

Kajian Teknis Dan Biaya Pekerjaan *Facade Curtain Wall Unitized System* Pada Proyek Bangunan Gedung

Mochamad Sonhaji¹; Gita Puspa Artiani^{1*)}; Indriasari¹

1. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana, Jatiwaringin, Jakarta 13077 Indonesia

^{*)}Email: gita_artiani@unkris.ac.id

Received: 5 Juni 2024 / Accepted: 12 Juni 2024 / Published: 22 Agustus 2024

ABSTRACT

The façade curtain wall is a crucial component of a building, as it is the first to be influenced by external factors such as wind loads, rain, temperature, and light, thus determining the feasibility and market value of high-rise building projects. The construction process begins with design, aluminum structure analysis, fabrication, and on-site installation, all of which require special attention to achieve the desired results. Failure to do so may lead to structural failure, resulting in air and water leakage into the building's interior. This study aims to evaluate the technical and economic feasibility of the aluminum structure in façade curtain wall projects. The research methods include the analysis of moments, deflection, and shear strength in aluminum connections, as well as the calculation of unit costs. Technical data were obtained through structural testing using M6 A2-70 diameter pilot screws and M-10 and M-12 Grade A2/70 bolts and nuts in aluminum mullion connections. The results indicate that the moments and deflection in the aluminum structure are within the allowable limits, and the shear checks on the connections do not exceed the specified shear strength, signifying that the connections can safely bear the applied loads. Additionally, the unit cost calculation of Rp 621,836/m² demonstrates that the cost of aluminum façade work is efficient and below the industry standard average.

Keywords: Façade curtain wall, Aluminum structure, Technical feasibility, Moment and deflection analysis, Cost efficiency

ABSTRAK

Façade curtain wall merupakan salah satu komponen dari suatu bangunan gedung yang pertama menerima pengaruh dari luar gedung baik dari beban angin, hujan, suhu dan cahaya,[1] sehingga dapat menentukan kelayakan dan nilai jual proyek gedung bertingkat. Proses pengerjaannya di mulai dari proses desain, analisis struktur aluminium, fabrikasi, dan instalasi di lapangan haruslah menjadi perhatian khusus untuk mencapai hasil yang diinginkan, jika tidak hal ini akan menyebabkan kegagalan struktur yang mengakibatkan kebocoran udara dan air yang masuk ke area interior gedung. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomi dari struktur aluminium pada pekerjaan façade curtain wall. Metode penelitian mencakup analisis momen, defleksi, dan shear strength pada sambungan aluminium, serta perhitungan biaya satuan pekerjaan. Data teknis diperoleh melalui pengujian struktur menggunakan pilot screw diameter M6 A2-70 dan bolt dan nuts M-10 dan M-12 Grade A2/70 pada sambungan mullion aluminium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa momen dan defleksi pada struktur aluminium berada dalam batas maksimum yang diizinkan, dan shear check pada sambungan tidak melebihi shear strength yang ditetapkan. Ini menandakan bahwa sambungan mampu menahan beban yang diberikan dengan aman. Selain itu, perhitungan harga satuan sebesar Rp 621,836/m² menunjukkan bahwa biaya pekerjaan aluminium façade ini efisien dan berada di bawah rata-rata standar industri.

Kata kunci: Façade curtain wall, Struktur aluminium, Kelayakan teknis, Analisis momen dan defleksi, Efisiensi biaya

1. PENDAHULUAN

Sektor konstruksi harus terus berinovasi dan berkembang sesuai dengan kemajuan teknologi. Salah satu pekerjaan yang selalu berubah dan dapat ditingkatkan adalah pekerjaan *façade* yang merupakan salah satu komponen penting penentu kelayakan proyek gedung bertingkat tinggi.[2] *Aluminium-Glazing Curtain Wall Unitized System* merupakan jenis pekerjaan *façade* yang paling populer. [3] Sistem ini tidak hanya berperan dalam estetika bangunan tetapi juga dalam fungsi termal dan efisiensi energi.[4] *Curtain wall unitized* merupakan teknologi yang mengintegrasikan panel-panel kaca dan bingkai aluminium yang dirakit di pabrik dan dipasang secara modular pada struktur bangunan, selain itu juga didefinisikan sebagai penutup bangunan, yang memiliki fungsi utama sebagai pemisah antara dalam dan luar ruangan.[5] Berdasarkan data dari *The Council on Tall Buildings and Urban Habitat* (CTBUH) Jakarta menempati peringkat ke 12 (dua belas) dengan jumlah gedung pencakar langit terbanyak di dunia per 13 Oktober 2021. Ibu kota Indonesia ini tercatat memiliki 107 pencakar langit dengan ketinggian di atas 150 meter dan 42 gedung di atas 200 meter, dimana 70% atau sekitar 75 gedung dari total jumlah gedung pencakar langit tersebut menggunakan *façade* (eksterior) *full glass*. [6] Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan *façade* (eksterior) *full glass* sedang menjadi trend dalam pembangunan gedung pencakar langit pada saat ini.

