

Seismic-Resilient Light Steel Frame Structural Model with Genetic Algorithm Optimization

Rendy Perdana Khidmat^{1*}, Beta Paramita², Rahmat Kurniawan³, Kirtinanda³, Kustiani⁴, Nova Asriana¹

¹Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365

²Program Studi Arsitektur, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudhi No. 229, Sukasari, Isola, Bandung, Kota Bandung, Jawa Barat 40154, Indonesia.

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur dan Kewilayahan, Institut Teknologi Sumatera

Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Kecamatan Jatiagung, Lampung Selatan 35365

⁴Program Studi Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Bandar Lampung

Jalan Z.A. Pagar Alam No. 26 Labuhan Ratu, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia, 35142

*Penulis Korespondensi: rendy.perdana@ar.itera.ac.id

Abstract: This research aims to minimize the impact of damage caused by earthquakes on simple residential houses, as well as to propose a preliminary draft of a model for light gauge steel frame (LGSF) construction by designing a light gauge steel frame structure (LGSF) modules with a new configuration using a genetic algorithm approach in the grid and profile design process. Rhinoceros + Grasshopper and Karamba plugins are used to simulate structural performance while Octopus is used to run multi-Objective Optimization. From the Octopus iterations, a total of 319,614 designs were generated through genetic iterations, with the top 10 designs based on structural performance selected through fitness function evaluation. The displacement was reduced by 29.77 cm (14.39%) compared to the baseline model. However, the length was shown to increase by 18 cm (6.8%). This research contributes to the design method and optimization of the overall use of LGSF.

Keywords: LGSF; MOO; parametric; subsidized housing; truss, seismic optimization

Model Rangka pada Rumah Rangka Baja Ringan Tahan Gempa dengan Optimasi Genetic Algorithm

Abstrak: Desain dan tipologi perumahan seringkali tidak menjadi prioritas, terutama dalam hal kinerja struktural. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk berkontribusi pada upaya meminimalkan dampak kerusakan akibat gempa bumi pada rumah tinggal sederhana, serta untuk mengusulkan model untuk konstruksi rangka baja ringan (LGSF) dengan mendesain model struktur rangka baja ringan (LGSF) dengan konfigurasi baru menggunakan pendekatan algoritma genetika dalam proses desain grid dan profil. Plugin Rhinoceros + Grasshopper dan Karamba digunakan untuk mensimulasikan kinerja struktural sedangkan Octopus digunakan untuk menjalankan Optimasi Multi-Objektif. Dari iterasi Octopus, total 319.614 desain dihasilkan melalui iterasi genetik, dengan 10 desain teratas berdasarkan kinerja struktural dipilih melalui evaluasi fungsi fitness. Perpindahan berkurang sebesar 29,77 cm (14,39%) dibandingkan dengan model dasar. Namun, panjangnya justru meningkat sebesar 18 cm (6,8%). Penelitian ini berkontribusi pada metode desain dan optimasi penggunaan LGSF secara keseluruhan.

Kata kunci: LGSF; MOO; parametrik; rumah subsidi; rangka, optimasi seismic

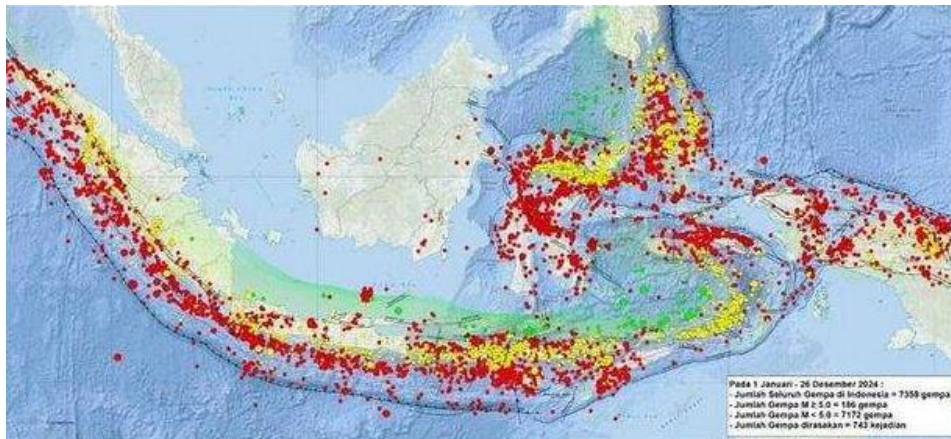
Artikel diterima 04 Mei 2026 | Disetujui 12 Juni 2026 | Dipublikasikan 01 Juli 2026



Copyright © 2025 by the Authors. Licensee JURNAL ARSITEKTUR
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License

1. Pendahuluan

Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) menunjukkan dalam 25 tahun terjadi 403 kejadian gempa, walaupun jumlahnya lebih sedikit dari bencana banjir yang berjumlah 16.938 kejadian, tetapi dampaknya yang ditimbulkan dari gempa bumi adalah lebih besar 30x lipat dalam hal korban meninggal dunia, serta mengakibatkan jumlah kerusakan pada rumah tinggal yang lebih tinggi [1]. Gambar 1 memperlihatkan peta potensi gempa di seluruh Indonesia.



Gambar 1. BMKG melaporkan sebanyak 7.358 gempa bumi mengguncang Indonesia sepanjang tahun 2024. (Foto: Dok. BMKG [2])

Di lain sisi pedoman teknis bangunan hunian tahan gempa di Indonesia [3], [4], [5], [6] masih mengadaptasi material batu dan beton, serta baja konvensional. Padahal secara empiris, sistem struktur rumah tradisional Indonesia memiliki mitigasi terhadap gempa bumi [7], [8], [9] yang terlihat pada prinsip konstruksi penggunaan material alami dan teknik konstruksinya. Keunggulan dari sistem struktur ini adalah beban bangunan sendiri menjadi jauh lebih ringan dan adaptif terhadap gaya gempa. Secara umum, material lokal (tradisional) lebih banyak menggunakan kayu, bambu karena ketersediaannya di masa itu. Seiring perkembangan waktu, material organik tidak lagi dipandang sebagai material rendah emisi (*low carbon*) karena siklus umurnya (*life cycle*) yang pendek dan tidak bisa didaur ulang. Inovasi material maju kemudian menjadi keniscayaan.

Beberapa penelitian dilakukan terhadap rumah subsidi dengan berbagai perspektif multi-faktor hal-hal yang membentuk karakteristik rumah subsidi. Perubahan teori ruang pada rumah subsidi di Kaliwungu Jawa Tengah telah dilakukan dengan menyimpulkan bahwa ruang yang terdapat pada rumah subsidi minim privasi dan kualitas rumah subsidi berada dibawah standar kualitas perumahan [10]. Contoh lain, adalah evaluasi terkait proyek pemukiman akibat perubahan iklim di daerah rawan banjir di Provinsi Daerah Khusus Ibu kota Jakarta, Indonesia. Kesimpulan dari penelitian ini adalah proyek resettlement menurunkan secara signifikan paparan, strategi penghidupan, dan komponen kerentanan kesehatan [11]. Penelitian lain menekankan pentingnya pencahayaan siang hari pada rumah murah di India. Di

Mumbai, keberlanjutan energi melalui pencahayaan siang hari pada rumah kelas menengah telah dilakukan. Penelitian ini menemukan bahwa orientasi yang tepat mampu menghemat energi hingga 26% [12]. Mengacu pada konfigurasi ruang dan bentuk bangunan, Beninca melalui pendekatan Multi Objective Optimization (MOO) mengevaluasi bentuk dan orientasi bangunan perumahan sosial untuk menemukan posisi solar terbaik untuk meminimalkan kebutuhan pendinginan dan pemanasan secara bersamaan di zona bioklimatik 2 (Cfa) di wilayah selatan Brasil. Penelitian ini menyimpulkan orientasi dan bentuk bangunan berpengaruh pada penurunan energi sebesar 2%-4% mengikuti masing-masing skenario [13]. Mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, metode klasikal desain yang diterapkan pada studi-studi sebelumnya dianggap tidak terlalu efektif untuk mendapatkan solusi desain dengan tingkat signifikansi yang tinggi.

Penelitian ini mengangkat teknologi adaptif bencana alam. Secara spesifik penelitian ini melakukan kajian adaptabilitas bentuk, struktur dan material dalam konteks seismik lokal yang diintegrasikan perkembangan teknologi komputasi arsitektur. Penelitian ini merupakan rangkaian riset baja ringan yang telah dilakukan sejak 2019. Output dari penelitian model rumah rangka baja ringan ini nantinya diharapkan akan memiliki kontribusi terhadap backlog kepemilikan rumah tinggal yang di tahun-tahun mendatang untuk mencapai 12,7jt unit [14]. Secara kuantitatif, backlog ini berasal dari 93%, berasal dari kalangan Masyarakat Berpenghasilan Rendah (MBR), sementara sekitar 60% di antaranya adalah MBR yang bekerja dalam sektor informal [15].



Gambar 2. Rumah RAFLESIA yang telah dibangun di Jawa Barat dengan menggunakan produk Domus Fast track (atas), dan Kabupaten Ciamis dengan menggunakan Domus (bawah).

