

Penentuan Bentuk Frame Landasan Penumpang Kapsul Tsunami Berdasarkan Hasil Tegangan dan Regangan menggunakan Diskritisasi Oktahedral

Mochamad Edoward Ramadhan*, Gaguk Djatisoekamto

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember

*Corresponding author: edoward.teknik@unej.ac.id

Abstrak. Penelitian prototip kapsul keselamatan, berawal dari bencana alam tsunami yang melanda Indonesia sebagai negara kepulauan. Selain itu Amerika Serikat, Jepang dan china telah melakukan pembuatan kapsul tsunami yang berhasil di HAK paten dengan kode US4297757 (Amerika) berbentuk bola dan di China ada sekitar 5 buah bentuk yang telah dibuat CN102267549B(bentuk jamur); CN203698627U (bentuk mangkok); CN204750532U (bentuk bunker); CN204916125U (bentuk kapsul silinder); CN208198781U(bentuk bulat telur). Setelah melakukan pengkajian paten maupun prototype yang sudah ada, peneliti membuat bentuk prototype berbentuk bola dengan diameter 2 meter. Bahan menggunakan Stainless steel diameter luar 25.4mm dan diameter dalam 23.9mm. Simulasi menggunakan diskritisasi octahedral dengan mesh menyesuaikan dengan struktur. Beban menggunakan Tekanan di area permukaan luar, beban orang sebanyak 4 dengan berat masing-masing 60kg, dan untuk constrain tetap pada bagian dalam geometri bola. Tujuan simulasi adalah memprediksi letak area kritis yang mengalami tegangan dan regangan terbesar. Setelah itu dilakukan pemilihan konsep sebanyak 10 untuk penambahan penguat pada bagian area yang mengalami titik kritis. Konsep 3 dan Konsep 6 memiliki regangan sebesar 0.00725mm, sedangkan Konsep 6 memiliki tegangan principal lebih kecil dibanding konsep 3 yaitu $3.05 \times 10^6 \text{N/m}$ dengan estimasi error lokal $2.13 \times 10^{-6} \text{Joule}$. Sehingga Konsep 6 ditetapkan akan dipakai sebagai penguat dari prototype kapsul keselamatan tsunami.

Kata kunci: *Stress, Strain, Octahedral*, Area kritis, Kapsul tsunami.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Pembuatan rangka dari prototype kapsul keselamatan sebagai usaha dalam tanggap bencana alam bagi masyarakat Indonesia merupakan kebutuhan yang sangat penting. Prototype tersebut terdiri atas bagian, kerangka, interior dan eksterior. Bagian rangka dengan berbagai bentuk merupakan kebebasan bagi para pembuatnya, pada kesempatan kali ini peneliti akan membuat prototype dengan bentuk bola berdiameter 2000 mm. Kerangka terbuat dari pipa berbahan steel dengan diameter dalam 23.9 mm dan diameter luar 25.4 mm, sedangkan pembebanan menggunakan beban tekanan untuk rangka bagian bola terluar dan untuk bagian dalam dilakukan penumpuan tetap. Karena di bagian dalam rangka terhubung dengan tempat duduk orang maka beban diberikan secara vertikal ke bawah dan beberapa horizontal untuk titik penempatan sabuk penumpang. Meshing menggunakan

diskritisasi elemen berbentuk octahedral secara adaptif. Finite Elemen Analysis dipakai untuk menentukan area kritis prototype, setelah itu diberi penguat berupa frame. Frame juga dilakukan pengembangan konsep sebanyak 10 dan dilakukan Analisis Metode Elemen Hingga untuk menentukan konsep frame yang akan diterapkan menggunakan konsep ke 4.

Studi Pustaka

FEM adalah singkatan dari *Finite Element Method* bertujuan untuk menyelesaikan suatu problem dengan cara membagi obyek analisa menjadi bagian-bagian kecil yang terhingga (diskritisasi). Kata "finite atau terhingga" digunakan untuk menekankan bahwa bagian-bagian kecil tersebut tidak tak terhingga, menggunakan metode integral analitik. FEM didefinisikan sebagai teknik numerik untuk menyelesaikan problem yang dinyatakan dalam persamaan

diferensial[1]. Secara umum langkah-langkah dalam FEM bisa diringkas sebagai berikut:

1. Membagi obyek analisa ke dalam elemen-elemen kecil.
2. Melakukan modelisasi sederhana yang berlaku untuk setiap elemen. Misalnya dimodelkan sebagai pegas, di mana pegas ini sifatnya sederhana, yaitu tegangan berbanding lurus dengan perubahan bentuknya. Membuat formula sederhana untuk setiap element tersebut. Misalnya untuk pegas berlaku hukum

$$F_{\text{pegas}} = k.x \quad (1)$$

k = konstanta pegas, x= pertambahan panjang pegas.

