



PENGEMBANGAN DAN PERANCANGAN DESAIN *CLOTHES CABINET* PT. ATMI SOLO DENGAN SISTEM *KNOCK-DOWN*

Aditya Nugraha, Rizky Hutomo, St. Hermawan Budi Prasetyo
Program Studi Rekayasa Teknologi Manufaktur Politeknik ATMI Surakarta
E-mail: aditya.nugraha@atmi.ac.id

Abstrak

Furniture merupakan perlengkapan rumah tangga yang berfungsi untuk duduk, berbaring ataupun menyimpan pakaian. *Clothes cabinet* merupakan salah satu contoh produk furniture PT. ATMI Solo yang materialnya didominasi oleh plat baja yang berfungsi untuk menyimpan pakaian atau barang pribadi. Kemajuan jaman menuntut perusahaan untuk menciptakan produk *furniture* yang memiliki sifat ringkas dan praktis, maka terciptalah desain *clothes cabinet* yang menerapkan konsep *knock-down* dengan sistem penguncian baut untuk menyatukan komponen – komponennya. Penerapan konsep *knock-down* dapat meningkatkan kepraktisan dan sifat ringkas dalam hal pengemasan produk sehingga dapat mengurangi biaya pengiriman. Desain *clothes cabinet knock-down* memiliki dimensi 1800 mm x 1000 mm x 500 mm dan dimensi produk saat dikemas adalah 1820 mm x 540 mm x 295 mm. Pengembangan rancangan produk *clothes cabinet knock-down* dapat mengurangi volume pengemasan sebesar 70%, meningkatkan kapasitas pengiriman sebesar 400% dan mengurangi biaya pengiriman dan pengemasan sebesar 47%.

Kata kunci: *furniture, knock-down, clothes cabinet, PT ATMI Solo*

Abstract

Furniture is household equipment that functions to sit, lie down, or store clothes. A clothes cabinet is an example of PT. ATMI Solo, whose material is dominated by steel plates that function to store clothes or personal items. The progress of the times requires companies to create furniture products that are concise and practical, so a clothes cabinet design is created that applies the knock-down concept with a screw locking system to unite its components. Applying the knock-down concept can increase the practicality and concise nature of product packaging to reduce shipping costs. The knock-down clothes cabinet design has 1800 mm x 1000 mm x 500 mm, and the product dimensions when packaged are 1820 mm x 540 mm x 295 mm. Developing a knock-down clothes cabinet product design can reduce packaging volume by 70%, increase shipping capacity by 400% and reduce shipping and packaging costs by 47%.

Keywords: *furniture, knock-down, clothes cabinet, PT ATMI Solo*

1. PENDAHULUAN

Furniture merupakan perlengkapan rumah yang mencakup semua barang seperti kursi, meja, dan lemari yang digunakan untuk duduk, berbaring, ataupun menyimpan benda seperti pakaian. *Furniture* dapat

dibedakan menjadi beberapa tipe yaitu *furniture build in, furniture mobile, dan furniture knock-down* (Chandra, 2013). *Furniture knock-down* merupakan produk *furniture* yang mudah dibongkar pasang. Sifat yang fleksibel dan ringkas saat diangkut merupakan nilai lebih, tetapi *furniture knock-down* yang berukuran besar tetap membutuhkan

bantuan tukang untuk membongkarnya, seperti lemari pakaian, rak buku, dan *workstation*.

Clothes cabinet adalah produk lemari yang menggunakan plat baja sebagai bahan baku utamanya dan berfungsi sebagai lemari untuk menyimpan pakaian. Baja ialah logam campuran yang berasal dari besi, dimana besi sebagai bahan dasarnya dan karbon sebagai bahan campurannya. Banyaknya kandungan karbon yang terdapat pada baja berkisar 0,2% sampai 2,1% (Putri dkk, 2019).