Penelitian LGSF ini mengedepankan pengembangan model dengan pendekatan desain menggunakan kecerdasan buatan dan proses artificial neural network ANN melalui Genetic Algorithm. Pertanyaan yang diajukan dalam penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi kombinasi parameter desain yang menghasilkan performa struktur dan konstruksi paling optimal terhadap beban gempa dengan nilai displacement terkecil, menganalisis kombinasi parameter desain yang menunjukkan keseimbangan terbaik antara efisiensi penggunaan material dan kinerja struktur, serta mengevaluasi tingkat signifikansi sistem yang dirancang dalam meningkatkan efisiensi biaya sekaligus meningkatkan kinerja struktural. Tujuan dari penelitian ini adalah pembuatan model rumah rangka baja ringan tahan gempa pada struktur rumah mikro di Indonesia menggunakan pendekatan Optimasi Genetic Algorithm untuk menemukan solusi desain terbaik dari sebuah rumah subsidi dengan rangka baja ringan ditinjau dari kekuatan struktur dan fleksibilitas terutama kinerja perpindahan, geser lantai/dasar, dan tingkat analisis statis linier. Rumah sederhana bagi masyarakat berpenghasilan rendah sebaiknya memiliki keamanan terhadap gempa yang baik tapi di sisi lain feature yang diadopsi harus tetap murah.

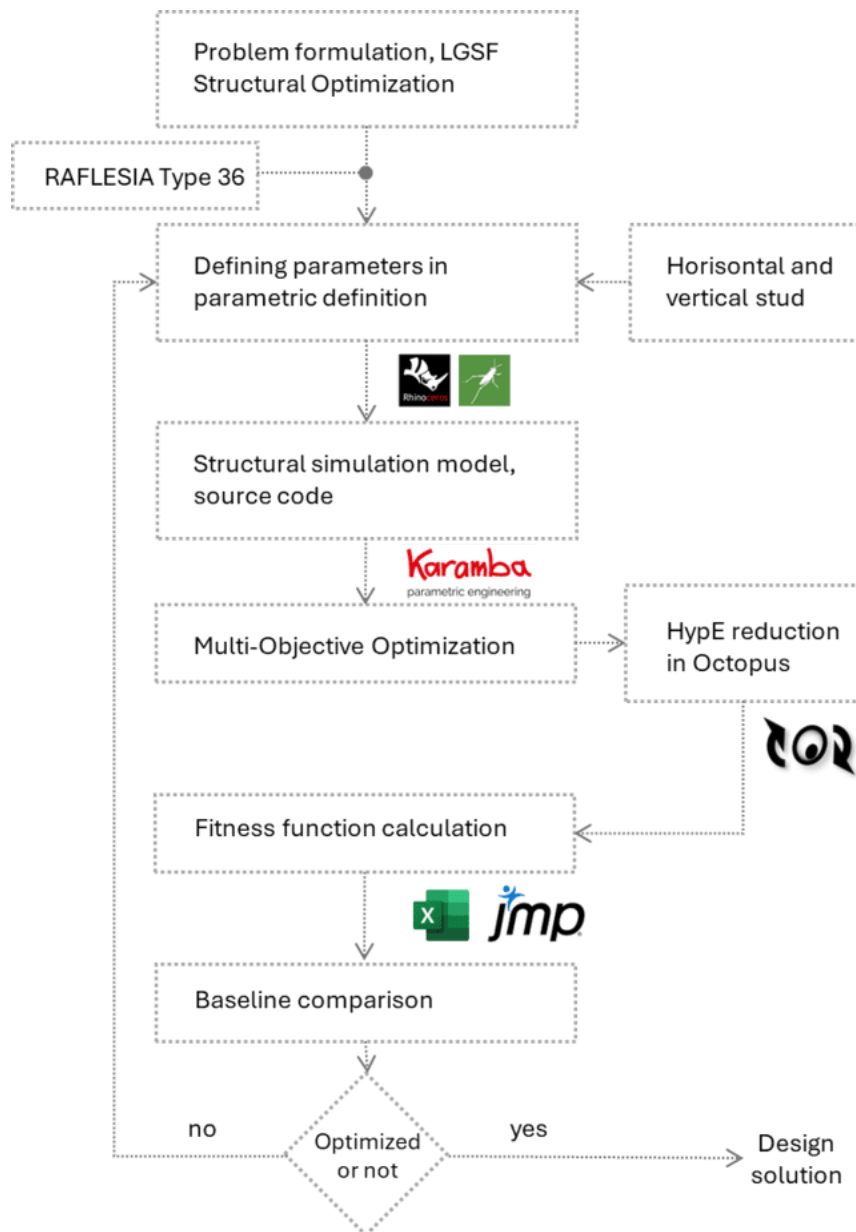
Hasil yang diharapkan adalah terciptanya model rumah rangka baja ringan dengan performa resistansi terhadap beban geser gempa yang lebih optimal dan efektif serta dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan kesejahteraan dan keamanan masyarakat aspek pengelolaan resiko bencana dan inovasi dalam industri manufaktur pada rumah tinggal sederhana untuk masyarakat berpenghasilan rendah.

Meskipun penelitian terkait konstruksi baja ringan telah banyak dilakukan, namun pendekatannya masih menggunakan the “rule of thumb” atau proses classical design. Sebaliknya, berbeda dengan penerapan pendekatan parametrik yang diimplementasikan pada besi [16], [17], penelitian ini menginvestigasi pendekatan komputasional untuk mendapatkan performa dan adaptasi terhadap gaya gempa yang lebih optimal dari rumah rangka baja ringan. Roadmap pada Gambar 3. Alur Kerja Penelitian Terapan LGSF menjelaskan workflow penelitian yang dilakukan mengenai pendekatan rancangan model yang diusung melalui pendekatan Generative Algorithm (GA) dan Multi-Objective Optimization (MOO) [18], [19] yang berkontribusi pada pengembangan rancangan rumah subsidi dan rumah micro pada penelitian sebelumnya. Kebaruan dari penelitian ini adalah penerapan genetical algorithm dalam optimalisasi kekuatan struktur serta konfigurasi baru yang diharapkan dapat terwujud sebagai hasil dari genetical form-finding.

2. Metode

Tahap awal penelitian dimulai dengan merumuskan masalah penelitian dan menetapkan logika desain dan performa struktural LGSF sebagai tujuannya. Tahap kedua adalah menetapkan proses pemodelan, model dasar dan definisi parametrik dari tipologi rumah LGSF pada rumah RAFLESIA. Pada fase ini, keseluruhan fungsi komponen pemodelan dihubungkan dengan satu susunan

definisi parametrik yang saling terkoneksi. Tahap ketiga adalah pembuatan definisi simulasi struktur pada plugin Karamba.

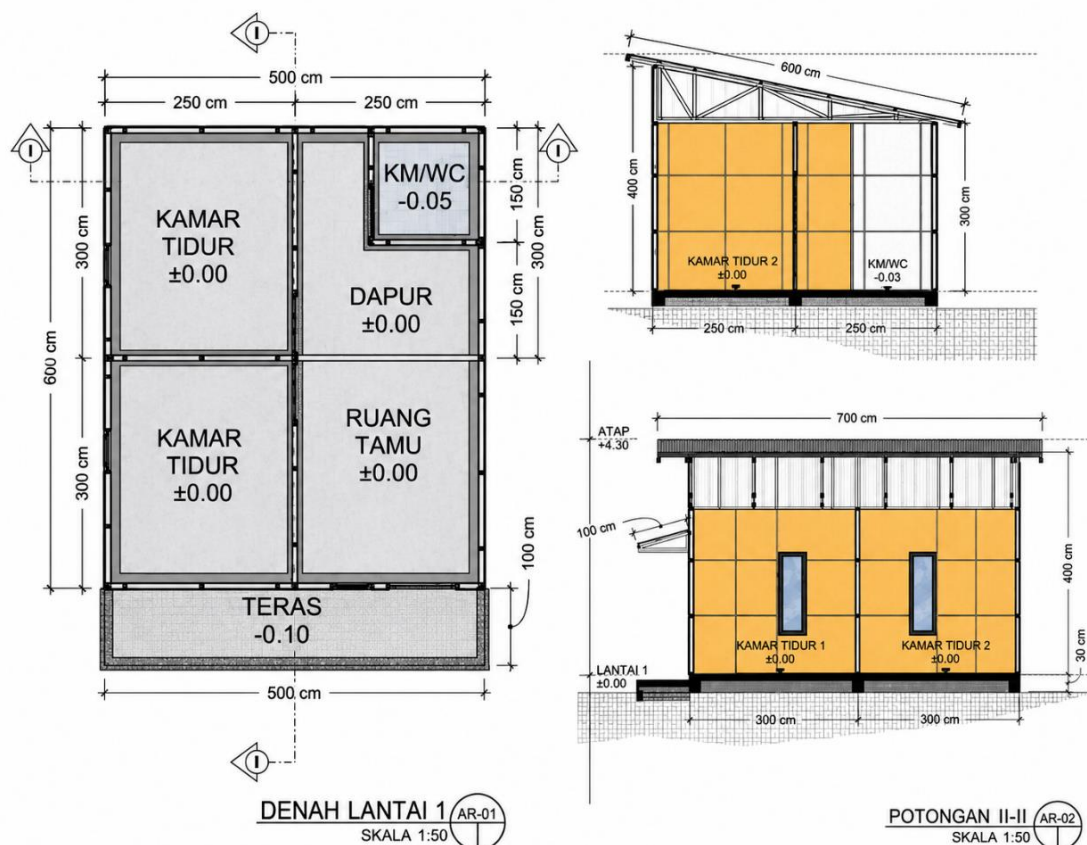


Gambar 3. Alur Kerja Penelitian Terapan LGSF

Hingga tahap ini, sifat fisik model (*properties material*) dimasukkan sebagai input utama pemodelan. Tahap akhir akan dilakukan dengan melakukan analisis terhadap hasil performa struktural dari simulasi dan statistical analysis guna menginvestigasi peran dan keterhubungan dari masing-masing parameter desain dan desain objective guna mengetahui efektivitas metode yang diterapkan serta memberikan masukan terhadap pengembangan desain struktur rumah rangka baja ringan tahan gempa, baik dari segi efisiensi, kekuatan, maupun kepraktisan konstruksi.