Dimana pada setiap proyek pasti mempunyai ciri khas bangunan tersendiri, seperti halnya proyek Thamrine Nine Tower 2 Jakarta yang mempunyai *façade full glass* panel sebagai penutup luar dan *aluminum extrusion* pada bagian dalam. Yang mana *aluminum extrusion* selain untuk memberikan kesan keindahan dalam segi arsitektur juga berguna sebagai struktur penahan beban dari *façade panel glass*. [7] Keuntungan dari struktur aluminium seperti mudah dalam pemasangan, memiliki berat jenis yang lebih ringan dibandingkan baja, tahan cuaca, mudah dibentuk, memiliki nilai estetika yang lebih baik, tahan terhadap karat tahan air, rayap, maupun keropos. [8]

Material yang digunakan untuk menahan beban *façade glass* adalah aluminium dimana aluminium vertikal biasa disebut *mullion* dan aluminium horizontal disebut *transom*. Dari beberapa diantaranya pekerjaan *façade* merupakan salah satu pekerjaan yang menentukan kelayakan dan nilai jual dari sebuah bangunan tinggi komersial, selain itu biaya untuk pekerjaan *façade* tidak terlalu banyak dan waktu yang diberikan tidak lama. [9]

Menurut Masril, 2019 faktor keamanan terhadap desain struktur *façade* untuk *curtain wall* pada gedung *high-rise building* sudah sangat besar, terbukti dengan analisa yang sudah menggunakan SNI 03-1726-2012 yang memperhitungkan beban gempa. [10] Sedangkan Diputra, Bayu Gartika (2019) menyimpulkan bahwa metode *façade curtain wall stick*, paling efisien dan efektif terhadap biaya dan waktu karena lebih produktif dan lebih cepat serta lebih hemat biaya dibandingkan dengan metode *spider fitting*. [9] Dan penelitian tentang karakteristik kekuatan leleh lentur baut besi dengan beberapa variasi diameter baut, yang dilakukan oleh Herawati, Evalina dkk. (2017) [11] menyimpulkan hasil bahwa Nilai Fyb baut baja lebih tinggi dibandingkan baut besi, hal ini berkaitan dengan perbedaan pada unsur penyusun bahan pembuat baut disamping rasio bentang dan diameter baut pada pengujian yang digunakan sebagai penyambung pekerjaan *façade*.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai kajian teknis dari kekuatan struktur aluminium sebagai struktur penahan *façade curtain wall glass*, dimana akan di hitung pula *Fixing* dan *Connection* aluminium vertikal (*mullion*) dengan aluminium horizontal (*transom*), serta bagaimana *bolt and nuts* pada aluminium *mullion connection* yang terjadi, selain itu perhitungan rencana anggaran biaya dilakukan berdasarkan analisa harga satuan pekerjaan sehingga dapat diketahui apakah pekerjaan *façade* ini lebih efisien ditinjau berdasarkan biaya pelaksanaannya.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

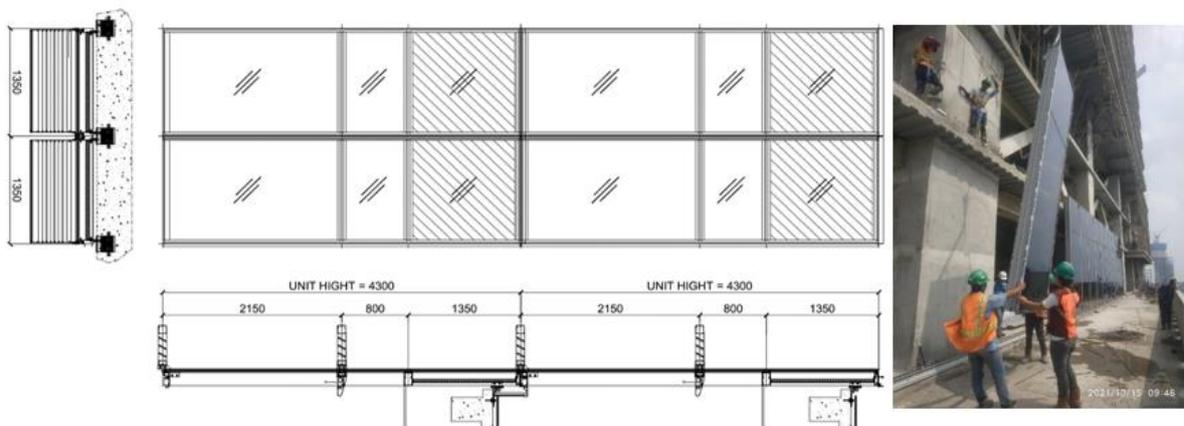
Lokasi penelitian berada pada proyek Thamrin *Nine Tower 2* berada di jalan M.H Thamrin No.10 Gondangdia Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat dan memiliki Batas Utara di Jl. Baturaja, Batas Selatan di Thamrine *Nine Tower 1*, Batas Barat di Jl. Kalianda dan Batas Timur di UOB Plaza Tower, seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Proyek Thamrin *Nine Tower 2*

