



STUDI TRANSFORMASI GEOMETRI SECARA STRUKTURAL DALAM MENCIPTAKAN BENTUK ARSITEKTUR SIMBOLIK

Meiko Rahman Halim¹, Syaifuddin Zuhri²

Program Studi Arsitektur, Fakultas Arsitektur dan Desain, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur
E-mail: 22051010008@student.upnjatim.ac.id

Informasi Naskah:

Diterima:

16 Juni 2025

Direvisi:

11 Juli 2025

Disetujui terbit:

4 Agustus 2025

Diterbitkan:

Cetak:

29 September 2025

Online

29 September 2025

Abstract: Basic geometric forms such as triangles, squares, and circles are not merely ordinary shapes; they can be transformed into architectural configurations that embody both aesthetic value and symbolic meaning. This study examines the transformation of fundamental geometric forms—triangle, square, and circle—into architectural structures that simultaneously convey symbolic expression and structural efficiency. Utilizing the Rhinoceros-Grasshopper platform and the Kiwi3D plugin, each geometry was modeled and numerically tested under static loading conditions using steel as the structural material. Spatial stress distribution was analyzed through RGB color mapping to evaluate performance characteristics. The simulation results demonstrate that each transformed geometry exhibits distinct structural behaviors and symbolic interpretations. The study concludes that the triangular form performs most optimally, integrating symbolic expression, spatial order, and structural performance effectively within large-span architectural design.

Keywords: Geometry, Rhinoceros, Symbolic Architecture

Abstrak: Geometri dasar seperti segitiga, persegi, lingkaran bukan hanya sebuah bentuk geometri biasa, namun ia bisa bertransformasi menjadi bentuk arsitektur yang membentuk estetika dan makna simbolik. Penelitian ini mengkaji transformasi bentuk geometri dasar (segitiga, persegi, lingkaran) menjadi bentuk arsitektural yang merepresentasikan makna simbolik sekaligus efisien terhadap beban struktural. Dengan memanfaatkan platform Rhinoceros-Grasshopper dan plugin Kiwi3D, setiap geometri dimodelkan dan diuji secara numerik terhadap beban tetap menggunakan material baja, serta dianalisis melalui peta warna RGB untuk mengidentifikasi distribusi tegangan spasial. Hasil simulasi menunjukkan bahwa setiap bentuk geometri yang telah ditransformasikan memiliki karakteristik dan makna yang berbeda-beda. Penelitian ini menyimpulkan bahwa bentuk segitiga memiliki kinerja paling optimal dalam mengintegrasikan ekspresi simbolik, keteraturan spasial, dan kinerja struktural.

Kata Kunci: Geometri, Rhinoceros, Arsitektur Simbolik

PENDAHULUAN

Arsitektur bukan sekadar membentuk ruang fisik, melainkan hasil ekspresi kompleks yang menyatukan fungsi, estetika, serta representasi simbolik dan budaya dari suatu kawasan (Pratama & Zuhri, 2024). Dalam konteks ini, Arsitektur merupakan konstruksi yang berfungsi sebagai pemenuhan kebutuhan visual dan fungsional bagi penggunaannya (Rahmi et al., 2021), sekaligus seni merancang ruang yang sarat akan makna simbolik (Elianna Gerda Pertiwi et al., 2025).

Arsitektur simbolik didefinisikan sebagai wujud desain arsitektural yang memiliki citra dan makna tertentu (Bulakh et al., 2022), serta merepresentasikan pembentukan identitas, nilai-nilai budaya, dan pengalaman masa lalu (Noaime & Mashary Alnaim, 2023), guna menciptakan persepsi atau rasa keterhubungan dengan pengalaman atau sesuatu yang spesifik dan bermakna (Elianna Gerda Pertiwi et al., 2025).

Dalam mewujudkan arsitektur simbolik salah satu pendekatannya adalah dengan transformasi bentuk geometri. Proses transformasi dalam desain arsitektur merupakan proses mengubah sesuatu dari model, baik berupa penampilan, bentuk, fungsi, atau karakteristik menjadi bentuk baru (Farahat & Alaeddine, 2023). Proses transformasi dari bentuk geometri dasar (segitiga, lingkaran, persegi) merupakan cara paling relevan dalam menggali ide atau gagasan bentuk visual (Chang & Park, 2022), termasuk bentuk-bentuk yang memiliki makna simbolik tertentu (Gunardi et al., 2021).

Perkembangan zaman yang semakin canggih membuka peluang besar dalam melakukan eksplorasi bentuk geometri, terutama dengan kehadiran perangkat lunak pemodelan tiga dimensi seperti Rhinoceros, yang memungkinkan melakukan transformasi bentuk secara fleksibel dan dinamis (Athallah et al., 2019). Untuk mengoptimalkan kinerja proses transformasi bentuk tersebut dapat digunakan plugin Grasshopper (Pepe et al., 2024).

