

ANALISIS KEKUATAN STRUKTUR RANGKA DASAR *SAFETY SURGICAL CHAIR* YANG DIGUNAKAN OLEH DOKTER BEDAH LAPAROSKOPI

William Partogi Hutagaol¹, J. Jamari², Mohammad Tauviqirrahman²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*Email : williampartogi37@gmail.com

Abstrak

Salah satu organ tubuh manusia yang memiliki peran penting dalam melakukan aktifitas adalah kaki. Orang yang memiliki kaki yang sehat dapat menompang beban tubuh dengan sempurna. Oleh karena itu, ada saatnya kaki mengalami *fatigue*. Di dunia kedokteran, dokter tentu pernah merasakan *fatigue* terlebih saat melakukan operasi dengan durasi yang cukup lama, kondisi itu disebut *Surgeon Fatigue*. *Surgeon Fatigue* menyebabkan otot – otot pada kaki, punggung serta leher dokter bedah mendapatkan pembebanan secara kontinyu yang dapat menyebabkan otot – otot mengalami kontraksi dan kekakuan. Apabila diperparah dari pola makan yang tidak teratur dan terbatasnya waktu olahraga dapat berdampak jangka panjang pada dokter bedah. Dengan perkembangan teknologi dalam material, desain, dan manufaktur, untuk mengurangi dampak kelelahan tersebut dilakukan penelitian mendesain kursi yaitu *Safety Surgical Chair* yang akan digunakan oleh dokter bedah laparoskopi. Dalam proses desain menggunakan *solidworks*, setelah selesai dilakukan analisis kekuatan pada dasar sturuktur *Safety Surgical Chair*. Sehingga dapat diketahui kursi tersebut sudah cukup kuat untuk digunakan dokter bedah laparoskopi.

Kata Kunci: *fatigue*; laparoskopi; *safety surgical chair*; *solidworks*; *surgeon fatigue*

Abstract

One of the organs of the human body that has an important role is carrying out activities is the feet. People who have healthy feet can support the weight of the body perfectly. Therefore, there are times when the feet experience fatigue. In the medical world, doctors have certainly experienced fatigue, especially when performing long-duration operations, a condition called surgeon fatigue. Surgeon Fatigue causes the muscles in the feet, back and neck of the surgeon to receive continuous loading which can cause the muscles to contract and stiffen. If exacerbated by an irregular diet and limited exercise time, it can have a long-term impact on the surgeon. With the development of technology in the material, design and manufacturing to reduce the impact of fatigue, a research was carried out to design a chair, namely the Safety Surgical Chair which be used by laparoscopic surgeons. In the design process using solidworks, after completing a strength analysis on the basic structure of the Safety Surgical Chair. So it can be seen that the chair is strong enough to be used by a laparoscopic surgeon.

Keyword: *fatigue*; laparoskopi; *safety surgical chair*; *solidworks*; *surgeon fatigue*

1. Pendahuluan

Fatigue merupakan penurunan sementara efisiensi suatu organ yang disebabkan pekerjaan berdurasi panjang, yang mengakibatkan penurunan indikator kuantitatif dan kualitatif kerja serta koordinasi fungsi kerja [1]. Penyebab dari *fatigue* diakibatkan karena kualitas istirahat yang buruk, faktor fisiologis, penyakit, stress yang tidak dapat ditahan [2]. Jika terjadi dalam waktu yang lama akan menimbulkan resiko yang sangat besar dan ini juga dapat mengakibatkan gangguan yang serius dalam suatu pekerjaan [3]. Di dalam proses operasi laparoskopi, seorang dokter bedah juga dapat merasakan *fatigue* atau disebut *Surgeon Fatigue* dikarenakan proses bedah dengan berdiri selama 30 menit sampai 6 jam dalam sekali operasi. Sehingga menyebabkan otot – otot pada kaki, punggung, dan leher mengalami kekakuan yang disebabkan pembebanan secara kontinyu. Jika kekakuan ini terjadi dalam waktu yang cukup panjang ditambah dengan jam operasi yang panjang dan padat, pola makan, dan kurangnya olahraga dapat menyebabkan pekerjaan yang biasa dilakukan membutuhkan *effort* yang lebih besar untuk menyelesaikannya dan dalam proses operasi, dokter dapat mengalami penurunan konsentrasi yang dapat membahayakan keselamatan pasien [4].