2.2. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil peninjauan dan pengamatan langsung dilokasi rencana pembangunan, seperti luas tanah sebesar 570.000 m², luas bangunan sebesar 103.584 m², jumlah lantai sebanyak 52 Lantai tower, 9 podium dan 4 *basement* serta tinggi bangunan 302.050 m. Desain tekanan angin yang digunakan berdasarkan standar dari Australia, HB 212-2002 berdasarkan standar tersebut diambil beban angin negatif *Wind Pressured* dengan nilai $V = 32 \text{ m/s}$ (64 Kg/m²) periode 50 tahunan, dan untuk desain beban angin pada kondisi layan (*serviceability design*) nilai $V = 40 \text{ m/s}$ (100Kg/m²) periode 500 tahunan pada kondisi batas (*strength design*). Tinggi panel *typical* yang digunakan sebesar 4300mm, lebar panel *typical* sebesar 1350mm dan tebal kaca sebesar 8mm + 12 AS + 8mm. Sedangkan untuk pekerjaan *façade* pada proyek *Thamrine Nine* beban angin menggunakan referensi dari *Thamrine nine Development Final Report Cladding Pressures By RWDI* yaitu sebesar 2 Kpa atau 200kg/m². Data-data tersebut terlihat pada *layout* desain panel aluminium seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Layout Panel Aluminium *Curtain Wall Typical*

Selanjutnya untuk berat *dead load* panel *typical* ukuran 1350 mm x 4300 mm dapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1. Data *Dead Load* Panel *Typical*

<i>Dead load panel typical</i>		
Alumunium Transom		
Sill	4.19kg/m x 1.35m	= 5.66kg
Mid 1	4.89kg/m x 1.35m	= 6.60kg
Mid 2	4.89kg/m x 1.35m	= 6.60kg
Adaptor sill dan gutter	(0.31kg/m x 1.25m) x 2	= 0.93kg
Glass adaptor mid	(0.62kg/m x .3.5m)	= 1.70kg
Alumunium hollow 1	(1.77kg/m x 1.3.5m)	= 6.51kg
Alumunium hollow 2	(1.77kg/m x 1.3.5m)	= 4.578kg
Alumunium blade sunshade	(0.93kg/m x 1.3.5mx3) x 2	= 4.578kg
Gutter	4.44 kg/m x 1.35m	= 5.99kg
Total		= 24.85 kg
Alumunium Mullion		
Male	3.84kg/m x 4.3m	= 16.51kg
Female	3.21kg/m x 4.3m	= 13.80kg
Bracket sunshade		
Total	(1.70kg x 0.120m) x 2	= 0.48kg
		= 30.31kg
Kaca		
Kaca (<i>vision 1</i>)	(2.15mx 1.35 m x 0.016m x 2500 kg/m ³)	=116.1kg
Kaca (<i>vision 2</i>)	(0.8mx 1.35 m x 0.016m x 2500 kg/m ³)	= 43.2kg
Kaca (<i>spandrel</i>)	(1.35m x 1.35 m x 0.016m x 2500 kg/m ³)	= 72.9kg
Tota Panel Load		= 309kg

Sumber : Data Proyek, 2023[6]

Berdasarkan tabel 1 untuk panel *typical* ukuran (L x T) 1350 mm x 4300 mm adalah seberat 309kg, sedangkan Untuk beban *wind load* menggunakan referensi dari *Thamrine nine Development Final Report Cladding Pressures* By RWDI yaitu sebesar 2 Kpa atau 200kg/m². Ukuran panel *typical* adalah Lebar x Tinggi (1.35m x4.3m) = 5.085m² (Luas Panel *Typical*)

2.3. Analisis Biaya

Penulis menggunakan metode analisis harga satuan untuk menganalisis biaya. Analisis rencana anggaran biaya yang dilakukan peneliti adalah sebagai berikut: Membuat gambar rencana bangunan dan menghitung jumlah pekerjaan, membuat daftar analisis harga satuan pekerjaan dengan harga upah tenaga kerja yang diperlukan untuk setiap posisi yang didasarkan pada proyek *Thamrine Nine Tower 2* Jakarta. Selanjutnya membuat daftar satuan pekerjaan dan kemudian membuat daftar anggaran biaya, dimana masing-masing pekerjaan dihitung dengan mengalikan volume dengan harga satuan pekerjaan. Tahap terakhir adalah membuat rekapitulasi biaya total yang menjadi parameter untuk menentukan apakah biaya pekerjaan *façade* lebih efisien.[12] Adapun data-data kebutuhan material dan tenaga kerja dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Kebutuhan Material Dan Tenaga Kerja

