



Pengembangan desain furnitur kardus modular dengan memanfaatkan *fitting* berbasis pencetakan 3D

Abdul Gafur Maulana Achmad,^{1*} Imam Damar Djati²

^{1,2} Fakultas Seni Rupa dan Desain, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Abstract

Modular cardboard furniture is becoming increasingly popular as a practical, economical, and efficient solution for temporary use. However, existing modular cardboard furniture generally relies on a stacking system without a secure locking mechanism, making it less stable in various configurations. Fittings as connector components play a crucial role in enhancing the modularity and stability of cardboard furniture. This study aims to design and develop 3D-printed fittings to optimize the joints between modular cardboard furniture units. In this study, single-wall flute C cardboard was used to develop a modular cardboard shelf unit in the form of a cube with dimensions of 35 × 35 × 35 cm, with holes at each corner to accommodate the fittings. Structural strength testing showed that the module could withstand loads of up to 18 kg before experiencing buckling at the pressure-receiving surface. The fittings were developed using 3D printing technology with the Fused Deposition Modeling (FDM) method, utilizing a MakerBot Replicator 2 printer and MakerBot PLA filament. Finite Element Analysis (FEA) was used to analyze the structural strength of the fittings. The development resulted in 17 modular fitting variants, consisting of edge connectors and corner connectors, with flexible configurations. With these fittings, the configuration of modular cardboard furniture becomes more flexible, stable, and adaptable to user needs. This study contributes to the development of a 3D-printed joint system for cardboard furniture, offering a more optimized solution compared to conventional methods.

Key words: 3D printing, cardboard furniture, Finite Element Analysis, fitting

Abstrak

Furnitur kardus modular semakin populer sebagai solusi praktis, ekonomis, dan efisien untuk penggunaan sementara. Namun, furnitur kardus modular yang tersedia saat ini umumnya hanya mengandalkan sistem tumpuk tanpa mekanisme penguncian yang kuat, sehingga kurang stabil dalam berbagai konfigurasi. *Fitting* sebagai komponen penghubung berperan krusial dalam meningkatkan modularitas dan stabilitas furnitur kardus. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *fitting* berbasis pencetakan 3D yang dapat mengoptimalkan sambungan antar modul furnitur kardus. Dalam penelitian ini, material kardus *single-wall flute C* digunakan untuk mengembangkan modul rak kardus berbentuk kubus dengan dimensi 35 × 35 × 35 cm, di mana setiap sudut modul diberikan lubang sebagai titik pemasangan *fitting*. Pengujian kekuatan struktural menunjukkan bahwa modul mampu menahan beban hingga 18 kg sebelum mengalami tekukan pada bidang yang menerima tekanan. Pengembangan *fitting* dilakukan menggunakan teknologi pencetakan 3D metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) dengan mesin MakerBot Replicator 2 dan filamen PLA MakerBot. Kekuatan struktural *fitting* dianalisis menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA). Hasil pengembangan berupa 17 varian *fitting* modular, yang terdiri dari modul sambungan tepi dan sambungan sudut, dengan konfigurasi yang fleksibel. Dengan adanya *fitting* ini, konfigurasi furnitur kardus menjadi lebih fleksibel, stabil, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem sambungan berbasis pencetakan 3D untuk furnitur kardus, yang lebih optimal dibandingkan metode konvensional.

Kata kunci: *fitting*, Finite Element Analysis, furnitur kardus, pencetakan 3D

1. Pendahuluan

Furnitur kardus menjadi tren populer dalam industri furnitur karena menawarkan berbagai keunggulan seperti praktis, ekonomis, serta ramah lingkungan

sebab materialnya mudah didaur ulang dan *biodegradable* (Li & Kang, 2022; Suarez dkk., 2021). Selain itu, pada akhir masa pakainya, furnitur kardus dapat dengan mudah dikembalikan ke proses daur ulang untuk dijadikan bahan dasar kertas atau kardus

* Corresponding author e-mail : abdulgafurmaulana@gmail.com

baru, sehingga tidak memerlukan pengelolaan pascagunanya seperti penjualan atau perbaikan yang umumnya dilakukan pada furnitur konvensional. Berbagai keunggulan tersebut membuat material kardus menjadi solusi yang tepat sebagai furnitur untuk kebutuhan pemakaian temporal seperti pada acara pameran, *pop-up booth*, ruang kerja sementara, serta hunian dengan konsep fleksibel. Dalam konteks ini, fleksibilitas dalam desain furnitur menjadi sangat penting karena tata letak ruang dapat berubah sesuai kebutuhan pengguna. Untuk mengakomodasi kebutuhan tersebut, konsep furnitur modular menjadi solusi yang semakin relevan. Furnitur modular adalah jenis furnitur yang terdiri dari unit-unit atau modul terpisah yang dapat disusun, dibongkar, dan diatur ulang sesuai dengan kebutuhan pengguna (IKEA Indonesia, 2025). Gambar 1 memperlihatkan contoh furnitur kardus modular.