Laparoskopi merupakan endoskopi perut atau rongga peritoneum. Bedah invasif minimal ini telah mengalami perubahan besar selama 10 tahun terakhir dan telah menjadi salah satu teknik endoskopi yang paling umum digunakan [5]. Sebelum melakukan laparoskopi, dokter bedah melakukan diagnosa lokasi yang berguna untuk identifikasi jenis penyakitnya dan lokasinya selain itu juga harus mengambil sampel mengenai penyakit yang diderita oleh pasien [6].

Pembedahan ini memungkinkan ahli bedah untuk mengakses ke bagian dalam perut dan panggul tanpa membuat sayatan yang besar di kulit, prosedur pembedahan ini juga dikenal sebagai operasi lubang kunci atau operasi invasif minimal. Prosedur ini menggunakan laparoskop, yang berbentuk seperti lubang tabung kecil dengan dilindungi oleh penerangan dan kamera yang digunakan untuk memproyeksikan gambar bagian dalam perut atau panggul ke layar monitor di bagian luar.

Menurut Kozol [7] efek samping yang diakibatkan dari proses laparaskopi ini penderita akan mengalami sakit saat bangun dan juga akan merasa lelah selama beberapa hari pertama setelah operasi, sehingga dokter bedah menyarankan tidak boleh mengemudi, berhubungan seks, dan berenang. Selain itu komplikasi yang mungkin dialami pasien yaitu infeksi pendarahan setelah operasi, iritasi, terjadinya alergi, kerusakan saraf, terjadinya pergumpalan darah, dan meninggal. Jika itu terjadi perlu dilakukan operasi kembali mencari apa yang sebenarnya salah selama proses operasi tersebut [8]. Dan untuk durasi *recovery* setelah operasi hanya memerlukan waktu 2 sampai 3 minggu [9].

Menurut Setyawati [10], saat otot mengalami kontraksi dengan posisi dokter bedah berdiri dengan durasi yang lama terjadi penumpukan asam laktat pada kaki yang mengakibatkan menghambat kerja otot dan menyebabkan rasa lelah. Untuk mengurangi dampak kelelahan selama proses operasi, maka dokter bedah membutuhkan alat bantu berupa kursi. Dengan adanya kursi ini, dokter bedah yang awalnya bertumpu pada kaki dan betis secara kontinyu akan hilang dan lebih konsen selama proses bedah. Tetapi kursi yang digunakan selama proses operasi masih menggunakan kursi konvensional sehingga perlu penyesuaian mulai dari fitur, bentuk, dimensi sehingga masalah itu dibutuhkan perancangan lebih lanjut.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Fase Identifikasi kebutuhan

Pada fase ini, kita menentukan kebutuhan pelanggan dan selanjutnya merancang konsep desain. Konsep desain ini berupa kursi yang dapat digunakan oleh dokter bedah laparaskopi dengan mobilitasnya yang tinggi dan dapat diatur ketinggiannya yang disesuaikan dengan meja operasi. Tujuan konsep desain ini dibuat sedemikian rupa untuk memudahkan dokter dalam proses operasi dan tetap menjaga kondisi dokter dalam keadaan steril.

2.2. Fase Pengumpulan Informasi

Pada fase ini, saya mengumpulkan informasi dengan cara mencari referensi yang berkaitan dengan Safety Surgical Chair yang sebelumnya telah dibuat serta penelitian – penelitian yang terkait pada jurnal maupun produk yang sudah digunakan dan selain itu saya mengumpulkan informasi dengan metode diskusi dengan seorang dokter bedah laparaskopi untuk mengetahui kebutuhan seorang dokter bedah laparaskopi terkait kursi yang ergonomis.

2.3. Fase Perancanganm Konsep Desain

Pada tahap ini, akan menggunakan matriks morfologi berdasarkan konsep desain yang dibuat, kemudian memberikan bentuk (*embodiment*) lalu melakukan evaluasi desain untuk memilih desain terbaik yang mau digunakan.