3. Mengkombinasikan seluruh elemen dan membuat persamaan simultan yang mencakup semua variabel. [3] Dalam geometri, **octahedron** adalah polyhedron dengan delapan wajah, dua belas tepi, dan enam simpul. Istilah ini paling sering digunakan untuk merujuk pada *octahedron* biasa, padatan *Platonik* yang terdiri dari delapan segitiga sama sisi, empat di antaranya bertemu di setiap titik bisa dilihat di gambar 1. *Octahedron* reguler adalah *polyhedron* ganda kubus. Ini adalah tetrahedron yang diperbaiki. Bipyramid persegi dalam salah satu dari tiga orientasi ortogonal. Merupakan antiprisma segitiga dalam salah satu dari empat orientasi.

Name	Octahedron	Rectified tetrahedron (Tetrahedron)	Triangular antiprism	Square bipyramid	Rhombic fusil
Image (Face coloring)	(1111)	(1212)	(1112)	(1111)	(1111)
Coxeter diagram					
Schläfli symbol	{3,4}	r{3,3}	s{2,6} sr{2,3}	tt{2,4} { } + {4}	tr{2,2} { } + { } + { }
Wythoff symbol	4 3 2	2 4 3	2 6 2 2 3 2		
Symmetry	O _h , [4,3], (*432)	T _d , [3,3], (*332)	D _{3d} , [2 ⁺ ,6], (2 ⁻ 3) D ₃ , [2,3] ⁺ , (322)	D _{4h} , [2,4], (*422)	D _{2h} , [2,2], (*222)
Order	48	24	12 6	16	8

Gambar 1. Elemen Diskritisasi

Gaya atau reaksi dalam yang timbul persatuan luas disebut sebagai **Tegangan**. Tegangan dibedakan menjadi dua yaitu *engineering stress* dan *true stress*. Dalam praktek teknik, gaya umumnya diberikan dalam pound atau newton, dan luas yang menahan dalam inch² atau mm². Akibatnya tegangan biasanya dinyatakan dalam pound/inch² yang sering disingkat psi atau Newton/mm² (MPa) [2]. Tegangan yang dihasilkan pada keseluruhan benda tergantung dari gaya yang bekerja. Dalam praktek, kata tegangan sering memberi dua pengertian :

- a) Gaya per satuan luas atau intensitas tegangan, yang umumnya ditunjukkan sebagai tegangan satuan.
- b) Gaya dalam total suatu batang tunggal yang umumnya dikatakan sebagai tegangan total Pada saat benda menerima beban sebesar P kg, maka benda akan bertambah panjang sebesar ΔL mm. Saat itu pada

material bekerja tegangan yang dapat dihitung dengan rumus (*engineering stress*):

$$\sigma = F/A_0 \quad (2)$$

σ = tegangan (pascal, N/m²), F = beban yang diberikan (Newton, dyne) A₀ = luas penampang mula-mula (mm²).

Sedangkan *true stress* adalah tegangan hasil pengukuran intensitas gaya reaksi yang dibagi dengan luas permukaan sebenarnya (actual).

True stress dapat dihitung dengan:

$$\sigma = F/A \quad (3)$$

σ = True stress (MPa), F = Gaya (N), A = Luas permukaan sebenarnya (mm²).

Regangan didefinisikan sebagai perubahan panjang material dibagi panjang awal akibat gaya tarik ataupun gaya tekan pada material. Batasan sifat elastis perbandingan regangan dan tegangan akan linier dan akan berakhir sampai pada titik mulur. Hubungan tegangan dan regangan tidak lagi linier pada saat material mencapai batasan fase sifat plastis. Regangan dibedakan menjadi dua, yaitu:

engineering strain dan *true strain*. *Engineering strain* adalah regangan yang dihitung menurut dimensi benda aslinya (panjang awal), sehingga untuk mengetahui besarnya regangan yang terjadi adalah dengan membagi perpanjangan dengan panjang semula dengan:

$$e_{eng} = \frac{La - Lo}{Lo} = \frac{\Delta L}{Lo} \quad (4)$$

ΔL = Perubahan panjang, Lo = Panjang mula-mula, L = Panjang setelah diberi gaya. *True strain* dapat dihitung secara bertahap (*increment strain*), dimana regangan dihitung pada kondisi dimensi benda saat itu (sebenarnya) dan bukan dihitung berdasarkan panjang awal dimensi benda. Persamaan regangan untuk true strain (e) adalah:

$$\varepsilon = \frac{La - Lo}{la} \quad (5)$$

Deformasi atau perubahan bentuk terjadi apabila bahan dikenai gaya. Selama proses deformasi berlangsung, material menyerap energi sebagai akibat adanya gaya yang bekerja. Perubahan bentuk secara fisik pada benda dibagi menjadi dua, yaitu deformasi plastis dan deformasi elastis. Penambahan beban pada bahan yang telah mengalami kekuatan tertinggi tidak dapat dilakukan, karena pada kondisi ini bahan telah mengalami deformasi total. Jika beban tetap diberikan maka regangan akan bertambah dimana material seakan menguat yang disebut dengan penguatan regangan (*strain hardening*) yang selanjutnya benda akan mengalami putus pada kekuatan patah [4]. Pada awal pembebanan akan terjadi deformasi elastis sampai pada kondisi tertentu, sehingga material akan mengalami

deformasi plastis. Pada awal pembebanan di bawah kekuatan luluh, material akan kembali ke bentuk semula. Hal ini dikarenakan adanya sifat elastis pada bahan. Elastisitas bahan sangat ditentukan oleh modulus elastisitas. Modulus elastisitas suatu bahan didapat dari hasil bagi antara tegangan dan regangan.

$$E = \sigma/e \quad (6)$$

dengan: E = Modulus elastisitas σ = Tegangan (MPa) e = Regangan

Von mises (1913) menyatakan bahwa akan terjadi luluh kedua deviator tegangan $J2$ melampaui harga kritis tertentu. Peristiwa luluh akan terjadi pada saat energi distorsi atau energi regangan geser dari material mencapai suatu nilai kritis tertentu. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa energi distorsi adalah bagian dari energi regangan total per unit volume yang terlibat di dalam perubahan bentuk.

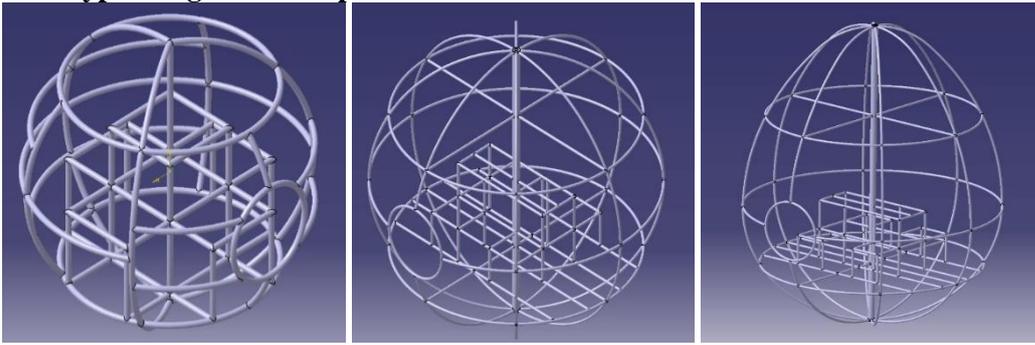
$$J2 = k^2 \quad (7)$$

Tegangan von Mises digunakan untuk memprediksi tingkat keluluhan material terhadap kondisi pembebanan dari hasil pengujian tarik simple uniaksial. Keamanan terhadap struktur keseluruhan tekuk dicapai dengan membatasi faktor beban tekuk minimum menjadi lebih besar dari faktor keamanan yang ditentukan pengguna. Penting untuk menyebutkan bahwa elemen diverifikasi mengenai keakuratan distribusi tegangan dengan membandingkannya dengan tolak ukur literatur dan elemen padat yang mapan [5].