Dengan kombinasi kedua alat tersebut, memungkinkan proses desain geometri menjadi fleksibel, cepat, akurat, serta efisien pada saat proses desain hingga fabrikasi material (Atthailah, 2014). Prosedur optimasi bentuk dapat dijalankan dengan tiga tahap utama, yaitu pemodelan geometri dasar, mensimulasikan hasil pemodelan, proses optimasi akhir yang menghasilkan bentuk optimal (Albaik & Muhsen, 2025).

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi optimasi geometri yang tidak hanya berdasarkan aspek konstruksi dan fungsional, namun juga mampu merepresentasikan makna simbolik.

Proses transformasi bentuk geometri digunakan sebagai fondasi utama dalam pengembangan arsitektur, diman geometri digubah secara universal dalam proses berarsitektur yang memungkinkan artikulasi bentuk dan struktur (Apoorva Ajmera, 2020). Dalam karyanya *Role of Geometry on Architecture*, Ajmera menekankan Bentuk-bentuk dasar seperti lingkungan, segitiga, dan persegi, digunakan tidak hanya pada keperluan estetika, namun juga menciptakan ekspresi artistik dan konstruksi yang rasional. Menurut Lodato et al. (2024), pemanfaatan bentuk dasar geometri dasar dalam suatu desain modern dapat meningkatkan efisiensi dan respon mengenai pembebanan struktur serta iklim dalam desain bangunan modern.

TINJUAN PUSTAKA

Arsitektur simbolik merupakan manifestasi dari prinsip semantik yang menyatukan elemen filosofis, budaya, dan spiritual dalam desain spasial (Mavromatidis, 2025). Dalam pendekatan ini, arsitektur dipahami bukan hanya sebagai struktur fungsional tetapi juga media komunikasi budaya, ideologi, dan nilai-nilai sosial (Ghozali & Zuhri, 2024). Seringkali bangunan tidak hanya berfungsi sebagai tempat berkegiatan, namun juga dapat sebagai cerminan aspirasi, kepercayaan, dan sejarah suatu komunitas.

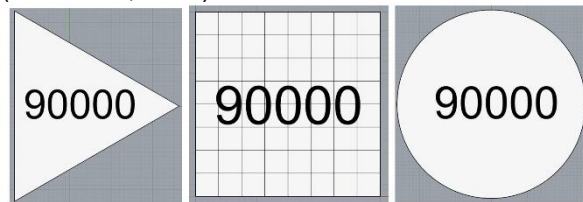
Dalam pengembangan arsitektur simbolik, bentuk geometri dasar sering sekali digunakan dalam menyampaikan makna filosofis dan nilai budaya melalui interpretasi visual dan spasial. Seperti lingkaran yang sering dianalogikan sebagai kesempurnaan, keabadian, dan kontinuitas, hal ini dipengaruhi oleh bentuknya yang tidak memiliki awalan dan akhiran yang menjadikannya elemen ruang yang berorientasi pada spiritual dan kesatuan (Liang, 2025).

Sedangkan persegi, sering di analogikan sebagai keteraturan, kestabilan, dan kejelasan rasionalitas, hal ini membuat persegi sering digunakan sebagai simbol keseimbangan (Nassar et al., 2024). Sebaliknya, segitiga dianalogikan sebagai simbolik arah vertikal secara spiritual dan sebagai simbolik kekuatan dan stabilitas secara visual bentuk, terutama ketika diterapkan dalam struktur piramidal (Simalullah et al., 2024). Ketiga bentuk ini dapat membuat bentuk yang tidak hanya estetis, namun juga sebagai media komunikatif menyalurkan narasi spiritual dan identitas budaya masyarakat.

Untuk membentuk sebuah geometri dasar ke dalam arsitektur simbolik terdapat beberapa tahapan yang dilalui.

METODOLOGI PENELITIAN

Eksplorasi bentuk geometri dasar seperti segitiga, persegi, dan lingkaran memiliki peran penting dalam menghasilkan ekspresi visual dan makna simbolik suatu bangunan (Chang & Park, 2022). Lingkaran direpresentasikan sebagai kesempurnaan dan keterpusatan dalam ruang monumental, persegi direpresetasikan sebagai stabilitas dan ketertiban spasial, sedangkan segitiga menyiratkan arah spiritual dan dinamika structural (Katagiri & Ohmura, 2024). Ketiga bentuk ini, ketika dieksplorasi menggunakan luasan 90.000m² untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 1, memiliki potensi terciptanya komposisi arsitektural yang estetis (Mohamed, 2024).



