetak panel. Dengan mengkhususkan diri dalam pembuatan panel *sandwich* hingga sudah terbukti dalam kualitas, presisi dan kontrol material [7]. Selain itu perusahaan memiliki komitmen, bahwa dengan pengalaman sebuah jaringan yang luas dan didukung dengan tenaga kerja yang terlatih dan terampil maka akan menghasilkan suatu produk yang baik sesuai dengan kebutuhan pelanggan [8].

Seperti pada umumnya pelanggan juga wajib tau apa kelebihan dan kekurangan jika memakai *sandwich* panel. Kelebihan memakai *sandwich* panel yaitu pemasangan cepat dan perawatannya yang mudah, efisiensi energi, ekonomis, tidak memerlukan *finishing* tambahan, kekuatan dalam menghadapi gempa, ringan, *customizable*, dan sederhana [9]. Untuk kekurangan memakai *sandwich* panel yaitu tidak mampu menahan beban tambahan yang signifikan, resiko kerusakan mekanik tinggi, potensi kerusakan pada bingkai dan pengencang, dan penyusutan material [10].

Berdasarkan penelitian terdahulu ditemukan bahwa permasalahan kualitas dialami oleh perusahaan mengakibatkan kegagalan produk berupa dekok atau patah pada plat yang disebabkan dalam kotornya meja *double belt* saat proses *roll press* saat proses produksi [4]. Kondisi serupa dialami oleh PT Starr Panel Industri, antara lain dalam bentuk marking pada plat *sandwich* panel dan *bubble* pada *sandwich* panel yang mengakibatkan plat tidak rata. Tingkat kecacatan ini mencapai dalam 3 bulan terakhir sebesar 20% hal ini mengakibatkan terjadinya keluhan pelanggan sebesar 3 komplain perbulannya oleh karena itu diperlukan perbaikan pada kecacatan saat proses produksi dan perbaikan *sandwich* panel yang rusak atau bermasalah [11].



Gambar 1. Contoh Kerusakan *Sandwich Panel*

Gambar diatas adalah contoh *sandwich* panel yang rusak dalam kurun waktu 3 bulan terakhir, ada 2 jenis yaitu gambar A adalah *sandwich* panel *bubble* disebabkan kurangnya takaran bahan *foam* PU atau suhu panas yang kurang sesuai dan yang gambar B adalah *sandwich* panel gelombang (dekok) disebabkan kecepatan *double belt* terlalu cepat akibatnya *foam* PU belum mengembang sempurna [12].

Rumusan masalah berdasarkan Latar Belakang di atas, maka Rumusan Masalah sebagai berikut:

- Bagaimana cara memperbaiki *sandwich* panel yang bergelombang (bahan tidak mengembang sempurna) atau panel yang *bubble* (matang tidak sempurna/meletus) menggunakan lem atau perekat khusus dari bahan polyol (*polyurethanes*) dan *isocyanate*?
- Bagaimana hasil uji tekan pada bagian plat pelapis *sandwich* panel yang telah diperbaiki untuk menghitung kekuatan daya plat *sandwich* panel?
- Bagaimana analisa hasil kekuatan uji tarik dari studi alternatif perbaikan *sandwich* panel yang bergelombang (bahan tidak mengembang sempurna) atau panel yang *bubble* (matang tidak sempurna/meletus) ini?

Batasan masalah pada penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut:

- Data pada penelitian ini dilakukan pada PT. Starr Panel Industri.
- Data dalam penelitian ini berdasarkan kecacatan produk pada prosesproduksi selama 6 bulan (Juli 2023

– Desember 2023).

- Penelitian ini berfokus pada cara memperbaiki sandwich panel pada proses produksi maupun panel yang sudah jadi tapi cacat.