Gambar 3 menjelaskan tentang alur kerja penelitian terapan rumah rangka baja ringan. Logika struktur baja ringan rumah sederhana diterapkan selama proses pembuatan geometri utama, struktur mengikuti vektor yang dihasilkan selama proses pemodelan rangka baja ringan, dan sambungan mengikuti penampang melintang antara dua baja ringan mengikuti logika model rumah tinggal subsidi tipe 36 pada

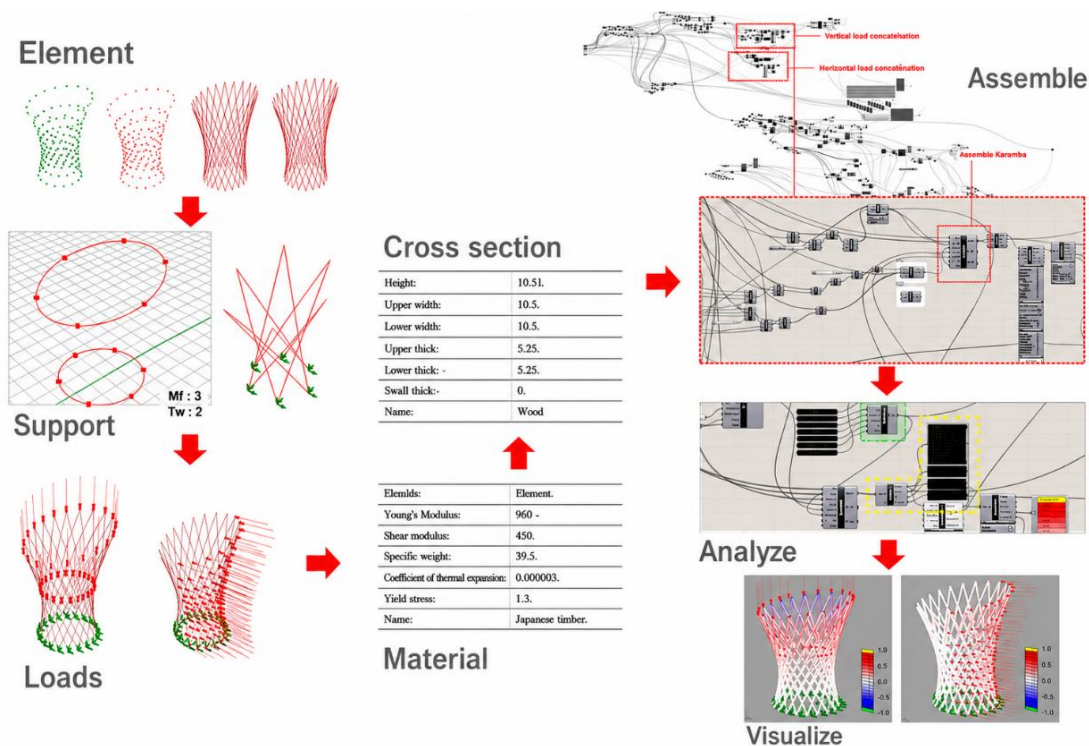
Gambar 4. Seperangkat software digunakan untuk menyiapkan platform parametrik dan optimasi. Platform utama untuk membangun definisi parametrik adalah sebuah plugin bernama Grasshopper [20] yang bekerja dalam pemodel 3D berbasis non-uniform rational basis spline (NURBS) yang disebut Rhinoceros [21]. Karamba [22] digunakan untuk menganalisis struktur dari model rumah sederhana dengan struktur rangka baja ringan. Hal ini memudahkan penggabungan model geometris yang diparameterisasi, perhitungan elemen hingga, dan algoritma optimasi seperti Octopus. Karamba menyediakan analisis spasial yang akurat untuk rangka, frame, dan cangkang, dan relatif lebih mudah digunakan oleh non-ahli dan disesuaikan dengan kebutuhan arsitek, khususnya pada fase desain awal [22], [23].



Gambar 4. Rumah RAFLESIA tipe 36 Sebagai Model Untuk Simulasi
Sumber: Sertifikat Desain Industri Beta Paramita, Andi Alif Fawzy Adzimi Wahid [24]

2.1. Metode Pengumpulan Data

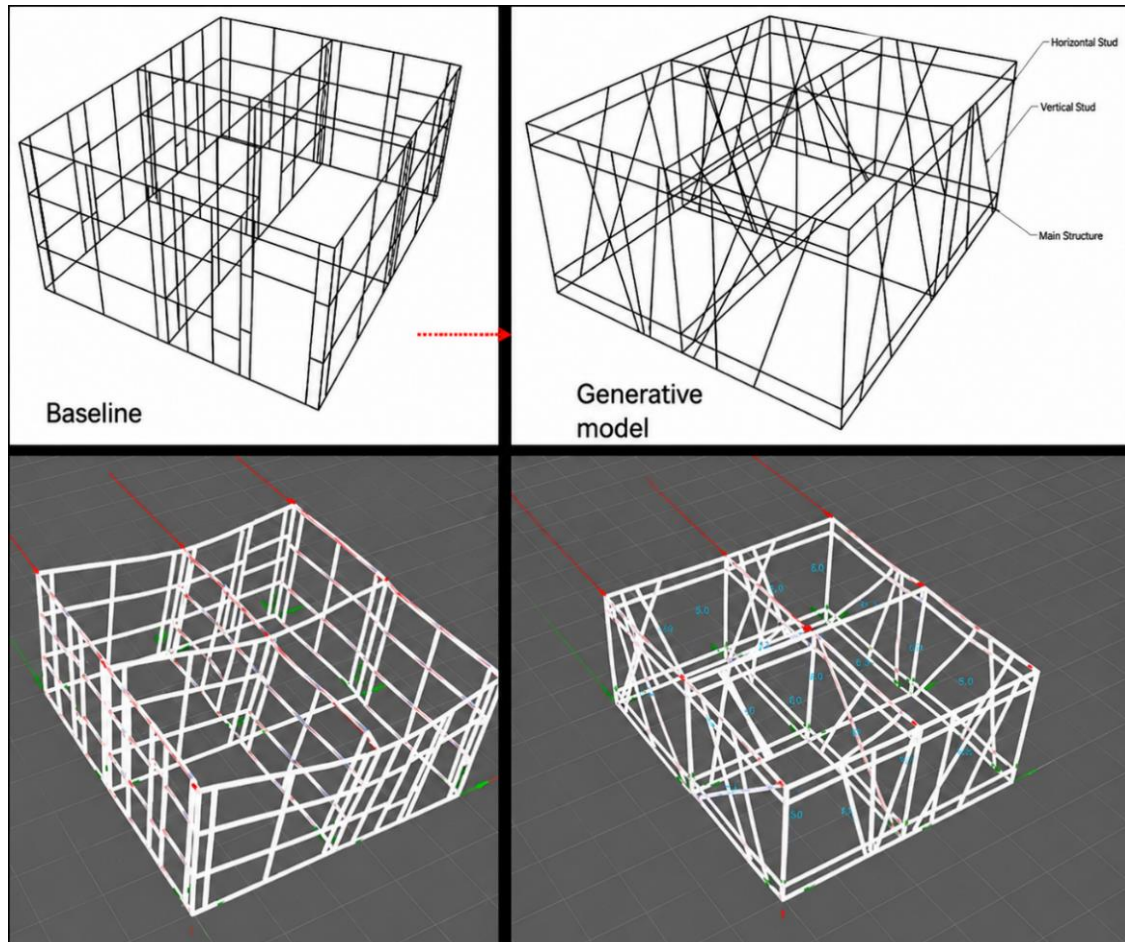
Platform utama untuk membangun definisi parametrik adalah sebuah plugin bernama Grasshopper [25] yang beroperasi dalam perangkat pemodelan 3D berbasis Non-Uniform Rational Basis Spline (NURBS) bernama Rhinoceros [21]. Untuk analisis struktural, plugin bernama Karamba digunakan sebagai engine simulasi pemodelan struktur. Plugin Karamba sepenuhnya beroperasi dalam lingkungan Grasshopper. Karamba adalah plugin khusus yang digunakan dalam analisis struktur parametrik. Sama seperti komponen Grasshopper, komponen Karamba bekerja dengan menggunakan algoritma. Karamba adalah perangkat lunak plugin untuk analisis struktural yang memudahkan pengguna non-ahli struktural. Hal ini memudahkan penggabungan model geometris parametrik, perhitungan elemen hingga, dan algoritma optimasi seperti Octopus atau Galapagos. Karamba menyediakan analisis akurat untuk rangka ruang, rangka, dan cangkang. Perangkat lunak ini mudah digunakan oleh non-ahli dan dirancang khusus untuk kebutuhan arsitek, khususnya pada fase desain awal [22].