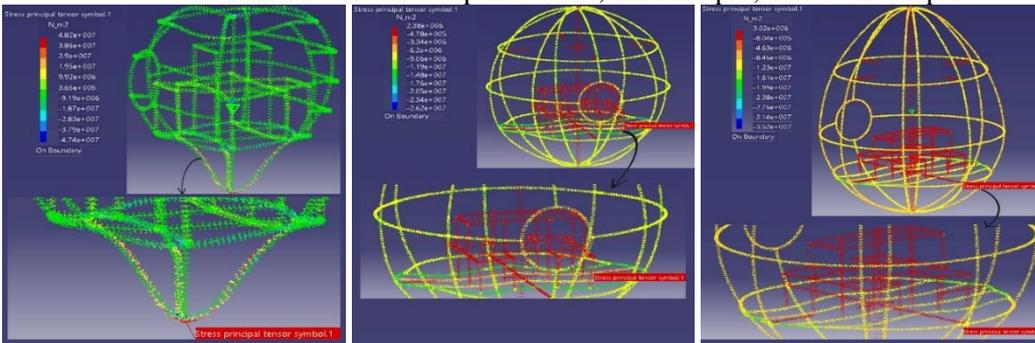
Metodologi Penelitian



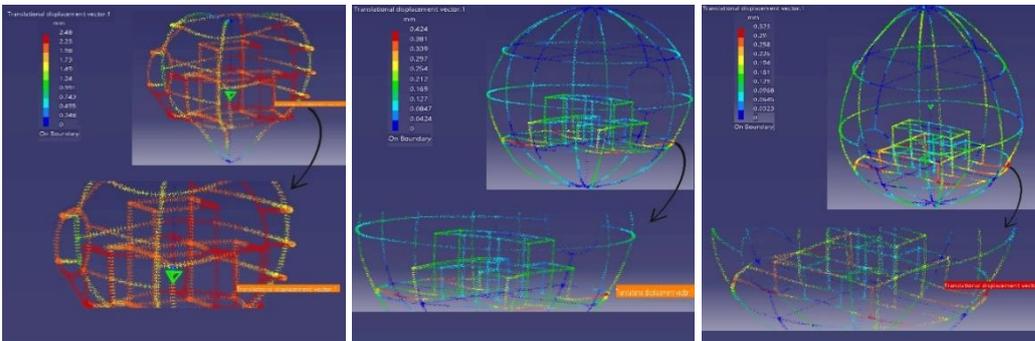
Hasil dan Pembahasan Prototype Rangka dari Kapsul Tsunami



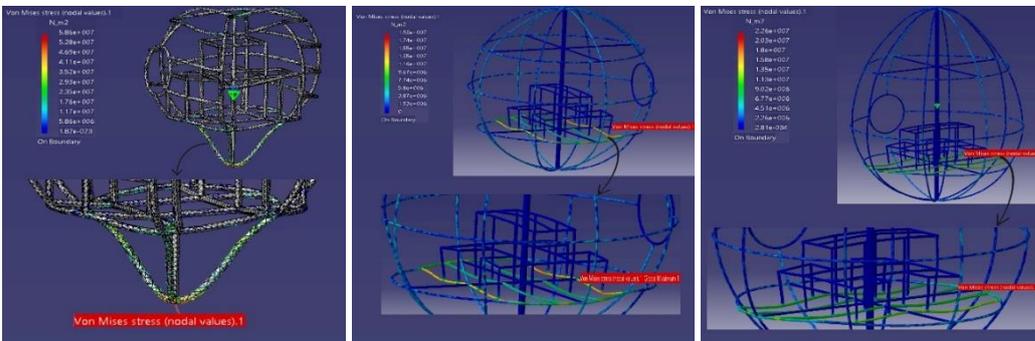
Gambar 4. A. Konsep Referensi, B.Konsep 1, dan C. Konsep 2



Gambar 5. Tegangan Prinsipal A. Konsep Referensi, B.Konsep 1, dan C. Konsep 2

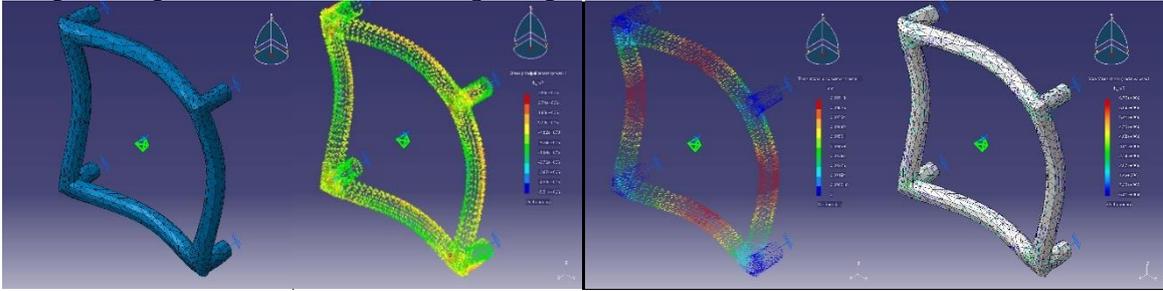


Gambar 6. Perubahan Panjang (La) A. Konsep Referensi, B.Konsep 1, dan C. Konsep 2

