

OPTIMASI TOPOLOGI PADA BALOK BAJA IWF BERLUBANG

Andaryati¹, Siswoyo¹

¹ Teknik Sipil, FT Universitas Wijaya Kusuma, Surabaya

Email: andaryati@yahoo.com

Abstrak

Struktur IWF balok baja berlubang sudah berkembang penerapannya seiring dengan kemajuan teknologi manufaktur yang diaplikasikan pada bangunan komersial maupun industri, khususnya penggunaan pada balok bentang lebar maupun gedung bertingkat yang membutuhkan banyak bukaan balok sebagai jalur *Heating, Ventilation dan Air Conditioning (HVAC)*, karakteristik balok baja berlubang memiliki karakteristik yang menguntungkan yaitu inersia penampang dan modulus penampang yang lebih besar dari balok baja IWF asalnya. Selain itu mempunyai kemampuan memikul momen yang lebih besar dengan kekakuan (*stiffness*) yang lebih besar.

Tujuan dilakukannya Optimasi Topologi ini menghasilkan bentuk layout dan bukaan optimum plat badan yang mempunyai berat atau volume yang lebih kecil namun mempunyai kekakuan (*stiffness*) yang lebih besar. Optimasi dilakukan dengan menggunakan analisa linier *Finite Element Analysis (FEA)*. Optimasi topologi memberikan kita hasil yang optimum dan gambaran yang jelas tentang *initial design* (bentuk, lebar bukaan dan jumlah bukaan) yang di hasilkan dari fungsi objektif (Minimalisasi berat atau volume) dan fungsi kendala (kekakuan struktur, tegangan yang terjadi, *displacement* dan rasio volume).

Untuk mengetahui hubungan model layout berdasarkan *shape density, stiffness ratio* dan *volume ratio* dilakukan studi *finite element topology optimization* untuk profil baja IWF 300x150x6,5x9 dengan beberapa rasio volume (*volume fraction constraints*) sebesar 0,5; 0,4 dan 0,3. Hasil Optimasi Topologi akan divalidasi dan dibandingkan dengan pemakaian *castellated beam product industry PT. Gunung Garuda Steel Group* yang banyak dipakai di pasar Indonesia.

Kata kunci: Optimasi Topologi, *Castellated Beam, Cellular Beam*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan alat potong dan mesin las menghasilkan perkembangan pemakaian bentuk baja yang di pakai terutama untuk struktur bangunan industri yang mempunyai bentang lebar

dan aplikasi gedung bertingkat yang membutuhkan banyak bukaan balok

sebagai jalur *Heating, Ventilation dan Air conditioning (HVAC)*, dijelaskan pada **Gambar 1**. Salah satu yang berkembang saat ini adalah model *castellated beam* dan *cellular beam*. Perkembangan ilmu matematika dan optimasi mendorong pemakaian teknik optimasi modern (Sorkhabi et al., 2014)

dan (Erdal et al., 2011) saat ini seperti *metaheuristic optimization (Genetic*

Algoritma, Particle swarm optimization, Fuzzy, dll) yang bisa menghasilkan berat baja optimum. Teknik optimasi lain yang saat ini berkembang dengan analisis *Finite Element Analysis* salah satunya yaitu Optimasi Topologi, hal ini dikarenakan bisa memberikan gambaran bentuk, letak serta besaran bukaan lubang yang akan kita aplikasikan penggunaannya pada profil baja IWF *castellated beam* product dari PT. Gunung Garuda Steel Group yang banyak kita temui pemakaiannya dalam praktek konstruksi di Indonesia.



Gambar 1. Aplikasi Baja berlubang pada high rise building (sumber: <http://www.steelconstruction.info>)

1.2 Perumusan Masalah

Bagaimana bentuk layout serta ukuran bukaan lubang dari Analisa Topologi untuk menghasilkan berat atau volume yang optimum pada aplikasi balok baja IWF berlubang?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini fokus pada pengembangan Optimasi Topologi

balok Berlubang IWF baja dan tidak membahas pengaruh pemakaian kolom struktur dan komponen struktur lainnya.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memperkenalkan teknik optimasi topologi untuk mendapatkan model bentuk layout, bukaan lubang berdasarkan rasio volume untuk mendapatkan kekuatan (*stiffness*) yang optimum serta penghematan pemakaian baja, harga baja relative mahal di Indonesia dan selalu mengalami fluktuasi *trend* kenaikan dari waktu ke waktu yang sulit