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Memperoleh cara untuk memperbaiki *sandwich* panel yang bergelombang (bahan tidak mengembang sempurna) atau panel yang *bubble* (matang tidak sempurna/meletus) ini menggunakan lem atau perekat khusus dari bahan polyol (*polyurethanes*) dan *isocynate*.
- Mengetahui hasil kekuatan uji tekan pada *sandwich* panel yang telah diperbaiki.
- Menganalisa seluruh hasil tes kekuatan uji tarik dari studi alternatif perbaikan *sandwich* panel yang bergelombang (bahan tidak mengembang sempurna) atau panel yang *bubble* (matang tidak sempurna/meletus) ini ini.

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi solusi alternatif yang efektif dan efisien dalam memperbaiki *sandwich* panel yang bergelombang (bahan tidak mengembang sempurna) atau panel yang *bubble* (matang tidak sempurna/meletus) ini dengan menggunakan lem atau perekat khusus dari bahan polyol (*polyurethanes*) dan *isocynate*.
2. Memberikan informasi kualitas dan kekuatan perekatan *sandwich* panel setelah dilakukan perbaikan.
3. Memberikan pemahaman tentang efektivitas metode perbaikan yang digunakan dalam studi perbandingan.

II. METODE

A. Sandwich Panel

Sandwich panel merupakan panel yang terdiri atas tiga lapisan, dengan layer bagian tengahnya merupakan sebuah lapisan material tebal dengan tingkat kepadatan tinggi namun memiliki kekuatan yang lebih rendah dibandingkan dua layer pengapit. Seperti layaknya roti *sandwich*, dua lapisan tipis yang terdapat pada struktur *sandwich* ini disebut dengan lapisan kulit atau penutup, dan satu lapisan tengah disebut dengan lapisan inti core atau jeroan. Kulit panel penutup dari *sandwich* panel terbuat dari pelat zinalume atau galvanis yang direkatkan pada kedua sisi lapisan insulasi. Karena itu tak jarang disebut juga *insulated sandwich* panel. Terdapat beberapa jenis insulasi pada *sandwich* panel yaitu *Expanded Polystyrene* (EPS), *Polyurethane* (PU), dan *Glasswool Panel* [13].



Gambar 2. Sandwich Panel

Bahan bangunan yang memiliki struktur tiga-lapis yang terdiri dari dua lembar bahan padat keras (logam, PVC, *fiberboard*, piring *magnesit*) dan diantaranya lapisan isolasi. Semua bagian panel *sandwich* direkatkan dengan tekanan panas atau dingin. Tergantung pada tujuan, akan digunakan sebagai panel atap atau panel dinding.

Menurut asosiasi EPIC (*Engineered Panels in Construction*), teknologi panel *sandwich* yang diisi dengan busa *poliuretan polyisocyanurate* (PIR) dan busa *poliuretan* (PUR) muncul pada 1970-an. Hingga pertengahan 80-an, panel semacam itu dipasang langsung di lokasi konstruksi, tetapi pada awal 90-an panel *sandwich* pertama dengan pengisi busa *poliuretan* muncul sebagai produk akhir. Pada akhir tahun 90-an panel tersebut sudah menempati 40% pasar panel *sandwich*.

Dalam konstruksi perumahan, panel *sandwich* digunakan untuk pembangunan struktur dinding atau atap yang dirakit secara cepat. Dalam konstruksi bangunan komersial, panel *sandwich* digunakan untuk pembangunan bangunan prefabrikasi berdasarkan pada rangka baja, misalnya: lokasi industri, mobil, pusat perbelanjaan, bangunan pertanian, bangunan peternakan, bangunan laboratorium, fasilitas olahraga, dll. Panel *sandwich* dengan lapisan logam digunakan sebagai konstruksi yang menghubungkan bangunan.

B. Polyol (*Polyurethanes*)

Polyurethane adalah bahan plastik dan sejenis polimer yang terdiri dari rantai poliurea. *Polyurethane* terbuat dari unit-unit karbonil asam yang terikat bersama-sama. Secara ilmiah, *Polyurethane* terbuat dari dua komponen kimia polimer dan *urethane*. Selama proses kimia, polimer dihubungkan bersama menggunakan *urethane* yang menciptakan solusi serbaguna sehingga material ini bisa mengambil banyak bentuk.