Gambar 5. Perhitungan Pembebanan Struktur Menggunakan GA, MOO, dan Karamba pada Khidmat et.al 2022 [26]

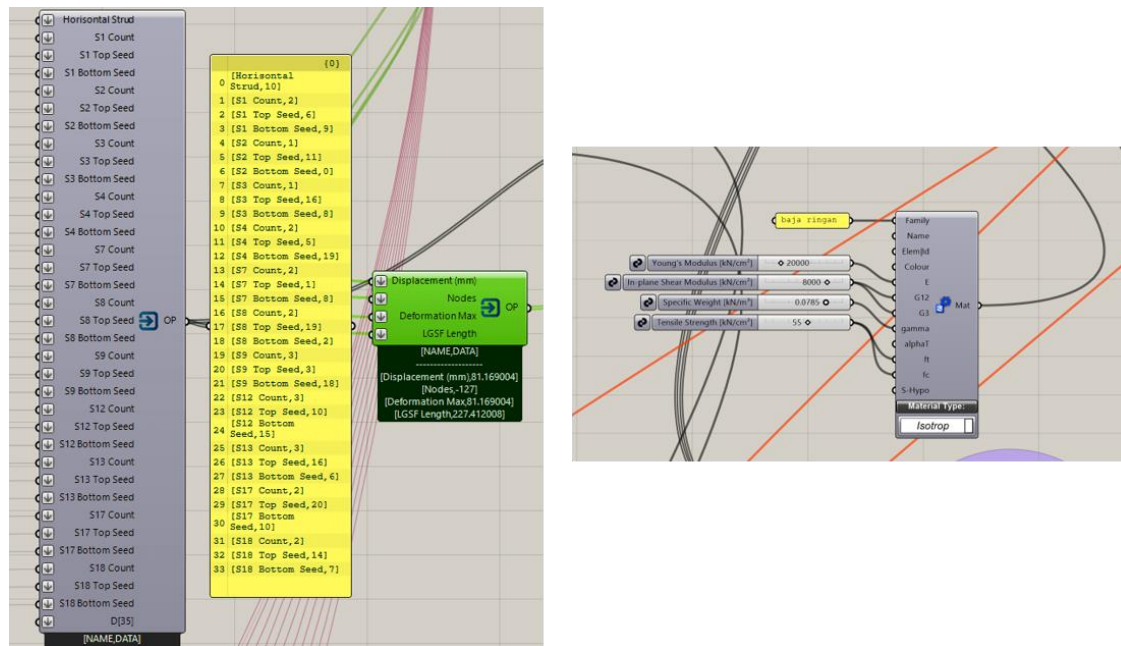
Gambar 5 menggambarkan alur kerja pemodelan untuk tahap analisis struktur dan desain parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Analisis struktur terdiri dari penetapan penyangga, beban, penampang, bahan, perakitan, analisis, dan visualisasi. Titik awal garis tengah setiap balok kayu digunakan sebagai penyangga. Jenis beban yang ditetapkan di Karamba adalah beban berat

menggunakan gravitasi dan beban angin yang diarahkan dari sisi struktur LGSF. Dalam penelitian ini, komponen Karamba yang mewakili sifat material ditetapkan secara manual, bukan menggunakan daftar material default. Analisis ini memerlukan sifat material dari komponen yang digunakan agar dapat menghitung gaya. Dalam penelitian ini, pengaturan sifat material LGSF dalam komponen yang disebut MatProps di Karamba dihitung default.



Gambar 6. Design Parameters

Optimisasi ini didasarkan pada algoritma genetika (GA) yang dijalankan menggunakan plugin bernama Octopus sebagai pemecah masalah MOO, sebagaimana juga diterapkan dalam [27]. Mesin iterasi yang digunakan adalah Colibri, yang dikembangkan oleh CORE Studio dari Thornton Tomasetti, TT Toolbox [28]. Gambar 6 menjelaskan tentang parameter desain yang digunakan sementara penjelasan mengenai material properties yang digunakan sebagai input simulasi structural pada Karamba dijelaskan pada Gambar 7.



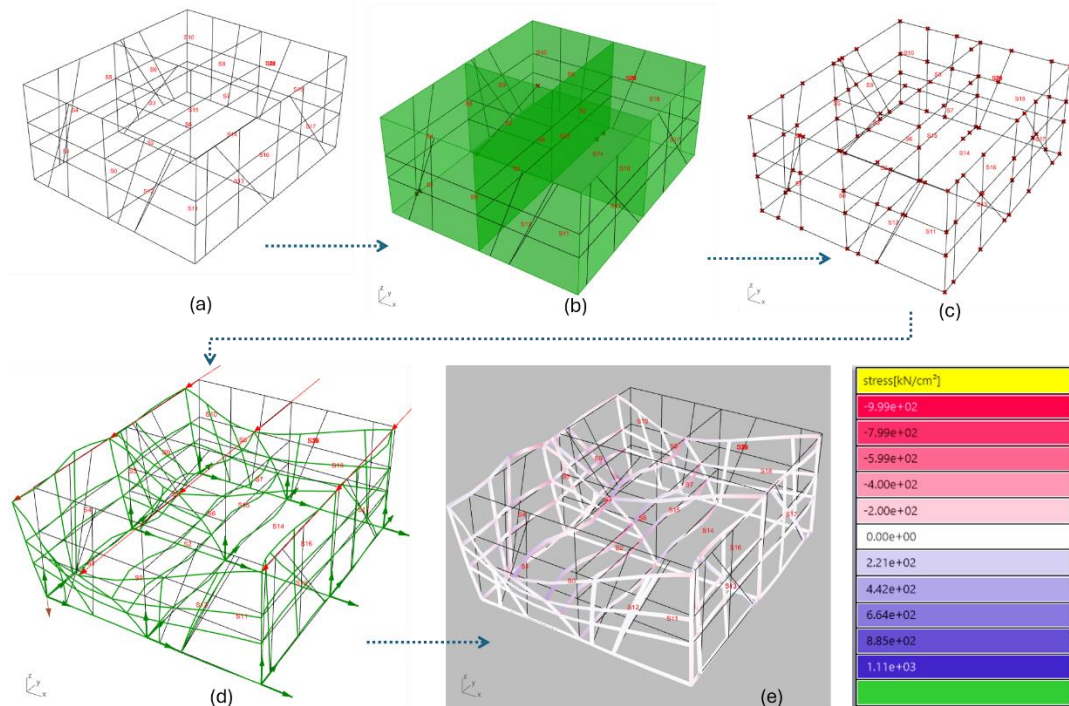
Gambar 7. Parameter dan Target Performa, dan Material properties pada platform Karamba.

Untuk referensi input standar structural, menurut Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, gempa dikategorikan berdasarkan percepatan batuan dasar (Peak Ground Acceleration, PGA) sebagai berikut:

- Gempa Ringan: $PGA \leq 0,10g$
- Gempa Sedang: $0,10g < PGA \leq 0,30g$
- Gempa Kuat: $PGA > 0,30g$

Perancangan rangka baja ringan harus mempertimbangkan efek gempa tersebut dengan memastikan bahwa struktur tetap aman (life safety), serta tidak mengalami keruntuhan (collapse prevention) pada saat mengalami gempa kuat. Berdasarkan SNI 1726:2019 dan SNI 8399:2017, evaluasi struktur baja ringan terhadap gempa harus memperhatikan beberapa parameter kinerja utama sebagai berikut: Demand Capacity Ratio (DCR) adalah perbandingan antara gaya yang diterima struktur (demand) dengan kapasitas tahanan struktur (capacity). Berdasarkan SNI 1726:2019, struktur dinyatakan aman apabila nilai $DCR \leq 1,0$.

$$DCR = \frac{\text{Demand}}{\text{Capacity}} \leq 1,0$$



Gambar 8. Alur Pemodelan Struktural Pada Grasshopper. Rangka (A), Surface Tag (B), Nodes (C), Karamba Force and Supports (D), Stress Analysis (E).