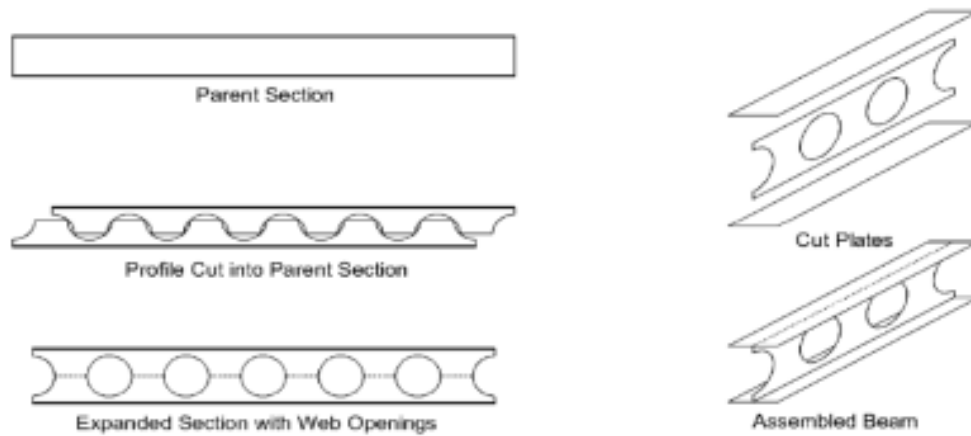
untuk diprediksikan. Salah satu upaya yang bisa dilakukan adalah dengan meminimalkan pemakaiannya, sehingga diperlukan design yang cukup handal (*robust design*). Perkembangan teknologi komputer dan *Finite Element Analisis* mendorong peneliti untuk melakukan studi optimasi topologi ini.

2. Tinjauan Pustaka

Perkembangan model balok berlubang saat ini yang banyak dijumpai di industri konstruksi Indonesia adalah model *Castellated* dan

Cellular beam, baik yang diproduksi dari profil *hotroll* WF maupun profil *build-up* dari plat lembaran (*welded beam*) sebagaimana terlihat pada **Gambar 2.**

Profil *Cellular Beam* diperoleh dari pemotongan profil IWF dan dipotong membentuk pola *zig-zag*



Gambar 2 Profil *Cellular*

seperti pada **Gambar 3 dan 4** di bawah.

Penelitian tentang *castellated beam* dan *cellular beam* pernah dilakukan oleh *Sorkhabi et.all*, 2014 membandingkan optimasi *metaheuristic*

Genetic Algorithm dan *Particle Swarm Optimization* dengan melakukan variable pencarian pada sudut potongan

castellated beam, Jumlah lubang dan tinggi bukaan plat, perhitungan menggunakan rumus berdasarkan British standard (“BS-5950 Part-1.pdf,” n.d.).



Gambar 3 Pola Pemotongan Profil Castellated Beam



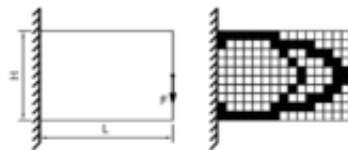
Gambar 4 Pola Pemotongan Cellular Beam

2.1 Optimasi Topologi

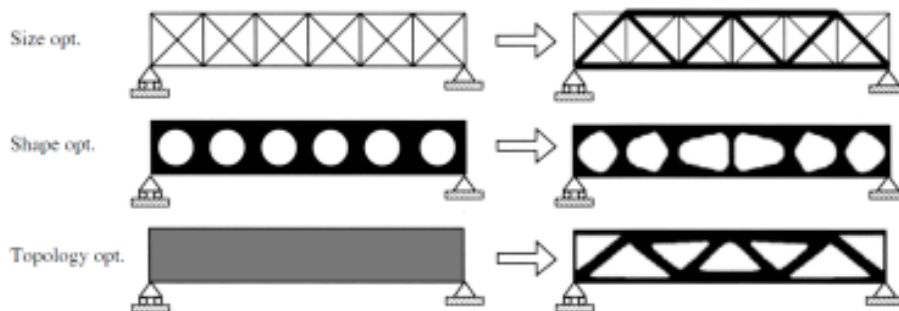
Menurut (Tsavdaridis et al., 2015), optimasi topologi structural