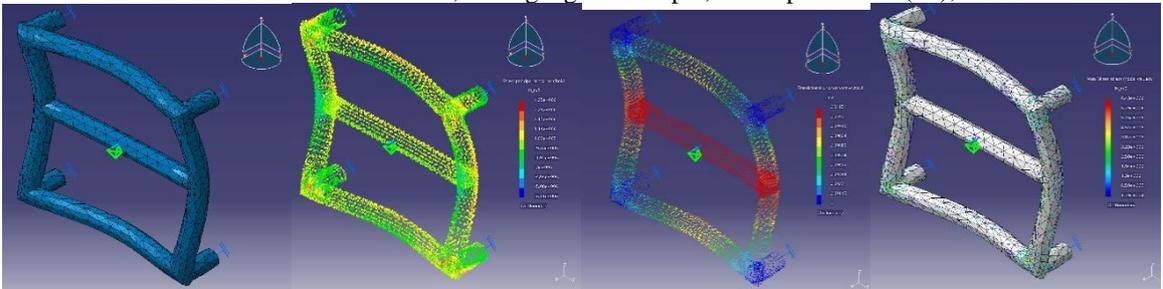


Gambar 7. Tegangan VonMises A. Konsep Referensi, B.Konsep 1, dan C. Konsep 2

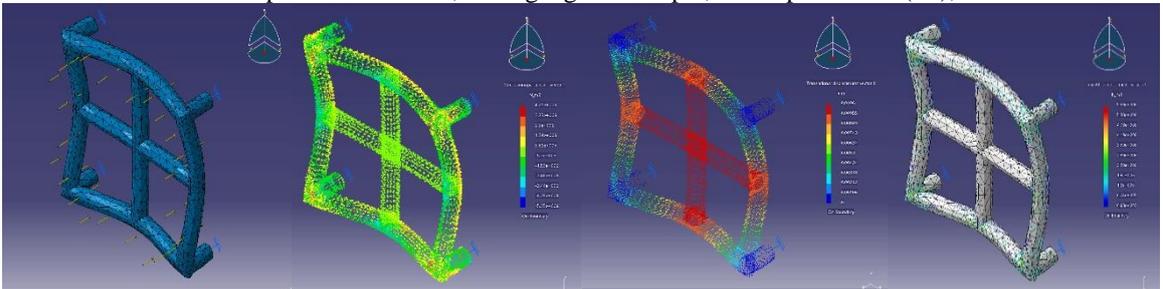
Pengembangan dan Pemilihan Konsep Penguat



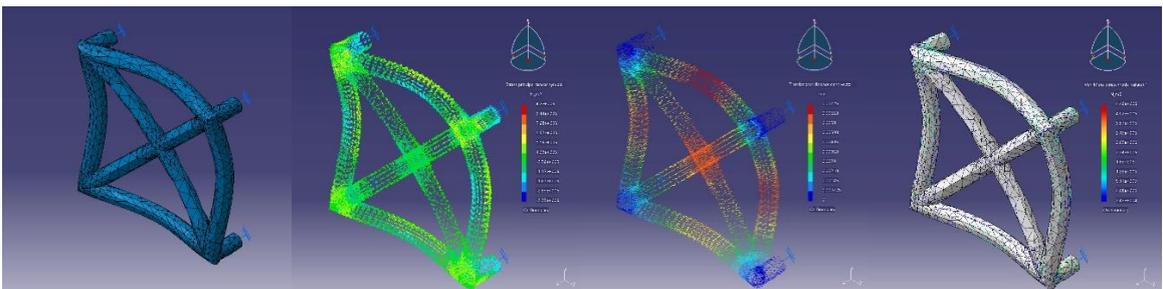
Gambar 8. Referensi A. Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



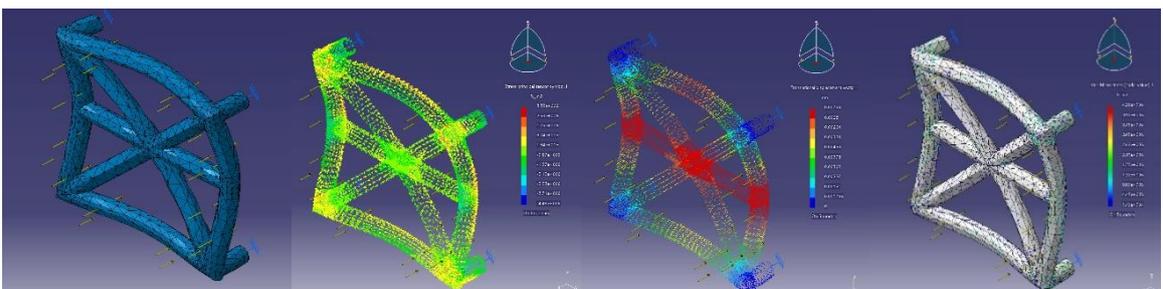
Gambar 9. Konsep 1 A. Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