2.2. Metode Analisis Data

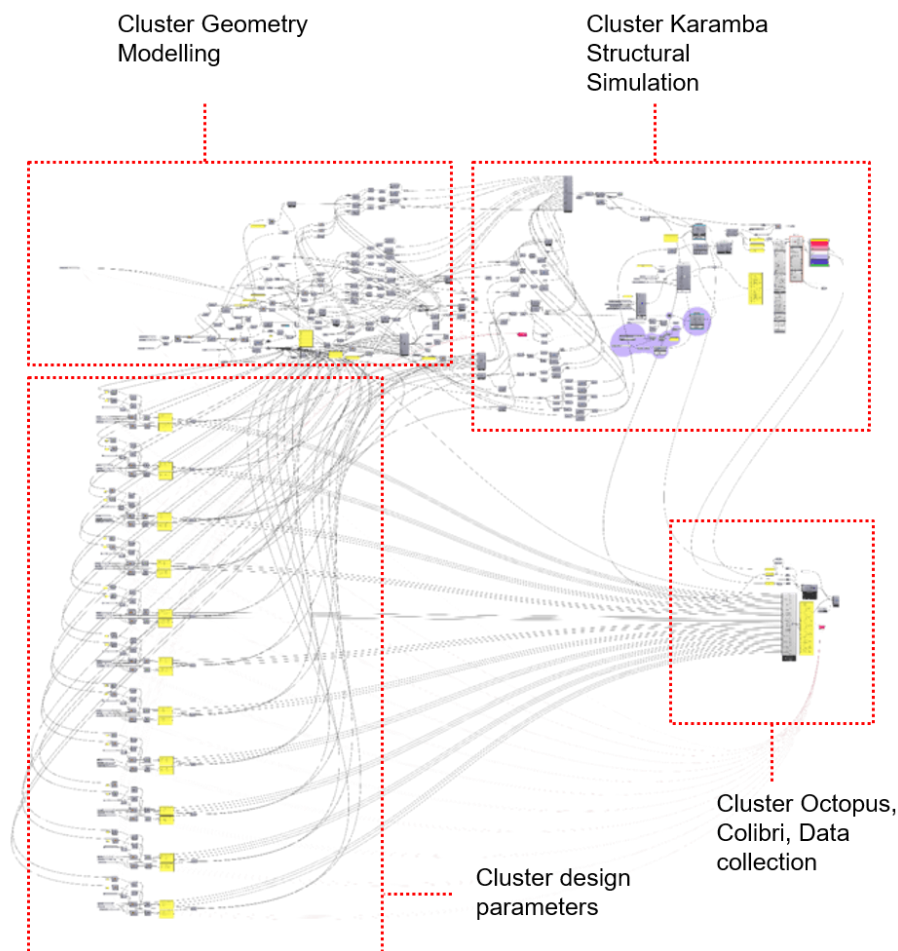
Model rumah tipe 36 RAFLESIA telah dimodelkan. Dari 11 permukaan yang dipecah menjadi individual surface, parameter diatur pada pembagian dan panjang balok horizontal dan vertikal yang terdiri dari 10 gerakan, tersebar sesuai dengan distribusi dinding rumah. Setiap dinding dibagi menjadi tiga parameter, yaitu pembagian (3 gerakan), benih untuk pembagian atas (20 gerakan), dan seed untuk pembagian bawah (20 gerakan). Gambar 8 menjelaskan alur dan visualisasi simulasi struktur pada Karamba.

Alur simulasi struktural yang ditampilkan menunjukkan integrasi parametrik antara pemodelan geometri di Grasshopper dan analisis struktur menggunakan Karamba3D dalam konteks rangka baja ringan tahan gempa. Tahap awal (a) dimulai dengan pembentukan model rangka tiga dimensi berbasis grid sebagai representasi sistem struktur utama. Selanjutnya pada tahap (b), dilakukan pembangkitan domain dan pembebanan area secara parametrik untuk mendefinisikan zona pengaruh beban serta kondisi batas struktur. Tahap (c) merepresentasikan konversi geometri menjadi elemen analisis berupa node dan batang (beam elements) yang siap diproses dalam solver Karamba, termasuk pendefinisian material, penampang, dan kondisi tumpuan. Pada tahap (d), simulasi pembebanan dijalankan dengan mempertimbangkan kombinasi gaya, termasuk beban lateral yang merepresentasikan efek gempa, sehingga menghasilkan deformasi struktur serta distribusi gaya internal secara real-time. Tahap akhir (e) menampilkan visualisasi hasil analisis berupa deformasi global

dan distribusi tegangan (stress) dalam spektrum warna, yang memungkinkan evaluasi kinerja struktur secara komprehensif. Keseluruhan alur ini bersifat iteratif dan parametrik, sehingga mendukung optimasi desain berbasis performa dengan efisiensi tinggi dalam eksplorasi berbagai alternatif konfigurasi struktural.

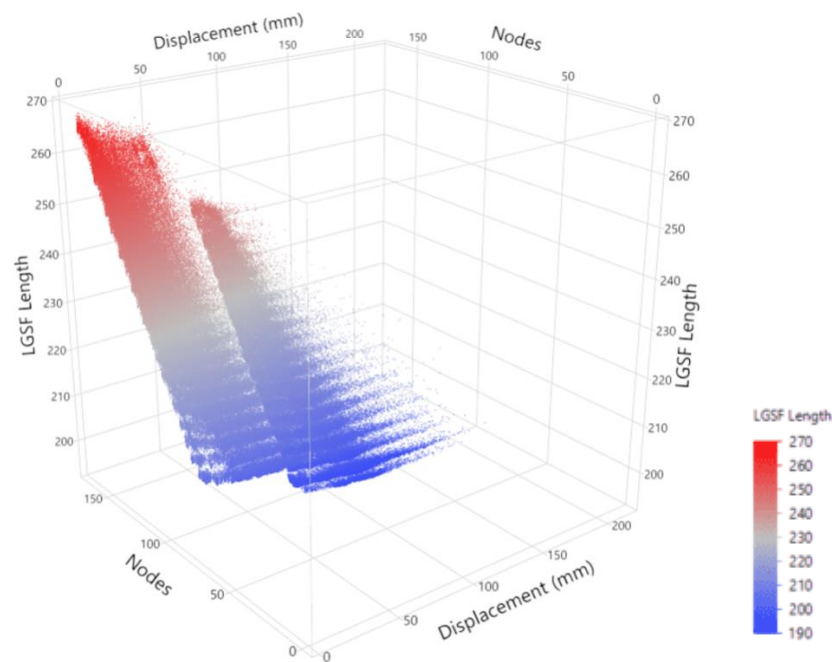
3. Hasil dan Pembahasan

Untuk simulasi tipe 36, objek yang digunakan adalah rumah RAFLESIA. RAFLESIA adalah bangunan berkarbon rendah dengan reflektivitas dan emisivitas tinggi yang dapat secara efektif memantulkan sebagian kecil radiasi matahari kembali ke atmosfer sambil memancarkan panas yang diserap melalui kemampuan pendinginan radiatifnya. RAFLESIA, yang merupakan rumah penelitian yang telah dikembangkan selama lebih dari tiga tahun [29], [30], berupaya melibatkan masyarakat dalam upaya nyata untuk memerangi pemanasan global dengan menciptakan solusi perumahan modular berkelanjutan. Rumah RAFLESIA merupakan pionir dalam rumah reflektif surya dan rumah mikro dengan struktur rangka ringan.



Gambar 9. Definisi Parametrik Untuk Iterasi Tipe 36

Definisi parametrik pada Grasshopper ini disusun melalui alur komputasi berbasis data tree yang terorganisasi secara hirarkis, dimulai dari pembentukan base geometry berupa kurva atau surface sebagai referensi utama pembangkitan bentuk. Parameter numerik dikonstruksi secara sistematis menggunakan Construct Domain, Range, dan Series untuk menghasilkan rentang nilai yang mengontrol proses subdivisi melalui Divide Curve atau Isotrim sehingga terbentuk grid elemen diskrit dengan distribusi terukur. Setiap elemen geometri kemudian mengalami proses transformasi berlapis melalui operasi Move, Scale NU, dan Rotate 3D yang dikendalikan oleh fungsi matematis berbasis Expression dan Graph Mapper, sehingga menghasilkan variasi morfologi yang responsif terhadap perubahan parameter. Dalam proses ini, struktur data dijaga tetap konsisten melalui manipulasi data tree menggunakan Graft, Flatten, Simplify, dan Path Mapper untuk memastikan keterkaitan antar elemen tetap sinkron pada setiap tahapan komputasi. Seluruh rangkaian proses dikelompokkan ke dalam klaster yang terdefinisi jelas, mencerminkan pembagian fungsi antara generasi geometri, transformasi bentuk, dan ekstraksi parameter geometrik seperti panjang elemen, arah vektor, serta konfigurasi spasial.



Gambar 10. 3D Population Field Iterasi Individual

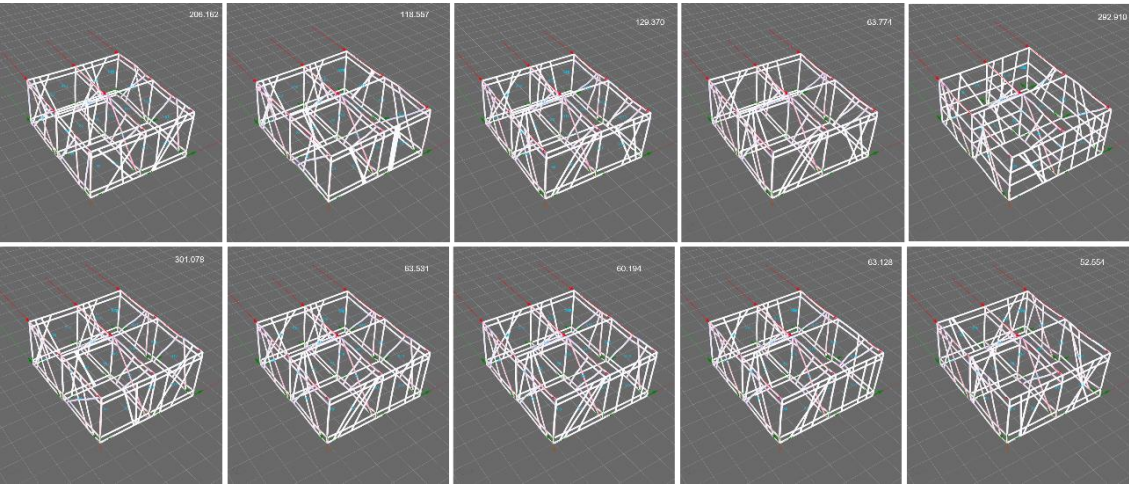
Pada tahap lanjutan, definisi ini mengintegrasikan analisis struktur berbasis elemen hingga menggunakan Karamba3D, dimana geometri parametrik dikonversi menjadi sistem struktur melalui Line to Beam dan selanjutnya diberikan atribut material serta penampang melalui Material Properties dan Cross Section. Sistem struktur kemudian dilengkapi dengan kondisi batas dan

skema pembebanan melalui Supports dan Loads, sebelum dirakit secara komprehensif dalam Assemble Model dan dianalisis menggunakan Karamba Solver. Hasil analisis berupa deformasi global, distribusi gaya dalam, serta tingkat utilisasi elemen diproses lebih lanjut dan divisualisasikan secara gradien untuk memperlihatkan pola performa struktur secara spasial. Proses ini kemudian diperluas dengan integrasi optimasi multi objective menggunakan Octopus, di mana parameter desain berfungsi sebagai variabel bebas yang terus dimodifikasi, sementara keluaran analisis struktural dijadikan sebagai fungsi objektif yang saling bersaing. Mekanisme evolusioner pada Octopus menghasilkan kumpulan solusi Pareto optimal yang menggambarkan hubungan trade off antar kriteria performa seperti efisiensi material, kekakuan struktur, dan batas deformasi.