dibagi menjadi 3 (tiga) tipe yang berbeda, masing-masing menargetkan berbagai jenis parameter yaitu: optimasi *topology*, optimasi *size* dan optimasi *shape*, di jelaskan pada **Gambar 6**. Optimasi Topologi adalah jenis yang paling umum dari optimasi struktur, yang dilakukan pada tahap awal design, semua parameter dipertimbangkan untuk mencapai fungsi tujuan. Model awal dari topologi optimasi memberikan 70% gambaran dari fungsi tujuan, dijelaskan pada **Gambar 5**, yang bisa dilakukan penghalusan (*finetune*) serta rasio volume yang berbeda, jenis optimasi lainnya seperti optimasi ukuran (*size*) dan optimasi bentuk (*shape*) tidak dilakukan pembahasan.

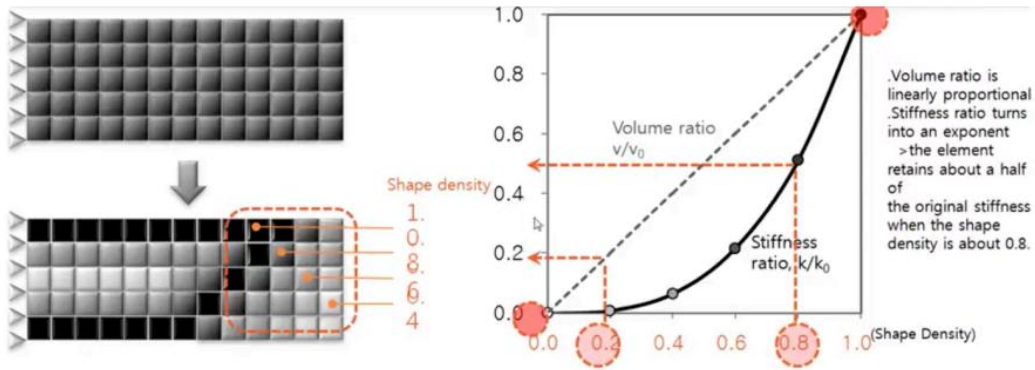
Optimasi topologi memfokuskan pada identifikasi member yang optimum dan lokasi bukaan, (Rozvany, 2009) optimasi topologi bisa di selesaikan dengan dua pendekatan teknis yaitu material (pendekatan mikro) dan geometri (pendekatan makro), pendekatan mikro dengan *Metode Solid Isotropic Material with Penalisation (SIMP)* menggunakan analisis finite element dan algoritma pencarian layout optimal berdasarkan prinsip *density method* dengan set 0 untuk material



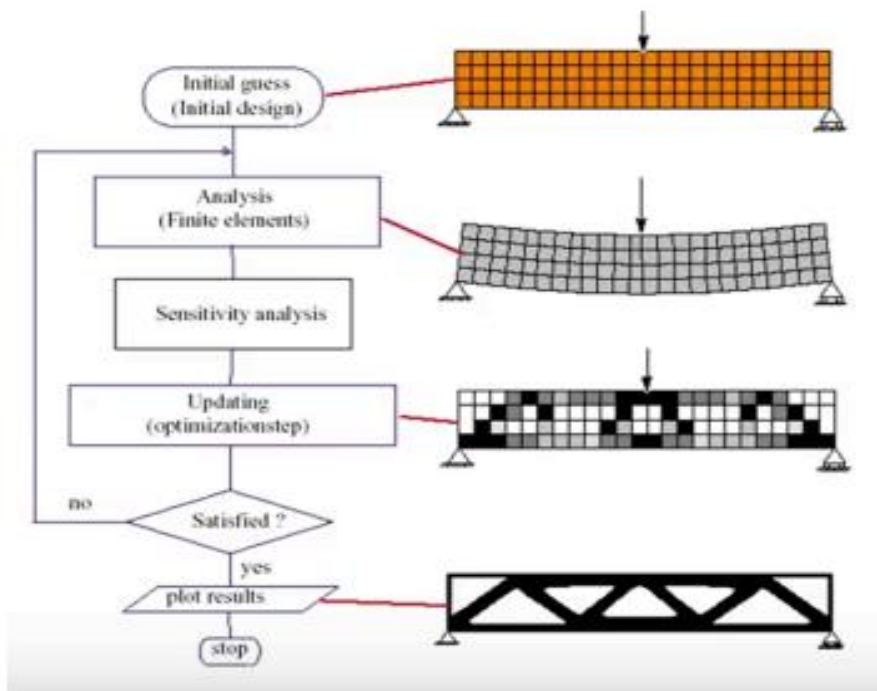
Gambar 5 Typical Optimasi Topologi



Gambar 6 Parameter Target Optimasi Topologi (optimasi Topologi, optimasi *size*, dan optimasi *shape*)