Gambar 3. *Polyol (Polyurethanes)*

Polyurethane (PU) adalah bahan serbaguna yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri, konstruksi, dan barang konsumsi. Bahan ini umumnya digunakan sebagai bahan dasar untuk membuat berbagai produk seperti busa, karet, pakaian, pelapis lantai, tinta, peredam suara, dan masih banyak lagi.

Polyurethane sangat populer dalam industri karena sifatnya yang tahan lama, ringan, dan fleksibel. Bahan ini dapat diubah menjadi berbagai bentuk dan memiliki berbagai tingkat kekerasan, mulai dari yang sangat lembut hingga yang sangat keras. Pada industri otomotif, *polyurethane* digunakan untuk membuat berbagai komponen dalam mobil seperti jok, stir, bantalan suspensi, dan panel interior. Bahan ini juga tahan terhadap suhu ekstrem, sehingga cocok digunakan dalam produk-produk yang berada di luar ruangan atau terpapar sinar matahari langsung.

Dalam konstruksi, *polyurethane* digunakan sebagai bahan isolasi termal dan akustik. Diaplikasikan sebagai bahan peredam suara pada dinding atau plafon ruangan, *polyurethane* membantu mengurangi kebisingan yang masuk atau keluar. Selain itu, *polyurethane* juga digunakan sebagai pelapis lantai untuk menjaga suhu ruangan tetap stabil dan mengurangi penggunaan energi untuk pendinginan atau pemanasan [14].

C. Isocyanate

Isocyanate adalah kelompok bahan kimia dengan berat molekul rendah yang sangat reaktif. *Isocyanate* merupakan iritasi kuat terhadap selaput lendir mata, saluran cerna, dan pernapasan. Kontak langsung dengan kulit juga dapat menyebabkan peradangan parah. *Isocyanate* juga dapat membuat pekerja menjadi peka, sehingga membuat mereka terkena serangan asma yang parah jika terpapar lagi. Terdapat bukti bahwa paparan pada saluran pernapasan dan kulit dapat menyebabkan sensitisasi. Kematian akibat asma parah pada beberapa subjek yang peka telah dilaporkan. Pekerja yang berpotensi terpapar *isocyanate* dan mengalami iritasi mata terus-menerus atau berulang, hidung tersumbat, tenggorokan kering atau sakit, gejala seperti pilek, batuk, sesak napas, mengi, atau dada terasa sesak harus menemui dokter yang berpengalaman dalam masalah kesehatan terkait pekerjaan.



Gambar 4. *Isocyanate*

Senyawa yang paling banyak digunakan adalah *diisocyanate*, yang mengandung dua gugus *isocyanate*, dan *poliisocyanate*, yang biasanya berasal dari *diisocyanate* dan mungkin mengandung beberapa gugus *isocyanate*. *Diisocyanate* yang paling umum digunakan termasuk *methylenebis (phenyl isocyanate)* (MDI), *toluene diisocyanate* (TDI), dan *hexamethylene diisocyanate* (HDI). *Diisocyanate* umum lainnya termasuk *naftalena diisocyanate* (NDI), *metilen bis-sikloheksilisocyanate* (HMDI)(MDI terhidrogenasi), dan *isophorone diisocyanate* (IPDI). Contoh *poliisocyanate* yang banyak digunakan termasuk HDI *biuret* dan HDI *isocyanurat*

Isocyanate umumnya kompatibel dengan berbagai bahan, termasuk bahan polyol (*polyurethanes*) yang digunakan dalam perbaikan *sandwich* panel. Kompatibilitas ini memungkinkan *isocyanate* untuk berinteraksi dengan bahan lain secara efektif, membentuk ikatan yang kuat dan kohesif antara panel dan bahan perbaikan [15].