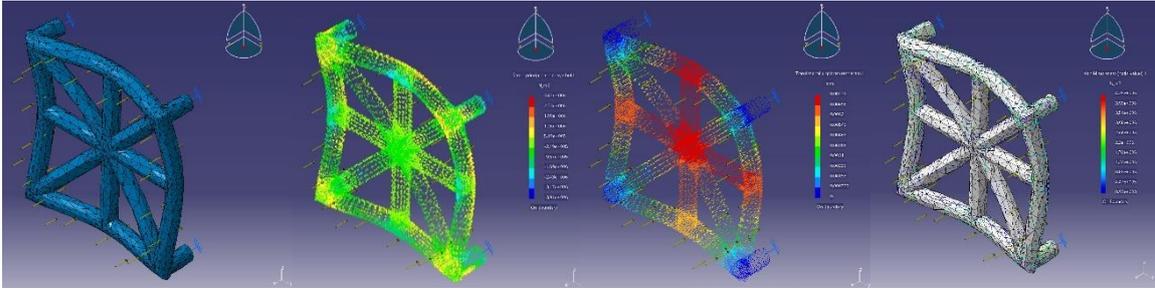
Gambar 10. Konsep 2 A. Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



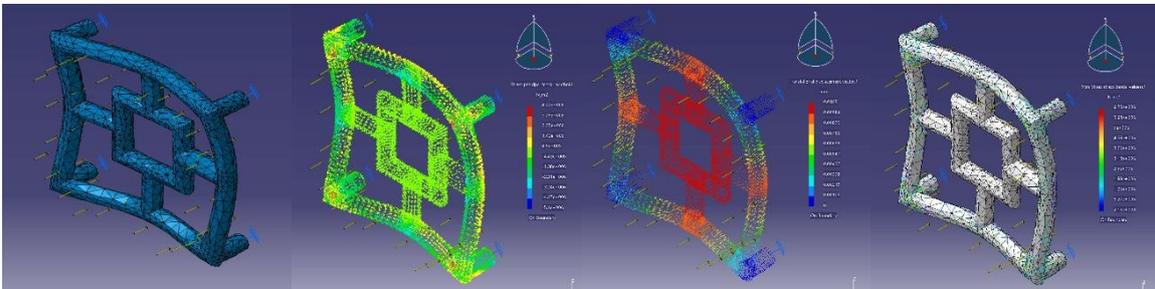
Gambar 11. Konsep 3 A. Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



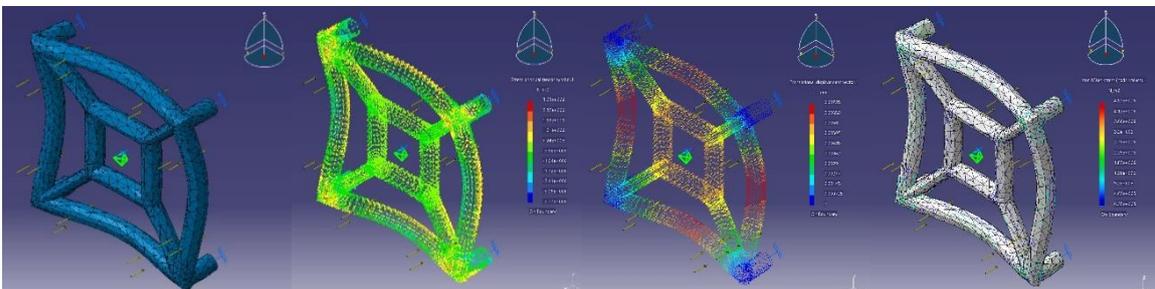
Gambar 12. Konsep 4 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



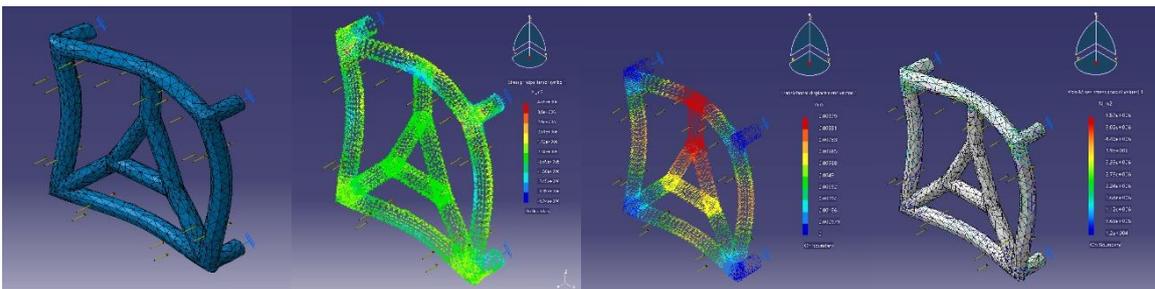
Gambar 13. Konsep 5 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