yang akan di hilangkan dan set 1 untuk material yang tetap sehingga



membentuk pola berdasarkan fungsi tujuan dan batasan fungsi kendala, dijelaskan pula oleh Bendsoe (Martin Philip Bendsoe /Springer, 2002) , **Gambar 7** menjelaskan rasio volume akan tetap sama mengikuti rasio *shape density* sedangkan rasio kekakuan akan membentuk pola eksponensial ketika rasio kekakuan 0,8 maka rasio *shape density* sebesar 0,5. **Gambar 8** menjelaskan tahapan finite element.

Pendekatan makro diusulkan oleh (Li et al., 2003) dengan metode *Evolutionary Structural Optimization (ESO)* merupakan metode kekinian sebagai metode alternatif selain teknik SIMP yang berfokus pada menghilangkan material hasil Analisa *finite element* yang mempunyai tegangan dan deformasi kecil (*under utilized*) pada area yang di design (*design space*).

ukuran bukaan dan jumlah bukaan dengan menggunakan optimasi topologi dengan analisa *Linier Finite Element Analysis (FEA)*, Verifikasi dan validasi dilakukan dengan membandingkan bentuk layout dan berat material baja hasil optimasi topologi dengan pemakaian praktikal dilapangan

2.2 Fungsi Tujuan

Fungsi Tujuan dari optimasi topologi adalah meminimalkan berat ataupun volume material baja IWF berlubang dengan melakukan optimasi topologi berdasarkan rasio volume, sehingga didapatkan kekuatan (*stiffness*) yang optimal.

2.3 Fungsi Kendala

Fungsi kendala dari optimasi topologi IWF berlubang adalah ketersediaan material di market Indonesia (ukuran profil baja yang di gunakan), tegangan yang terjadi, kekakuan struktur, deformasi struktur serta kemampuan produksi manufaktur dan layout simetri dalam rangka memenuhi fungsi tujuan, dengan terlebih dahulu melakukan permodelan CAD (*Computer Aided Design*) dan FEA (*Finite Element Analysis*).

2.4 Verifikasi dan Validasi

Dalam penelitian ini difokuskan pada pencarian pola bentuk layout,

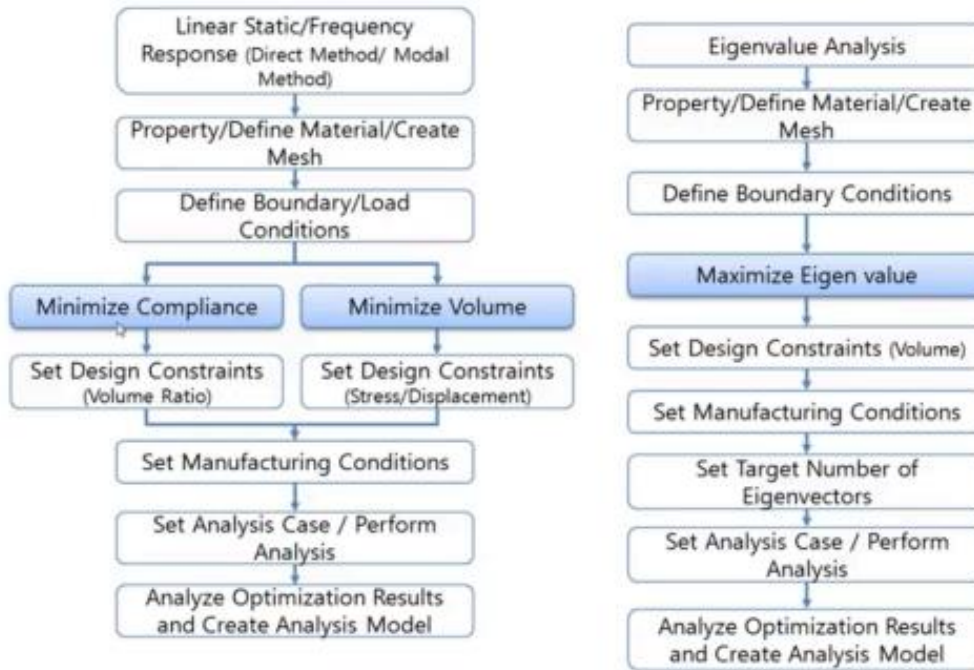
(*standard Castellated Beam*) yang di gunakan sebagai validasi system optimasi.