D. Uji Tekan

Uji tekan adalah cara untuk mengetahui kekuatan suatu benda terhadap gaya tekan. Benda tersebut akan diketahui nilai kekuatannya dengan cara ditekan. Oleh sebab itu, alat uji tekan harus memiliki kualitas yang bagus.

Uji tekan bertujuan untuk memberikan hasil atau respon dari benda kerja tersebut. Respon yang diinginkan dari pengujian tekan antara lain, kekuatan ultimit, kekuatan luluh, modulus elastisitas, bahan elastis, serta sifat-sifat lainnya. Ada pula parameter lainnya seperti regangan, tegangan, maupun deformasi suatu material.



Gambar 5. Uji Tekan

Penulis penanggung jawab atau penulis korespondensi atau *corresponding author* harus ditandai dengan tanda *asterisk* diikuti tanda koma “*”). Di bagian kiri bawah halaman pertama harus dituliskan tanda Penulis Korespondensi atau *Corresponding Author* dan dituliskan pula alamat emailnya (lihat contoh). Komunikasi tentang revisi artikel dan keputusan akhir hanya akan disampaikan melalui email penulis korespondensi.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad F=P.g.....(1)$$

Menerapkan uji tekan, yang mengukur kapasitas material untuk menahan beban aksial hingga mencapai kekuatan tekan maksimum, yang menyebabkan spesimen patah, untuk mengetahui karakteristik dan sifat mekanik bahan. Pengujian tekan ini menggunakan mesin uji dengan standar ASTM D-695.

E. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 6 bulan terhitung mulai dari Juli 2023 sampaidengan Desember 2023. Dimulai dari pengumpulan data hingga pengolahan data. Tempat pengambilan data dilakukan di PT. Starr Panel industri perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian dan Perhitungan Uji Tekan

Setelah dilakukan pengujian tekan terhadap sampel *sandwich* panel berpenguat polyol dan isocyanate dengan komposisi 50:50,60:40,70:30 didapatkan hasil sebagai berikut:



Gambar 6. Sampel *Sandwich Panel* sebelum dilakukan Uji Tekan dan sesudah dilakukan Uji

Gambar diatas adalah contoh sampel *sandwich* panel sebelum dan sesudah di uji tekan. Gambar A adalah sampel *sandwich* panel sebelum di lakukan uji tekan, keadaan sampel plat masih merekat pada foam dan gambar B

adalah sampel *sandwich* panel yang sudah di lakukan uji tekan, keadaan sampel plat sudah terlepas dari foam.

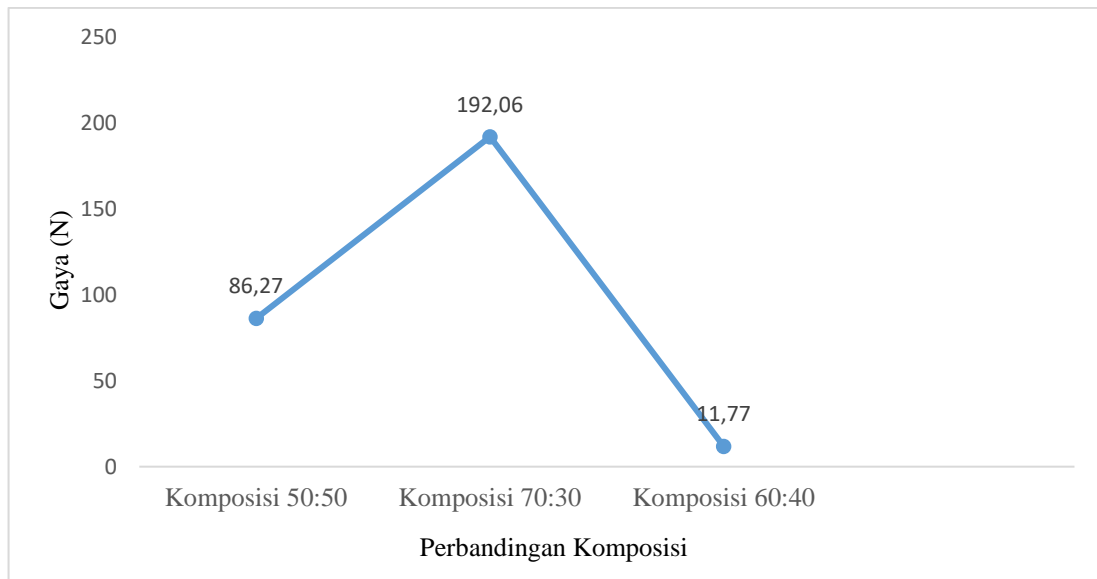
Tabel 1. Hasil Uji Tekan *Sandwich Panel*