Desain *clothes cabinet* produk PT. ATMI Solo saat ini masih menggunakan konsep *Completely Build Up* (CBU), yaitu produk dikirimkan kepada konsumen dalam bentuk sudah terakit sehingga produk *clothes cabinet* tersebut tidak dapat dibongkar pasang kembali dan diperlukan ruangan yang besar untuk menyimpan dan mengirim produk tersebut.



Gambar 1.1 *Clothes Cabinet* PT. ATMI Solo

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana rancangan produk *clothes cabinet knock-down* dengan konstruksi yang memenuhi ketentuan kekuatan berdasarkan analisis tegangan, analisis lendutan, dan analisis

faktor keamanan, bagaimana rancangan produk *clothes cabinet knock-down* yang mampu mengurangi volume pengemasan hingga 60%, meningkatkan kapasitas pengiriman hingga 400% dan mengurangi biaya pengiriman produk minimal sebesar 10%.

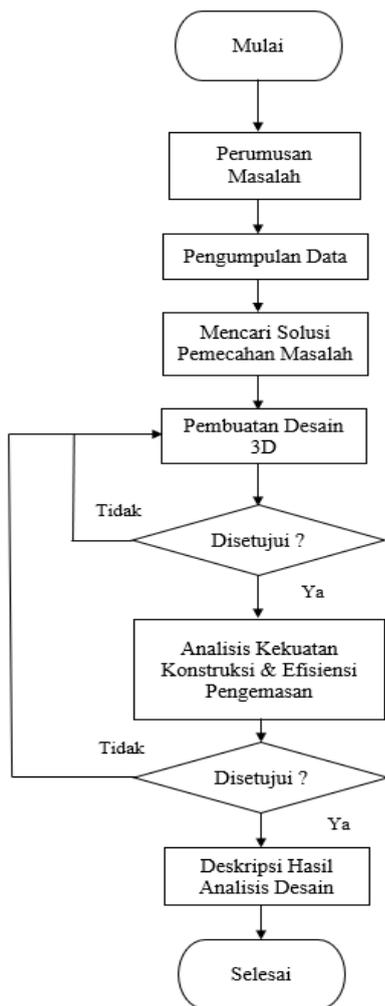
Tujuan penelitian ini adalah menciptakan rancangan produk *clothes cabinet knock-down* memiliki konstruksi yang memenuhi ketentuan kekuatan berdasarkan analisis tegangan, analisis lendutan, dan analisis faktor keamanan, menciptakan rancangan produk *clothes cabinet knock-down* yang mampu mengurangi volume pengemasan hingga 60%, meningkatkan kapasitas pengiriman sebesar 200% dan mengurangi biaya pengiriman dan pengemasan minimal 10%.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian merupakan cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data dan informasi yang dapat menjadi bahan penelitian. Metode penelitian pada dasarnya merupakan cara ilmiah untuk mendapatkan data dengan tujuan dan kegunaan tertentu (Sugiyono, 2013).

Metode penelitian kuantitatif adalah salah satu jenis penelitian yang spesifikasinya adalah sistematis, terencana, dan terstruktur dengan jelas sejak awal hingga pembuatan desain penelitiannya (Siyoto dan Sodik, 2015). Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kuantitatif yang dilakukan dengan cara mengidentifikasi masalah, dan mencari solusi pemecahan masalah berupa pengembangan desain. Data kuantitatif adalah data yang dapat diukur, dihitung, serta dapat dideskripsikan dengan menggunakan angka.

Tahapan proses yang dilakukan dalam penelitian ini dinyatakan dalam diagram seperti pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dilakukan dengan melalui beberapa tahap yaitu observasi lapangan, studi pustaka, pembuatan desain, simulasi desain, dan analisis hasil simulasi desain.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain Konseptual

Perancangan desain konsep produk *clothes cabinet knock-down* dilakukan melalui beberapa tahap yaitu pembuatan daftar fitur, daftar persyaratan, kotak morfologi, deskripsi varian konsep, penilaian konsep varian, dan pembuatan desain konsep.