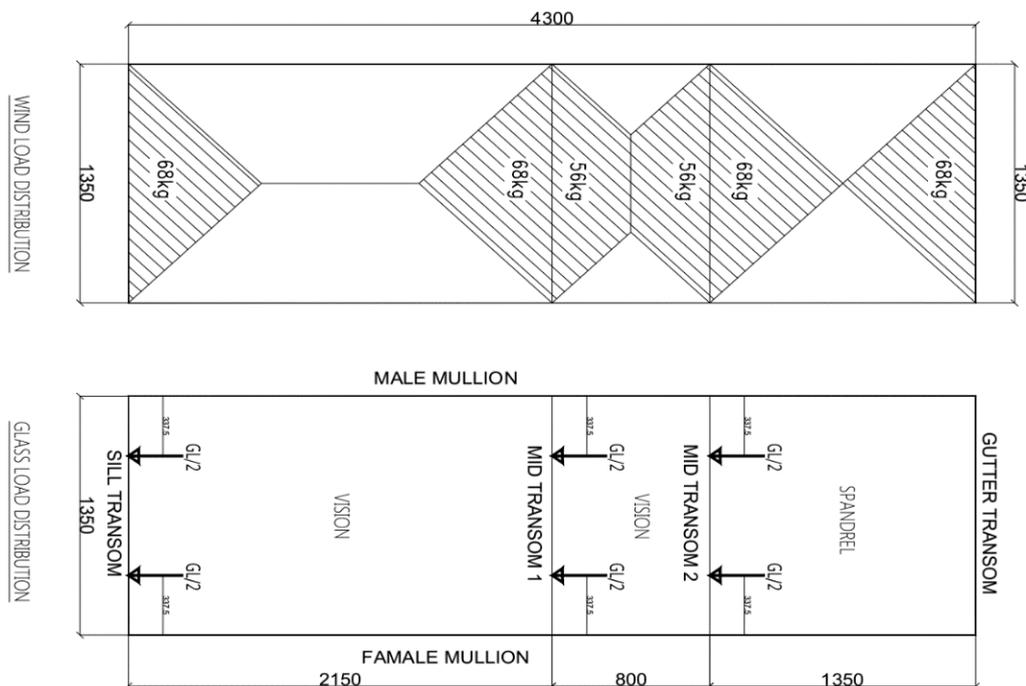
Kebutuhan material dan tenaga kerja	
1.	Profil Aluminium: Panjang total profil aluminium dihitung berdasarkan jumlah panel typical dengan ukuran 4.3m x 1.35m. Diperoleh total panjang aluminium sebesar 201,615.6 meter dengan harga satuan Rp 50,000 per meter.
2.	Kaca: Luas kaca yang diperlukan adalah 103,584 m ² dengan harga satuan Rp 300,000 per m ² .
3.	Sealant: Diperlukan 2 tube sealant per panel, total 35,684 tube dengan harga satuan Rp 50,000 per tube.
4.	Baut dan Mur: Diperlukan 20 unit per panel, total 356,840 unit dengan harga satuan Rp 2,000 per unit.
5.	Upah tenaga kerja untuk pemasangan facade dihitung berdasarkan luas facade dengan upah Rp 200,000 per m ²

Sumber: Data Analisis, 2023

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Layout Desain Panel Aluminium

Pada langkah awal untuk menganalisis struktur aluminium adalah membuat desain panel sesuai dengan data profil aluminium dan modul yang telah di tentukan seperti pada Gambar 3. Hal ini bertujuan untuk mempermudah penulis menghitung berat dari panel dan mengetahui ukuran dari panel aluminium façade tersebut.



