

EVALUASI KINERJA ATAP 3D *SPACE TRUSS* MENGUNAKAN CHS PADA GEDUNG SPPG TIPE 3

Alya Tsabitah Zahra^{1*}, Euis Kania Kurniawati¹ dan Hartono¹

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Sains Dan Teknologi, Univeritas Muhammadiyah Sukabumi,
Sukabumi, Indonesia

*E-mail: alyazahraa345@gmail.com

Received: 23 June 2026

Accepted: 12 July 2026

Published: 31 July 2026

Abstrak

Gedung Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Tipe 3 membutuhkan ruang kerja yang luas dan bebas kolom untuk mendukung aktivitas distribusi gizi yang kompleks. Namun, desain eksisting bangunan berdimensi 20×20 m ini masih menggunakan sistem rangka atap konvensional 2D yang memiliki keterbatasan dalam kapasitas ruang dan stabilitas struktur. Penelitian ini bertujuan melakukan perencanaan ulang rangka atap 2D konvensional menjadi rangka batang 3D *space truss* berbasis pipa baja *Circular Hollow Section* (CHS) untuk membandingkan kinerja struktur atap eksisting dan hasil *redesign* berdasarkan persyaratan SNI 1729:2020. Metode yang digunakan adalah kuantitatif deskriptif-komparatif melalui pemodelan dan analisis struktur menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan parameter beban sesuai SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa struktur atap eksisting belum memenuhi persyaratan keamanan akibat ketidakmampuan elemen tekan menahan tekuk, sedangkan model usulan 3D *space truss* memenuhi persyaratan kekuatan dan layan gaya aksial sesuai standard. Desain usulan memenuhi persyaratan kekuatan dan stabilitas struktur, memberikan distribusi gaya yang lebih merata, menurunkan rasio tegangan, serta menyediakan ruang bebas kolom yang lebih luas untuk mendukung fungsi bangunan. Namun, penggunaan sistem atap 3D *space truss* dengan profil CHS menghasilkan berat sendiri struktur yang lebih besar dibandingkan struktur atap eksisting. Dengan demikian, berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur, sistem rangka 3D *space truss* dengan pipa baja CHS dapat dipertimbangkan sebagai alternatif untuk perencanaan struktur atap bentang lebar.

Kata kunci: 3D *space truss*, *Circular Hollow Section* (CHS), ETABS, Gedung SPPG Tipe 3, SNI 1729:2020.

Abstract

The Type 3 Nutrition Service Unit (SPPG) building requires a spacious, column-free workspace to support complex nutrition distribution activities. However, the existing design of this 20×20 m building still uses a conventional 2D roof truss system, which has limitations in terms of space capacity and structural stability. This study aims to redesign the conventional 2D roof truss into a 3D *space truss* based on *Circular Hollow Section* (CHS) steel pipes to compare the structural performance of the existing roof and the redesigned structure based on the requirements of SNI 1729:2020. The method used was a quantitative descriptive-comparative approach through structural modeling and analysis using ETABS software based on load parameters in accordance with SNI 1727:2020 and SNI 1726:2019. The results of the study indicate that the existing roof structure does not yet meet safety requirements due to the inability of compression members to resist buckling, whereas the proposed 3D *space truss* model meets the strength and axial force serviceability requirements in accordance with the standards. The proposed design meets the structural strength and stability requirements, provides a

more even force distribution, reduces the stress ratio, and offers a wider column-free space to support the building's functions. However, the use of a 3D space truss roof system with CHS profiles results in a greater self-weight of the structure compared to the existing roof structure. Thus, based on the results of the structural performance evaluation, a 3D space truss system using CHS steel pipes can be considered as an alternative for the design of wide-span roof structures.

Keywords: 3D space truss, Circular Hollow Section (CHS), ETABS, SPPG Building Type 3, SNI 1729:2020.

Alya Tsabitah Zahra, et al. (2026). Evaluasi Kinerja Atap 3D Space Truss Menggunakan CHS pada Gedung SPPG Tipe 3. *Jurnal of Infrastructural in Civil Engineering*, Vol. (07), No. 02, pp: 104-118.

PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat terhadap fasilitas publik yang mampu memberikan pelayanan secara optimal, perencanaan bangunan gedung dituntut untuk memenuhi aspek keamanan, efisiensi, dan fungsionalitas secara bersamaan. Bangunan publik tidak hanya harus mampu mengakomodasi aktivitas operasional yang berlangsung di dalamnya, tetapi juga harus dirancang agar memiliki kinerja struktur yang andal selama umur layan bangunan. Salah satu fasilitas yang saat ini menjadi perhatian pemerintah adalah Gedung Satuan Pelayanan Pemenuhan Gizi (SPPG) Tipe 3 yang berfungsi sebagai pusat pengolahan, penyimpanan, dan distribusi makanan bergizi. Aktivitas pada bangunan ini memerlukan ruang kerja yang luas, terbuka, dan minim hambatan agar proses operasional dapat berlangsung secara efektif. Oleh karena itu, konsep bangunan bentang lebar menjadi pendekatan yang relevan karena mampu menyediakan ruang tanpa kolom di bagian tengah sehingga meningkatkan fleksibilitas tata ruang dan efisiensi penggunaan area. Peneliti [1] berpendapat bahwa struktur bentang lebar dirancang untuk memberikan ruang bebas kolom dengan jarak horizontal yang besar antar penyangga utama sehingga menghasilkan ruang dalam yang lebih terbuka, fleksibel, dan mampu mengakomodasi berbagai kebutuhan fungsi bangunan. Pada bangunan bentang lebar, sistem struktur atap memiliki peranan yang sangat penting karena bertugas menyalurkan seluruh beban yang bekerja menuju elemen struktur utama secara aman. Pilihan sistem struktur atap yang tepat akan meningkatkan kinerja struktur, keamanan, dan efektivitas penerapan sistem konstruksi selain memengaruhi kapasitas struktur untuk menahan beban gravitasi dan beban lateral. Struktur yang kurang optimal dapat menyebabkan meningkatnya risiko deformasi, ketidakstabilan, maupun pemborosan material. Oleh sebab itu, evaluasi terhadap sistem struktur atap menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa bangunan mampu memenuhi persyaratan keamanan, kekuatan, serta kenyamanan sesuai standar perencanaan yang berlaku.