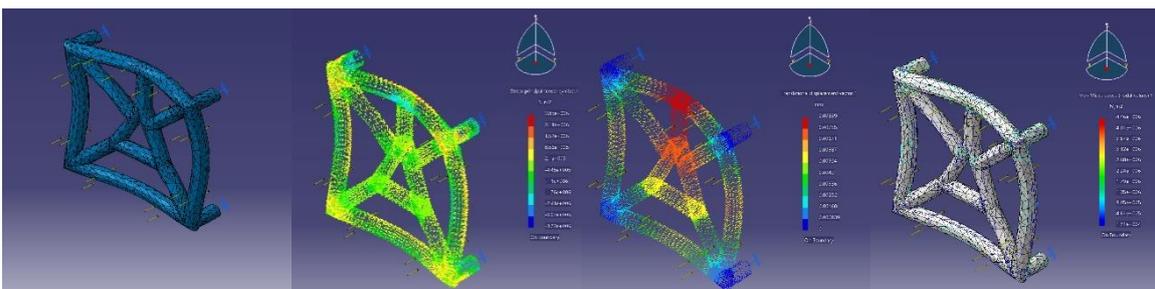
Gambar 14. Konsep 6 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



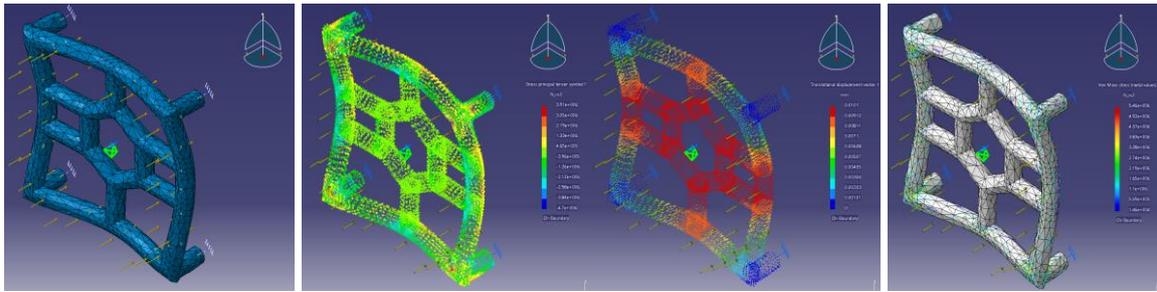
Gambar 15. Konsep 7 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



Gambar 16. Konsep 8 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



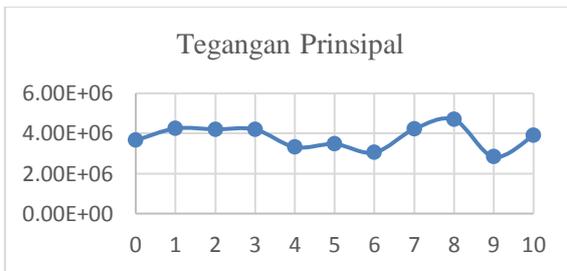
Gambar 17. Konsep 9 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises



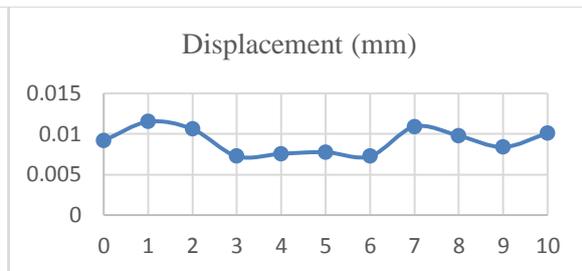
Gambar 18. Konsep 10 Deformasi, B. Tegangan Prinsipal, C. Displacement (La), D. VonMises