Dalam menunjang konsep furnitur modular, sistem sambungan antar modul menjadi aspek yang krusial. Oleh karena itu, *fitting* memainkan peran yang sangat penting. Dengan adanya *fitting*, pengguna dapat merakit, membongkar, dan mengubah konfigurasi furnitur sesuai dengan preferensi dan kebutuhan mereka (Aiman dkk., 2020a). Namun, sistem sambungan pada furnitur kardus modular yang telah ada masih sangat terbatas, di mana modul furnitur umumnya hanya ditumpuk satu sama lain tanpa mekanisme penguncian yang memadai. Hal ini dapat menyebabkan struktur menjadi kurang stabil dan rentan bergeser atau roboh, terutama ketika mendapatkan beban atau gaya dari berbagai arah. Untuk memastikan setiap modul kardus dapat tersusun dengan kokoh dan saling tersambung dengan baik, dibutuhkan *fitting* yang tidak hanya berfungsi sebagai penghubung antar modul, tetapi juga harus mampu memberikan fleksibilitas dan stabilitas yang diperlukan untuk berbagai konfigurasi furnitur. Oleh karena itu, pengembangan *fitting* yang dirancang khusus untuk material kardus menjadi peluang solusi dalam mewujudkan furnitur kardus modular yang lebih fungsional dan aman digunakan.



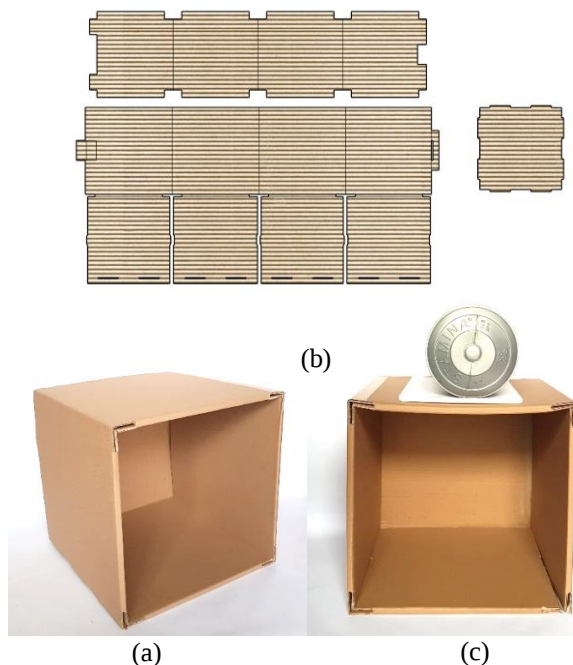
Gambar 1. Furnitur kardus modular. (a) *Polipodium Shelf* (CartonLab, 2024), dan (b) *Square Shelf* (Out of the Box, 2024)

Inovasi dalam desain dan produksi furnitur kardus memiliki potensi besar, tidak hanya dalam pengolahan material kardus sebagai bahan utama, tetapi juga melalui penggunaan bahan kombinasi dan penerapan teknologi produksi mutakhir (Budiono, 2016). Salah satunya adalah dengan memanfaatkan teknologi yang sedang populer dalam satu dekade terakhir, yaitu teknologi Aditif Manufaktur. Aditif Manufaktur juga dikenal sebagai pencetakan 3D, adalah proses pembuatan objek tiga dimensi dengan menambahkan material lapis demi lapis berdasarkan model digital. Berdasarkan jenis metode pencetakan 3D yang ada, diketahui bahwa metode yang paling sering digunakan dalam industri furnitur adalah metode *Fused Deposition Modeling* (FDM) (Aiman dkk., 2020b; Grujovic dkk., 2017; Nicolau dkk., 2022; Siani, 2023; Zach dkk., 2024). Hasil model yang dicetak menggunakan metode FDM dapat digunakan secara efisien untuk pembuatan elemen furnitur yang rumit dengan biaya rendah dalam jumlah kecil (Aiman dkk., 2020b; Grujovic dkk., 2017). FDM memiliki beberapa keunggulan seperti jumlah limbah yang minimum, minim atau bahkan tanpa tahap *finishing* pada objek yang dihasilkan, dan dapat menggunakan material komposit yang dibuat khusus dengan memanfaatkan mesin pencetakan 3D yang terjangkau harganya (Grujovic dkk., 2017).

Filamen adalah bahan baku berbentuk sulus yang digunakan dalam FDM untuk mencetak objek dengan cara melelehkan dan menyusun lapisan-lapisan material secara bertahap. *Polylactic Acid* (PLA) dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) merupakan bahan yang paling umum digunakan untuk memproduksi filamen AM dalam pembuatan furnitur (Nicolau dkk., 2023). PLA merupakan termoplastik *polyester* yang terbuat dari sumber daya terbarukan seperti tepung jagung, akar tapioka, dan tebu (McKeown & Jones, 2020). Selain itu material ini juga berbiaya rendah, dapat terurai secara alami, serta memiliki penerapan yang luas (Grujovic dkk., 2017). ABS termasuk dalam kelompok termoplastik *amorphous* (Grujovic dkk., 2017), penerapannya sebagai elemen sambungan pada furnitur terbukti memiliki ketahanan dan kekakuan yang lebih tinggi, serta telah teruji dapat digunakan untuk memproduksi *fitting* maupun pengencang untuk merakit furnitur berbahan *particleboard*, MDF (Smardzewski dkk., 2015), dan/atau HDF (Podskarbi & Smardzewski, 2019). Penelitian lainnya menunjukkan bahwa material *Polyethylene Terephthalate* (PETG) memiliki sifat mekanik yang lebih baik dibanding ABS (Zach dkk., 2024), namun tidak se-ramah lingkungan seperti PLA, karena tidak *biodegradable*.