Struktur atap Gedung SPPG Tipe 3 pada desain eksisting masih menggunakan sistem rangka atap 2D konvensional yang terbuat dari baja ringan. Sistem ini bekerja hanya pada satu bidang sehingga distribusi beban yang terjadi lebih banyak diteruskan ke arah kolom utama. Karakteristik tersebut menyebabkan kemampuan struktur dalam menahan kombinasi pembebanan menjadi lebih terbatas, terutama ketika menerima pengaruh beban lateral seperti angin maupun gempa. Selain itu, distribusi gaya yang tidak merata dapat mengurangi stabilitas struktur secara keseluruhan serta meningkatkan potensi terjadinya kegagalan pada elemen tertentu apabila tidak dirancang secara tepat [2]. Pada bangunan bentang lebar, keterbatasan sistem rangka 2D juga dapat mengurangi efisiensi pemanfaatan ruang karena memerlukan konfigurasi struktur yang lebih rapat untuk mempertahankan kekuatan dan kekakuan struktur. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa sistem rangka atap konvensional

masih memiliki beberapa keterbatasan apabila diterapkan pada bangunan dengan bentang yang relatif besar dan kebutuhan ruang bebas kolom yang tinggi.

Salah satu alternatif yang dapat diterapkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut adalah penggunaan sistem 3D *space truss*. Berbeda dengan sistem rangka dua dimensi, sistem ini bekerja secara tiga dimensi sehingga mampu mendistribusikan beban ke berbagai arah melalui jaringan batang yang saling terhubung. Mekanisme tersebut menghasilkan kekakuan struktur yang lebih tinggi, distribusi gaya yang lebih merata, serta kemampuan yang lebih baik dalam menahan pembebanan kompleks. Selain memberikan peningkatan pada aspek stabilitas, sistem 3D *space truss* juga memungkinkan terciptanya bentang yang lebih panjang tanpa memerlukan kolom di bagian tengah bangunan sehingga ruang yang tersedia menjadi lebih luas dan fleksibel. Dalam penerapannya, struktur baja untuk sistem ini harus dirancang sesuai ketentuan SNI 1729:2020 agar memenuhi persyaratan kekuatan, stabilitas, dan keamanan struktur [3]. Peneliti [4] menjelaskan bahwa sistem rangka ruang memiliki prinsip kerja yang serupa dengan rangka batang konvensional, tetapi mampu memberikan efisiensi struktur yang lebih baik pada bangunan bentang lebar karena beban dapat didistribusikan secara tiga dimensi ke seluruh elemen struktur.

Selain konfigurasi sistem struktur, pemilihan jenis profil baja juga berpengaruh terhadap kinerja struktur secara keseluruhan. Salah satu profil yang banyak digunakan pada struktur *space truss* adalah *Circular Hollow Section* (CHS). Menurut [4] Profil pipa baja CHS dengan penampang tertutup berbentuk lingkaran memberikan kekakuan torsional yang lebih baik, distribusi tegangan yang lebih merata, dan kekuatan yang relatif sama ke segala arah dibandingkan dengan profil terbuka. Peneliti [2] juga menjelaskan sistem rangka ruang tiga dimensi terdiri dari elemen batang yang dirakit secara tiga dimensi sehingga beban dapat didistribusikan secara merata. Sistem ini memiliki elemen dominan yang menerima gaya aksial tarik dan tekan, yang menghasilkan struktur yang sangat kaku dan stabil [2]. Oleh karena itu, profil baja yang dibutuhkan untuk sistem 3D *space truss* ini harus memiliki kapasitas tekan, stabilitas, dan ketahanan terhadap tekukan yang tinggi. Karakteristik tersebut menjadikan profil CHS dipilih untuk digunakan sebagai elemen batang pada sistem rangka batang yang didominasi oleh gaya aksial tarik maupun tekan.

Berdasarkan penelitian terdahulu [2] telah membahas mengenai penerapan sistem 3D *space truss* pada bangunan bentang lebar dan menyatakan bahwa sistem tersebut memiliki keunggulan dari aspek stabilitas, distribusi beban, serta efisiensi struktur. Meskipun demikian, penelitian yang secara khusus membahas penerapan sistem tersebut pada Gedung SPPG Tipe 3 masih sangat terbatas. Hingga saat ini, masih sedikit penelitian yang melakukan *redesign* struktur atap Gedung SPPG Tipe 3 dari sistem rangka baja ringan 2D konvensional menjadi sistem rangka batang 3D *space truss* berbahan pipa baja CHS. Selain itu, penelitian yang secara langsung membandingkan kinerja struktur antara kondisi eksisting dan hasil *redesign* berdasarkan parameter keamanan, kapasitas elemen, lendutan, dan efisiensi struktur juga masih belum banyak ditemukan. Kondisi tersebut menjadi dasar adanya celah penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut sehingga dapat memberikan referensi teknis bagi perencanaan struktur bangunan SPPG maupun bangunan bentang lebar lainnya.