3.1.1 Daftar Fitur

Pembuatan daftar fitur dilakukan untuk mengumpulkan data dan spesifikasi produk *clothes cabinet knock-down* sesuai permintaan customer. Daftar fitur produk *clothes cabinet knock-down* sesuai dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Daftar Fitur

Daftar Fitur		
1	Geometri	1. Panjang <i>clothes cabinet knock-down</i> 1000 mm 2. Lebar <i>clothes cabinet knock-down</i> 500 mm 3. Tinggi <i>clothes cabinet knock-down</i> 1800 mm 4. Semua geometri memperhatikan faktor ergonomis
2	Material	Material yang digunakan dalam pembuatan <i>clothes cabinet knock-down</i> adalah SPCC-SD dengan ketebalan 0,9 mm.
3	Produksi	Proses produksi menggunakan mesin yang tersedia di PT. ATMI Solo
4	Perakitan	1. Perakitan komponen <i>clothes cabinet knock-down</i> menggunakan sistem bongkar pasang dengan sistem penguncian baut. 2. Proses perakitan menggunakan alat bantu obeng plus.
5	Pengemasan	Pengurangan dimensi pengemasan 40% dari

	<i>clothes cabinet</i> CBU sehingga menghemat biaya pengiriman.
--	---

3.1.2 Daftar Persyaratan

Daftar persyaratan produk *clothes cabinet knock-down* sesuai dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Daftar Persyaratan

No	Persyaratan	Kuantifikasi	Ket
1.	Persyaratan utama		
	1.1 Geometri <i>clothes cabinet</i>	1800 mm x 1000 mm x 500 mm	IV
	1.2 Keamanan konstruksi <i>clothes cabinet</i> dalam menahan beban.	Memenuhi kapasitas	
	1.3 Konstruksi <i>clothes cabinet</i>	Dapat dibongkar pasang	
2.	Persyaratan minimum		
	2.1 Umur pakai	Tidak ada batasan	I
	2.2 Volume pengemasan	Minimal 50% lebih kecil dari volume pengemasan <i>clothes cabinet</i> CBU	III
3.	Keinginan / harapan		
	3.1 Kebutuhan akan ruang kecil		II
	3.2 Perakitan mudah		II
	3.3 Biaya minimal		I
	3.4 Proses pemesanan semudah mungkin		II

Keterangan :

IV : Sangat Penting Sekali

III : Sangat Penting

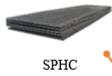
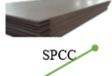
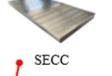
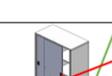
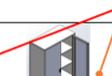
II : Penting

I : Tidak Terlalu Penting

3.1.3 Kotak Morfologi

Kotak morfologi digunakan untuk menentukan varian produk *clothes cabinet knock-down* yang akan digunakan sebagai referensi pembuatan desain konsep.

Tabel 3.3 Kotak Morfologi

Parameter	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
Material	 SPHC	 SPCC	 SECC	
Sistem Penguncian Komponen	 Nut Insert	 Rivet	 Profil Emboss	
Handle Pintu & Drawer	 Handle Plastik	 Handle Stainless	 Handle Forming	
Rel Drawer	 Rail Huben 37-300	 Rail Huben Soft Close		
Pengunci Pintu	 Push Lock Hafele	 Push Lock Kafele	 Push Lock Huben	 Numb. Combination Lock
Jenis Pintu	 Pintu Geser	 Pintu Swing		
Penyangga Komponen Shelf	 Shelf Support	 Bolt		

Konsep yang dihasilkan dari kotak morfologi dinyatakan dalam garis yang saling berhubungan. Varian 1 digambarkan dengan garis berwarna merah, varian 2 digambarkan dengan warna hijau, dan varian 3 digambarkan dengan warna jingga.