Gambar 2. Beberapa contoh *fitting* pencetakan 3D yang telah dikembangkan: (a) sambungan modul datar, (b) sambungan modul linear, (c) dan sambungan bergerak (Siani, 2023)



Gambar 3. (a) Prototipe modul kardus, (b) Posisi arah alur gelombang kardus pada pola, (c) Pengujian modul saat diberikan beban

Penelitian mengenai pengembangan *fitting* untuk furnitur konvensional dengan memanfaatkan teknologi pencetakan 3D telah banyak dilakukan (Demirel dkk., 2023; Kuşkun dkk., 2023; Podskarbi & Smardzewski, 2019; Smardzewski dkk., 2015; Tauber dkk., 2020; Wang dkk., 2024). Namun, penerapannya dalam pengembangan *fitting* khusus untuk furnitur kardus masih jarang dibahas. Sebagian besar penelitian yang ada lebih berfokus pada furnitur berbahan konvensional seperti kayu dan plastik (Gambar 2).

Berdasarkan paparan yang telah diuraikan, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain *fitting* yang dirancang khusus dengan memanfaatkan teknologi pencetakan 3D yang dapat berfungsi sebagai komponen sambungan untuk mengoptimalkan

sambungan furnitur kardus modular. Dengan menciptakan desain *fitting* tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam mengoptimalkan stabilitas dan modularitas furnitur kardus.

2. Metode

Penelitian ini terdiri dari dua tahap utama: Perancangan modul furnitur kardus, perancangan *fitting* menggunakan pencetakan 3D.

Perancangan modul furnitur kardus

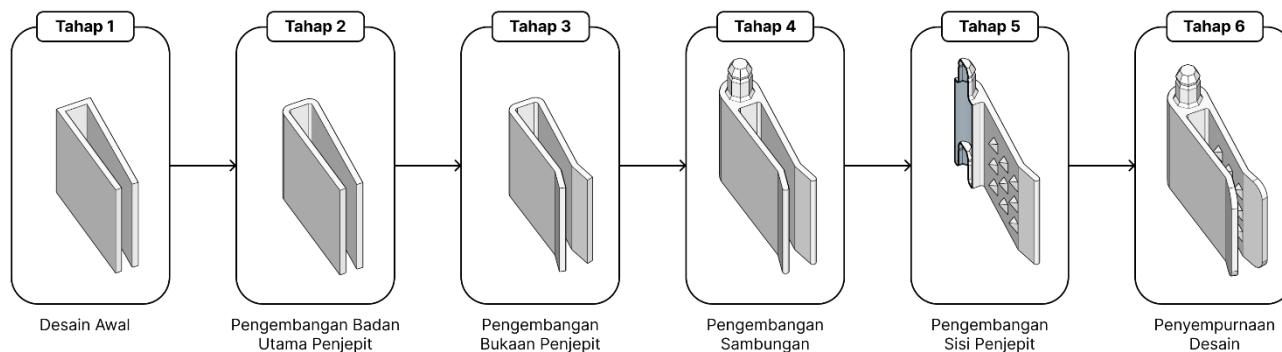
Desain modul kardus yang dirancang berbentuk kubus dengan dimensi $35 \times 35 \times 35$ cm, menggunakan material kardus *single-wall flute C* (Gambar 3a). Untuk memastikan kompatibilitas dengan *fitting*, setiap sudut modul diberikan lubang sebagai titik pemasangan *fitting*. Mengingat material yang digunakan lebih tipis dibandingkan produk kompetitor yang menggunakan kardus dengan ketebalan lebih tinggi, desain modul dikembangkan dengan tiga pola terpisah yang berfungsi untuk meningkatkan kekuatan struktural. Untuk mengoptimalkan kekuatan struktur modul dalam menahan beban, orientasi pola terhadap arah gelombang kardus dipertimbangkan (Gambar 3b).

Setelah pembuatan prototipe modul kardus selesai, dilakukan pengujian kekuatan struktural untuk mengevaluasi kekuatan struktural dari prototipe. Pengujian dilakukan dengan membebani modul rak menggunakan beban statis secara bertahap hingga mencapai batas daya dukungnya (Gambar 3c). Berdasarkan hasil pengujian kekuatan struktural, modul kardus yang dikembangkan mampu menahan beban hingga 18 kg sebelum mengalami tekukan pada permukaan tumpuan. Ketahanan ini dapat meningkat hingga dua kali lipat ketika modul ditumpuk atau disusun secara vertikal.

Perancangan modul furnitur kardus

Setelah setelah desain modul furnitur kardus dikembangkan, tahap selanjutnya adalah melakukan proses eksplorasi untuk merancang dan memproduksi prototipe *fitting*. Untuk memproduksi prototipe *fitting*, metode FDM digunakan dengan mesin pencetakan 3D komersial MakerBot Replicator 2 dan material filamen PLA dari MakerBot Industries. Adapun parameter pencetakan yang diterapkan sesuai pada Tabel 1.