2.3.1. Matriks Morfologi

Berikut ini merupakan matriks morfologi yang berisikan sub fungsi yang akan dibuat pada desain dan sub – sub fungsi masing – masing item. Untuk mempermudahnya dapat dilihat pada Tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Matriks Morfologi

Bahan baku penyusun pada rangka (A)	A.1 Baja A.2 Alloy Steel
Penyesuain ketinggian alat (B)	B.1 Dapat disesuaikan B.2 Tidak dapat disesuaikan
Penggunaan roda (C)	C.1 Menggunakan C.2 Tidak menggunakan
Sistem pengunci roda (D)	D.1 Ada pada roda bagian belakang D.2 Semua roda tidak menggunakan <i>stopper</i>
Sandaran punggung (E)	E.1 Ada E.2 Tidak ada
Sandaran leher (F)	F.1 Ada F.2 Tidak ada
<i>Compacts</i> (G)	G.1 Ya G.2 Tidak

Banyak sekali konsep yang dihasilkan dari matriks pada Tabel 1 tersebut, namun pada penelitian ini hanya akan memberikan tiga konsep desain. Konsep – konsep tersebut dapat dilihat pada Gambar 1, Gambar 2 dan Gambar 3 sebagai berikut.

Konsep 1: A.1 + B.2 + C.2 + E.2 + F.2 + G.1

Konsep 2: A.2 + B.1 + C.1 + D.1 + E.1 + F.1 + G.1

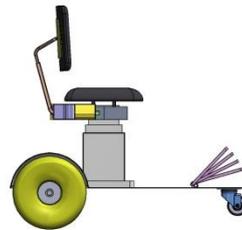
Konsep 3: A.2 + B.1 + C.2 + D.2 + E.1 + F.1 + G.2



Gambar 1. Variasi Konsep 1 (K1)



Gambar 2. Variasi Konsep 2 (K2)



Gambar 3. Variasi Konsep 3 (K3)

2.3.2. Evaluasi Konsep Desain

Setelah menyusun konsep desain, selanjutnya perlu dilakukan memilih konsep desain yang ingin digunakan dalam penelitian ini. Proses evaluasi konsep desain menggunakan metode Pugh. Berikut evaluasi konsep desain menggunakan metode Pugh terlihat pada Tabel 2 di bawah ini.

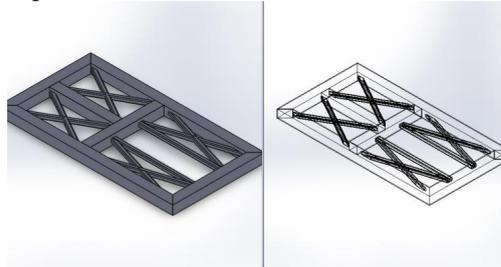
Tabel 2. Evaluasi Konsep Desain dengan Menggunakan Metode Pugh

Kriteria	Wt	Konsep		
		K1	K2	K3
Dimensi <i>compact</i>	10	8	9	9
Sesuai postur tubuh dokter Indonesia	9	9	9	9
Mobilitas tinggi	10	10	10	10
Nyaman dipakai	9	8	9	9
Kemudahan untuk mengatur ketinggian	10	8	9	9
Kemudahan disaat melakukan <i>maintenance</i>	9	7	9	8
Tidak adanya slip	8	7	8	6
Tetap steril selama di dalam Ruang Operasi	9	9	9	8
Skor	74	66	72	68
Skor%	100%	89%	97%	92%

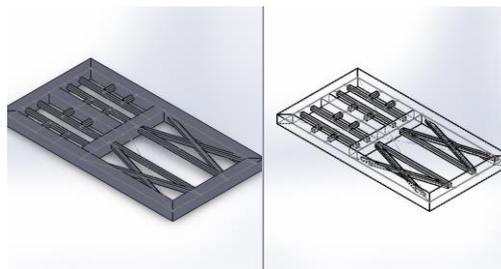
Dari Tabel diatas, didapatkan skor yaitu; konsep 1 sebesar 66 (89%), konsep 2 sebesar 72 (97%), dan konsep 3 sebesar 68 (92%). Sehingga nilai tertinggi berada pada konsep 2, sehingga konsep 2 ini dapat dilanjutkan ke fase pengembangan desain. Pada konsep desain ini saya beri nama desain *Safety Surgical Chair*.

2.3.3. Pengembangan Desain Terpilih

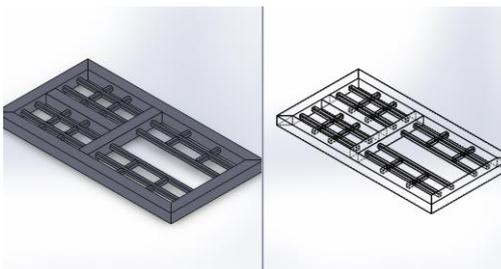
Desain yang sudah terpilih pada fase sebelumnya masih berupa konsep desain, sehingga perlu dikembangkan lagi variasinya terutama pada struktur rangka dasarnya, berikut 3 desain struktur rangka dasar yang akan digunakan pada desain yang sudah dipilih dapat dilihat pada Gambar 4, Gambar 5, dan Gambar 6.