3.1.4 Penilaian Varian Terbaik

Penilaian varian terbaik dilakukan untuk menentukan varian

terbaik yang akan dipilih sebagai referensi pembuatan konsep desain produk *clothes cabinet knock-down*. Penilaian varian terbaik dibagi menjadi dua penilaian yaitu penilaian aspek teknis dan penilaian aspek ekonomis. Berikut merupakan penilaian varian terbaik.

a. Penilaian Teknis

Tabel 3.4 Penilaian Teknis

Aspek Penilaian	Bobot B	Varian 1		Varian 2		Varian 3		Nilai Ideal	
		Nilai	N x B	Nilai	N x B	Nilai	N x B		
Pencapaian Fungsi	0,1	4	0,4	4	0,4	3	0,3	4	0,4
Keamanan Konstruksi	0,1	4	0,4	4	0,4	4	0,4	4	0,4
Penampilan	0,3	3	0,9	4	1,2	2	0,6	4	1,2
Kemudahan Operasional	0,2	3	0,6	2	0,4	2	0,4	4	0,8
Kemudahan Perakitan	0,1	4	0,4	3	0,3	1	0,1	4	0,4
Kemudahan Produksi	0,1	1	0,1	3	0,3	4	0,4	4	0,4
Nilai Total	0,9	19	2,8	20	3	16	2,2	24	3,6
Nilai Teknis		0,78		0,83		0,61		1	
Presentase (%)		78%		83%		61%		100%	
Peringkat		2		1		3			

Keterangan Penilaian :

- 1 = Sangat Kurang
- 2 = Kurang
- 3 = Baik
- 4 = Sangat Baik

Berdasarkan tabel 4 penilaian teknis didapatkan hasil bahwa varian 1 mendapatkan nilai 78%, varian 2 mendapatkan nilai 83%, dan varian 3 mendapatkan nilai 61%.

b. Penilaian Ekonomis

Tabel 3.5 Penilaian Ekonomis

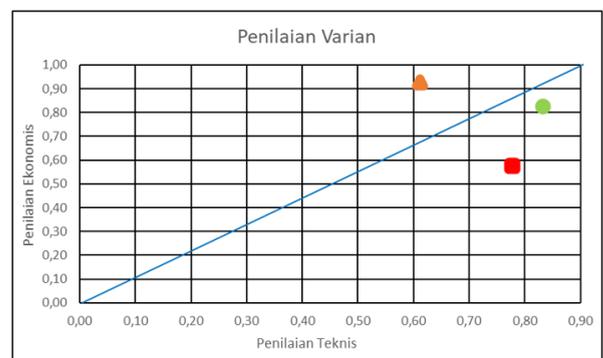
Aspek Penilaian	Bobot B	Varian 1		Varian 2		Varian 3		Nilai Ideal	
		Nilai	N x B	Nilai	N x B	Nilai	N x B		
Biaya Material	0,3	3	0,9	3	0,9	3	0,9	4	1,2
Biaya Komponen Standar	0,2	2	0,4	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Biaya Perancangan	0,2	2	0,4	3	0,6	4	0,8	4	0,8
Biaya Produksi	0,3	2	0,6	4	1,2	4	1,2	4	1,2
Nilai Total	1	9	2,3	13	3,3	15	3,7	16	4
Nilai Teknis		0,58		0,83		0,93		1	
Presentase (%)		58%		83%		93%		100%	
Peringkat		3		2		1			

Keterangan Penilaian :

- 1 = sangat kurang
- 2 = kurang
- 3 = baik
- 4 = sangat baik

c. Penentuan Varian

Penentuan varian dilakukan dengan grafik untuk mendapatkan varian yang akan digunakan sebagai referensi pembuatan konsep desain. Grafik penentuan varian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