3. METODOLOGI

Dalam penelitian ini material yang di gunakan adalah material baja *mild steel* standard ASTM A36/ JIS SS400/ BJ 37 dengan nilai kuat leleh $f_y=240$ Mpa dan nilai putus $f_u=400$ Mpa. Analisa Optimasi Topologi di gunakan dengan memodelkan balok IWF 300x150x6.5x9 yang fabrikasi menjadi profil balok berlubang (*castellated beam*) menjadi dimensi CAS 450x150x6.5x9, dimodelkan pada tumpuan sederhana dengan panjang bentang 5m, dilakukan dengan analisa *finite element* optimasi topologi bantuan

software *Altair Hyperworks Inspire* (“Free eBook: Practical Aspects of Structural Optimization (A Study Guide) | Altair University,” n.d.) sesuai diagram alir **Gambar 9** berikut :

terjadi diposisi badan IWF. Analisa optimasi topologi membawa manfaat



Gambar 8 Evaluasi FEA Optimasi Topologi

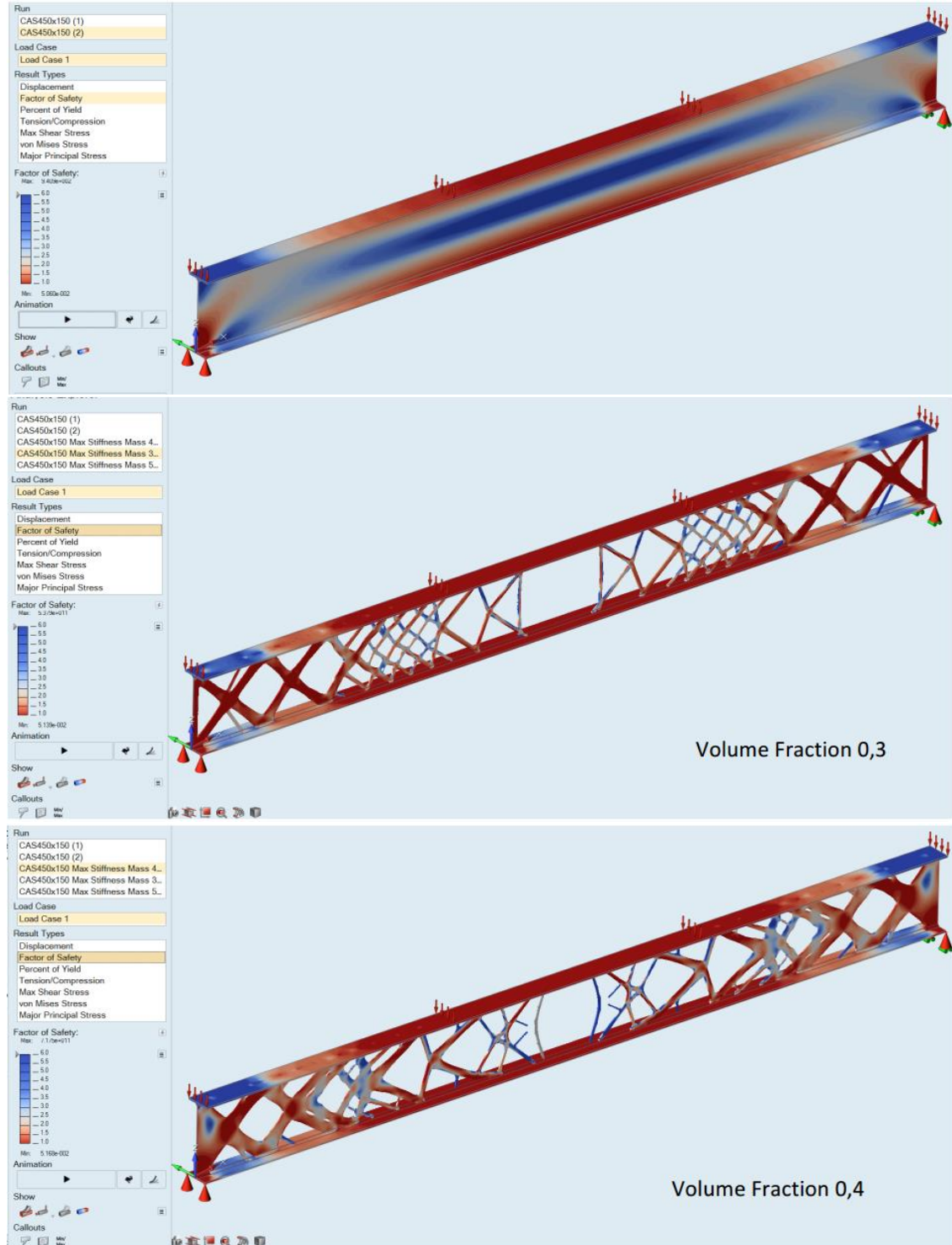
4. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari analisa optimasi topologi di jelaskan dengan elemen penghilangan area density layout yang *underutilized* sesuai dengan **Gambar 11**.