Gambar 1. Bentuk Dasar Geometri
Sumber: Analisis Priadi (2025)

Pada skala luasan yang terdapat pada gambar 1, efisiensi struktur menjadi krusial, sehingga hasil eksplorasi bentuk geometri dasar akan diberikan material baja dengan berat jenis 78,5 kN/m³, sebagai elemen utama pembawa beban (Idow Mohamed et al., 2023). Aplikasi Rhinoceros-Grasshopper digunakan untuk mengembangkan bentuk geometri dasar lalu dioptimalkan terhadap beban tetap secara algoritmik (Gatsko & Méndez, 2024). Melalui pendekatan ini, bentuk geometris tidak hanya berpaku pada visual, namun juga terintegrasi dan dapat dipertanggungjawabkan (Huang et al., 2024). Untuk memperkaya proses analisis spasial dalam mengembangkan struktur, digunakan peta warna gradasi RGB yang merepresentasikan nilai beban seperti pada gambar 2



Gambar 2. Peta warna pembebanan
Sumber: Analisis Priadi (2025)

Sesuai dengan gambar 2, warna biru (RGB: 0,105,255) menunjukkan zona bertegangan rendah, dapat diidentifikasi sebagai area efisien structural (Y. Chen et al., 2020). Gradasi warna hijau hingga kuning, (RGB: 30,255,0) dan (191,255,9), merepresentasikan area transisi beban sedang yang mendeteksi zona kerja elastis yang stabil warna merah (RGB: 255,0,0) digunakan untuk

mengidentifikasi konsentrasi pembebanan maksimum (S. Chen et al., 2023). Melalui integrasi ini, gradasi warna dapat mengetahui pada bagian mana saja tegangan terjadi dan sebagai pengambilan keputusan performatif pada desain berbasis algoritmik parametrik (Choi et al., 2025).

Alur kerja penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan utama, antara lain:

1. Konseptualisasi Geometri Dasar, penentuan tiga bentuk dasar yang memiliki makna simbolik (Chang & Park, 2022). Setiap bentuk diberikan skala denah sebesar 90000m² untuk memastikan validasi spasial
2. Pengembangan Model Parametrik, seluruh bentuk dimodelkan menggunakan Rhinoceros dan Grasshopper berbasis prinsip desain parametrik, proses ini memfasilitasi pengujian bentuk secara dinamis dan efisien (Katagiri & Ohmura, 2024).
3. Simulasi Pembebanan dan Evaluasi Struktural, masing-masing model diuji terhadap pembebanan mati dengan material baja dengan berat jenis 78,5 kN/m³. Analisis dilakukan dengan penggunaan plugin Kiwi3D untuk menilai kekakuan, deformasi, dan efisiensi distribusi beban (Iidow Mohamed et al., 2023).
4. Analisis & Penarikan Kesimpulan, berupa interpretasi hasil dan visual guna menentukan bentuk geometri yang paling optimal secara simbolik dan struktural.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Geometri dasar dalam konteks realisasi atap memegang peran penting dalam menentukan efisiensi struktur, kestabilan bentuk, serta efektivitas distribusi beban. Dari geometri dasar seperti segitiga, lingkaran, persegi telah terbukti memberikan karakteristik yang bisa dimanfaatkan dalam mendesain atap bangunan.

Penggunaan geometri pada atap mempengaruhi distribusi beban lentur pada atap dan memberikan kontribusi signifikan terhadap kekakuan sistem dan efisien bahan (Achmad et al., 2025). Geometri yang bersifat modular atau repetitif tidak hanya memberikan estetika tetapi juga memaksimalkan kemampuan struktur dalam mendistribusikan beban gravitasi dan lateral, salah satunya adalah bangunan bentang lebar.

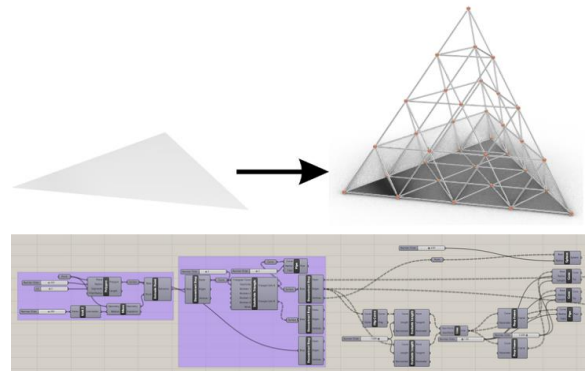
Dengan kemampuannya yang luar biasa, maka penelitian ini akan mengkaji bentuk geometri apa yang paling maksimal dalam membangun bangunan bentang lebar. Tujuannya untuk mengetahui bentuk geometri apa yang paling maksimal dalam membangun bangunan lebar. Untuk membantu kajian tersebut, penelitian ini akan memanfaatkan aplikasi Rhinoceros 8 dan plugin Grasshopper untuk simulasi dikarenakan kemampuannya dalam membuat alternatif bentuk dan mengintegrasikannya ke simulasi untuk mengetahui kemampuan hasil desain

Setelah ditetapkan bahwa bentuk atap kubah merupakan solusi struktural paling efisien untuk bangunan bentang lebar karena kemampuannya

dalam mendistribusikan beban mati pada bangunan secara merata dan meminimalisir kebutuhan kolom. Tahap berikutnya adalah menentukan bentuk denah seperti apa yang dapat diintegrasikan dengan bentuk atap tersebut secara maksimal.