Perbandingan Komposisi	Gaya (<i>N</i>)	Luas Penampang (<i>mm</i>)	Tegangan σ (<i>Mpa</i>)
50:50 Komposisi 1 Percobaan 1	86,24	169	0,511
50:50 Komposisi 1 Percobaan 2	86,30	169	0,515
50:50 Komposisi 1 Percobaan 3	86,28	169	0,513
Rata – Rata 70:30	86,27	169	0,513
Komposisi 2 Percobaan 1	192,08	169	1,14
70:30 Komposisi 2 Percobaan 2	192,05	169	1,12
70:30 Komposisi 2 Percobaan 3	192,06	169	1,13
Rata – Rata 60:40	192,06	169	1.13
Komposisi 3 Percobaan 1	11,76	169	0,695
60:40 Komposisi 3 Percobaan 1	11,78	169	0,697
60:40 Komposisi 3 Percobaan 1	11,79	169	0,698
Rata – Rata	11,77	169	0,696

Tabel ini menunjukkan hasil uji kekuatan material berdasarkan variasi komposisi, yaitu 50:50, 70:30, dan 60:40. Nilai gaya yang terukur bervariasi, dengan komposisi 2 pada rasio 70:30 menunjukkan gaya tertinggi, yaitu 192,08 N, menunjukkan bahwa komposisi yang lebih tinggi dapat meningkatkan kekuatan material. Luas penampang yang digunakan dalam setiap percobaan tetap 169 mm², sehingga perbandingan hasil lebih fokus pada efek perubahan komposisi material. Tegangan terukur pada komposisi yang berbeda juga menunjukkan variasi yang signifikan, di mana komposisi 2 pada rasio 70:30 memberikan nilai tegangan tertinggi sebesar 1,14 MPa, menandakan ketahanan material yang kuat pada kombinasi tersebut. Data ini memberikan pemahaman yang mendalam mengenai bagaimana perubahan komposisi dapat mempengaruhi kekuatan dan ketahanan material, yang sangat penting dalam aplikasi teknik dan material.