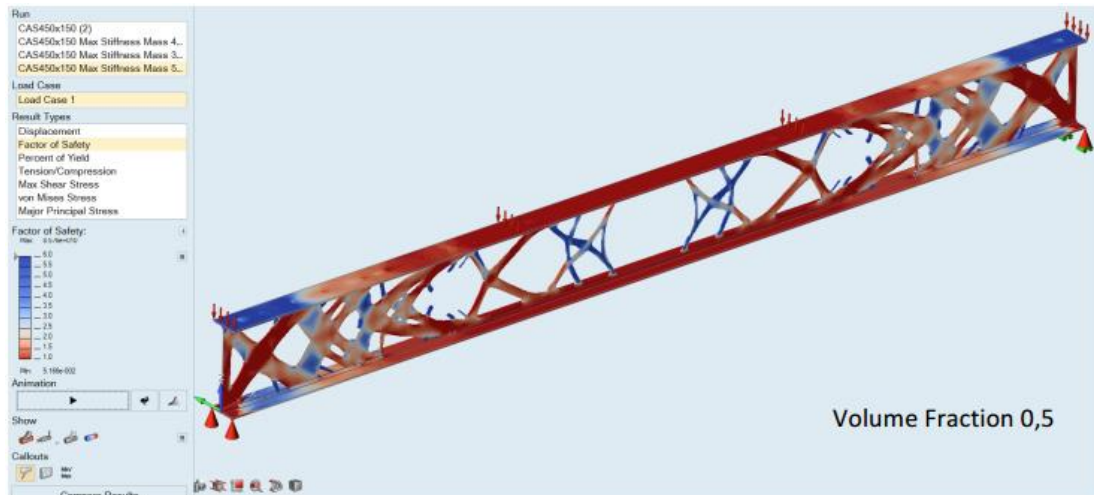
Density plot menggambarkan optimal material distribusi dari konvergensi hasil optimasi. Warna merah menggambarkan *safety factor* material yang semakin mendekati tegangan ijin (SF mendekati 1.0) sedangkan warna biru mempunyai *safety factor* yang besar. Ketika tegangan dominan terjadi di posisi sayap (flange) maka di posisi badan (web) tidak diperlukan material pada posisi badan, topologi optimasi juga mengikuti prinsip *stress - strain* yang

besar dalam meningkatkan intuisi dalam engineering judgment terutama pada pengembangan geometri yang kompleks, Analisa topologi juga tidak terbatas pada turunan dari design praktis yang sudah ada dalam proses manufaktur. Isu manufaktur merupakan masalah yang tidak boleh dilupakan dalam melakukan optimasi topologi, oleh karenanya dalam melakukan analisa topologi perlu diperhatikan *manufacturing constraint* (Zhou et al., n.d.) antara lain: *symmetrical*, *casting constraint*, *extrusion constraint* dan *pattern graduation*, hal ini agar hasil analisa topologi optimasi bisa dilakukan proses manufaktur industri. *Symetrical constraint* yang kita pakai pada analisa optimasi topologi balok berlubang,