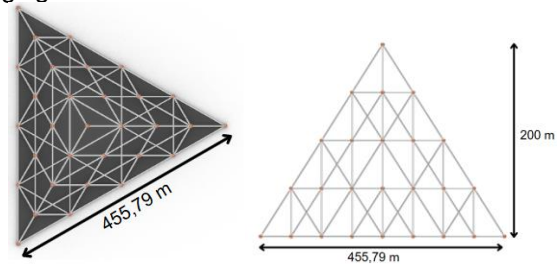
a. Geometri Segitiga

Geometri dasar pertama yang di transformasikan adalah segitiga. Berikut simulasi pengembangan bentuk segitiga menggunakan Rhinoceros-Grasshopper:



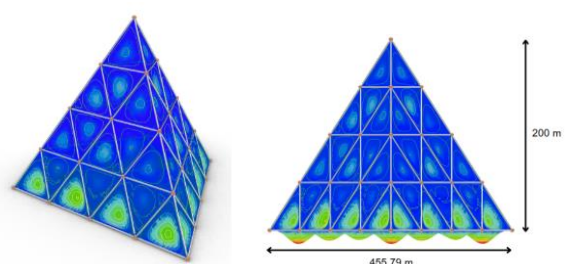
Gambar 3. Proses Transformasi Bentuk Segitiga
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Sebagai awalan transformasi, pertama yang dilakukan adalah membuat denah segitiga dengan menggunakan perintah polygon. Setelah denah terbentuk, untuk menghasilkan bentuk prisma segitiga diberikan para meter ketinggian pada sumbu Z. Ketinggian ini dapat diatur sehingga menghasilkan prisma sesuai dengan desain. Selanjutnya, sambungan antara denah dengan titik tinggi dihubungkan dengan menggunakan garis diagonal untuk membentuk batangan struktural prisma segitiga.



Gambar 4. Hasil Transformasi Bentuk Segitiga
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Untuk memperkuat logika struktur, titik simpul ditambahkan pada setiap pertemuan elemen, dan diberikan permukaan sebagai bidang penutup struktur. Kemudian model diberikan batasan secara struktural dan material, yang kemudian dapat digunakan untuk melakukan simulasi struktur dengan plugin Kiwi3D seperti pada gambar 5.



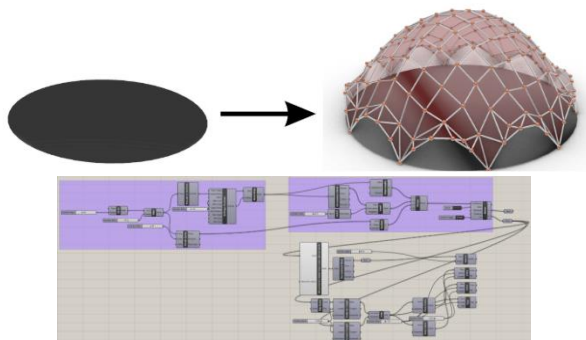


Gambar 5. Hasil Simulasi Bentuk Segitiga
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Hasil simulasi secara struktural grid segitiga seperti pada gambar 5 menunjukkan bahwa, warna yang mendominasi bangunan adalah warna biru (RGB: 0,105,255) yang mengindikasikan bahwa sebagian besar struktural mencukupi untuk mengatasi beban lentur awal (S. Chen et al., 2023). Namun, pada sisi sepanjang sisi bawah segitiga terlihat gradasi warna hijau-kuning menuju merah (RGB: 255,105,0), mengidentifikasi konsentrasi tegangan tinggi akibat akumulasi pembebanan struktur atasnya, kondisi ini berpotensi menjadi titik awal kegagalan struktur. Sehingga diperlukan penguatan di area tumpuan bawah dengan elemen sekunder (Baghbanan et al., 2023).

b. Geometri Lingkaran

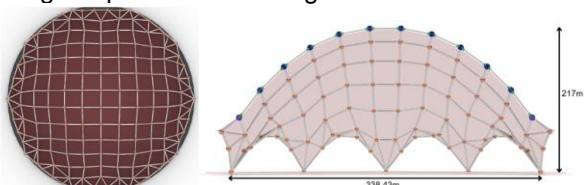
Geometri dasar yang di transformasikan selanjutnya adalah lingkaran. Berikut simulasi pengembangan transformasi geometri dasar lingkaran menggunakan Rhinoceros-Grasshopper:



Gambar 6. Proses Transformasi Bentuk Lingkaran
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Tahapan awal yang dilakukan adalah membuat denah lingkaran sebagai dasar membangun bangunan. Dari geometri lingkaran tersebut dibagi menjadi beberapa segmen radial menggunakan perintah dekonstruksi mesh, yang membentuk grid sebagai dasar konstruksi atap.