Gambar 4. Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar



Gambar 5. Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar



Gambar 6. Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

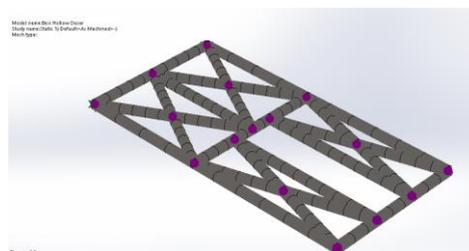
2.4. Simulasi Struktur Rangka Dasar

Tahap ini dilakukan proses untuk menghitung kekuatan struktur berupa pembebanan secara statik dengan demikian dapat diketahui hasil dari *stress*, *deformasi*, dan *safety factor* dari desain struktur dasar itu. Dalam simulasi desain ini tidak melibatkan roda, *platform*, *gas lift*, penyangga, dan kursi. Untuk mempermudah analisis desain ini dilakukan dengan bantuan *software Solidworks*.

Berikut langkah – langkah proses simulasi *static analysis*, yaitu:

1. Pemberian Tumpuan

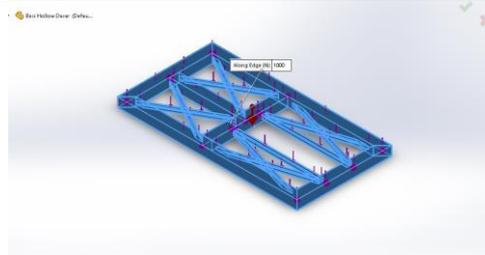
Model dari tumpuan untuk simulasi *Safety Surgical Chair* ini menggunakan jenis tumpuan *Pin* dan *Roller*. Tumpuan *Pin* diberikan di bagian belakang dan Tumpuan *Roller* diberikan di bagian depan, seperti Gambar 7 di bawah ini.



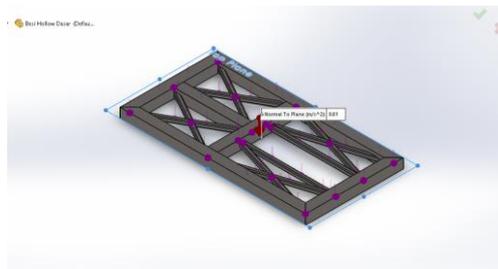
Gambar 7. Pemberian Tumpuan

2. Pemberian Beban

Pada proses pemberian beban untuk simulasi *Safety Surgical Chair* diasumsikan bobot dokter atau pengguna sebesar 1000 N dan juga diberikan Gravitasi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$. Hasil pembebanan dapat dilihat pada Gambar 8 dan Gambar 9 berikut ini.



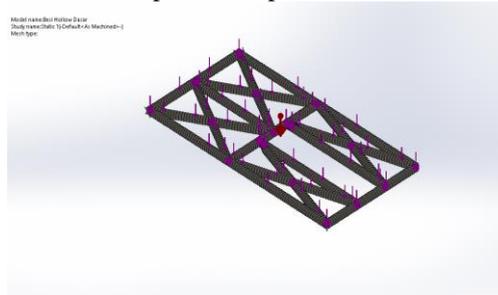
Gambar 8. Pemberian Beban



Gambar 9. Pemberian Gravitasi

3. Meshing

Pada bagian proses *meshing* yaitu membagi komponen yang akan dianalisis menjadi elemen – elemen kecil, dengan ukuran *meshing* yang digunakan 10 mm, dapat dilihat pada Gambar 10 berikut ini.