Dengan mempertimbangkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur yang dihasilkan dari *redesign* struktur atap Gedung SPPG Tipe 3 dari sistem rangka baja ringan menjadi sistem 3D *space truss* berbahan pipa baja CHS. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kinerja struktur eksisting dan struktur hasil *redesign* berdasarkan parameter kekuatan, kapasitas tarik, kapasitas tekan, lendutan, serta efisiensi struktur sesuai ketentuan SNI yang berlaku. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS sehingga hasil penelitian diharapkan dapat memberikan rekomendasi teknis mengenai penerapan sistem 3D *space truss* berbahan pipa baja CHS

sebagai alternatif struktur atap yang lebih aman, efektif, dan sesuai untuk bangunan Gedung SPPG Tipe 3.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dan pendekatan deskriptif digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur atap 2D konvensional dan struktur atap 3D *space truss* pada bangunan Gedung SPPG Tipe 3 yang terletak di Jl. Komplek PU Pasir Putih, Kec. Jambi Selatan, Kota Jambi yang disebutkan dalam Permen PUPR 628/KPTS/M/2025 dan ditunjukkan pada Gambar 1. Perangkat lunak ETABS digunakan untuk memodelkan analisis untuk menentukan *respons struktur* terhadap pembebanan yang efektif sesuai ketentuan SNI 1729:2020 dan SNI 1726:2019.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Pengumpulan Data

Data pemodelan diperoleh dari dokumen Permen PUPR Nomor 628/KPTS/M/2025 sebagai perencanaan gedung SPPG Tipe 3 yang meliputi spesifikasi material, geometri bangunan, gambar kerja struktur, data pembebanan, dan standar perencanaan yang berlaku. Data *redesign* berasal dari hasil perencanaan struktur. Semua data ini dimodelkan dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ETABS sesuai dengan kondisi bangunan saat ini dan hasil redesign.

Pemodelan Struktur Menggunakan ETABS

Pada Gedung SPPG Tipe 3, pemodelan struktur dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS untuk membandingkan kinerja struktur atap eksisting dengan struktur *redesign*. Model dibuat berdasarkan gambar perencanaan, spesifikasi material, dimensi elemen, dan data pembebanan untuk mensimulasikan kondisi bangunan yang sebenarnya.

Pemodelan Struktur Eksisting

Dokumen perencanaan gedung SPPG Tipe 3 yang mengacu pada Permen PUPR Nomor 628/KPTS/M/2025 digunakan untuk membuat model struktur bangunan eksisting. Data parameter geometri bangunan yang digunakan sebagai input pemodelan ETABS disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Geometri dan Parameter Teknis Struktur Bangunan Eksisting

Sistem Struktur	Nilai	Satuan
Denah Bangunan	20 x 20	m
Tinggi Lantai Dasar	0,0	m
Tinggi Lantai 1	3,4	m
Tinggi Puncak Atap	3,14	m
Bentang Kuda-Kuda	20	m
Kemiringan Atap	15	°
Jarak Antar Kuda-Kuda	1	m
Jarak Antar Reng	0,4	m

Spesifikasi Material Bangunan Eksisting

Dokumen Permen PUPR 628/KPTS/M/2025 sebagai perencanaan gedung SPPG Tipe 3 digunakan untuk memodelkan material struktur eksisting. Spesifikasi material yang digunakan dalam pemodelan ETABS disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Material Struktur Bangunan Eksisting

Elemen Struktur	Material	Dimensi (mm)	Mutu (Mpa)
Ring Balok 1	Beton Bertulang	200 x 250	fc' 20
Ring Balok 2	Beton Bertulang	150 x 200	fc' 20
Ring Balok 3	Beton Bertulang	200 x 300	fc' 20
Kolom 1	Beton Bertulang	200 x 250	fc' 20
Kolom 2	Beton Bertulang	200 x 300	fc' 20
Kolom Praktis	Beton Bertulang	150 x 150	fc' 20
Dinding	Bata Ringan AAC		
Penutup Atap	Bitumen		
Rangka Atap	Baja Ringan Canal C	C75 x 30 x 9 x 0,75	fy 550
Reng	Baja Ringan Truss	Tebal 30 mm	

Pemodelan Struktur Usulan Redesign

Salah satu hasil perencanaan yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah model struktur *redesign*. Pemodelan ini mengusulkan untuk mengubah sistem rangka atap konvensional menjadi sistem rangka batang 3D *space truss* menggunakan profil pipa baja CHS. Parameter geometri hasil perencanaan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Geometri Struktur Bangunan *Redesign*

Sistem Struktur	Nilai	Satuan
Denah Bangunan	20 x 20	m
Tinggi Lantai Dasar	0,0	m
Tinggi Lantai 1	3,4	m
Tinggi Puncak Atap	3,04	m
Bentang Kuda-Kuda (L)	20	m
Kemiringan Atap (s)	8,5	°
Jarak Antar Kuda-Kuda	6,67	m
Jarak Antar Gording	2,5	m

Spesifikasi Material Usulan Redesign

Bangunan redesign menggunakan sistem rangka atap 3D *space truss* dengan profil pipa baja CHS SCH-20 6 inci dengan $f_y = 240$ MPa dan kolom baja profil WF mutu BJ-37.

Penutup atap diganti dengan Zincalume, sementara dinding tetap menggunakan bata ringan. Spesifikasi material yang digunakan dalam pemodelan ETABS disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Spesifikasi Material Struktur Bangunan *Redesign*

Elemen Struktur	Material	Dimensi	Mutu
Kolom	Baja Profil IWF	250 x 125 x 6 x 9 x 12 mm	Bj-37
Dinding	Bata Ringan AAC		
Penutup Atap	Zincalume	Tebal 0,55 mm	
Rangka Atap	CHS SCH-20	6 inci	fy 240 MPa
Brecing	BJTP	D16 mm	fy 240 MPa

Pembebanan Struktur

Pemodelan pembebanan pada perangkat lunak ETABS mengacu pada SNI 1727:2020 [5]. Beban yang diterapkan termasuk beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban hidup atap, beban angin, dan beban hujan. Beban hidup dan beban hidup atap dihitung berdasarkan fungsi bangunan, sedangkan beban mati tambahan mencakup penutup atap dan komponen nonstruktural lainnya. Beban angin dan hujan dihitung menggunakan SNI 1727:2020. Tabel 5-7 menampilkan data pembebanan yang digunakan dalam model ETABS.