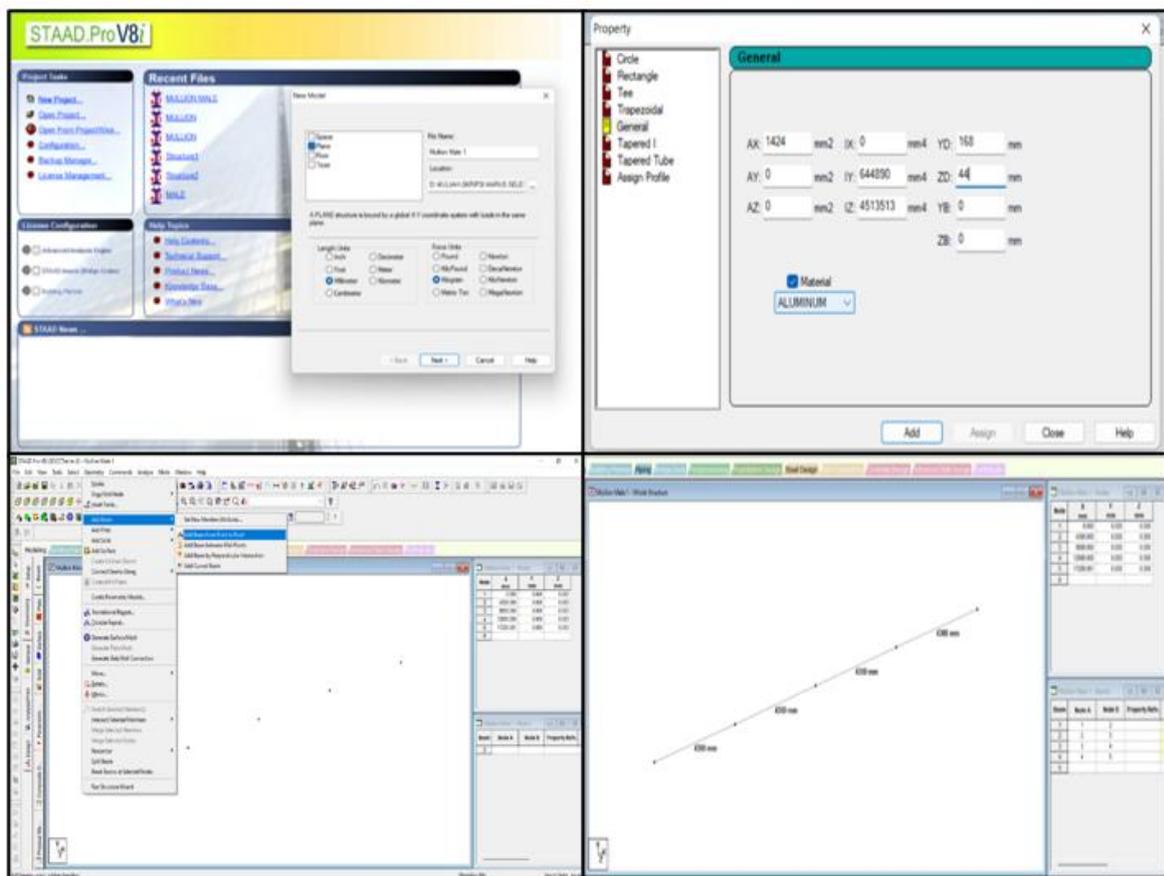
Gambar 3. Layout Distribusi *Wind Load* Dan *Glass Load*

Gambar 3 pada *wind load distribution* menerangkan terdapat beberapa segmen yang menunjukkan distribusi beban angin di facade dengan detail ukuran lebar total facade 4300 m.

Segmen-Segmen beban angin yaitu 898 mm, 898 mm, 868 mm, 868 mm, angka ini menunjukkan lebar dari setiap segmen di mana beban angin akan berdampak. Pola garis miring menunjukkan pembagian beban secara visual yang bisa membantu dalam analisis distribusi tekanan angin terhadap struktur. Sedangkan *glass load distribution* merinci struktur "Male Mullion" dan "Female Mullion" tercantum dengan ukuran spesifik. Adapun fungsi Mullions (Male dan Female) sebagai penopang vertikal yang memberi dukungan struktural dan membagi kaca menjadi panel-panel, sedangkan transoms sebagai penopang horizontal yang juga berfungsi sebagai pembagi panel dan memberi dukungan tambahan pada kaca.[13]

3.2. Analisis struktur aluminium

Untuk melihat momen dan defleksi yang terjadi akibat pembebanan dengan momen dan defleksi yang di ijin maka langkah yang dilakukan adalah menggunakan *Software Staad pro V8i* seperti pada Gambar 4 untuk mempermudah pada saat proses analisis, dimana kali ini dilakukan secara perframe atau dilakukan terpisah antara aluminium vertikal dan horizontal.



Sumber: Hasil tampilan olahan data Staad Pro V8i

Gambar 4 merupakan beberapa tampilan pemodelan hasil Staad Pro V8i yang menggunakan material aluminium Alloy 6063, dengan memasukan modulasi tinggi dari panel aluminium yaitu setinggi 4300 mm sesuai dengan gambar yang telah di buat sebelumnya. Setelah selesai memasukan tinggi dari panel aluminium akan muncul *point* titik sesuai dengan tinggi modulasi. Dilanjutkan dengan memasukan semua material propertis aluminium yang telah dibuat ke dalam modulasi

panel *curtain wall* aluminium.[14] Sedangkan hasil perhitungan momen dan defleksi dengan menggunakan perangkat Staad Pro V8i pada Tabel 3 dan Tabel 4 berikut.

Tabel 3. Perbandingan Momen dan Defleksi Pada Vertikal Alumunium

Vertikal Alumunium	Momen yang terjadi	Momen Maksimal	Defleksi yang terjadi	Defleksi maksimal
Male Mullion	49.281 Mpa	96.953 Mpa	13.20 mm	17.917
Female Mullion	63.522 Mpa	86.431 Mpa	15.88 mm	17.917

Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023

Tabel 4. Perbandingan Momen dan Defleksi pada Horizontal Alumunium

Horizontal Alumunium	Momen yang terjadi	Momen yang di ijinan	Defleksi yang terjadi	Defleksi yang di ijinan
Sill Transom				
Wind load	2.5214 Mpa	104.242 Mpa	0.6 mm	5.625 mm
Glass load	9.669 Mpa	104.242 Mpa	0.65 mm	5.625 mm
Mid Transom 1				
Wind load	3.671 Mpa	104.242 Mpa	0.13 mm	5.625 mm
Glass load	1.846 Mpa	104.242 Mpa	0.10 mm	5.625 mm
Mid Transom 2				
Wind load	2.888 Mpa	104.242 Mpa	0.11 mm	5.625 mm
Glass load	2.78 Mpa	104.242 Mpa	0.12 mm	5.625 mm
Gutter Transom				
Wind load	2.543 Mpa	104.242 Mpa	0.07 mm	5.625 mm