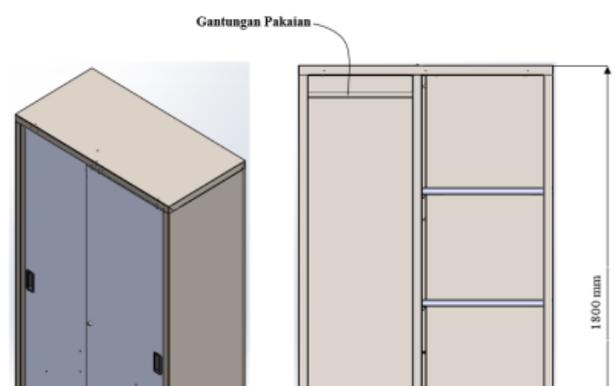


Gambar 3.1 Grafik Penentuan Varian

Berdasarkan grafik pada Gambar 3.1 didapatkan bahwa varian yang terbaik yang akan dipilih sebagai referensi pembuatan konsep desain adalah varian 2 yang digambarkan dengan titik berwarna hijau pada grafik.

3.1.5 Desain Konsep

Setelah melakukan tahapan perancangan konseptual maka didapatkan kombinasi dari seluruh sub fungsi. Berikut merupakan desain konsep produk *clothes cabinet knock-down* sesuai dengan varian terbaik yang dipilih.



Analisis tegangan dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan yang terjadi saat komponen menerima pembebanan. Analisis tegangan yang dilakukan dengan *software* Solidworks 2018 dapat dilihat pada Gambar 3.2. Kriteria luluh von Mises menyatakan bahwa jika tegangan von Mises suatu material di bawah beban sama atau lebih besar dari batas luluh material yang sama di bawah tegangan sederhana, maka material akan luluh (Simscale, 2021).

Gambar 3.1 Desain *clothes cabinet knock-down*

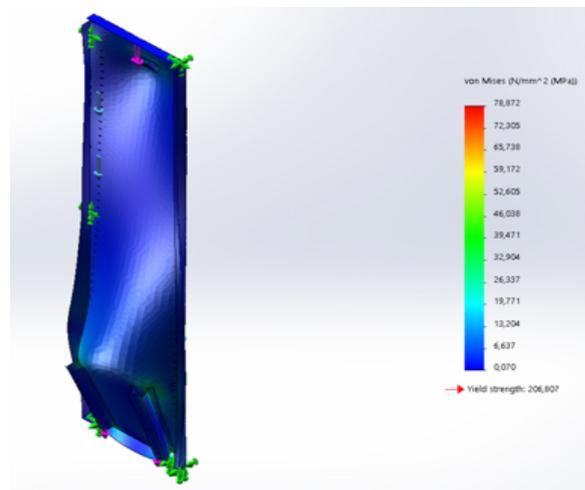
Tabel 3.6 Spesifikasi *clothes cabinet knock-down*

Spesifikasi <i>Clothes Cabinet Knockdown</i>	
Dimensi Total <i>Clothes Cabinet Knockdown</i>	
Dimensi Panjang	1000 mm
Dimensi Lebar	500 mm
Dimensi Tinggi	1800 mm
Massa Total	97,28 kg
Material	SPCC Tebal 0,9 mm
Fitur	3 <i>Adjustable Shelf</i>
	<i>Hanger</i>
	3 <i>Drawer</i>
	Pintu Geser
Jenis Konstruksi	<i>Knockdown</i>
Kapasitas Muatan	
Shelf	20 kg
Hanger	15 kg
Drawer	20 kg

3.2 Analisis Desain

Setelah dilakukan pembuatan desain kemudian dilanjutkan dengan tahap analisis desain menggunakan metode *finite element analysis* menggunakan *software* Solidworks 2018. *Finite element analysis* adalah metode numerik untuk memecahkan masalah teknik dan fisika matematika. Berguna untuk masalah dengan geometri rumit, pembebanan, dan sifat material di mana solusi analitik tidak dapat diperoleh (Barkanov, 2001).