Tabel 5. Data Pembebanan Struktur Bangunan Eksisting

Parameter	Nilai	Satuan
Beban Mati Tambahan Atap	0,244	kN
Beban Hidup	0,232	kN
Beban Hidup Atap		
Beban Angin Tekan	0,75	kN/m
Beban Angin Hisap	0,375	kN/m
Beban Air Hujan	0,1	kN

Tabel 6. Data Pembebanan Struktur Bangunan *Redesign*

Parameter	Nilai	Satuan
Beban Mati Tambahan Atap	0,58	kN
Beban Hidup Atap	0,96	kN

Tabel 7. Data Beban Angin Struktur Bangunan *Redesign*

Beban Angin	Nilai	Satuan	Keterangan
G	0,85		
V	32	m/s	
z	6	m	
Kz	0.9		
Kzt	1		SNI 1727:2020 Pasal 26.8.2
Kd	0.85		SNI 1727:2020 Tabel 26.6-1
Ke	1		SNI 1727:2020 Tabel 26.9-1
Eksposure Type	B		SNI 1727:2020 Pasal 26.7.2

Beban Gempa

Beban gempa dimodelkan dengan metode respons spektrum berdasarkan perangkat lunak Desain Spektra Indonesia RSA Kementrian PUPR untuk wilayah Kota Jambi, dengan kelas situs tanah sedang (SD) menggunakan parameter kategori risiko, faktor keutamaan

gempa, klasifikasi situs, dan parameter percepatan spektral, yang masing-masing besarnya adalah $S_s = 0,3205$ g; $S_1 = 0,2837$ g; $S_{DS} = 0,33$ g; dan $SD_1 = 0,37$ g.

Kombinasi pembebanan

Beban kombinasi untuk mencapai kondisi pembebanan yang paling penting pada struktur *redesign* Gedung SPPG Tipe 3 menggunakan metode LRFD berdasarkan SNI 1727:2020 dan SNI 1726:2019 [6] sebagai berikut:

1. $1,4D$
2. $1,2D + 1,6L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
3. $1,2D + 1,6(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0,5W)$
4. $1,2D + 1,0W + L + 0,5(L_r \text{ atau } S \text{ atau } R)$
5. $0,9D + 1,0W$

Desain Batang Tekan Atap 2D

Perencanaan elemen struktur batang tarik pada atap baja ringan 2D dilakukan sesuai SNI 7971:2013 sesuai Pasal 3.2 [7], pemeriksaan batang tarik pada rangka atap baja ringan dilakukan untuk memastikan bahwa penampang dapat menahan gaya aksial tarik secara aman dengan persamaan 1.

$$N^* \leq \phi_t N_t \quad (1)$$

Dengan N^* adalah gaya tarik terfaktor lebih kecil daripada nilai ϕ_t faktor reduksi struktur tarik yang dikalikan dengan N_t adalah kapasitas penampang nominal.

Desain Batang Tarik Atap 2D

Perencanaan elemen struktur batang tekan pada atap baja ringan 2D dilakukan sesuai SNI 7971:2013 sesuai Pasal 3.6.3 [7], pemeriksaan batang tekan pada rangka atap baja ringan dilakukan untuk memastikan bahwa penampang dapat menahan gaya aksial tekan secara aman dengan persamaan 2-3.

$$N^* \leq \phi_c N_s \quad (2)$$

$$N^* \leq \phi_c N_c \quad (3)$$

Dengan N^* adalah gaya tarik terfaktor lebih kecil daripada nilai ϕ_c faktor reduksi struktur tekan yang dikalikan dengan N_s adalah kapasitas penampang nominal dan N_c adalah kapasitas komponen struktur tekan.

Desain Batang Tarik Atap 3D Space Truss

Perencanaan elemen struktur batang tarik pada atap pipa baja CHS 3D *space truss* dilakukan sesuai SNI 1729:2020 [8], bahwa komponen struktur tarik harus merupakan nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas leleh pada penampang neto sesuai persamaan 4.

$$P_u \leq \phi_t P_n \quad (4)$$

Dengan P_u adalah gaya tarik terfaktor lebih kecil daripada nilai ϕ_t faktor reduksi struktur tarik yang dikalikan dengan P_n adalah tahanan penampang nominal.