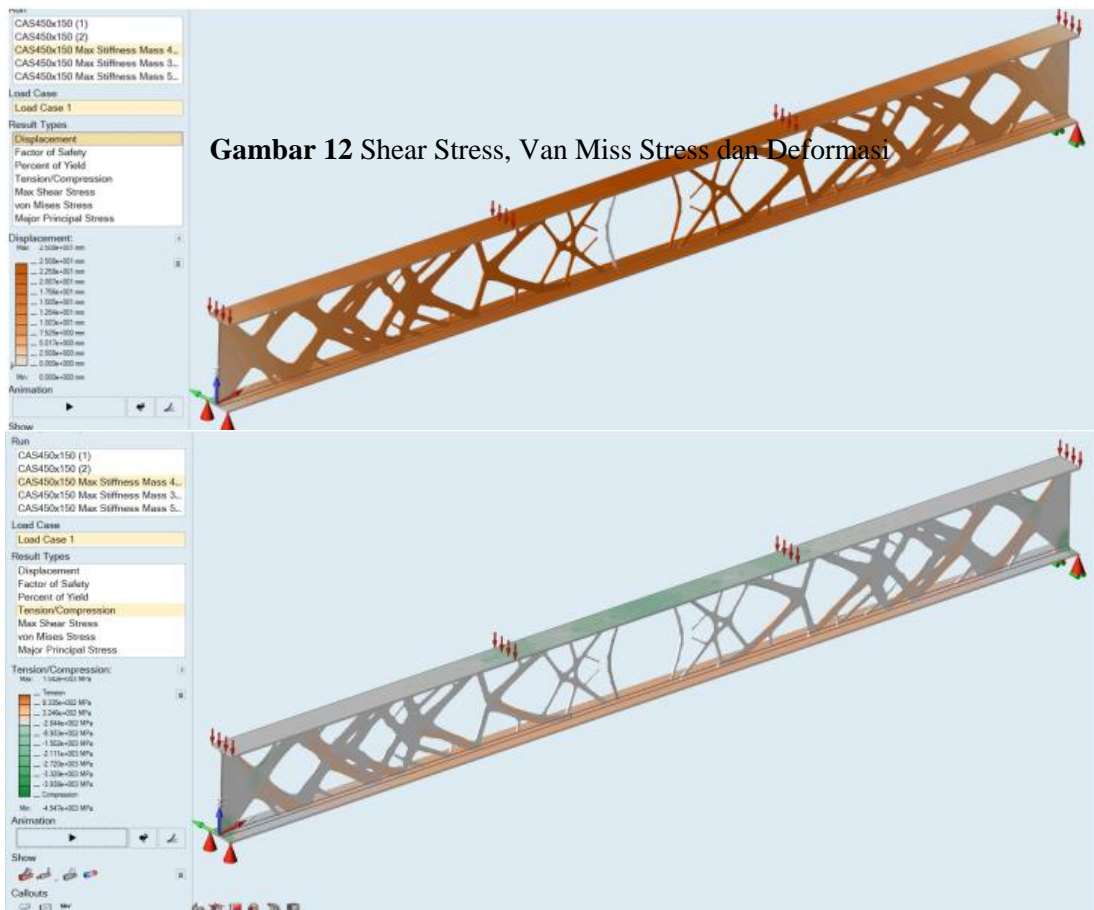
dimana titik tengah (*centerline*) yang membagi sumbu arah X dan Y sama besar, hasil yang paling optimal adalah dengan menggunakan volume fraction constraint sebesar 0,4 sebagaimana di tunjukkan **Gambar 13**.