Gambar 4 menunjukkan proses perancangan basis desain *fitting* yang terdiri dari 6 tahap utama yang bertujuan untuk memastikan bahwa *fitting* yang dirancang mempertimbangkan aspek fitur dan kualitas yang dibutuhkan oleh pengguna.

Gambar 4. Proses pengembangan desain *fitting*

Tabel 1. Parameter pencetakan yang diterapkan

Parameter	Nilai	Satuan
Nozzle temperature	200	°C
Infill density	100	%
Infill pattern	Linear	-
Layer height	0.2	mm
Number of shells	4	-

Sumber: Penulis

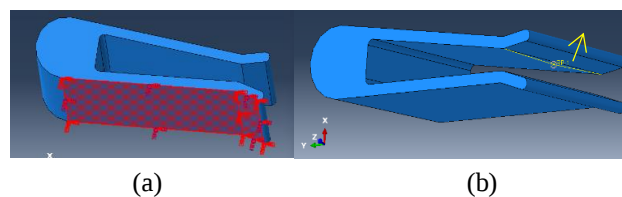
Tabel 2. Sifat material PLA yang digunakan

Parameter	Metric
Tensile Strength at yield (ASTM D638, 50 mm/min)	62 MPa
Tensile Modulus (ASTM D638, 50 mm/min)	3,600 MPa
Poisson's	0.36

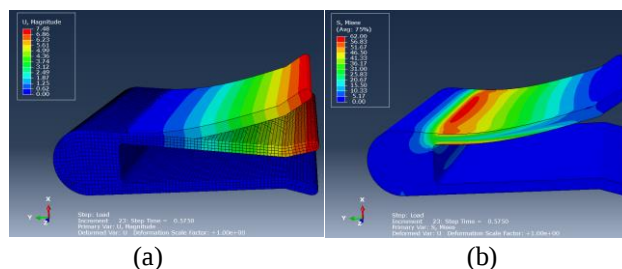
Sumber: (MakerBot, 2020)

Setelah desain akhir dari basis *fitting* dikembangkan, dilakukan analisis numerik untuk mengetahui performa strukturalnya dengan *Finite Element Analysis* (FEA) menggunakan software simulasi Abaqus. Dalam penelitian ini, material yang digunakan dalam pembuatan *fitting* adalah PLA yang diproduksi oleh MakerBot Industries. Untuk memastikan FEA dapat merepresentasikan perilaku material PLA secara akurat, data terkait sifat mekanik PLA yang digunakan dalam analisis ini (Tabel 2) diperoleh langsung dari situs resmi MakerBot (MakerBot, 2020).

Syarat batas dalam analisis ini ditetapkan untuk mensimulasikan kondisi penggunaan nyata dari *fitting* saat menjepit tepi kardus dan menerima beban eksternal. Salah satu sisi penjepit *fitting* dibuat *fixed* (tidak bergerak) untuk merepresentasikan bagian yang diam dan tidak mengalami perpindahan yang ditandai dengan yang berwarna merah (Gambar 5a). Sementara itu, gaya tarik menerus diberikan pada sisi penjepit lainnya sebagai beban statik dalam arah tegak lurus terhadap permukaan penjepit yang ditandai dengan garis berwarna kuning (Gambar 5b).