Desain Batang Tekan Atap 3D *Space Truss*

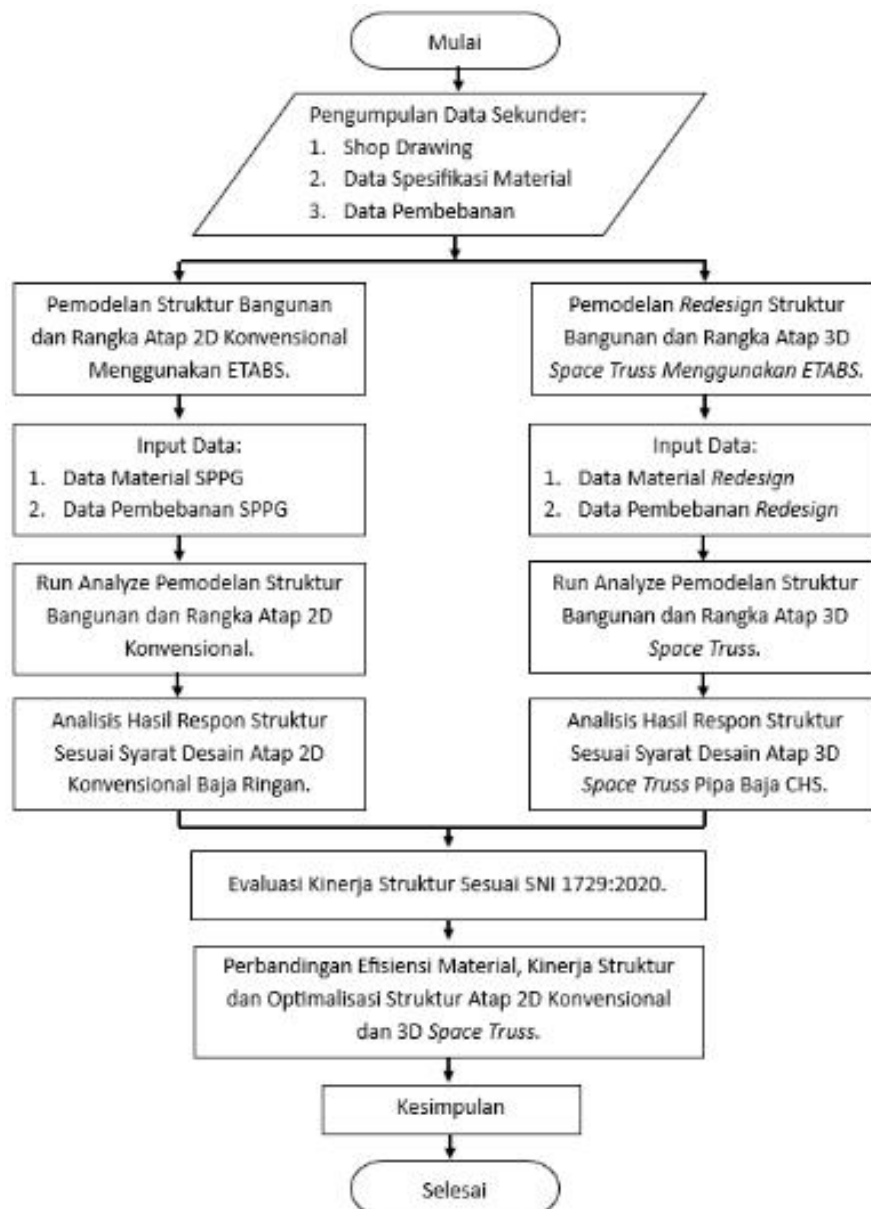
Perencanaan elemen struktur batang tekan pada atap pipa baja CHS 3D *space truss* dilakukan sesuai SNI 1729:2020 [8] bahwa komponen struktur tekan harus diambil dari nilai terendah yang diperoleh berdasarkan pada keadaan batas tekuk lentur, tekuk torsi sesuai persamaan 5.

$$P_u \leq \phi_c P_n \quad (5)$$

Dengan P_u adalah gaya tarik terfaktor lebih kecil daripada nilai ϕ_c faktor reduksi struktur tekan yang dikalikan dengan P_n adalah tahanan penampang nominal.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini sesuai alur dan tahapan dalam diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 2.



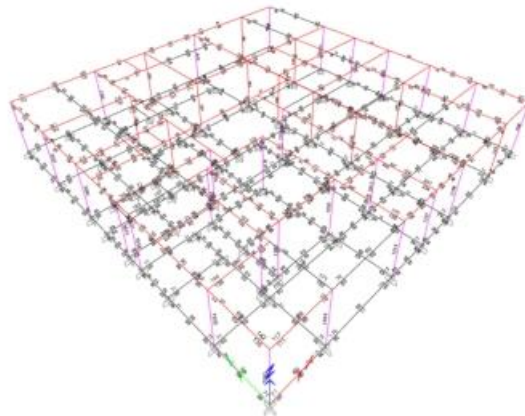
Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

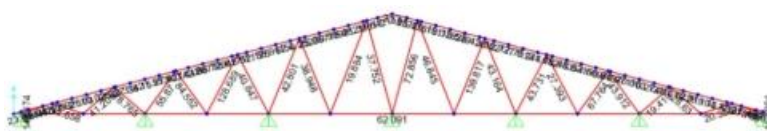
Hasil penelitian dihasilkan dari analisis struktur eksisting dan *redesign* menggunakan ETABS. Tujuan penelitian adalah untuk mengevaluasi bagaimana penerapan sistem atap 3D *space truss* yang terbuat dari pipa baja CHS berdampak pada kinerja struktur.

Bangunan Eksisting

Model struktur eksisting dianalisis menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan data pemodelan data dan elemen struktur dari Gedung SPPG Tipe 3. Perangkat lunak ETABS dapat menganalisis berbagai sistem struktur termasuk yang terbuat dari beton dan baja [9]. Hasil pemodelan digunakan untuk mengevaluasi kinerja struktur bangunan saat ini menggunakan SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 2847:2019 [5][6][10]. Gambar 4 dan 5 memperlihatkan bahwa beberapa elemen mengalami *overstress* yang menyebabkan mereka tidak memenuhi persyaratan desain. Akibatnya, struktur perlu di *redesign*.



Gambar 4. Hasil Analisis Struktur Bangunan SPPG



Gambar 5. Hasil Analisis Struktur Bangunan SPPG

Berdasarkan hasil analisis fokus terhadap struktur atap yang menunjukkan elemen struktur *overstress* salah satu kesalahan ada dalam pembebanan pada beban gempa. Sesuai SNI Parameter gempa Gedung SPPG Tipe 3 pada Permen No. 628/KPTS/M/2025 belum sepenuhnya mengacu pada SNI 1726:2019 karena nilai R , C_d , dan Ω_0 menggunakan acuan elemen arsitektural, bukan sistem struktur penahan gempa. Penggunaan $R = 1,5$ pada KDS D menghasilkan gaya gempa yang lebih konservatif namun kurang efisien [6]. Kondisi ini menunjukkan bahwa evaluasi dan *redesign* atap diperlukan untuk meningkatkan kapasitas, kekakuan, dan stabilitas struktur. Fakta bahwa angin kencang menyebabkan kerusakan pada atap Gedung SPPG di Kota Semarang menunjukkan betapa pentingnya merencanakan struktur atap dengan benar [11].

Evaluasi Kinerja Struktur Atap 2D

Evaluasi keamanan dan kelayakan fokus kepada sistem rangka atap 2D baja ringan Gedung SPPG Tipe 3 terhadap pembebanan yang bekerja. Setelah analisis ETABS selesai,

penilaian dilakukan untuk memastikan bahwa perhitungan sesuai dengan standar SNI 7971:2013 Baja Canai Dingin [7]. Kontrol lendutan, kapasitas tarik, dan kapasitas tekan elemen struktur adalah parameter yang dievaluasi. Hasil evaluasi terdapat pada Tabel 8-11.