Tabel 1. Fitness Function Rangkings

	Parameters																																		Objectives			
Num	C	1D	1T	1B	2D	2T	2B	3D	3T	3B	4D	4T	4B	7D	7T	7B	8D	8T	8B	9D	9B	12D	12T	12B	13D	13T	13B	17D	17T	17B	18D	18B	18T	Displacement (mm)	Nodes	LGSP Length	FF	
129370	4	3	12	18	3	12	14	3	20	6	3	12	3	3	18	4	3	0	1	3	16	12	3	2	20	3	14	14	3	14	0	3	19	1	5.992983	168	267.689548	199.146292
63774	3	3	6	18	3	12	14	3	19	5	3	12	7	3	18	4	3	19	3	3	16	4	3	1	2	3	18	13	3	14	0	3	20	1	5.743757	168	267.49574	198.9992731
206162	3	3	2	16	3	12	14	3	20	7	3	12	9	3	18	4	3	19	1	3	16	12	3	0	2	3	14	13	3	12	13	3	20	2	5.057251	168	267.243772	198.9797896
118557	3	3	5	20	3	12	14	3	17	5	3	3	9	3	18	4	3	19	1	3	16	4	3	0	0	3	14	12	3	15	0	3	19	1	5.655535	168	267.024894	198.3971543
292910	9	3	3	3	3	12	14	3	20	1	3	12	0	3	18	4	3	12	9	3	16	4	3	2	2	3	14	12	3	1	0	3	19	2	5.909413	168	266.996109	198.2375678
301078	3	3	5	19	3	12	14	3	20	5	3	12	14	3	18	4	3	19	1	3	16	4	3	4	2	3	14	13	3	14	0	3	19	1	5.00532	168	266.590478	198.1109824
63531	3	3	6	18	3	12	14	3	19	5	3	12	7	3	18	4	3	19	3	3	16	4	3	2	2	3	14	13	3	14	0	3	19	1	5.094193	168	266.620177	198.1095115
60194	3	3	6	18	3	12	14	3	19	5	3	12	7	3	18	4	3	19	3	3	16	4	3	2	2	3	14	13	3	14	0	3	20	1	5.093848	168	266.597706	198.0789451
63128	3	3	7	18	3	12	14	3	19	5	3	12	7	3	18	4	3	19	3	3	16	4	3	2	2	3	15	13	3	14	0	3	20	1	5.458432	168	266.454184	197.7100284
52554	4	3	0	3	3	12	16	3	19	11	3	12	4	3	18	4	3	4	5	3	16	4	3	3	2	3	17	18	3	14	1	3	20	4	5.388243	167	267.245558	197.6891294

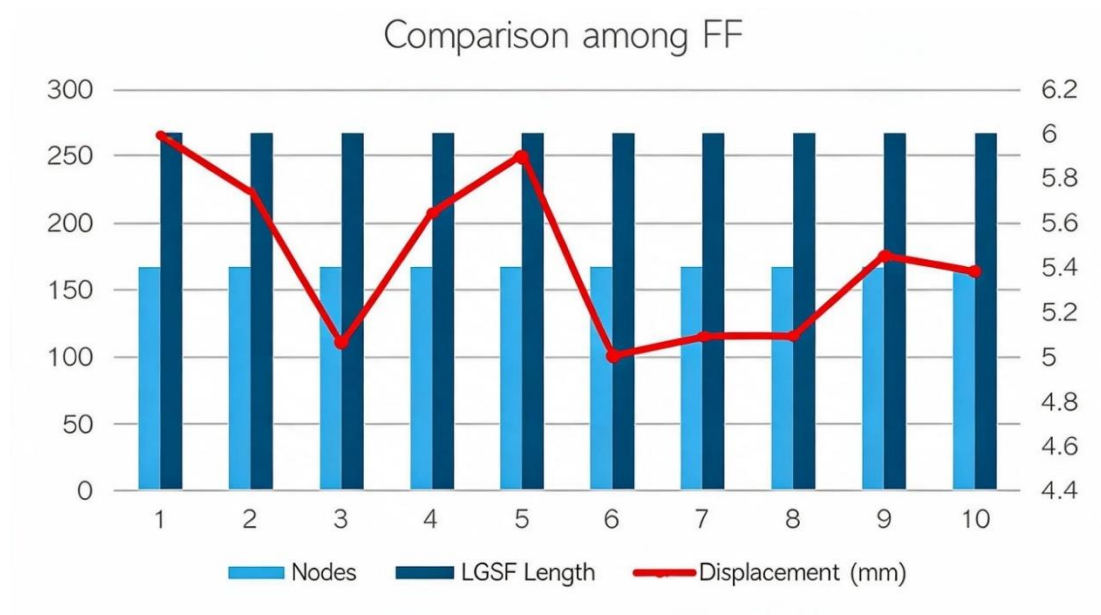
Gambar 9 menunjukkan definisi parametrik yang disusun untuk menggenerasi Solusi desain rumah type 36. Dari iterasi octopus, sebanyak 319.614 desain telah dihasilkan melalui iterasi genetic (Gambar 10), dengan 10 desain teratas berdasarkan kinerja struktural dipilih melalui evaluasi fitness function calculation (FF) (Tabel 1).



Gambar 11. 10 Solusi Terbaik Berdasarkan Fitness Function

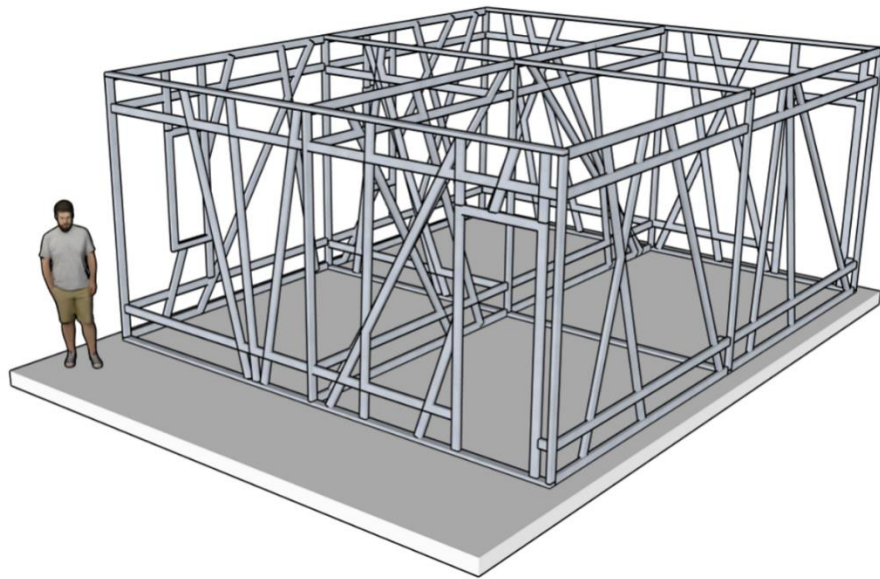
Gambar 12 membandingkan objectives pada sepuluh variasi hasil dari FF calculation: jumlah nodes, panjang LGSF, dan displacement. Nodes dan LGSF relatif konstan dengan pola batang tinggi stabil, menunjukkan konsistensi struktur. Displacement (garis merah) lebih berfluktuasi, dengan nilai tertinggi di FF1 dan FF5 serta terendah di FF6. Variasi ini mengindikasikan perubahan kekakuan sistem, kemungkinan akibat konfigurasi atau detail sambungan berbeda pada tiap FF. Tidak terdapat perbedaan performa yang signifikan dilihat dari jumlah nodes dan Panjang LGSF yang digunakan, namun performa berfluktuasi pada performa displacement dengan Solusi nomor 6 memiliki performa displacement yang paling baik. Ilustrasi Solusi desain nomor 6 dapat dilihat pada

Gambar 13, dan susunan rangkanya pada Gambar 14. Pergeseran berkurang sebesar 29,77 cm (14,39%) dibandingkan dengan model dasar. Namun, panjang telah terbukti meningkat sebesar 18 cm (6,8%).