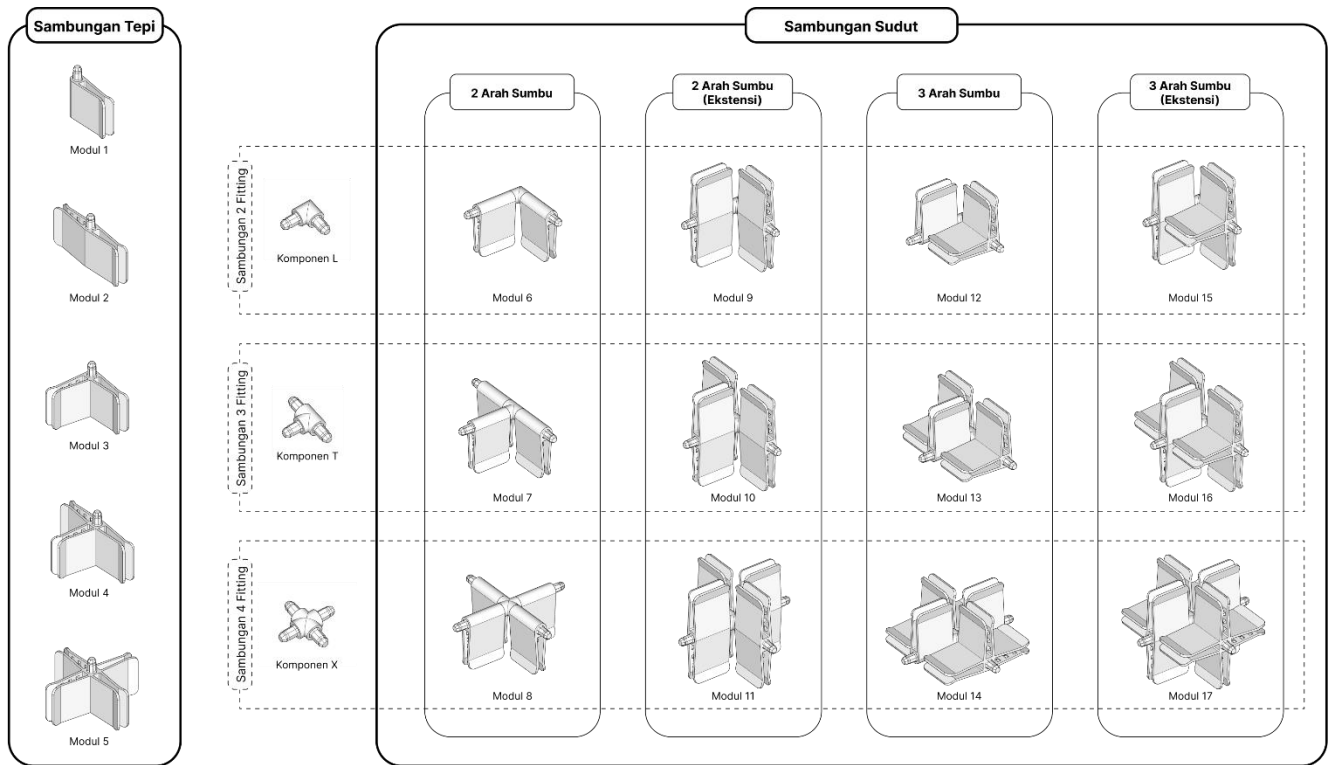


Gambar 5. Syarat batas. (a) Bagian area yang dibuat tidak bergerak. (b) Bagian area yang diberikan gaya

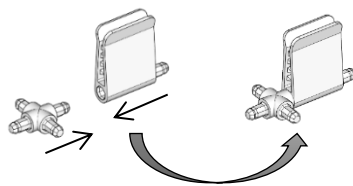
Gambar 6. Tampilan *fitting* saat *tensile strength* (62 MPa) tercapai. (a) tingkat perpindahan dalam mm, dan (b) Tingkat tegangan von Mises dalam MPa

Berdasarkan hasil simulasi, pada *increment* ke-23, desain mencapai batas *tensile strength*, dengan tegangan von Mises 62 MPa dan perpindahan vertikal 5,92 mm pada gaya tarik 46 N (Gambar 6a). Distribusi tegangan (Gambar 6b) menunjukkan area dengan tegangan tertinggi, yang terpusat pada area sudut sisi penjepit.

Setelah mendapatkan data terkait kekuatan strukturalnya, dilakukan tahap pengembangan varian modul *fitting*. Pengembangan ini bertujuan agar *fitting* dapat lebih mudah disesuaikan dengan kebutuhan desain yang lebih kompleks, memperluas potensi penerapannya dalam sistem perakitan berbasis kardus. Gambar 7 menunjukkan hasil pengembangan 17 varian modul *fitting* simetris.



Gambar 7. Hasil pengembangan 17 varian modul *fitting*

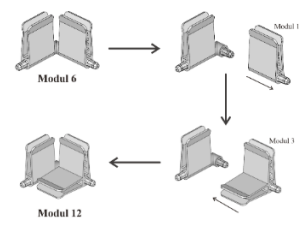


Gambar 8. Mekanisme penggunaan komponen pendukung

Varian-varian tersebut terdiri dari tiga kategori yang masing-masing dirancang dengan fungsi dan mekanisme yang berbeda-beda. Ketiga kategori tersebut adalah sebagai berikut: (1) Modul Sambungan Tepi: Dirancang untuk menghubungkan lebih dari satu panel kardus pada bagian tepinya dalam variasi sudut kelipatan 90 derajat. Kategori ini terdiri dari varian Modul 1 – Modul 5. (2) Komponen Pendukung: Berfungsi sebagai komponen penghubung untuk varian modul. Jenis komponen pendukung terdiri dari ‘Komponen L’, ‘Komponen T’, dan ‘Komponen X’. Mekanisme penggunaan komponen ini diilustrasikan pada Gambar 8. Dan (3) Modul Sambungan Sudut: Modul sambungan sudut terbentuk dari hasil gabungan antara varian modul sambungan tepi dengan komponen pendukung, sehingga menghasilkan modul *fitting* sambungan baru yang dapat diaplikasikan pada titik sudut konstruksi kardus. Kategori ini terdiri dari varian Modul 6 – Modul 17.