Tabel 8. Kontrol Lendutan Atap 2D

Elemen	Bentang (m)	Lendutan Max (m)	Batas (m)	Status
Kuda-Kuda Atap Baja Ringan	20	0,012	0,056	AMAN

Berdasarkan hasil kontrol lendutan pada Tabel 8 Menurut Permen No. 628/KPTS/M/2025 [12] struktur memenuhi persyaratan lendutan $L/360$, dengan lendutan maksimum 0,012 m masih lebih kecil dari batas izin 0,056 m.

Tabel 9. Kontrol Tarik Atap 2D

Elemen	Jenis	N^* (kN)	N_t (kN)	ϕ_t	$\phi_t \times N_t$ (kN)	Status
Batang Atas	Tarik	28,71	45,599	0,9	41,039	AMAN
Batang Bawah		35,49	45,599	0,9	41,039	AMAN

Hasil analisis yang ditunjukkan pada Tabel 9 yaitu gaya tarik terfaktor (N^*) 28,71 kN pada batang atas dan 35,49 kN pada batang bawah, yang masih kurang dari kapasitas tarik desain ($\phi_t \times N_t$) sebesar 41,039 kN sesuai dipersyaratkan dalam SNI 7971:2013 Pasal 3.2. Oleh karena itu, elemen struktur aman terhadap gaya tarik.

Tabel 10. Kontrol Tekan Terhadap Leleh Atap 2D

Elemen	Jenis	N^* (kN)	N_s (kN)	ϕ_c	$\phi_c \times N_s$ (kN)	Status
Batang Atas	Tekan	31,365	53,646	0,85	45,60	AMAN
Batang Bawah		20,120	53,646	0,85	45,60	AMAN
Batang Tengah		28,053	53,646	0,85	45,60	AMAN

Hasil analisis pada Tabel 10 gaya tekan terfaktor (N^*) pada seluruh batang masih lebih kecil daripada kapasitas tekan leleh desain ($\phi_c \times N_c$) sebesar 45,60 kN. Kondisi ini memenuhi persyaratan SNI 7971:2013 Pasal 3.6.3. Oleh karena itu, elemen struktur aman terhadap gaya tekan terhadap leleh.

Tabel 11. Kontrol Tekan Terhadap Tekuk Atap 2D

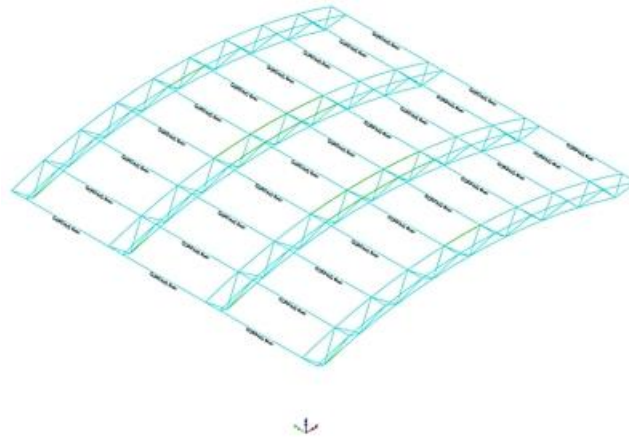
Elemen	Jenis	N^* (kN)	N_c (kN)	ϕ_c	$\phi_c \times N_c$	Status
Batang Atas	Tekan	31,365	53,646	0,85	5,04	TIDAK AMAN
Batang Bawah		20,120	53,646	0,85	2,14	TIDAK AMAN
Batang Tengah		28,053	53,646	0,85	0,60	TIDAK AMAN

Hasil analisis pada Tabel 11 gaya tekan terfaktor (N^*) seluruh batang lebih besar daripada kekuatan tekan tekuk desain ($\phi_c \times N_s$). Kondisi ini tidak memenuhi persyaratan SNI 7971:2013 Pasal 3.6.3. Oleh karena itu, elemen struktur tidak aman terhadap gaya tekan terhadap leleh tekuk.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur atap 2D, rangka tidak aman untuk menerima gaya tekan terhadap tekuk. Sesuai [7] halaman 72 menetapkan kapasitas elemen tekan dari baja canai dingin dengan menghitung kekuatan nominal tekan dengan mempertimbangkan kelangsingan dan stabilitas elemen terhadap tekuk.

Usulan *Redesign*

Model struktur *redesign* dianalisis menggunakan perangkat lunak ETABS berdasarkan data perencanaan. Evaluasi kinerja struktur hasil *redesign* sesuai ketentuan SNI 1727:2020, SNI 1726:2019, dan SNI 1729:2020 digunakan dalam analisis. Sistem atap 3D *space truss* yang terbuat dari pipa baja CHS dinyatakan aman untuk digunakan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Seluruh komponen struktur memenuhi persyaratan desain.



Gambar 6. Hasil Analisis Struktur Bangunan *Redesign*

Evaluasi Kinerja Struktur Atap 3D *Space Truss*

Parameter penentuan kelayakan dan keamanan struktur terhadap pembebanan yang bekerja dengan mengevaluasi kinerja struktur atap 3D *space truss*. Hasil analisis ETABS digunakan sebagai dasar penilaian, yang kemudian dianalisis sesuai SNI 1729:2020. Kontrol lendutan, kapasitas tarik, dan kapasitas tekan elemen struktur adalah parameter yang dievaluasi. Hasil dari analisis ditunjukkan dalam Tabel 12-14.

Tabel 12. Kontrol Lendutan Atap *Redesign* 3D *Space Truss*

Elemen	Bentang (m)	Lendutan Max (m)	Batas (m)	Status
Kuda-Kuda Atap Baja CHS	20	0,018	0,056	AMAN

Berdasarkan hasil lendutan maksimal pada batang rangka atap *space truss* yang ditunjukkan pada Tabel 12 dengan nilai lendutan sebesar 0,018 m masih berada pada batas izin 0,056 m [13] menjelaskan bahwa struktur memenuhi persyaratan kemampuan layan jika kurang dari $L/360$.