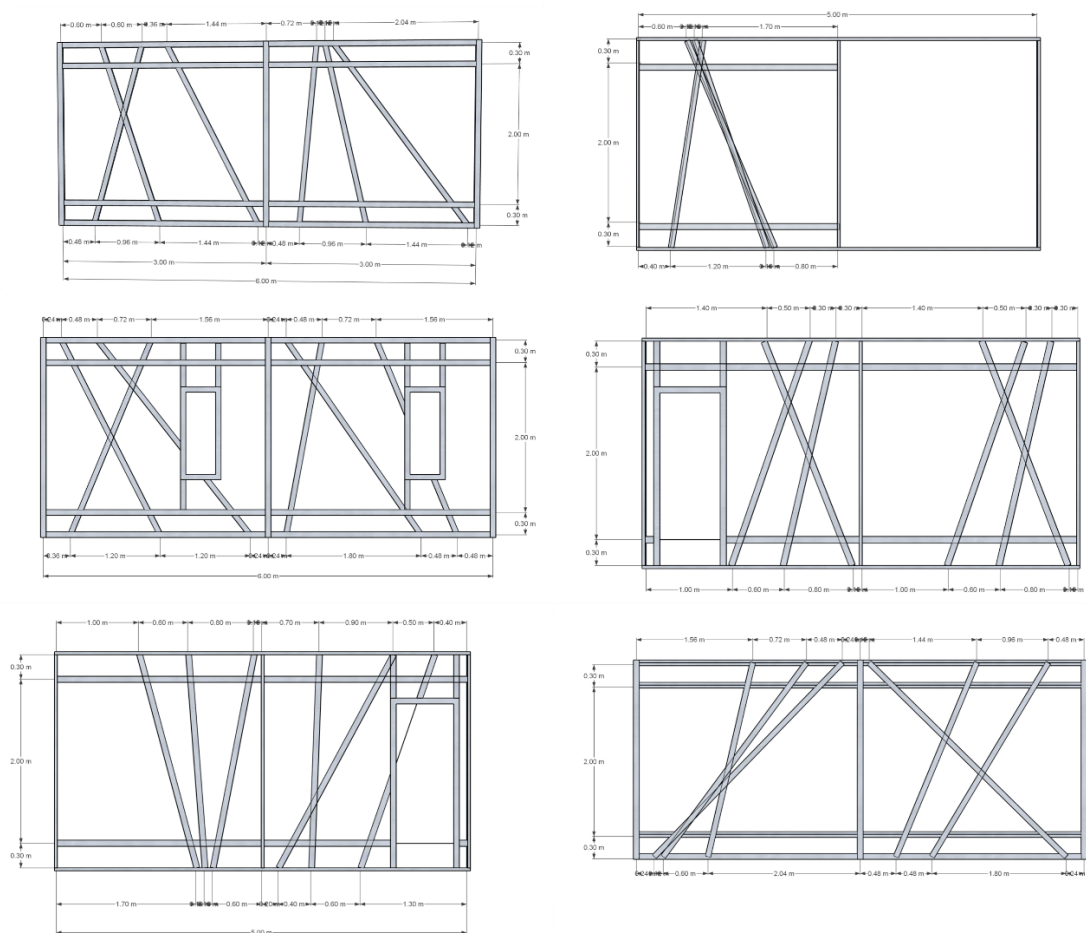


Gambar 12. Perbandingan Performa Antara Hasil FF

Gambar 15 menampilkan evaluasi perbandingan antara model PF dan model dasar dalam hal perpindahan, jumlah node, dan panjang LGSF. Model PF menunjukkan perpindahan yang jauh lebih rendah, menunjukkan stabilitas struktural yang lebih baik. Namun, peningkatan ini diimbangi oleh peningkatan baik dalam jumlah node maupun panjang LGSF. Peningkatan ini mengindikasikan kompleksitas geometris yang lebih tinggi dan potensi konsumsi material yang lebih besar, menimbulkan kekhawatiran tentang efisiensi dan efektivitas biaya. Gambar 14 menunjukkan konfigurasi susunan baja ringan per-dinding hasil dari MOO (Solusi no 6).



Gambar 13. Solusi Model dengan Performa Displacement Terkecil (Solusi No.6)

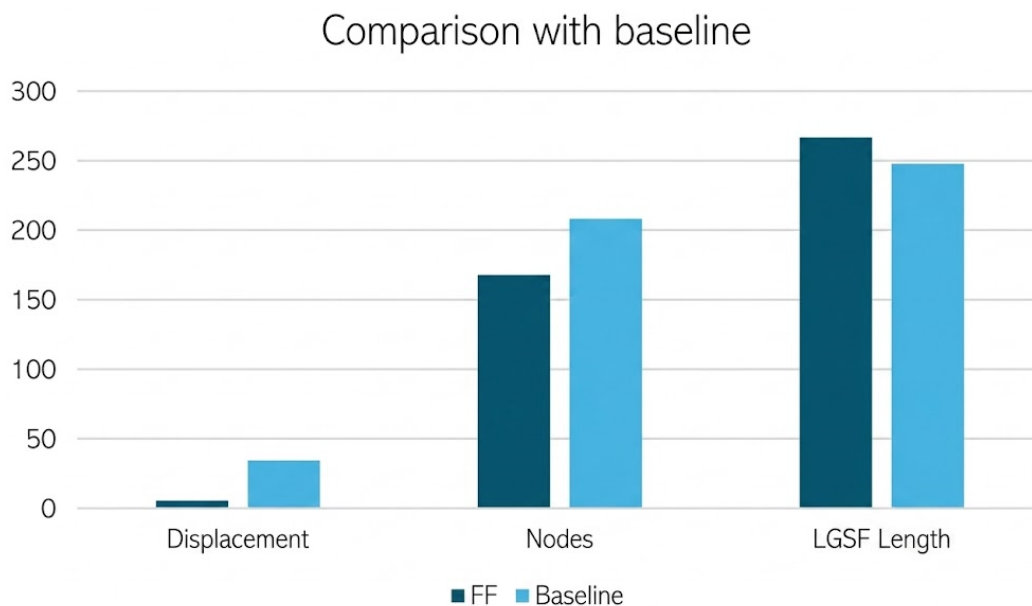


Gambar 14. Konfigurasi dan Dimensi Solution No.6

Tabel 2. Perbandingan Solution 6 dan Baseline Model

	Displacement	Nodes	LGSF Length
FF	5.00532	168	266.590478
Baseline	34.777389	207	248.465095

Tabel 2 menjelaskan perbandingan performa struktur antara Solusi desain hasil MOO dan baseline model tanpa MOO. Dari hasil tersebut terlihat bahwa beberapa aspek mengalami efisiensi dan salah satu aspek memperlihatkan volume material yang digunakan menjadi lebih banyak. Gambar 15 menunjukkan perbandingan antara model hasil optimasi (FF) dan model baseline berdasarkan tiga parameter utama, yaitu displacement, jumlah nodes, dan panjang total elemen LGSF (Light Gauge Steel Frame). Hasil grafik memperlihatkan bahwa model FF menghasilkan displacement yang jauh lebih kecil dibandingkan baseline, yaitu sekitar 5 dibandingkan 35, yang mengindikasikan peningkatan kekakuan dan performa struktural. Selain itu, jumlah nodes pada model FF juga lebih sedikit, sekitar 168 dibandingkan 208 pada baseline, menunjukkan konfigurasi struktur yang lebih sederhana dan efisien. Pada parameter panjang total LGSF, model FF memiliki panjang sekitar 267, sedikit lebih besar dibandingkan baseline yang berada pada kisaran 248. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan performa struktur dicapai melalui redistribusi dan penambahan elemen rangka secara terukur, sehingga menghasilkan struktur yang lebih kaku dengan kompleksitas sambungan yang lebih rendah. Secara keseluruhan, model FF menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibandingkan baseline karena mampu mengurangi deformasi secara signifikan sekaligus menyederhanakan konfigurasi struktur.

**Gambar 15.** Perbandingan Solution 6 dan Baseline Model

Algoritma Genetika telah digunakan untuk mengidentifikasi rumah LGSF dengan kinerja struktural optimal. Pendekatan yang diusulkan berhasil mengidentifikasi individu dengan kinerja tertinggi, sehingga meminimalkan nilai perpindahan struktural. Jumlah node dan panjang LGSF tidak memiliki efek signifikan dibandingkan dengan model dasar. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan Algoritma Genetika menghasilkan peningkatan terfokus pada kinerja struktural. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma secara efisien mengoptimalkan parameter struktural esensial tanpa mengubah konfigurasi keseluruhan sistem LGSF secara signifikan. Oleh karena itu, strategi optimasi dianggap efektif dan realistis, memberikan peningkatan kinerja yang dapat diukur sambil memastikan kelayakan desain dan efisiensi sumber daya pada objek desain.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan komputasional berbasis Genetic Algorithm (GA) dan Multi-Objective Optimization (MOO) pada desain struktur rumah rangka baja ringan (LGSF) mampu meningkatkan kinerja struktural secara signifikan, khususnya dalam mereduksi nilai displacement. Berdasarkan hasil simulasi terhadap ribuan iterasi desain, model optimal yang terpilih berhasil menurunkan displacement hingga sekitar 14.49% dibandingkan dengan model dasar. Hal ini mengindikasikan bahwa pendekatan parametrik dan optimasi generative memiliki potensi besar dalam menghasilkan solusi desain yang lebih adaptif terhadap beban gempa, terutama untuk konteks perumahan sederhana di Indonesia yang memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi terhadap bencana sismik.