3.2.1 Analisis Tegangan (*Stress Analysis*)



Gambar 3.2 Analisis tegangan

Analisis tegangan dilakukan pada komponen yang menerima beban statis dari berat komponen lain yang terhubung beserta muatannya. Analisis tegangan dapat dilihat pada Tabel 3.7.

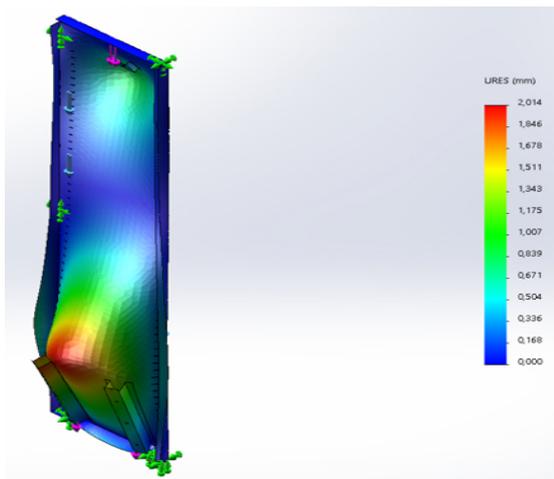
Tabel 3.7 Analisis tegangan

Komponen	Analisis Tegangan	
	Tegangan Von Mises	Tegangan Luluh Ijin
Mid Wall Assy	78,872 N/mm ²	206,807 N/mm ²
Side Wall Left Assy	66,274 N/mm ²	206,807 N/mm ²
Rear Wall Left Assy	62,184 N/mm ²	206,807 N/mm ²
Rear Wall Right Assy	61,178 N/mm ²	206,807 N/mm ²
Shelf	136,306 N/mm ²	206,807 N/mm ²
Bottom Plate Assy	116,769 N/mm ²	206,807 N/mm ²

Hasil analisis tegangan pada 6 komponen pada Tabel 3.7 masih dalam kategori aman karena keseluruhannya nilai tegangan yang terjadi tidak melebihi nilai tegangan luluh yang diijinkan.

3.2.2 Analisis Lendutan (*Displacement Analysis*)

Analisis lendutan dilakukan untuk mengetahui berapa angka lendutan yang terjadi pada komponen saat menerima beban statis. Analisis lendutan yang dilakukan dengan *software* Solidworks 2018 dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Analisis lendutan

Analisis lendutan dilakukan pada komponen yang menerima beban statis dari berat komponen lain yang terhubung dan muatannya. Analisis lendutan dapat dilihat pada Tabel 3.8.

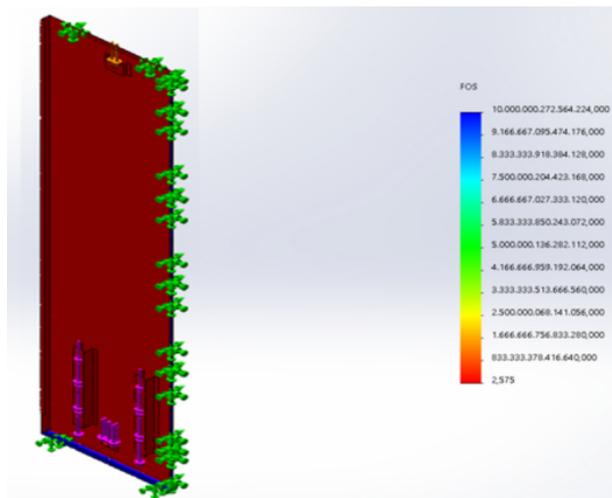
Tabel 3.8 Analisis Lendutan

Analisis Lendutan	
Komponen	Lendutan
Mid Wall Assy	2,014 mm
Side Wall Left Assy	2,586 mm
Rear Wall Left Assy	0,313 mm
Rear Wall Right Assy	0,314 mm
Shelf	5,33 mm
Bottom Plate Assy	0,455 mm