Tabel 13. Kontrol Tarik Atap *Redesign* 3D *Space Truss*

Elemen	Jenis	Pmax (kN)		ϕ	Pn (kN)		$\phi \times Pn$ (kN)		Status
		Leleh	Fraktur		Leleh	Fraktur	Leleh	Fraktur	
Top Chord	Tarik	13.3	13.3	0,9	345.5	597.4	310.9	448.1	AMAN
Button Chord		255.2	255.2	0,9	345.5	597.4	310.9	448.1	AMAN
Diagonal Chord		34.8	34.8	0,9	345.5	597.4	310.9	448.1	AMAN

Hasil analisis gaya tarik yang ditunjukkan pada Tabel 13 menyatakan seluruh elemen batang 3D *space truss* kekuatan nominal lebih kecil dari pada kekuatan tarik desain

dinyatakan aman sesuai dengan SNI 1729:2020 Pasal D yang menyatakan bahwa komponen struktur tarik memenuhi persyaratan desain.

Tabel 14. Kontrol Tekan Atap *Redesign 3D Space Truss*

Elemen	Jenis	Pmax (kN)	ϕ_c	Pn (kN)	$\phi_c \times P_n$	Status
Top Chord	Tekan	140.70	0,9	314,83	283,35	AMAN
Button Chord		17.85	0,9	314,83	283,35	AMAN
Diagonal Chord		54.21	0,9	314,83	283,35	AMAN

Hasil analisis gaya tekan yang ditunjukkan pada Tabel 14 menyatakan seluruh elemen batang 3D *space truss* kekuatan nominal lebih kecil dari pada kekuatan tekan desain dinyatakan aman sesuai dengan SNI 1729:2020 Pasal D yang menyatakan bahwa komponen struktur tekan memenuhi persyaratan desain.

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur atap 3D *space truss* menggunakan CHS memperlihatkan bahwa atap 3D memiliki kekuatan struktur yang lebih baik, merujuk pada [14]. Profil CHS adalah komponen struktur yang dipilih karena menahan beban aksial dengan lebih baik yang disebabkan oleh jari-jari girasi lebih tinggi dibandingkan dengan profil baja lainnya [1].

Optimalisasi

Optimalisasi struktur dilakukan dengan membandingkan kinerja struktur yang ada dan yang dirancang dengan menggunakan hasil analisis ETABS. Parameter yang dievaluasi termasuk tegangan, berat struktur, luas netto bangunan, lendutan, dan kapasitas elemen terhadap gaya tarik dan tekan. Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengevaluasi efek penerapan sistem atap 3D *space truss* berbahan pipa baja CHS terhadap kinerja, keamanan, dan efisiensi struktur. Tabel 15-17 menyajikan hasil rekapitulasi optimalisasi struktur.

Tabel 15. Optimalisasi Terhadap Gaya Tarik

Elemen	Pmax (kN)	Status
<i>Atap Eksisting 2D Konvensional</i>		
Batang Atas	28.710	AMAN
Batang Bawah	35.482	AMAN
Batang Tengah	-	AMAN
<i>Atap Redesign 3D Space Truss</i>		
Top Chord	13.3	AMAN
Button Chord	255.2	AMAN
Diagonal	34.8	AMAN

Tabel 16. Optimalisasi Terhadap Gaya Tekan

Elemen	Pmax (kN)	Status	Keterangan
Atap Eksisting 2D Konvensional			
Batang Atas	31.365	AMAN	Aman terhadap leleh tetapi tidak aman terhadap tekuk
Batang Bawah	20.120	AMAN	
Batang Tengah	28.053	AMAN	
Atap <i>Redesign</i> 3D <i>Space Truss</i>			
Top Chord	140.70	AMAN	
Button Chord	17.85	AMAN	
Diagonal	54.21	AMAN	

Tabel 17. Evaluasi Kinerja Struktur Atap

Parameter	Nilai		Selisih	Optimal (%)	Satuan
	Eksisting	Redesign			
lendutan	0.012	0.018	-0.006	-49	m
Rasio Tegangan	72.76	0.605	72.155	99	
Berat Struktur Atap	1938.7	10708.3	-8769.6	-452	kg
Jumlah Rangka	609	392	217	36	bh

Berdasarkan hasil rekapitulasi optimalisasi kinerja struktur terhadap desain rangka atap, menunjukan bahwa dalam aspek kinerja struktur metode 3D *space truss* lebih unggul dalam rasio tegangan mencapai 99%, serta pengurangan jumlah elemen rangka mencapai 36% dibandingkan struktur atap eksisting. Meskipun berat struktur meningkat hingga 452% akibat penggunaan profil pipa baja CHS, tetapi peningkatan tersebut diikuti oleh bertambahnya stabilitas dan keamanan struktur dalam menahan beban. Sejalan dengan penelitian [2] bahwa Sistem *space truss* pipa baja CHS lebih efisien untuk bangunan berukuran besar karena memenuhi batas lendutan dan tegangan.

Perbandingan kinerja struktur atap eksisting 2D konvensional dan struktur hasil *redesign* 3D *space truss* berbahan pipa baja CHS ditunjukkan pada Gambar 7 sehingga perubahan pada setiap parameter evaluasi lebih jelas.

**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Kinerja Struktur Atap Eksisting dan Hasil *Redesign*

Hasil rancangan visualisasi yang ditunjukkan pada Gambar 7 untuk perbandingan antara struktur atap eksisting 2D konvensional dan atap *redesign* 3D *space truss*. Grafik memperlihatkan bahwa, meskipun profil CHS meningkatkan lendutan dan berat struktur, sistem rangka 3D berbahan pipa baja CHS menghasilkan penurunan rasio tegangan dan jumlah rangka.