Tabel 1. Rating Pemilihan Konsep dengan 4 variable

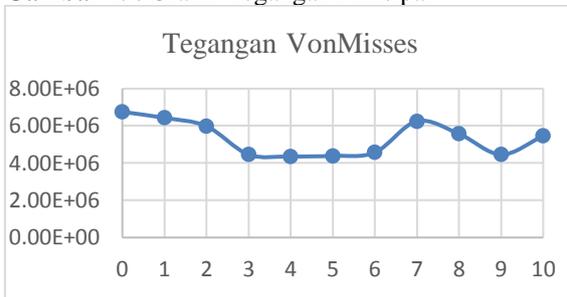
Konsep	Tegangan Prinsipal Maks (MPa)	La-Lo (mm)	Tegangan Vonmises Maksimum(MPa)	Estimation error	Modulus Elastis(MPa)	Rangking
Referensi	3.66E+06	0.00918	6.75E+06	8.47E-06	3.99E+08	10
Konsep 1	4.25E+06	0.01150	6.43E+06	9.77E-06	3.70E+08	11
Konsep 2	4.21E+06	0.01060	5.98E+06	8.18E-06	3.97E+08	9
Konsep 3	4.20E+06	0.00725	4.46E+06	2.61E-06	5.79E+08	3
Konsep 4	3.32E+06	0.00756	4.36E+06	2.36E-06	4.39E+08	2
Konsep 5	3.47E+06	0.00775	4.39E+06	2.76E-06	4.48E+08	4
Konsep 6	3.05E+06	0.00725	4.57E+06	2.13E-06	4.21E+08	1
Konsep 7	4.22E+06	0.01090	6.25E+06	6.05E-06	3.87E+08	6
Konsep 8	4.69E+06	0.00979	5.57E+06	8.47E-06	4.79E+08	5
Konsep 9	2.83E+06	0.00839	4.46E+06	3.28E-06	3.37E+08	7
Konsep 10	3.91E+06	0.01010	5.46E+06	6.47E-06	3.87E+08	10



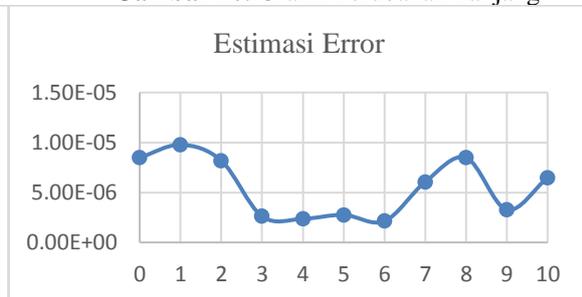
Gambar 19. Grafik Tegangan Prinsipal



Gambar 20. Grafik Perubahan Panjang



Gambar 21. Grafik Tegangan VonMises



Gambar 22. Grafik Estimasi Error

Dari hasil Pemilihan konsep pada Gambar 5-7 dengan pertimbangan parameter tegangan prinsipal, perubahan panjang akhir setelah pembebanan dan tegangan VonMises maka ditetapkan berdasarkan urutan terbaik adalah konsep 1, konsep 2, dan Referensi serta akan diberikan penguat. Perolehan rangking dari pemilihan konsep berdasarkan variable Tegangan Prinsipal, Displacement dan tegangan vonmises disajikan dalam Tabel 1. Dengan perolehan konsep penguat terbaik yaitu konsep 6 yang dibuktikan dengan rendahnya displacement, rendahnya tegangan principal dan tegangan vonmises serta lebih besarnya modulus Elastsitas. Sedangkan untuk konsep yang stabil bisa diamati pada gambar 19-22 yaitu konsep 3,4,5,6, dan 9 dengan perolehan rangking 1 diperoleh konsep 6.

Kesimpulan

Hasil Simulasi menyatakan bahwa pemilihan konsep rangka dan penguat bisa disimpulkan sebagai berikut:

- a) Konsep Rangka dipilih menggunakan konsep 1,
- b) Konsep Penguat yang memiliki kesetabilan adalah konsep 3,4,5,6 dan 9 sedangkan yang akan dipilih menggunakan konsep 6.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini dibiayai oleh LP2M Universitas Jember Tahun Akademik 2019/2020.

Daftar pustaka

[1] G.V. Nogueira, R.R. Paccola, H.B. Coda, "A consistent UVLWT formulation for

- laminated plane frame analysis considering semi-rigid connections” *Finite Elements in Analysis and Design*, 140, hlm. 59-83, 2018.
- [2] T. Dang Hoang, C. Herbelot, A. Imad, N. Benseddiq. “Numerical modelling for prediction of ductile fracture of bolted structure under tension shear loading.” *Finite Elements in Analysis and Design*, 67, hlm. 56-65, 2013.
- [3] P.Aerias, T. Rabbcszuk. “Steiner-point free edge cutting of tetrahedral meshes with applications in fracture.” *Finite Elements in Analysis and Design*, 132, hlm. 27-41, 2017.
- [4] Navid Changizi, Mehdi Jalalpour. “Topology optimization of steel frame structures with constraints on overall and individual member instabilities.” *Finite Elements in Analysis and Design*, 141, hlm. 119-134, 2018.
- [5] Sascha Duczec, Fabian Duvingneau, Ulrich Gabbert. The finite cell method for tetrahedral meshes. *Finite Elements in Analysis and Design*, 121, hlm. 18-32, 2016.