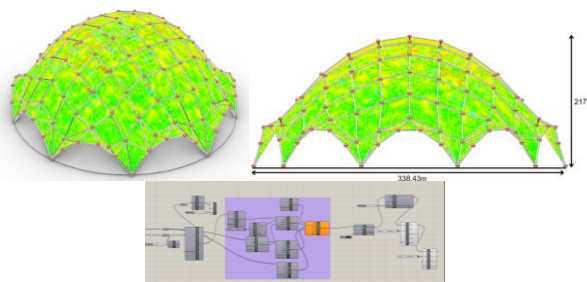
Dengan memanfaatkan plugin kangaroo, plugin ini memungkinkan menciptakan bidang dengan bentuk organik. Parameter ketinggian kubah dilakukan dengan menggembungkan bidang hingga menjadi bentuk kubah. Struktur lalu dibentuk dengan menghubungkan titik-titik grid hingga menjadi garis sebagai representasi batang struktural.



Gambar 7. Hasil Transformasi Bentuk Lingkaran
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Setelah semua bentuk selesai, langkah selanjutnya dengan memasang parameter material dan

batasan beban, kemudian bangunan dapat diberikan parameter simulasi struktur dengan menggunakan plugin kiwi3D seperti pada gambar 8.

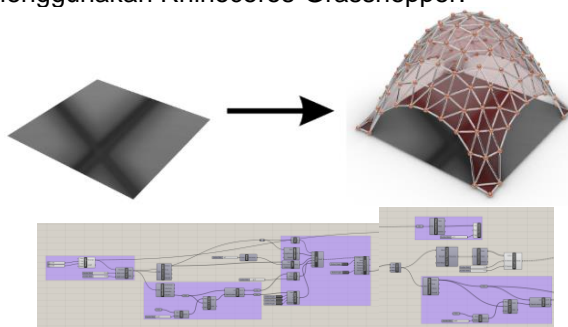


Gambar 8. Hasil Simulasi Bentuk Lingkaran
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Model transformasi struktur kubah seperti pada gambar 8 menunjukkan respon yang merata terhadap beban mati, hal ini dibuktikan dengan dominasi warna hijau (RGB: 30,255,0-191,255,0) yang tersebar di seluruh permukaan kubah yang mengindikasikan bahwa tegangan berada pada tingkat menengah dan terdistribusi secara efisien. Dominasi warna hijau ini mengidentifikasi kekuatan struktur yang baik dari bentuk kubah, yang secara alami mendistribusikan gaya tekan ke permukaan secara radial (Arslan et al., 2022). Pada area atas kubah terdapat beberapa bagian warna biru terang (RGB: 0,247,255-0,255,191) muncul pada area atas kubah, menunjukkan zona beban minimal atau stabil. Sedangkan pada bagian menuju bawah terdapat warna kuning (RGB: 255,247,0) yang merupakan daerah akumulasi beban vertikal (Chokwitthaya et al., 2020). Pemetaan ini mengidentifikasi bahwa geometri kubah dalam meminimalkan konsentrasi tegangan dan memaksimalkan distribusi beban (Dai & Yu, 2023).

c. Geometri Kotak

geometri dasar terakhir yang akan ditransformasikan adalah bentuk persegi. Berikut simulasi pengembangan transformasi bentuk persegi menggunakan Rhinoceros-Grasshopper:

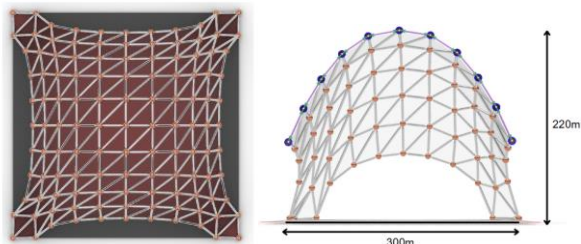


Gambar 9. Proses Transformasi Bentuk Persegi
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Proses awal adalah dengan membuat denah berbentuk persegi sebagai awal pembuatan atap. Selanjutnya, bidang dibagi menjadi beberapa grid membentuk struktur subdivisi sebagai kerangka untuk mentransformasikan ke bentuk atap.