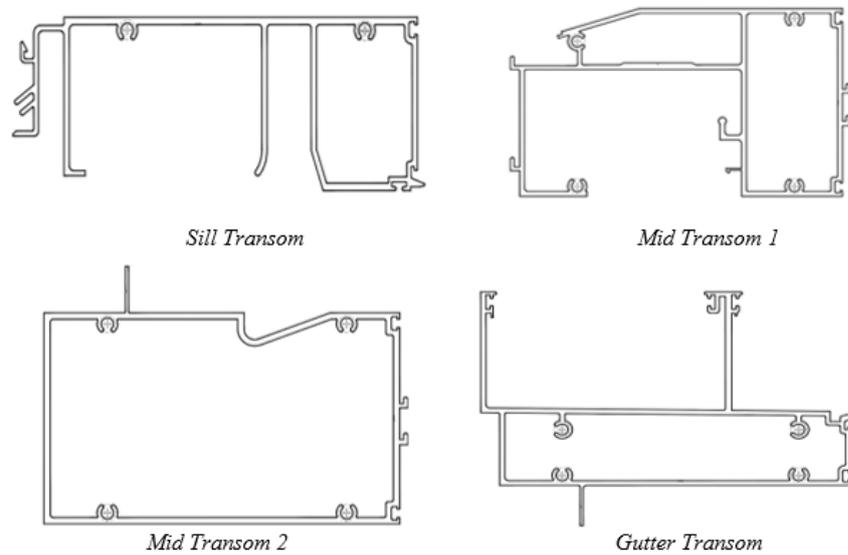
Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023

Dari tabel 3. dan tabel 4. hasil analisis alumunium dapat terlihat bahwa momen dan defleksi yang terjadi pada frame alumunium setelah dilakukan pembebanan tidak ada yang lebih besar dari momen dan defleksi yang di ijinan. Hal ini menunjukkan bahwa alumunium horizontal dan vertikal mampu untuk menahan beban *wind load* dan *dead load* yang telah ditentukan.

3.3. Analisis Fixing dan Connection

Selanjutnya untuk analisis pada 4 jenis *mullion* seperti pada Gambar 5. yang dihitung adalah antara vertikal alumunium dengan horizontal dengan menggunakan *Pilot screw* diameter M6 A2-70 dengan *screw properties* sebagai berikut:

A netto	: 20.1mm ²
0.2% <i>proof stress</i>	: 450 N/mm ²
<i>Ult. Tensile strength</i>	: 700 N/mm ²
<i>Shear strength</i>	: 311 N/mm ²



Gambar 5. Fixing dan Connection

Hasil perhitungan *Fixing* dan *Connection* antara horizontal aluminium dengan vertikal aluminium terdapat pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Analisis Perhitungan *Fixing* Dan *Connection*

No	Bagian Aluminium	Shear Check	Shear Strength
1	Sill transom	2.21 kg/mm ²	31.1 kg/mm ²
2	Mid Transom 1	1.56 kg/mm ²	31.1 kg/mm ²
3	Mid Transom 2	1.61 kg/mm ²	31.1 kg/mm ²
4	Gutter Transom	0.85 kg/mm ²	31.1 kg/mm ²