Mengacu pada pertanyaan penelitian,

1. Kombinasi parameter dengan gaya displacement (design objective) yang terkecil terhadap kombinasi telah ditemukan.
2. Dengan input material properties pada Karamba, konfigurasi terbaik dari fitness function calculation telah ditemukan.
3. Seberapa signifikan sistem yang dirancang mampu mengefisiensikan harga Tingkat signifikansi pengurangan gaya displacement juga telah dicapai.

Di sisi lain, peningkatan performa struktural tersebut diikuti oleh konsekuensi berupa bertambahnya panjang elemen LGSF, yang mengindikasikan peningkatan kompleksitas geometris serta potensi penggunaan material yang lebih besar. Meskipun demikian, perubahan ini tidak secara signifikan mempengaruhi efisiensi keseluruhan system, sehingga strategi optimasi yang diterapkan tetap dapat dinilai efektif dan realistis. Penelitian ini juga menegaskan bahwa metode desain konvensional (*rule of thumb*) kurang mampu menghasilkan solusi optimal dibandingkan pendekatan berbasis algoritma, sehingga membuka peluang baru dalam pengembangan desain arsitektur dan struktur yang lebih presisi, terukur, dan berbasis data.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan kajian lebih mendalam terhadap aspek sambungan struktural, detail konstruksi dan analisis biaya secara komprehensif untuk memastikan bahwa performa struktural tetap dapat seimbang dengan aspek ekonomi. Lebih lanjut, validasi hasil dapat dilanjutkan dengan pengujian secara penuh (*full-scale testing*) untuk menguji keandalan hasil simulasi dalam kondisi nyata. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif bagi pemerintah dan industri sebagai pendekatan dalam merancang rumah tinggal sederhana dengan struktur utamanya menggunakan baja ringan.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kemenristekdikti karena penelitian ini merupakan salah satu luaran tambahan dari Hibah Penelitian Bima Luaran Model Tahun 2025 dengan nomor kontrak 018/C3/DT.05.00/PL/2025 tanggal 28 Mei 2025 dan kontrak turunan nomor 1483a/IT9.2.1/PT.01.03/2025.

6. Daftar Pustaka

- [1] BNPB, "Data Informasi Bencana Indonesia." [Online]. Available: https://dibi.bnpb.go.id/statistik_menurut_bencana
- [2] BMKG, "Peta Gempa 2024." Accessed: Apr. 04, 2025. [Online]. Available: <https://video.search.yahoo.com/search/video?fr=mcafee&p=melaporka n+sebanyak+7.358+gempa+bumi+mengguncang+Indonesia+sepanjang+t ahun+2024&type=E210US91215G0#id=1&vid=eaf9f7418d0f2d506376cebd befb0288&action=click>
- [3] S. Nasional, S. N. Indonesia, and N. Indonesia, "SNI Nomor 8369 2020," 2020.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 8140: 2016 Persyaratan beton struktural untuk rumah tinggal," p. 58, 2016.
- [5] SNI 03-1729:2020 and BSN, "Standar Nasional Indonesia 1727: 2020 Spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural," *Badan Standardisasi Nas.*, no. 8, pp. 1-336, 2020.
- [6] Badan STandarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia Nomor 7972 2020."
- [7] A. D. Hariyanto, S. Triyadi, and A. Widyowijatnoko, "Teknik Tradisional pada Struktur Rumah Panggung di Kabupaten Bima untuk Ketahanan terhadap Gempa," *RUANG-SPACE, J. Lingkung. Binaan (sp. J. Built Environ.*, vol. 7, no. 1, p. 5, 2020, doi: 10.24843/jrs.2020.v07.i01.p02.
- [8] A. D. Hariyanto, I. Sudradjat, and S. Triyadi, "Ethnographic approach for research on vernacular architecture: Four case studies of indigenous communities in Indonesia," *Nakhara J. Environ. Des. Plan.*, vol. 20, no. August, 2021, doi: 10.54028/NJ202120108.
- [9] Y. Kusuma, "Local wisdom as a sustainable building solution: Bamboo incremental house design concept," *J. Appl. Sci. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 119-127, 2022, doi: 10.6180/jase.202202_25(1).0012.

- [10] Bagus Iqbal Adining Pratama, Wijayanti, and SUzanna Ratih Sari, "PERUBAHAN TERITORIAL PADA RUMAH SUBSIDI TIPE 30 (Studi Kasus: Perumahan Mawar Indah, Kendal)," *J. Arsit. ARCADE*, vol. 5, no. 2, pp. 183–192, 2021.
- [11] A. Yokoyama, M. Matsuyuki, Y. Antokida, I. S. Fitritia, S. Tanaka, and R. Ariyoshi, "Assessing the impacts of climate-induced resettlement on livelihood vulnerability: A case study in Jakarta Special Province, Indonesia," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 96, no. August, p. 103946, 2023, doi: 10.1016/j.ijdr.2023.103946.
- [12] R. Bardhan and R. Debnath, "Towards daylight inclusive bye-law: Daylight as an energy saving route for affordable housing in India," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 34, no. 2016, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1016/j.esd.2016.06.005.
- [13] L. Benincá, E. Crespo Sánchez, A. Passuello, R. Karini Leitzke, E. Grala da Cunha, and J. Maria González Barroso, "Multi-objective optimization of the solar orientation of two residential multifamily buildings in south Brazil," *Energy Build.*, vol. 285, p. 112838, 2023, doi: 10.1016/j.enbuild.2023.112838.
- [14] Perkim.id, "Menangani Tantangan Backlog Perumahan di Indonesia: Ketidakseimbangan Supply dan Demand dalam Pasar Perumahan." [Online]. Available: <https://perkim.id/perumahan/menangani-tantangan-backlog-perumahan-di-indonesia-ketidakseimbangan-supply-dan-demand-dalam-pasar-perumahan/>
- [15] pu.go.id, "Kurangi Backlog Hunian Layak, Kementerian PUPR Siapkan Grand Design Perumahan Segmen MBR Informal." [Online]. Available: <https://pu.go.id/berita/kurangi-backlog-hunian-layak-kementerian-pupr-siapkan-grand-design-perumahan-segmen-mbr-informal>
- [16] I. Aydogdu, T. Oguz, and O. Osman, "Correction to : Design of large-scale real-size steel structures using various modified grasshopper optimization algorithms," *Neural Comput. Appl.*, vol. 9, p. 70200, 2022, doi: 10.1007/s00521-022-07487-9.
- [17] R. Ajouz, "Parametric Design of steel structures Fundamentals of parametric design using Grasshopper," vol. 14, 2021, doi: 10.1002/stco.202100011.
- [18] R. P. Khidmat, "Study on Optimization Method of Architectural Design Process Based on Environmental Performance Indicators and Implementation of Generative Algorithm Rendy Perdana Khidmat," The University of Kitakyushu, 2022.
- [19] S. On *et al.*, "STUDY ON THE IMPLEMENTATION OF PARAMETRIC DESIGN PROCESS IN DESIGNING HYPERBOLOID WOODEN PAVILION MADE OF JAPANESE CEDAR," The University of Kitakyushu, 2015.
- [20] David Rutten, "Grasshopper." Accessed: Apr. 04, 2025. [Online]. Available: <https://www.grasshopper3d.com/>
- [21] Robert McNeel, "Rhino 3D." Accessed: Oct. 08, 2020. [Online]. Available: <https://www.rhino3d.com/>

- [22] C. Preisinger and M. Heimrath, "Karamba - A toolkit for parametric structural design," *Struct. Eng. Int. J. Int. Assoc. Bridg. Struct. Eng.*, vol. 24, no. 2, pp. 217-221, 2014, doi: 10.2749/101686614X13830790993483.
- [23] C. Preisinger, "Linking structure and parametric geometry," *Archit. Des.*, vol. 83, no. 2, pp. 110-113, 2013, doi: 10.1002/ad.1564.
- [24] A. A. F. A. W. Beta Paramita, "Sertifikat desain industri," IDD000078464, 2024
- [25] David Rutten, "Grasshopper."
- [26] R. P. Khidmat, H. Fukuda, and Kustiani, "Design Optimization of Hyperboloid Wooden House," *Buildings*, pp. 1-31, 2022.
- [27] K. Lakhdari, L. Sriti, and B. Painter, "Parametric optimization of daylight, thermal and energy performance of middle school classrooms, case of hot and dry regions," *Build. Environ.*, vol. 204, no. January, p. 108173, 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2021.108173.
- [28] "Thornton Tomasetti CORE studio, Design Explorer", [Online]. Available: <http://core.thorntontomasetti.com/design-explorer/>
- [29] T. Ramadhan, B. Paramita, and R. S. Srinivasan, "Study of Cost and Construction Speed of Cladding Wall for Lightweight Steel Frame (LSF)," *Buildings*, vol. 12, no. 11, pp. 1-14, 2022, doi: 10.3390/buildings12111958.
- [30] B. Paramita, "Building climate resilience in Indonesia : The role of cool roofs," *VEOLIA Inst. Rev.*, vol. FACTS REPO, no. Health and the environment: understanding, anticipating and acting in the face of climate change, 2025.