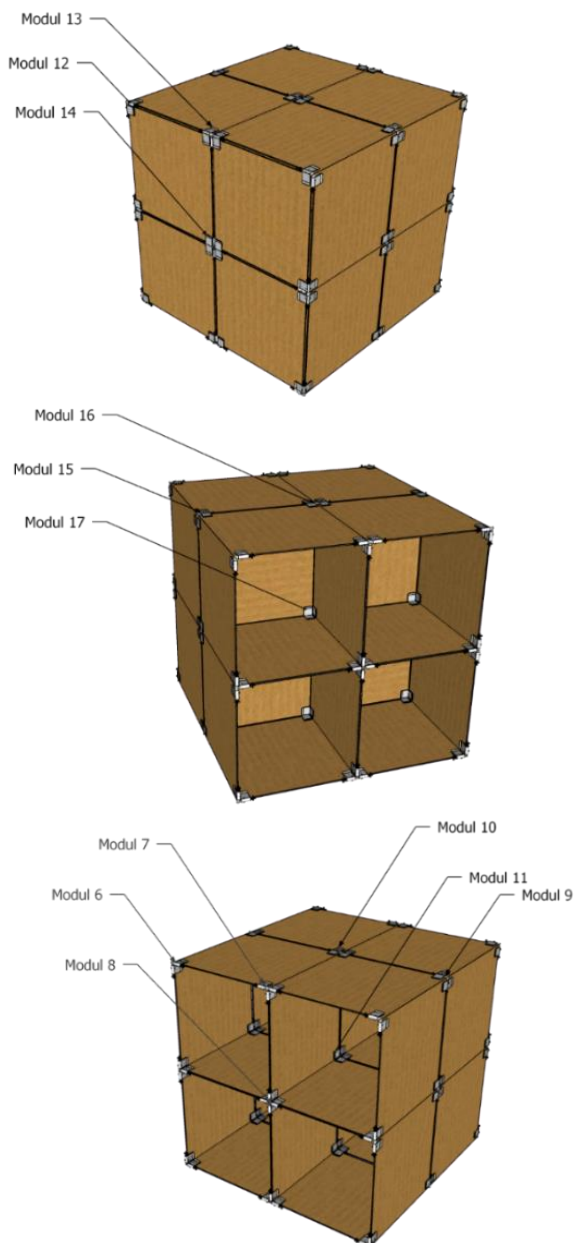
(a)



(b)

Gambar 9. (a) Hasil cetak modul sambungan tepi dan komponen pendukung. (b) Ilustrasi penggantian komponen pada modul *fitting*

Gambar 9a adalah hasil cetak dari modul sambungan tepi dan komponen pendukung. Keunggulan utama dari desain *fitting* ini adalah sistem modularnya, di mana varian *fitting* dihasilkan dari gabungan beberapa komponen modul. Jika pengguna ingin menggunakan *fitting* dengan konfigurasi yang berbeda, tidak perlu mengganti *fitting* secara keseluruhan. Cukup mengganti bagian yang ingin diubah, sementara komponen lainnya tetap dapat digunakan. Sebagai contoh (Gambar 9b), Modul 6 merupakan *fitting* yang terdiri dari dua komponen Modul 1 dan satu komponen sambungan "L". Jika ingin mengubahnya menjadi Modul 12, cukup mengganti satu Modul 1 dengan Modul 3, tanpa perlu mengganti seluruh komponen.

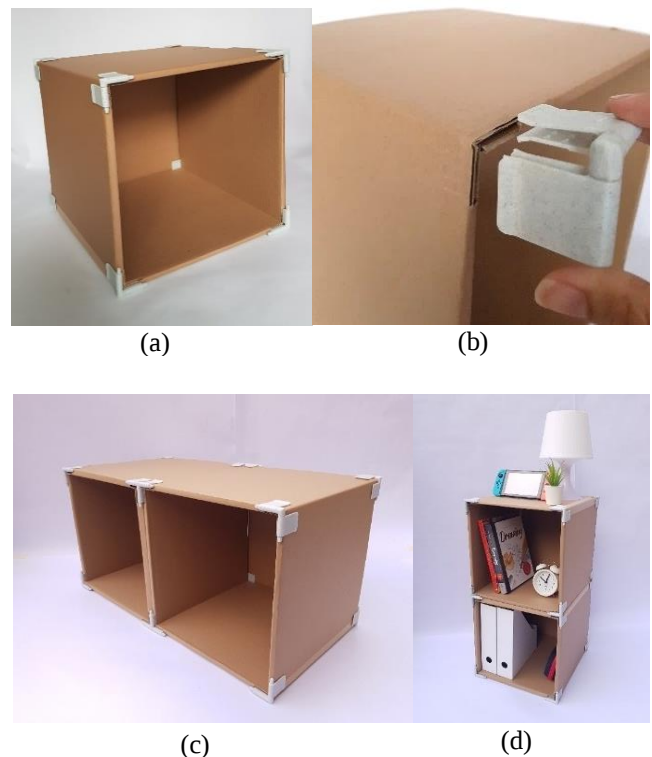


Gambar 10. Mekanisme varian modul pada panel kardus

Gambar 10 menampilkan visual dari keseluruhan varian modul sebagai gambaran yang jelas mengenai bentuk serta mekanisme masing-masing modul. Konfigurasi ini mampu menghasilkan konstruksi modular yang dapat dirakit sesuai kebutuhan, cocok untuk aplikasi seperti rak, partisi, atau struktur eksperimental berbahan kardus.