Gambar 10. Meshing

2.5. Material

Material yang digunakan dalam simulasi struktur rangka dasar ini menggunakan *Alloy Steel*. Berikut *property Alloy Steel* yang digunakan sebagai acuan dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

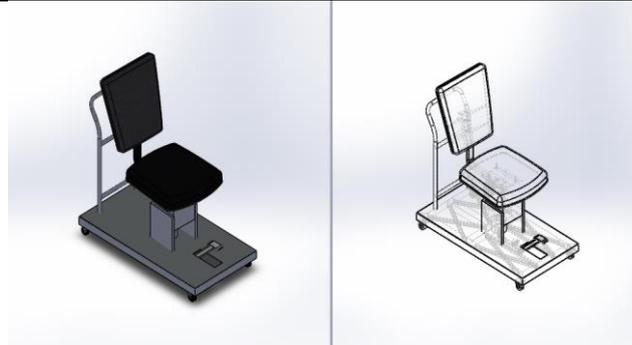
Tabel 3. Property Alloy Steel

Property	Value	Units
Elastic Modulus	210000	N/mm ²
Poisson's Ratio	0,28	N/A
Shear Modulus	79000	N/mm ²
Mass Density	7700	Kg/m ³
Tensile Strength	723,8256	N/mm ²
Compressive Strength		N/mm ²
Yield Strength	620,422	N/mm ²
Thermal Expansion Coefficient	$1,3 \times 10^{-5}$	/K
Thermal Conductivity	50	W/(m.K)
Specific Heat	460	J/(Kg/K)
Material Damping Ratio		N/A

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Desain Safety Surgical Chair Terpilih

Setelah desain telah selesai dirancang beserta part - partnya, selanjutnya penggabungan dari semua part – part yang sudah didesain. Berikut gambar hasil *Assembly Safety Surgical Chair* dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Assembly Safety Surgical Chair

Fitur – fitur yang terdapat pada *Safety Surgical Chair*

1. Kursi dapat berputar 360°.
2. Kursi dapat bermobilitas dengan mudah dikarenakan memiliki pegangan di belakang kursi.
3. Tidak ada handrest yang dapat menghambat kerja dokter bedah.
4. Kursi dapat menahan massa ± 100 Kg.
5. Memiliki roda dengan *stopper* di bagian belakang sehingga terhindar dari keadaan slip.
6. Roda bagian belakang dapat berputar sebesar 360° dan roda bagian depan dapat bergerak maju mundur.
7. Mekanisme angkat pada kursi dioperasikan dengan kaki sehingga dokter tetap steril.

3.2. Hasil Simulasi Statik

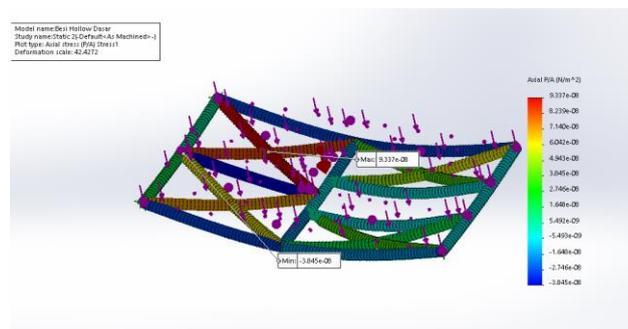
Simulasi desain ini dilakukan untuk mendapatkan desain yang optimal sesuai dengan kriteria yang diinginkan dan simulasi desain ini merupakan perancangan yang telah dioptimalkan dengan menggunakan *software Solidworks*. *Software* ini dapat menunjang dalam perhitungan *modeling* sesuai kebutuhannya, sehingga dapat membantu untuk menganalisa *stress*, *deformasi*, dan *safety factornya*.

3.2.1. Analisa Stress Pada Struktur Rangka Dasar

Tegangan atau *stress* merupakan hasil antara gaya dengan luas penampang benda. Semakin luas penampang suatu benda tersebut dengan nilai gaya yang diberikan tetap maka mengakibatkan tegangan atau *stress* semakin besar. Analisis *stress* ini menggunakan bantuan *software solidworks*. Nilai *stress* maksimum akan dinotasikan dengan warna merah dan nilai *stress* minimum akan dinotasikan dengan warna biru. Pembebanan akan dilakukan dengan pemberian gaya sebesar 1000 Kg dan gravitasi sebesar $9,81 \text{ m/s}^2$.

1. Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

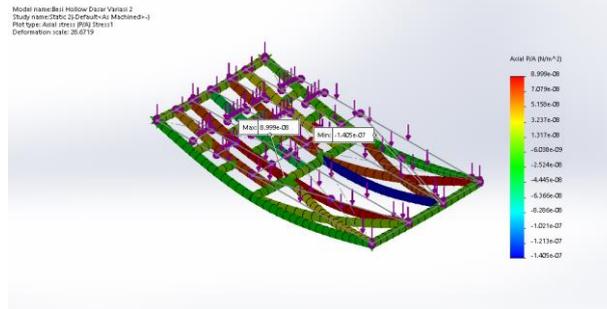
Hasil dari simulasi variasi pertama struktur rangka dasar menunjukkan nilai *stress* minimum sebesar $-3,845 \times 10^{-8} \text{ N/mm}^2$ dan nilai *stress* maksimum sebesar $9,337 \times 10^{-8} \text{ N/mm}^2$, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 12 di bawah ini.