KESIMPULAN

Studi ini membuktikan bahwa, berdasarkan hasil analisis struktur sesuai SNI 1729:2020, sistem rangka atap 3D *space truss* menggunakan profil pipa baja CHS pada Gedung SPPG Prototipe Tipe 3 memenuhi kekuatan, kekakuan, dan stabilitas. Dibandingkan dengan struktur atap eksisting, sistem rangka *redesign* memberikan distribusi beban yang lebih merata. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa gaya dalam dapat disalurkan secara lebih efektif ke seluruh elemen struktur, menurut hasil analisis yang dilakukan menggunakan perangkat lunak ETABS. Hasil *redesign* juga memperlihatkan penurunan rasio tegangan sebesar 99%, pengurangan jumlah elemen struktur sebesar 36%. Meskipun berat struktur meningkat sebagai akibat dari penggunaan profil CHS, sistem 3D *space truss* meningkatkan kapasitas dan stabilitas struktur serta memberikan distribusi beban yang lebih merata. Sebaliknya, kinerja struktur, berat sendiri, kebutuhan material, dan aspek biaya dan pelaksanaan konstruksi harus dipertimbangkan saat memilih sistem struktur karena profil CHS menyebabkan berat sendiri struktur lebih besar dibandingkan struktur atap yang sudah ada.

Secara keseluruhan, dalam perencanaan struktur atap bentang lebar dapat digunakan sebagai alternatif untuk sistem struktur, khususnya untuk bangunan bentang lebar yang membutuhkan kapasitas, kekakuan, dan stabilitas yang lebih tinggi. Ini terutama berlaku untuk Gedung SPPG Prototipe Tipe 3 dan bangunan dengan karakteristik serupa. Studi ini diharapkan dapat membantu perencana dan praktisi memilih sistem rangka atap baja yang sesuai dengan perencanaan dan karakteristik bangunan.

Penelitian selanjutnya, disarankan untuk menyelidiki variasi dimensi dan mutu profil CHS, menilai berat struktur dan biaya konstruksi, dan memastikan bahwa hasil analisis numerik benar melalui pengujian eksperimental atau pemodelan yang lebih rinci. Oleh karena itu, desain alternatif dapat ditemukan dalam menyeimbangkan kekuatan, kekakuan, stabilitas, berat struktur, dan aspek ekonomi sesuai kebutuhan perencanaan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. K. c Muhammad Afdal Syafikri a, Igeny Dwiana Darmawan b, “Pemanfaatan Struktur Space Frame pada Rangka Atap Gedung,” *Pemanfaat. Strukt. Sp. Fram. pada Rangka Atap Gedung*, vol. 2, 2023.
- [2]. I. Fajrin Fuad, Arbain Tata, “Jurnal SIPILsains,” *Anal. Strukt. ATAP RANGKA RUANG Sp. TRUSS*, vol. 10, p. 53, 2020.
- [3]. N. V. D. AGUNG BUDI PRASETYO1 and 1Mahasiswa, “Perencanaan Ulang Struktur Rangka Atap Baja Truss pada Bangunan Industri,” *Perenc. Ulang Strukt. Rangka Atap Baja Truss pada Bangunan Ind.*, vol. 10, no. 02, pp. 151–158, 2024.
- [4]. O. Sandhya and M. Swarooparani, “OPTIMIZATION OF SPACE FRAME STRUCTURES FOR ENHANCED STRUCTURAL EFFICIENCY JAWAHARLAL NEHURU TECHNOLOGICAL,” *Optim. Sp. Fram. Struct. Enhanc. Struct. Effic. JAWAHARLAL NEHURU Technol.*, vol. 34, no. 11, pp. 300–309, 2024.
- [5]. B. S. N. I. S. 1727:2020, “Beban desain minimum dan Kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain SNI 1727-2020,” *Beban desain Minim. dan Kriter. terkait*

- untuk bangunan gedung dan Strukt. lain*, no. 8, pp. 1–336, 2020.
- [6]. B. S. N. I. S. 1726:2019 and P. Standar, “Penerapan Standar Nasional Indonesia,” *Tata cara Perenc. ketahanan gempa untuk Strukt. bangunan gedung dan nongedung*, no. 8, 2020.
- [7]. B. S. N. I. S. 7971:2013, “Struktur baja canai dingin,” *Struktur baja canai dingin*, 2013.
- [8]. B. S. N. I. 1729:2020, “SNI 1729:2020 Tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural,” *Spesifikasi untuk bangunan gedung baja Strukt.*, no. 8, p. 311, 2020.
- [9]. H. Hardiansyah, Hakzah, Abdul Muis B, Hendro Widarto, “Silite k,” *Anal. Strukt. RANGKA BAJA Jemb. PENYEBERANGAN ORANG RUJAB WALIKOTA PAREPARE MENGGUNAKAN ETABS*, vol. 05, no. 02, pp. 661–673, 2025.
- [10]. Badan Standar Nasional Indonesia SNI 2847:2019, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” *Persyaratan Bet. Strukt. untuk bangunan gedung dan penjelasan*, no. 8, p. 720, 2019.
- [11]. D. Priatmojo, “Atap Dapur MBG Porak-poranda Usai Diterjang Angin Kencang di Semarang.” [Online]. Available: <https://www.viva.co.id/berita/nasional/1881026-atap-dapur-mbg-porak-poranda-usai-diterjang-angin-kencang-di-semarang>
- [12]. M. P. Umum, “PERMEN PROTOTIPE MBG.pdf,” 2025.
- [13]. M. S. Sudarno P Tampubolon, S.T., “STRUKTUR BAJA-1,” *BUKU Mater. PEMBELAJARAN Strukt. BAJA-1*, 2021.
- [14]. A. D. N. F. A. W. R. YUHANA, “STRUKTUR DAN SISTEM BANGUNAN BENTANG LEBAR SPACE FRAME,” *Strukt. DAN Sist. BANGUNAN BENTANG LEBAR Sp. Fram.*, 2021.