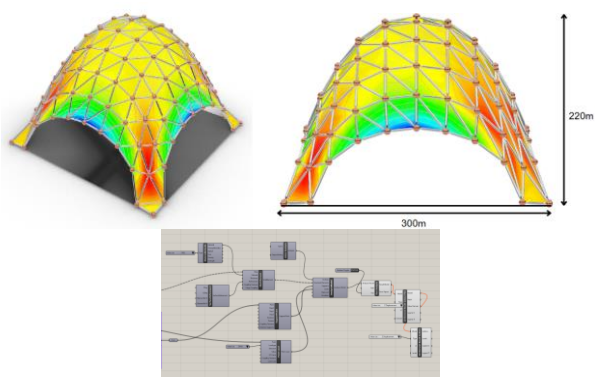
Parameter ketinggian kemudian diterapkan secara adaptif dengan menggunakan plugin kangaroo, yang berfungsi untuk menggembungkan bidang hingga membentuk seperti kubah. Setelah bentuk kubah

terbentuk, titik-titik kontrol pada grid disambungkan hingga membentuk garis struktural batang, dan tumpuan struktur ditempatkan pada setiap simpul pertemuan elemen untuk menunjang stabilitas.



Gambar 10. Hasil Transformasi Bentuk Persegi
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

Setelah semua struktur terbentuk, bangunan diberikan penutup yang mengikuti kontur dari atap. Dan pada bagian akhir, struktur diberikan material dan batasan beban yang kemudian dilakukan simulasi secara struktural menggunakan plugin kiwi3D seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Hasil Simulasi Bentuk Persegi
Sumber: Analisis Pribadi (2025)

model struktur kubah persegi berdasarkan gambar 11 menunjukkan sebaran tegangan tinggi secara spasial, ditunjukkan warna kuning hingga merah (RGB: 255,247,0-255,105,0) yang mendominasi hampir dikeseluruhan permukaan, terutama pada bagian tengah dan daerah tumpuan, yang menandakan akumulasi tegangan dikarenakan pembebanan dari atas serta tranmisi gaya aksial ke struktur penyangga. Sebaliknya, area pertemuan antar penyangga menampilkan warna biru kehijauan (RGB: 0,105,255-30,255,0), menunjukkan lokasi dengan respons lentur yang rendah atau relaksasi struktural (Carlo et al., 2022). Hal ini menegaskan kubah pada denah persegi cenderung kurang menyatu dibandingkan lingkaran, karena adanya tekanan lateral besar di bidang datar, yang menimbulkan tegangan yang besar di penumpunya (Nodargi & Bisegna, 2021), oleh karena itu dibutuhkan penguatan struktural penambahan stiffener untuk mendistribusikan beban lebih merata (Baghbanan et al., 2023).

Pembahasan

Dalam konteks arsitektur simbolik, ketiga geometris dasar (segitiga, lingkaran, dan persegi) tidak hanya merepresentasikan secara visual, tetapi juga memuat makna struktural dan spasial yang dalam.

Bentuk tranformasi segitiga merepresentasikan sebagai simbol kekuatan dan stabilitas, terbukti melalui hasil simulasi yang menyatakan distribusi tegangan paling merata dan rendah pada puncak struktur (dengan kode warna biru kehijauan), yang menandakan efisiensi spasial dan ketahanan terhadap beban lentur serta gaya tekan vertikal.

Geometri lingkaran yang melambangkan harmoni dan kesinambungan, dengan kekuatannya dalam menahan pola tegangan radial yang relatif seimbang, namun secara teknis menyimpan risiko akumulasi tegangan di simpul tengah karena distribusi beban tidak sepenuhnya homogen.

Sementara itu, kubah persegi mengandung simbol keteraturan dan rasionalitas spasial, namun visual RGB menunjukkan konsentrasi tegangan tinggi pada tumpuan akibat tekanan lateral bidang datar, yang menyebabkan perlunya tambahan penguatan struktural untuk mencapai performa optimal.

KESIMPULAN

Hasil simulasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa segitiga memiliki performa yang paling unggul dengan pendistribusian beban mati yang merata dengan tingkat deformasi rendah, yang menjadikannya simbol kekuatan dan kestabilan struktural.

Kasus bentuk lain memiliki hasil yang berbeda dengan segitiga. Pada bentuk lingkaran ditemukan bahwa beban yang disalurkan seimbang namun pada daerah simpul tengah puncak memiliki tegangan yang agak berat hasil akumulasi struktur, yang menghasilkan makna simbolik seimbang dan harmonis secara visual. Sebaliknya, pada bentuk persegi konsentrasi kekuatan secara spasial, namun terjadi konsentrasi yang tinggi pada titik tumpuan akibat beban lateral bidang datar.