3. Hasil dan pembahasan

Setelah modul kardus dan desain *fitting* dikembangkan, tahap selanjutnya yaitu pengaplikasian *fitting* pada modul furnitur sebagai komponen



Gambar 11. (a) Penggunaan *fitting* pada modul tunggal. (b) Pemasangan *fitting* pada lubang di sudut modul. (c) Penggunaan *fitting* pada dua modul kardus. (d) Penerapan modul kardus sebagai rak susun

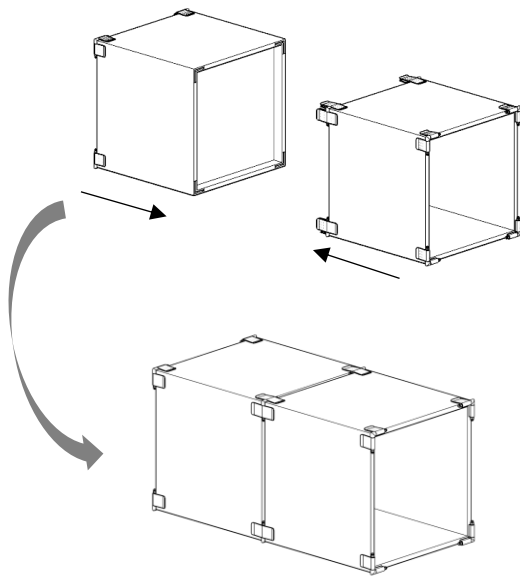
sambungan furnitur kardus modular. Modul kardus dirancang untuk dapat digunakan sebagai rak modular, yang memungkinkan konfigurasi penyusunan yang fleksibel sesuai dengan kebutuhan pengguna tanpa memerlukan perekat tambahan seperti lem atau paku dalam proses perakitannya.

Pada modul tunggal, *fitting* dipasang pada setiap sudut modul kubus kardus (Gambar 11a). Pemasangan *fitting* dilakukan dengan memasukkan sisi penjepit *fitting* ke dalam lubang yang telah dibuat pada setiap sudut panel, kemudian menekan *fitting* hingga terkunci dengan kuat (Gambar 11b). Gambar 11c menunjukkan penerapan *fitting* pada konfigurasi dua modul kardus yang disusun secara horizontal. Pada konfigurasi ini, *fitting* berfungsi sebagai komponen sambungan utama, memastikan bahwa kedua modul saling terikat dengan kuat. Dengan sistem ini, struktur modul kardus menjadi lebih stabil dan tidak mudah bergeser, sehingga meningkatkan keamanan dan keandalan saat digunakan. Gambar 11d menunjukkan prototipe rak susun yang terdiri dari dua modul kardus yang disusun secara vertikal. Konfigurasi ini dapat digunakan sebagai rak penyimpanan sederhana untuk barang ringan seperti buku, dekorasi, atau perlengkapan kecil.

Selain berfungsi untuk menyambungkan modul kardus secara vertikal maupun horizontal, varian *fitting*

yang telah dikembangkan juga dapat digunakan untuk menyambungkan modul kardus dengan posisi depan belakang seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11. Dengan konfigurasi seperti ini, rak modular cocok untuk penggunaan ditengah-tengah ruangan dimana sisi depan dan belakang dapat berfungsi sebagai tempat penyimpanan barang.

Selain itu, Gambar 12 memperlihatkan konfigurasi rak yang lebih kompleks, di mana beberapa modul dapat disusun secara vertikal atau diperluas secara horizontal depan-belakang maupun kiri-kanan, dengan setiap sambungan dikunci oleh *fitting* untuk memastikan kestabilan struktur modul kardus satu sama lain. Dengan sistem ini, rak modular kardus dapat diadaptasi untuk berbagai keperluan penyimpanan, menjadikannya solusi yang efisien, fleksibel, dan mudah dirakit.



Gambar 12. Ilustrasi konfigurasi rak dengan susunan depan-belakang



Gambar 13. Ilustrasi konfigurasi rak yang lebih kompleks

4. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan 17 varian modul *fitting*, yang terdiri dari modul sambungan tepi, modul sambungan sudut, dan komponen pendukung. Varian *fitting* yang dirancang dapat meningkatkan fleksibilitas perakitan furnitur kardus serta mengoptimalkan stabilitas struktural, di mana setiap modul kardus dapat saling mengunci dengan baik. Dengan adanya *fitting* ini, konfigurasi furnitur kardus menjadi lebih fleksibel, stabil, dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan sistem sambungan berbasis pencetakan 3D, yang lebih efisien dan adaptif dibandingkan metode konvensional.

Fitting yang dikembangkan menggunakan material PLA, yang memiliki sifat *biodegradable*, sejalan dengan konsep furnitur kardus yang ramah lingkungan. Baik *fitting* maupun furnitur kardus dirancang untuk penggunaan temporal atau dalam jangka waktu tertentu. Ketika usia pakai produk telah mencapai batasnya, material kardus dapat didaur ulang, sementara *fitting* masih dapat digunakan kembali untuk konfigurasi lain. Jika *fitting* sudah tidak dibutuhkan, materialnya dapat didaur ulang atau diolah kembali, sehingga tetap mendukung prinsip keberlanjutan.

Dalam perancangan furnitur kardus, kekuatan struktural tidak hanya bergantung pada ketebalan kardus, tetapi juga pada orientasi arah gelombang kardus. Pemilihan orientasi gelombang yang tepat dapat mengoptimalkan kekuatan struktur, meskipun menggunakan material kardus yang tipis, seperti *single-wall*. Selain itu, untuk meningkatkan kekuatan struktur furnitur kardus, dapat dilakukan pengembangan lebih lanjut melalui penyesuaian desain pola modul serta eksplorasi lebih mendalam terhadap karakteristik material kardus yang dapat dilipat, guna menghasilkan desain yang lebih kokoh dan efisien.