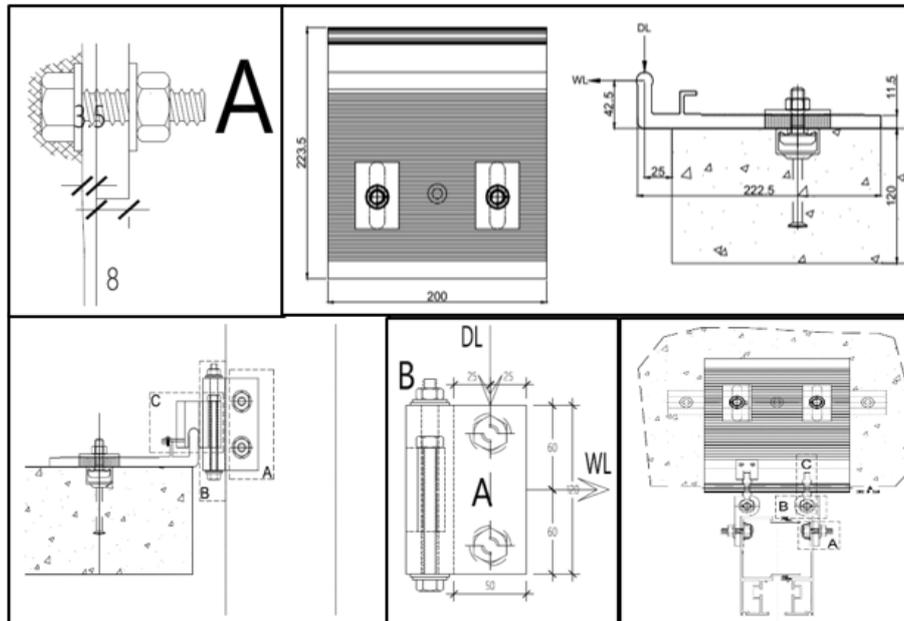
Sumber : Hasil pengolahan data 2023

Tabel 5 hasil analisis *Fixing* dan *Connection* antara horizontal aluminium dengan vertikal aluminium yang telah dilakukan, didapatkan bahwa *Shear check* yang terjadi pada *fixing* aluminium horizontal ke aluminium vertikal tidak ada yang lebih besar dari *Shear strength*. *Sill Transom* dengan nilai *shear check* adalah 2.21 kg/mm², yang cukup jauh di bawah *shear strength* maksimum yaitu 31.1 kg/mm². Ini menunjukkan bahwa sambungan di bagian ini cukup kuat dan dapat menahan beban yang diberikan tanpa masalah. Untuk *Mid Transom 1* dan *Mid Transom 2* kedua bagian ini juga menunjukkan nilai *shear check* (1.56 kg/mm² dan 1.61 kg/mm²) yang jauh lebih rendah daripada *shear strength* mereka. Ini menunjukkan bahwa sambungan di bagian-bagian ini juga kuat, dan *Gutter Transom* memiliki nilai *shear check* terendah (0.85 kg/mm²), yang juga menunjukkan kekuatan sambungan yang sangat baik dibandingkan dengan *shear strength* yang diizinkan.

3.4. Analisis Mullion Connection

Pada analisis dibahas mengenai *Connection* beban panel aluminium yang akan didistribusikan ke struktur utama. Pada *connecting* ini menggunakan baut bolt & nut M-12 Grade A2/70 seperti pada

Gambar 6. Dengan spesifikasi Anetto sebesar 84mm^2 ; 0.2% proof stress sebesar 450N/mm^2 ; Ultimate *Tensile strength* sebesar 700N/mm^2 dan *Shear strength* sebesar 311N/mm^2 . Dan hasil perhitungan didapatkan bahwa *Floor Bracket Alloy 6061* mampu untuk menahan beban *wind load* dan *dead load* pada panel.



Gambar 6. Penampakan Horizontal dan Vertikal *Connection Mullion* Serta *Floor Bracket*

3.5. Analisis Biaya

Selanjutnya perhitungan analisa biaya pekerjaan aluminium facade untuk proyek *Thamrine Nine Tower 2 Jakarta* dengan luas bangunan $103,584\text{ m}^2$, jumlah lantai 52 lantai tower, 9 podium, dan 4 basement, serta mencakup perhitungan terhadap kebutuhan material, tenaga kerja, alat, dan juga membandingkan efisiensi biaya dengan standar industri dan proyek serupa seperti pada Tabel 6. Dan perhitungan dilakukan berdasarkan atas kebutuhan material dan tenaga kerja yang sudah di sesuaikan dengan kondisi eksisting proyek *Thamrine Nine Tower 2 Jakarta* pada Tabel 5 berikut.

Tabel 6. Perhitungan Biaya Pekerjaan Aluminium Facade

Item	Volume/Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Biaya (Rp)
Profil Aluminium	201,615.6 meter	50,000/meter	10,080,780,000
Kaca	$103,584\text{ m}^2$	$300,000/\text{m}^2$	31,075,200,000
Sealant	35,684 tube	50,000/tube	1,784,200,000
Baut dan Mur	356,840 unit	2,000/unit	713,680,000
Total Biaya Material	-	-	43,653,860,000
Tenaga kerja	$103,584\text{ m}^2$	$200,000/\text{m}^2$	20,716,800,000
Sewa Alat	-	-	50,000,000
Total Biaya Keseluruhan			64,420,660,000

Sumber: Hasil Pengolahan data 2023

Luas total *façade* eksisting yaitu $103,584\text{ m}^2$, dimana dari hasil Tabel 6 didapatkan total biaya keseluruhan Rp. 64,420,660,000, maka harga satuan/ m^2 adalah total biaya keseluruhan

dibagi dengan luas total façade yaitu Rp. 621,836/m². Harga satuan tersebut dibandingkan dengan proyek serupa di daerah yang sama dan dalam kondisi pasar yang sama menunjukkan bahwa harga tersebut berada di kisaran bawah dari rentang Rp 600,000 hingga Rp 800,000 per m². Hal ini menunjukkan bahwa harga ini efisien. Pemilihan material berkualitas tinggi dan tenaga kerja yang terampil juga berpengaruh terhadap efisiensi biaya. Material yang tahan lama dan pemasangan yang berkualitas dapat mengurangi biaya pemeliharaan jangka panjang.[15]