3.3.3 Analisis Faktor Keamanan (*Factor of Safety Analysis*)

Faktor keamanan atau *Factor of Safety* adalah parameter yang biasa digunakan untuk menunjukkan tingkat kekuatan suatu komponen mekanik terhadap beban statik, baik yang bersifat konstan maupun sesaat (Syaifuldin, dkk. 2019). Analisis faktor keamanan dilakukan untuk mengetahui angka faktor keamanan yang dimiliki oleh komponen yang menerima pembebanan statis.

Analisis faktor keamanan yang dilakukan dengan *software* Solidworks 2018 dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Analisis faktor keamanan

Analisis faktor keamanan dilakukan pada komponen yang menerima beban statis dari berat komponen lain yang terhubung beserta muatannya. Analisis faktor keamanan dapat dilihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Analisis Faktor Keamanan

Analisis Faktor Keamanan	
Komponen	Faktor Keamanan
Mid Wall Assy	2,62
Side Wall Left Assy	2,6
Rear Wall Left Assy	3,3
Rear Wall Right Assy	3,3
Shelf	1,5
Bottom Plate Assy	1,77

Tabel 3.9 hasil analisis faktor keamanan menunjukkan bahwa angka faktor keamanan minimum yang dimiliki komponen saat menerima beban masih termasuk dalam kategori aman, karena faktor keamanan minimum yang harus dimiliki sebuah komponen adalah 1.

3.3.4 Analisis Efektivitas Pengemasan Produk *Clothes Cabinet Knock-down*

Analisis efektivitas pengemasan produk dilakukan untuk mengetahui perbandingan efektivitas pengemasan dan pengiriman produk *clothes cabinet knock-down* dan *Completely Build-Up (CBU)*.

1. Kardus Kemasan *Knock-down*

Spesifikasi kardus yang digunakan untuk mengemas produk *clothes cabinet knock-down* dapat dilihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Spesifikasi kardus *knock-down*

Kardus Kemasan Knockdown	
Panjang	1820 mm
Lebar	540 mm
Tinggi	295 mm
Volume	0,29 m ³
Tebal kardus	5 mm
Panjang bentangan	2407 mm
Lebar bentangan	1127 mm
Luas bentangan (P.bentangan x L.bentangan)	2,7 m ²
Harga kardus/m ²	Rp 38.000
Harga kardus versi 1 (Harga kardus/m ² x Luas bentangan)	Rp 102.600

2. Kardus Keamanan CBU

Spesifikasi kardus yang digunakan untuk mengemas produk

clothes cabinet CBU dapat dilihat pada Tabel 3.11.

Tabel 3.11 Spesifikasi kardus *knock-down*

Kardus Kemasan Knockdown Versi 2	
Panjang	1017 mm
Lebar	534 mm
Tinggi	1810 mm
Volume	0,98 m ³
Tebal kardus	3 mm
Panjang bentangan	3178 mm
Lebar bentangan	2334 mm
Luas bentangan (P.bentangan x L.bentangan)	7,4 m ²
Harga kardus/m ²	Rp 7.300
Harga kardus CBU (Harga kardus/m ² x Luas bentangan)	Rp 54.020

Berdasarkan data dimensi kardus pada Tabel 3.10 dan 3.11 didapatkan bahwa terdapat pengurangan volume pengemasan sebesar 70% yaitu dari 0.98 m³ menjadi 0.29 m³.