Gambar 12. Hasil Analisa Stress Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

2. Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

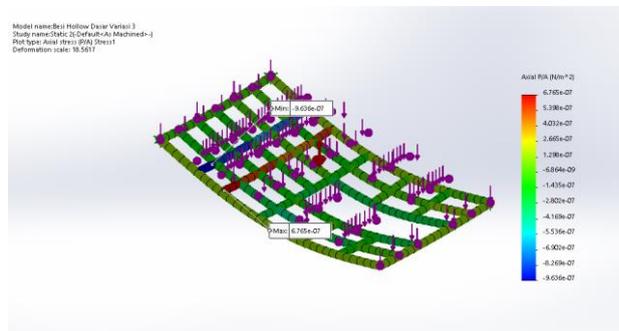
Hasil dari simulasi variasi kedua struktur rangka dasar menunjukkan nilai *stress* minimum sebesar $-1,405 \times 10^{-7} \text{ N/mm}^2$ dan nilai *stress* maksimum sebesar $8,999 \times 10^{-8} \text{ N/mm}^2$, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 13 di bawah ini.



Gambar 13. Hasil Analisa *Stress* Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

3. Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

Hasil dari simulasi variasi ketiga struktur rangka dasar menunjukkan nilai *stress* minimum sebesar $-9,636 \times 10^{-7}$ N/mm² dan nilai *stress* maksimum sebesar $86,765 \times 10^{-7}$ N/mm², dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 14 di bawah ini.



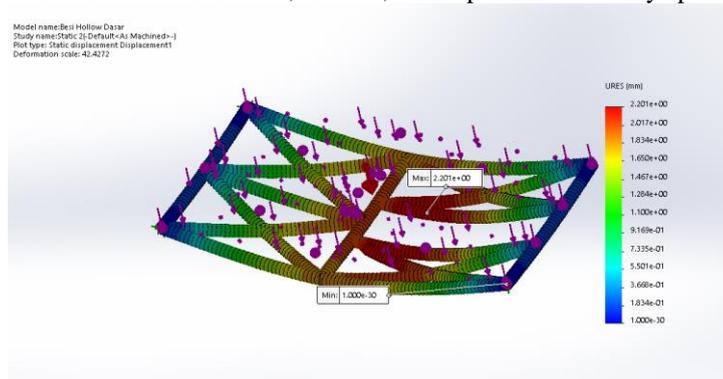
Gambar 14. Hasil Analisa *Stress* Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

3.2.2. Analisa *Deformasi* Pada Struktur Rangka Dasar

Deformasi adalah perubahan bentuk atau ukuran dari suatu objek dikarenakan diberikan gaya maupun suhu. Jika gaya yang diberikan tidak terlalu besar maka kekuatan suatu objek tersebut cukup untuk melawan gaya yang diberikan, yang memungkinkan objek untuk kembali kondisi semula. Nilai *deformasi* maksimum akan dinotasikan dengan warna merah dan nilai *deformasi* minimum akan dinotasikan dengan warna biru.

1. Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

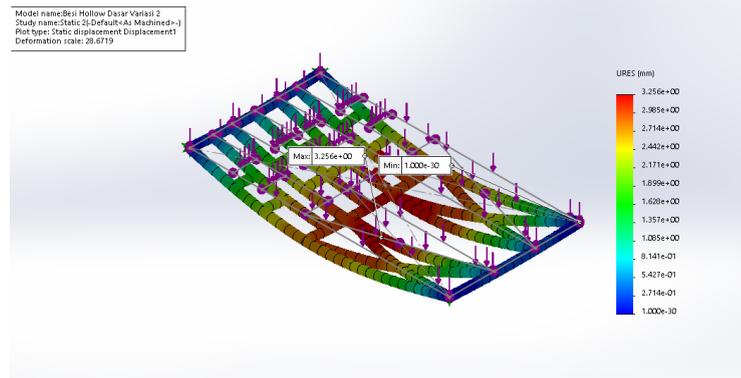
Hasil dari simulasi variasi pertama struktur rangka dasar menunjukkan nilai *deformasi* minimum sebesar 1×10^{-3} mm dan nilai *deformasi* maksimum sebesar 2,201 mm, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 15 di bawah ini.