Daftar Pustaka

- Aiman, A. F., Sanusi, H., Haidiezul, A. H. M., & Cheong, H. Y. (2020a). Design and structural analysis of 3D-printed modular furniture joints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 932(1), 012101. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012101>
- Aiman, A. F., Sanusi, H., Haidiezul, A. H. M., & Cheong, H. Y. (2020b). Design and structural analysis of 3D-printed modular furniture joints. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 932(1), 012101. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/932/1/012101>
- Budiono, B. (2016). Studi Kursi Berbahan Kardus. *Jurnal Desain Interior*, 1(1), 77. <https://doi.org/10.12962/j12345678.v1i1.1463>

- CartonLab. (2024). *Polypodium model. Modular and versatile*. cartonlab.com. <https://cartonlab.com/en/project/cardboard-shelves/>
- Demirel, S., Kuvel, N. T., Çava, K., & Aslan, M. (2023). The performance of 3d printed dowel with three different surface designs in furniture joints. *Turkish Journal of Forestry | Türkiye Ormançılık Dergisi*, 100–106. <https://doi.org/10.18182/tjf.1387389>
- Grujovic, N., Zivic, F., Zivkovic, M., Sljivic, M., Radovanovic, A., Bukvic, L., Mladenovic, M., & Sindjelic, A. (2017). Custom design of furniture elements by fused filament fabrication. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(1), 88–95. <https://doi.org/10.1177/0954406216646401>
- IKEA Indonesia. (2025). *Mengoptimalkan ruang dengan furniture modular: fleksibilitas dan estetika - IKEA Indonesia*. https://www.ikea.co.id/in/inspirasi/apa-itu-furniture-modular?srsId=AfmBOooyGrWBqRp-diZPGIe2yvrpcWxPCYYHGfUN8hgghjyx_IJPwIIq
- Kuşkun, T., Kasal, A., Çağlayan, G., Ceylan, E., Bulca, M., & Smardzewski, J. (2023). Optimization of the Cross-Sectional Geometry of Auxetic Dowels for Furniture Joints. *Materials*, 16(7), 2838. <https://doi.org/10.3390/ma16072838>
- Li, J. chen, & Kang, J. C. (2022). Sustainable design-based corrugated furniture design and strategy research. *Korea Institute of Design Research Society*, 7(4), 363–375. <https://doi.org/10.46248/kidrs.2022.4.363>
- MakerBot. (2020, Mei 27). *Everything you need to know about PLA 3D Printing*. makerbot.com. <https://www.makerbot.com/stories/everything-you-need-to-know-about-pla-3d-printing/>
- McKeown, P., & Jones, M. D. (2020). The Chemical Recycling of PLA: A Review. *Sustainable Chemistry*, 1(1), 1–22. <https://doi.org/10.3390/suschem1010001>
- Nicolau, A., Pop, M. A., & Coşoreanu, C. (2022). 3D Printing Application in Wood Furniture Components Assembling. *Materials*, 15(8), 2907. <https://doi.org/10.3390/ma15082907>
- Nicolau, A., Pop, M. A., Georgescu, S. V., & Coşoreanu, C. (2023). Application of Additive Manufacturing Technology for Chair Parts Connections. *Applied Sciences*, 13(21), 12044. <https://doi.org/10.3390/app132112044>
- Out of the Box. (2024). *Cardboard square shelf*. <https://www.outofthebox.sale/collections/frontpage/products/square-shelf>
- Podskarbi, M., & Smardzewski, J. (2019). Numerical modelling of new demountable fasteners for frame furniture. *Engineering Structures*, 185, 221–229. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.135>
- Siani, R. (2023). Digital Fabrication Joints: Educational experience. *Proceedings of the 41st Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe 2023)*, 339–346. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2023.1.339>
- Smardzewski, J., Rzepa, B., & Kiliç, H. (2015). Mechanical Properties of Externally Invisible Furniture Joints Made of Wood-Based Composites. *BioResources*, 11(1). <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.1224-1239>
- Suarez, B., Muneta, L. M., Romero, G., & Sanz-Bobi, J. D. (2021). Efficient Design of Thin Wall Seating Made of a Single Piece of Heavy-Duty Corrugated Cardboard. *Materials*, 14(21), 6645. <https://doi.org/10.3390/ma14216645>
- Tauber, J., Svoboda, J., & Holouš, Z. (2020). Design and construction of a multifunctional exhibition element using 3D printing. *Sustainability of Forest-Based Industries in the Global Economy - Proceedings of Scientific Papers*, 341–347.
- Wang, C., Zhang, C., & Zhu, Y. (2024). Reverse design and additive manufacturing of furniture protective foot covers. *BioResources*, 19(3), 4670–4678. <https://doi.org/10.15376/biores.19.3.4670-4678>
- Zach, M., Tauber, J., Dohnal, P., & Svoboda, J. (2024). Designing Multi-Functional Magnetic Storage Cubes for Use in Modern Homes and Schools. *Applied Sciences*, 14(2), 829. <https://doi.org/10.3390/app14020829>