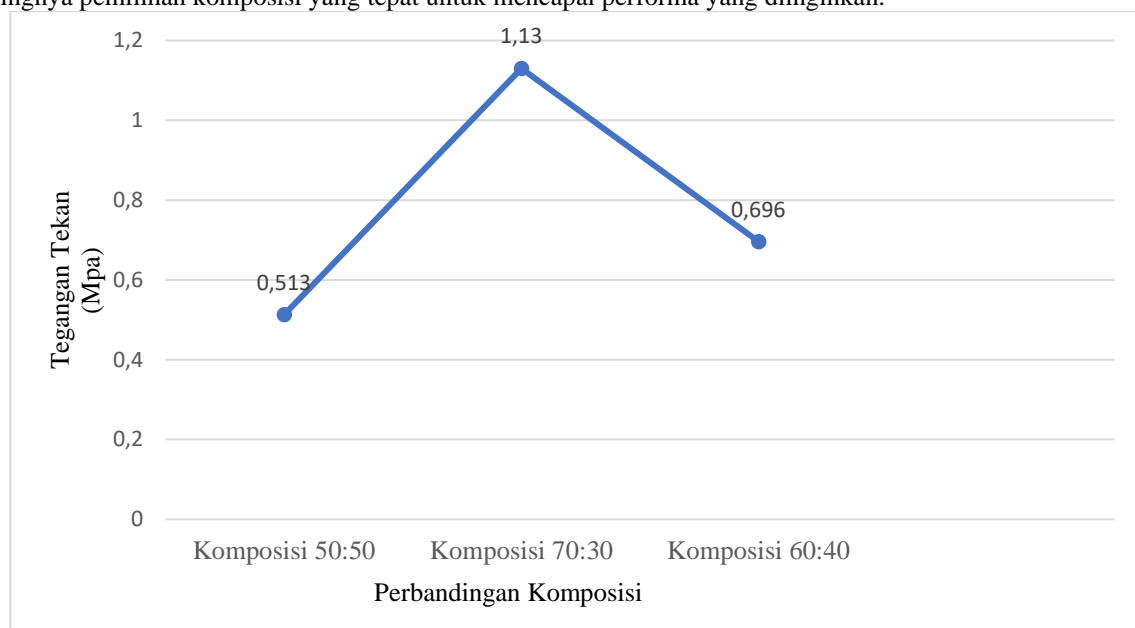
Tabel 2. Lebar Penampang Spesimen

No	L_0	L_1	Σ
1.	150	170	0,118
2.	150	170	0,118
3.	150	170	0,118



Gambar 7. Hasil Uji Tekan *Sandwich Panel*

Grafik di atas menunjukkan variasi gaya berdasarkan komposisi yang berbeda. Berikut adalah analisis mengenai kenaikan dan penurunan yang terlihat pada grafik. Kenaikan yang tajam terjadi pada perubahan komposisi dari 50:50 ke 70:30. Hal ini disebabkan pengaruh proporsi masing-masing komponen yang lebih optimal di komposisi 70:30, menghasilkan gaya lebih besar. Komposisi ini menjadi titik puncak, menunjukkan bahwa pengaturan proporsi di komposisi ini sangat efektif dalam menghasilkan gaya maksimum. Penurunan terjadi saat beralih dari komposisi 70:30 ke 60:40, disebabkan oleh ketidak efektifan komposisi baru yang menghasilkan gaya jauh lebih rendah. komposisi yang optimal (70:30) yang menghasilkan gaya maksimum sebelum terjadi penurunan drastis. Hal ini menegaskan pentingnya pemilihan komposisi yang tepat untuk mencapai performa yang diinginkan.



Gambar 8. Hasil Uji Tekan *Sandwich Panel*

Grafik menunjukkan hubungan antara komposisi bahan (50:50, 70:30, dan 60:40) dengan tegangan tekan (dalam MPa). Terdapat tiga titik data yang menunjukkan nilai tegangan tekan: Komposisi 50:50 : 0,513 Mpa, Komposisi 70:30: 1,13, Komposisi 60:40: 0,696 Mpa.

Penambahan proporsi satu material dapat meningkatkan ikatan molekuler yang menghasilkan kekuatan lebih tinggi. Komposisi 70:30 mungkin memiliki keseimbangan yang optimal antara dua bahan, yang meningkatkan ketahanan terhadap tekanan.

Peubahan komposisi bisa menurunkan koordinasi antara material sehingga mengurangi kekuatan keseluruhan. Komposisi 60:40 bisa jadi kurang efektif dalam memaksimalkan interaksi antar bahan, sehingga menghasilkan tegangan tekan yang lebih rendah dibandingkan 70:30.

Grafik dengan pola naik-turun menunjukkan pentingnya komposisi dalam menentukan sifat mekanik material.

IV. SIMPULAN

Dari hasil studi uji tegangan tekan enelitian ini, telah ditemukan bahwa komposisi 70:30 menghasilkan tegangan tekan tertinggi sebesar 1,13 MPa. Komposisi 50:50 dan 60:40 menunjukkan hasil yang lebih rendah, masing-masing 0,513 MPa dan 0,696 MPa. Hasil ini menunjukkan bahwa proporsi komposisi material berpengaruh signifikan terhadap kekuatan tekan.

Diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengeksplorasi variabel lain yang dapat mempengaruhi kekuatan material, seperti waktu pengerasan dan suhu. evaluasi komposisi lain di luar yang diuji untuk menemukan kombinasi yang lebih optimal.

REFERENCES

- [1] I. H. Prasetyo, *ANALISIS VALUE ENGINEERING PADA PELAKSANAAN PEKERJAAN PASANGAN DINDING BATA MERAH DAN SANDWICH PANEL (Studi Kasus: Proyek ...,*, vol. 11, no. 3, pp. 314-323, 2023.
- [2] A. A. Sekawan, "SANDWICH PANEL PU / PUR /POLYURETHANE," 13 November, 2020. <https://abadiario.com/sandwich>.
- [3] F. S. P. a. S. Suhartini, "Analisis Kecacatan Produk Dengan Metode Seven Tools Dan Fta Dengan Mempertimbangkan Nilai Risiko Dengan Metode Fmea," *J. SENOPATI Sustain. Ergon. Optim. Appl. Ind.Eng.*, vol. 1, no. 1, pp. 43-51, 2019.
- [4] R. Usman, "Peningkatan kualitas produksi pelat dinding dan atap panel sandwich menggunakan metode six sigma," *Spektrum Ind.*, , vol. 17, no. 1, pp. 1-91, 2019.
- [5] starrpanel, "starrpanel." <https://starrpanel.com/>.
- [6] Albar, "Sandwich Panel: Pengertian, Jenis, Kelebihan, dan Kekurangannya," Oktober. <https://www.ukur.com/blog/sandwich-panel-adalah>.
- [7] E. A. F. P, "Mengenal Lebih Jauh Seputar Sandwich Panel.Lengkap Dari Pengertian Hingga Jenisnya!," <https://berita.99.co/sandwich-panel-dalam-konstruksi/>, 2022.
- [8] Sandwpanel, "Pengertian Sandwich Panel dan Kelebihan Untuk Bangun Konstruksi," <https://sandwpanel.com/blog/pengertian-andwich-panel-dan-kelebihan-untuk-bangun-konstruksi/>, 2020.
- [9] P. M. J. SUBAGA, "Mengenal Polyurethane | Kegunaan, Jenis Bahan, Kelebihan." <https://www.mjs.co.id/mengenal-kegunaan-polyurethane/>.
- [10] B. Investama, "Bahan Polyurethane: Penjelasan Umum dan Penggunaannya," <https://bhakti-investama.com/case-bahan-polyurethane/>, 2023.
- [11] U. D. o. H. & H. Services, "Isocyanates," January, 2008. <https://www.cdc.gov/niosh/topics/isocyanates/default.html>.
- [12] P. H. T. a. A. S. A. Nurudin, "Making Composite Materials from Unsaturated Polyester and Coconut Fiber Judging from Mechanical Properties," *J. Improsci*, doi: , vol. 1, no. 4, pp. 213-221, 2024.
- [13] N. Z. Amri and P. H. Tjahjanti, "Studi Perbaikan Cara Penambalan (Patching) Pada Bahan Komposit Berbasis Polimer," *Pros. Sains Nas. dan Teknol.*, doi: 10.36499/psnst.v12i1.7224. , vol. 12, no. 1, p. 117, 2022.
- [14] P. H. Tjahjanti, *Teori Dan Aplikasi Material Komposit Dan Polimer*, " Univ. Muhammadiyah Surakarta., p. 17, 2018.
- [15] R. F. I. a. M. F. A. P. H. Tjahjanti, "Study of Crack Connections in Materials Composite Based on Polymer," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, doi: 10.1088/1757-899X/874/1/012026. , vol. 874, no. 1, 2020.

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.