Dengan demikian, bentuk yang paling optimal secara simbolik, spasial, dan struktural adalah bentuk segitiga dengan hasil transformasinya berupa bentuk piramida.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan rahmat Tuhan Yang Maha Esa penelitian ini dapat terselesaikan, ucapan terima kasih diberikan kepada semua pihak yang telah membantu menyelesaikan penelitian, baik sumber literatur dan semua orang yang mendukung penyelesaian penelitian ini. Semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik pembaca maupun penulis dan dapat diteruskan untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, Rochman, T., & Asukmajaya, B. R. (2025). Implementasi Konsep Pbsd Pada Modifikasi Struktur Atas Gedung 4 Lantai Di Kota Malang. *6*, 120–127.
- Albaik, M., & Muhsen, R. (2025). Optimizing Building Performance: A Grasshopper Modeling Case Study of the King Hussein Mosque. *IEEE Access*, *13*, 47244–47259. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3551226>
- Apoorva Ajmera. (2020). Role of Geometry on Architecture. *International Journal of Engineering Research And*

- V9(06), 958–963.
<https://doi.org/10.17577/ijertv9is060733>
- Arslan, M. H., Yazman, Ş., Hamad, A. A., Aksoylu, C., Özkılıç, Y. O., & Gemi, L. (2022). Shear strengthening of reinforced concrete T-beams with anchored and non-anchored CFRP fabrics. *Structures*, 39, 527–542.
<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.03.046>
- Atthailah. (2014). Arsitektur Parametrik dengan Rhinoceros dan Grasshopper: Kajian Workflow dari Desain, Fabrikasi hingga Hitungan Kebutuhan Material. *Journal Article*, 3, 10–23.
https://repository.unimal.ac.id/1020/3/B_ARSITEKNO_VOL_3.pdf
- Atthailah, A., Bakhtiar, A., & Badriana, B. (2019). Optimalisasi Pencahayaan Alami Dengan Useful Daylight Illuminance Pada Desain Rumah Toko (Ruko) Di Kota Lhokseumawe. *Nature: National Academic Journal of Architecture*, 6(1), 11.
<https://doi.org/10.24252/nature.v6i1a2>
- Baghbanan, A. M., Alaghmandan, M., Golabchi, M., & Barazandeh, F. (2023). Architectural Form Finding and Computational Design of Tall Building Applying Topology Optimization against Lateral Loads. *Journal of Architectural Engineering*, 29(1).
<https://doi.org/10.1061/JAEIED.AEENG-1380>
- Bulakh, I., Kashchenko, T., Harbar, M., Praslova, V., Riabets, Y., & Divak, V. (2022). The Integrity of the Artistic Image of the City Based on Symbolization (the Case of Modern Architecture of Dnipro, Ukraine). *Civil Engineering and Architecture*, 10(3), 874–887.
<https://doi.org/10.13189/cea.2022.100310>
- Carlo, P. M. G., Laura, S., & Maghsoudloumotlagh, V. (2022). *Master's Thesis in Architecture Parametric Design in Structural Optimization Calculating an optimization of Geodesic domes structure through Parametric modeling.*
- Chang, D., & Park, J. (2022). Describing the geometric difference of architectural forms in three primary shapes of circle, triangle and square. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 21(1), 1–21.
<https://doi.org/10.1080/13467581.2021.2007103>
- Chen, S., Zhang, H., yang, Zhao, C. ming, Fan, Y., Chen, H., & Wang, L. (2023). Analysis of echo signal modulation characteristic parameters on aerial and space targets. *Defence Technology*, 28, 146–154.
<https://doi.org/10.1016/j.dt.2022.08.005>
- Chen, Y., Yeh, C. J., Qi, Y., Long, R., & Creton, C. (2020). *From force-responsive molecules to quantifying and mapping stresses in soft materials.*
<https://www.science.org>
- Choi, W.-J., Yang, M., You, I., Yoon, Y.-S., Ryu, G.-S., An, G.-H., & Yoon, J. S. (2025). Discoloration Characteristics of Mechanochromic Sensors in RGB and HSV Color Spaces and Displacement Prediction. *Applied Sciences*, 15(3), 1066.
<https://doi.org/10.3390/app15031066>
- Chokwitthaya, C., Zhu, Y., Mukhopadhyay, S., & Collier, E. (2020). Augmenting building performance predictions during design using generative adversarial networks and immersive virtual environments. *Automation in Construction*, 119, 103350.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103350>
- Dai, H., & Yu, Z. (2023). A new design method for the openings of shell structures under the dual control of principal stress lines and stress contours. *Advances in Engineering Software*, 183, 103479.