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis kajian teknis pada struktur aluminium pekerjaan *façade curtain wall* dapat memenuhi syarat, karena tidak melebihi batas maksimum dari momen dan defleksi yang di iijinkan. Pada *fixing* dan *connection* horizontal aluminium ke vertikal aluminium terlihat bahwa *shear check* yang terjadi tidak melebihi dari *shear strength*, hal ini menunjukkan bahwa Pilot screw diameter M6 A2-70 mampu menahan beban yang di berikan. Sedangkan hasil pada *bolt and nuts* M-10 dan M-12 Grade A2/70 pada joint A dan Joint B untuk aluminium *mullion conection* didapatkan *shear check* yang terjadi tidak melebihi dari *Ultimate Tensile strength* sebesar 700N/mm² dan *Shear strength*nya sebesar 311N/mm², sehingga direkomendasikan mampu untuk menahan beban-beban dari panel tersebut. Implikasi untuk kajian teknis desain struktur menyatakan bahwa keamanan dan kekuatan sambungan antara komponen horizontal dan vertikal dalam *facade* ini tampaknya sangat memadai. Setiap komponen memiliki margin keselamatan yang tinggi, yang mengindikasikan bahwa desainnya efisien dan mampu menahan beban lebih besar dari yang diperkirakan tanpa mengalami kegagalan. Sedangkan hasil perhitungan harga satuan sebesar Rp 621,836 per m² untuk pekerjaan aluminium facade pada proyek ini dapat dikatakan efisien. Harga ini tidak hanya berada di bawah rata-rata standar industri tetapi juga mempertimbangkan skala ekonomis dan kualitas material serta tenaga kerja yang digunakan.

Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan untuk melakukan identifikasi risiko-risiko yang mungkin terjadi selama pelaksanaan proyek pemasangan *façade curtain wall* dengan metode mitigasi risiko, termasuk perencanaan kontingensi dan asuransi proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Revmen and Trijeti, "Tinjauan Metode Pelaksanaan Akibat Kerusakan Rangka Facade Curtain Wall Sistem Unitized," *Konstruksia*, vol. 6, no. 2, pp. 49–62, 2015.
- [2] L. B. Sihombing, "Bangunan Gedung Tinggi Di Proyek Xyz," pp. 294–301, 2021.
- [3] M. Amin and T. Kornawan, "Analisis Produktivitas Pekerjaan Instalasi Façade Curtain Wall Unitized System Pada Proyek High-Rise Building Dengan Metode Simulasi Operasi Konstruksi Berulang (Cyclone)," *Rekayasa Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 48–60, 2016.
- [4] N. Khuluk ABSTRAK, "Tinjauan Fasade Kota Kasablanka Dari Segi Instalasi Kaca," *J. Ilm. ARJOUNA*, vol. 3, no. 2, pp. 1–11, 2019, [Online]. Available: www.Google.com;2017
- [5] A. Surja, J. Budiman, and P. Nugraha, "Aplikasi Value Engineering Pada Pemilihan Elemen Fasad," *Dimens. Utama Tek. Sipil*, vol. 8, no. 1, pp. 01–16, 2021, doi: 10.9744/duts.8.1.01-16.
- [6] P. For and P. By, "Thamrin Nine Development – Tower 2 Jakarta , Indonesia Façade Specification," no. May, 2019.
- [7] S. Ramadhani, "Pengaplikasian Material Aluminium Composite Panel pada Perancangan Apartemen dan Soho di Kota Surabaya," vol. 2, no. 2, pp. 67–73, 2023.
- [8] J. Dinamika and V. Teknik, "Pengaruh Penambahan Unsur Aluminium Murni Pada Bahan Aluminium Scrap Terhadap Ketangguhan Impak Dan Struktur," vol. 6, no. April, pp. 58–68,

- 2021.
- [9] c. flores, “No TitleEΛENH,” *Ayan*, vol. 8, no. 5, p. 55, 2019.
 - [10] L. MURTINI, W., Sumaryati, S., Noviani, “Kata kunci 3,” *Kinabalu*, vol. 11, no. 2, pp. 50–57, 2019.
 - [11] E. Herawati and L. Karlinasari, “Karakteristik Kekuatan Leleh Lentur Baut Besi dengan Beberapa Variasi Diameter Baut,” pp. 217–222, 2017, doi: 10.5614/jts.2017.24.3.4.
 - [12] “SYSTEM CURTAIN WALL STICK DENGAN SYSTEM CURTAIN,” vol. 1, 2016.
 - [13] B. A. Wicaksono, “Karakteristik Sifat Fisis Danmekanis Paduan Al-Cu Perlakuan Aging,” pp. 1–55, 2010.
 - [14] X. Yun, Z. Wang, and L. Gardner, “Full-Range Stress–Strain Curves for Aluminum Alloys,” *J. Struct. Eng.*, vol. 147, no. 6, 2021, doi: 10.1061/(asce)st.1943-541x.0002999.
 - [15] D. Rahmad, “Pemilihan Material dan Proses Pengerjaannya,” pp. 1–226, 2019, [Online]. Available: <https://jazirahkomputer.blogspot.com/2019/03/makalah-pemilihan-material-dan-proses.html>