3. Analisis Pemuatan Produk

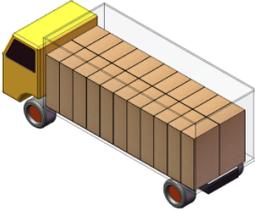
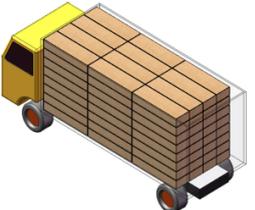
Analisis pemuatan produk dilakukan untuk mengetahui perbandingan jumlah dan biaya pengiriman produk produk *clothes cabinet knock-down* dan *clothes cabinet CBU*. Analisis pemuatan produk dilakukan dengan menggunakan referensi ukuran bak armada truk Fuso milik PT. ATMI Solo. Biaya yang diperlukan untuk mengoperasikan armada truk Fuso dari Solo menuju Jakarta adalah sebesar Rp 5.600.000. Tabel 3.12 menunjukkan ukuran bak armada truk Fuso milik PT. ATMI Solo.

Tabel 3.12 Dimensi bak truk Fuso

Dimensi Bak Truk	
Panjang	600 cm
Lebar	235 cm
Tinggi	240 cm

Setelah didapatkan data dimensi bak dan biaya operasional armada truk Fuso selanjutnya dilakukan perbandingan jumlah produk yang dapat dimuat dan biaya yang diperlukan untuk mengirim produk *clothes cabinet knock-down* dan *Clothes Cabinet CBU*. Perhitungan biaya pengiriman produk *clothes cabinet knock-down* dan *Clothes Cabinet CBU* dapat dilihat pada Tabel 3.13.

Tabel 3.13 Perhitungan biaya pengiriman
Perhitungan Biaya

CBU	Knockdown
	
Jumlah produk : 22 buah	Jumlah produk : 96 buah
Harga kardus : Rp 54.020	Harga kardus : Rp 102.600
Biaya operasional armada truk (Solo – Jakarta) : Rp 5.600.000	Biaya operasional armada truk (Solo – Jakarta) : Rp 5.600.000
Biaya pengiriman 1 produk : Rp 254.545	Biaya pengiriman 1 produk : Rp 58.333
Biaya kardus + pengiriman : Rp 308.565	Biaya kardus + pengiriman : Rp 160.933

Nilai penghematan biaya pengiriman dan pengemasan per unit produk *clothes cabinet* apabila konstruksinya diubah dari *completely build up* menjadi *knock-down* adalah sebesar Rp 147.632 atau 47 %.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Komponen *clothes cabinet knock-down* yang mengalami pembebanan memenuhi kategori aman sesuai dengan ketentuan kekuatan berdasarkan analisis tegangan, analisis lendutan, dan analisis faktor keamanan menggunakan simulasi *finite element analysis* terdapat pada *software Solidworks 2018*.
2. Dengan adanya pengembangan desain *clothes cabinet knock-down* mampu mengurangi dimensi volume pengemasan sebesar 70 % dari 0.98 m³ menjadi 0.29 m³.
3. Nilai pengurangan biaya pengiriman dan pengemasan yang diperoleh dengan konsep *knockdown* sebesar 47 % dari Rp 308.565 menjadi Rp 160.933.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Barkanov, E. (2001). Introduction to the finite element method. *Institute of Materials and Structures Faculty of Civil Engineering Riga Technical University*, 1-70.
- Chandra, D.A (2013). Perencanaan Furnitur dan Aksesori di "Eclectic Resto & Bar" Cilandak Town Square.
- Putri, F. A., Amri, H., & Suryani, L. (2019). Review Industri Baja. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang.
- Simscale (2021). *What is von mises stress ?*. Diakses pada tanggal 19 Mei 2022. URL : <https://www.simscale.com/docs/simwiki/fea-finite-element-analysis/what-is-von-mises-stress/>
- Siyoto, S. & Sodik, M.A. (2015). *Dasar metodologi penelitian*. Literasi Media Publishing.

Sugiyono, D. (2013). Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D.

Syaifudin, A., Kalista, B. M., & Windharto, A. (2019). Analisis deformasi pada coupling element dari automatic mechanical coupler: studi kasus LRT Palembang. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 14 (2), 58-63.