<https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2023.103479>
- Elianna Gerda Pertiwi, Sunarmi, & Sarwanto. (2025). Pendopo Padepokan Tjipta Boedaja: Representasi Estetika Nusantara Dan Ruang Kolektif Dalam Pelestarian Seni Tradisional. *Jurnal Dimensi Seni Rupa Dan Desain*, 21(2), 201–216.
<https://doi.org/10.25105/dim.v21.i2.22190>
- Farahat, B. I., & Alaeddine, H. O. (2023). Redefining contemporary housing spaces through architectural transformation. In *MSA ENGINEERING JOURNAL* (Vol. 2, Issue 1).
<https://doi.org/10.21608/msaeng.2023.289033>
- Gatsko, R., & Méndez, M. (2024). The new bridge “Lahnsteg Nauheim”, Wetzlar: slender, elegant, parametrically designed. *Ce/Papers*, 7(3–4), 81–84.
<https://doi.org/10.1002/cepa.3069>
- Ghozali, M. F., & Zuhri, S. (2024). Ekspresi Estetika Dan Simbolik Pada Arsitektur Kontemporer Dengan Pendekatan Metafora. *Widyastana*, 1(1), 34–43.
<https://doi.org/10.33005/widyastana.v1i1.122>
- Gunardi, Y., Handayani, S., Permana, A. Y., & Widaningsih, L. (2021). Filosofi Arsitektur Masjid Al-Mishbah: Studi Arsemiotika Ikon-Indeks-Symbol. *Jurnal Arsitektur ZONASI*, 4(2), 283–294.
<https://doi.org/10.17509/jaz.v4i2.32963>
- Huang, B., Zhang, H., Yang, W., Ye, H., & Jiang, B. (2024). Mechanical carbon emission assessment during prefabricated building deconstruction based on BIM and multi-objective optimization. *Scientific Reports*, 14(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-78305-6>
- Idow Mohamed, H., Ravari, S. O., & Resatoglu, R. (2023). Structural And Cost Analysis Of Reinforced Concrete And Steel Framed Structures: A Comparative Study In Lefkoşa, North Cyprus. *Proceedings of the International Conference of Contemporary Affairs in Architecture and Urbanism-ICCAUA*, 6(1), 1179–1192.
<https://doi.org/10.38027/iccaua2023en0297>
- Katagiri, Y., & Ohmura, T. (2024). *Notes on Architectural Abstraction in Poor Geometry* (pp. 148–159).
https://doi.org/10.1007/978-3-031-71008-7_15
- Liang, W. (2025). *The Role of Cultural Symbolism in Tharu Architecture: An Ethnomathematical Perspective.*
<https://www.researchgate.net/publication/387905792>
- Lodato, C., Magionesi, F., & Marsala, G. (2024). A novel energy harvesting technology from the movements of air masses. *Discover Applied Sciences*, 6(9).
<https://doi.org/10.1007/s42452-024-06146-z>
- Mavromatidis, L. (2025). Constructal thermodynamics and its semantic ontology in autopoietic, digital, and computational architectural and urban space open systems. *BioSystems*, 249(January), 105404.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2025.105404>
- Mohamed, M. S. (2024). *Connecting the aesthetics of abstract art of geometric shapes to modern architecture “Formation of architectural blocks and urban spaces.”*
- Nassar, D., Baghdadi, M., & Kassem, M. M. (2024). The Influence Of The Western Architectural Language On The Architecture Of Islamic Societies. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 19(72), 404–425.
<https://doi.org/10.21608/aej.2024.260721.1582>
- Noaime, E., & Mashary Alnaim, M. (2023). Examining the symbolic dimension of Aleppo’s historical landmarks. *Alexandria Engineering Journal*, 78, 292–305.
<https://doi.org/10.1016/j.aej.2023.07.054>
- Nodargi, N. A., & Bisegna, P. (2021). *Collapse capacity of masonry domes under horizontal loads: A static limit analysis approach.* <http://arxiv.org/abs/2106.12982>
- Pepe, M., Garofalo, A. R., Costantino, D., Tana, F. F., Palumbo, D., Alfio, V. S., & Spacone, E. (2024). From Point Cloud to BIM: A New Method Based on Efficient Point Cloud Simplification by Geometric Feature

- Analysis and Building Parametric Objects in Rhinoceros/Grasshopper Software. *Remote Sensing*, 16(9). <https://doi.org/10.3390/rs16091630>
- Pratama, B., & Zuhri, S. (2024). KAJIAN KONSEP ARSITEKTUR PARAMETRIK PADA NAGYERDEI FOOTBALL STADIUM HUNGARIA. In *Jurnal Arsitektur ARCADE* (Vol. 8, Issue 3).
- Rahmi, M., Prodi, A., Jurusan, A., Infrastruktur, T., Institut, K., & Sumatera, T. (2021). KRITIK: MASIH RELEVANKAH METODE ANALOGI BENTUK BAGI ARSITEKTUR SEKARANG? (Vol. 18, Issue 1). <http://journals.ums.ac.id/index.php/sinektika>
- Simalullah, S., Tajudeen, S., & Jothilakshmy, N. (2024). "Exploring Planning and Design Principles in Traditional Islamic Architecture."