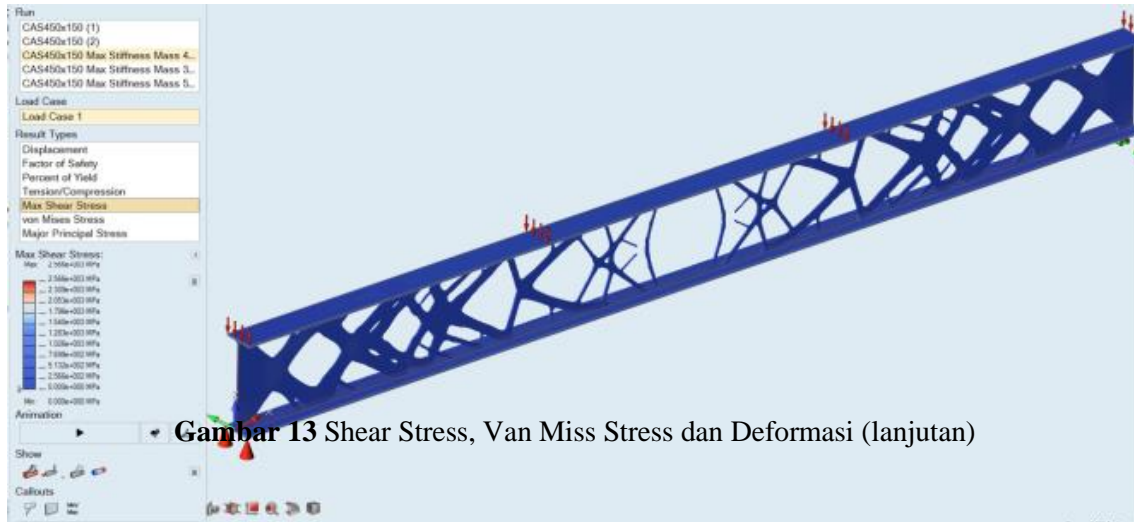


Gambar 10 Hasil Optimasi Topologi IWF 300x150x6,5x9 dengan beberapa *volume fraction constraints*



Gambar 11 Hasil Optimasi Topologi IWF 300x150x6,5x9 dengan beberapa *volume fraction constraints* (lanjutan)





Gambar 13 Shear Stress, Van Miss Stress dan Deformasi (lanjutan)

Hasil analisa optimasi topologi selanjutnya perlu dilakukan penghalusan (*smoothing*) oleh *postprocessing* software sehingga didapatkan model CAD yang lebih *smooth* dan dapat dilakukan prosedur manufaktur pemotongan profil dan teknik assembly pengelasan setelah dipotong.

5. Kesimpulan

Hasil optimasi topologi untuk *volume fraction* sebesar 0,4 dengan bentang balok 5m didapat berat total sebesar 154.3 kg, sedangkan standard *Castelated beam* Product PT.Gunung Garuda total berat 183.5 kg (36.7kg/m'), terjadi penghematan sekitar 18.9%, bentuk layout hasil analisa topologi mempunyai bukaan belah ketupat yang memungkinkan dilakukan penelitian lebih lanjut untuk bisa mendapatkan bukaan yang besar yang bermanfaat untuk HVAC system.

Daftar Pustaka

1. BS-5950 Part-1.pdf [WWW Document], n.d. URL <http://www.yyardim.com/wpcontent/uploads/2016/03/BS-5950-Part-1-Structural-use-of-steelworkin-building1.pdf> (accessed 7.14.17).
2. Erdal, F., Doğan, E., Saka, M.P., 2011. *Optimum design of cellular beams using harmony search and particle swarm optimizers*. *J. Constr. Steel Res.* 67, 237–247. doi:10.1016/j.jcsr.2010.07.014
3. Free eBook: *Practical Aspects of Structural Optimization (A Study Guide)* | Altair University [WWW Document], n.d. URL <http://www.altairuniversity.com/freebooks-2/free-ebook-practicalaspects-of-structural-optimization-astudy-guide/> (accessed 7.14.17).

4. Honey Comb [WWW Document], n.d. URL https://www.gunungsteel.com/index.php?option=com_content&view=article&id=76&Itemid=171 (accessed 7.14.17).

5. Li, W., Li, Q., Steven, G.P., Xie, Y.M., 2003. *An evolutionary shape optimization procedure for contact problems in mechanical designs*. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 217, 435–446. doi:10.1243/095440603321509711

6. Martin Philip Bendsoe |Springer, 2002.

7. Rozvany, G.I.N., 2009. *A critical review of established methods of structural topology optimization*. *Struct. Multidiscip. Optim.* 37, 217–237. doi:10.1007/s00158-007-0217-0

8. Sorkhabi, R.V., Naseri, A., Naseri, M., 2014. *Optimization of the Castellated Beams by Particle Swarm Algorithms Method*. *APCBEE Procedia, 5th International Conference on Chemical, Biological and Environmental Engineering - ICBEE 2013 & 2nd International Conference on Civil Engineering - ICCEN 2013* 9, 381–387. doi:10.1016/j.apcbee.2014.01.067

9. Tsavdaridis, K.D., Kingman, J.J., Toropov, V.V., 2015. *Application of structural topology optimisation to perforated steel beams*. *Comput. Struct.* 158, 108–123. doi:10.1016/j.compstruc.2015.05.004

10. Zhou, M., Fleury, R., Shyy, Y.-K., Thomas, H., Brennan, J., n.d.

Progress in Topology Optimization with Manufacturing Constraints, in: *9th AIAA/ISSMO Symposium on Multidisciplinary Analysis and Optimization*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. doi:10.2514/6.2002-5614

“Halaman ini sengaja dikosongkan “