Gambar 15. Hasil Analisa *Deformasi* Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

2. Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

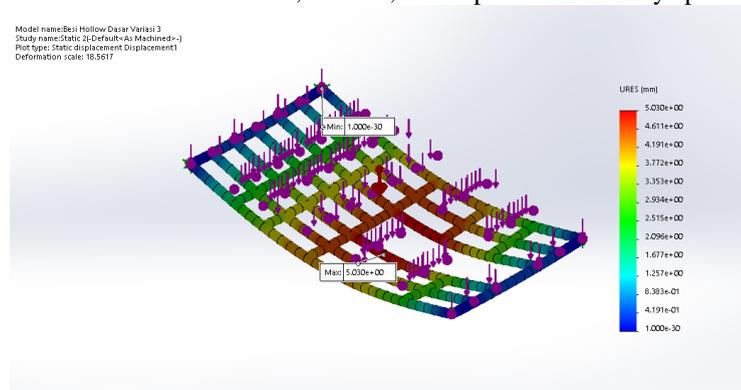
Hasil dari simulasi variasi kedua struktur rangka dasar menunjukkan nilai *deformasi* minimum sebesar 1×10^{-30} mm dan nilai *deformasi* maksimum sebesar 3,256 mm, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 16 di bawah ini.



Gambar 16. Hasil Analisa *Deformasi* Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

3. Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

Hasil dari simulasi variasi ketiga struktur rangka dasar menunjukkan nilai *deformasi* minimum sebesar 1×10^{-30} mm dan nilai *deformasi* maksimum sebesar 5,030 mm, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 17 di bawah ini.



Gambar 17. Hasil Analisa *Deformasi* Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

3.2.3. Analisa *Safety Factor* Pada Struktur Rangka Dasar

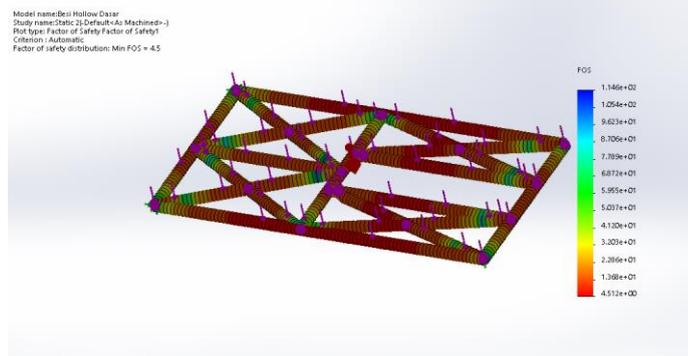
Safety factor adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kekuatan struktural dari suatu produk di luar beban yang diharapkan. *Safety factor* diperlukan sebagai pedoman untuk memastikan bahwa produk yang dirancang aman. Untuk menentukan keamanan dari suatu produk, ada kondisi sederhana yang digunakan saat mempertimbangkan desain produk tersebut yaitu kekuatan bahan dari material harus lebih besar dari pada tegangan yang diberikan dari eksternal [11].

Hal ini berdasarkan pernyataan [11] bahwa untuk memastikan sebuah perancangan dikatakan aman maka dari nilai *safety factor* harus lebih besar dari satu. Dalam pengujian dari sebuah material, nilai *safety factor* yang digunakan berbeda – beda tergantung pada jenis pengujian dan materialnya. Analisa desain ini menggunakan pengujian statis pada material *Alloy Steel*.

Untuk beban statis, menurut Dobrovolsky [12], nilai *safety factor* yang digunakan yaitu antara 1,25 – 2 sedangkan menurut Idosic [13], nilai *safety factor* yang digunakan 4,5 dengan syaratnya material diketahui, digunakan pada lingkungan biasa dan beban dapat ditentukan. Sehingga dalam desain ini nilai *safety factor* yang akan digunakan adalah 4,5. Berikut merupakan hasil dari analisa *safety factor* yang terjadi pada variasi struktur rangka dasar.

1. Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

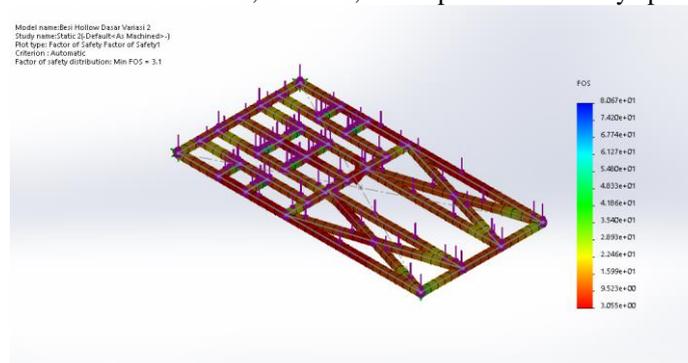
Hasil dari simulasi variasi pertama struktur rangka dasar menunjukkan nilai *safety factor* minimum sebesar 4,512 dan nilai *safety factor* maksimum sebesar $1,146 \times 10^2$, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 18 di bawah ini.



Gambar 18. Hasil Analisa *Safety Factor* Variasi Pertama Struktur Rangka Dasar

2. Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

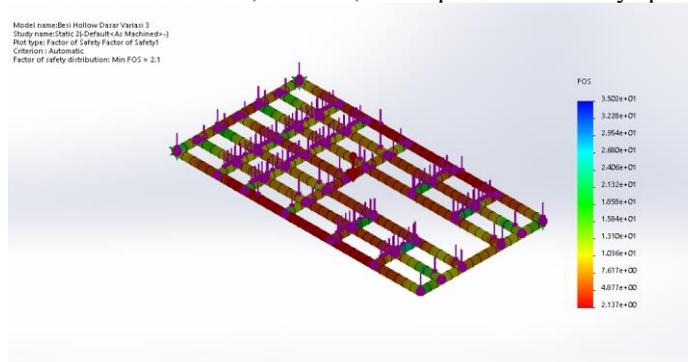
Hasil dari simulasi variasi kedua struktur rangka dasar menunjukkan nilai *safety factor* minimum sebesar 3,055 dan nilai *safety factor* maksimum sebesar $8,067 \times 10$, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 19 di bawah ini.



Gambar 19. Hasil Analisa *Safety Factor* Variasi Kedua Struktur Rangka Dasar

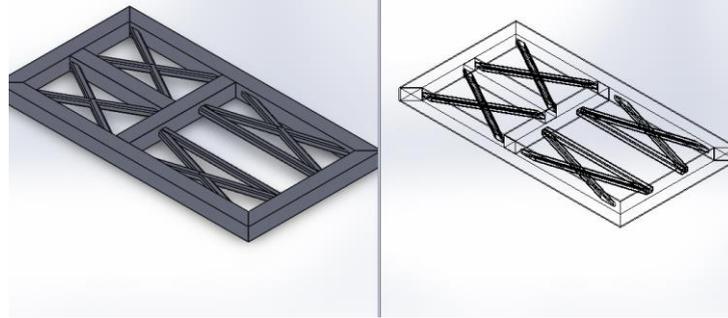
3. Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

Hasil dari simulasi variasi ketiga struktur rangka dasar menunjukkan nilai *safety factor* minimum sebesar 2,137 dan nilai *safety factor* maksimum sebesar $3,502 \times 10$, dan dapat dilihat hasilnya pada Gambar 20 di bawah ini.



Gambar 20. Hasil Analisa *Safety Factor* Variasi Ketiga Struktur Rangka Dasar

Karena *safety factor* menjadi acuan gagal atau tidaknya, maka Variasi Pertama yang akan digunakan pada struktur rangka dasar *Safety Surgical Chair*. Berikut Gambar 21 menunjukkan struktur rangka dasar yang akan digunakan di *Safety Surgical Chair*.



Gambar 21. Struktur Rangka Dasar

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini, desain *Safety Surgical Chair* yang digunakan sebagai alat bantu bagi Dokter Bedah Laparoskopik menggunakan konsep terpilih konsep yang kedua dilengkapi dengan variasi yang pertama dengan spesifikasi sebagai berikut:

- a. *stress* minimum sebesar $-3,845 \times 10^{-8} \text{ N/mm}^2$.
stress maksimum sebesar $9,337 \times 10^{-8} \text{ N/mm}^2$.
- b. *deformasi* minimum sebesar $1 \times 10^{-3} \text{ mm}$.
deformasi maksimum sebesar $2,201 \text{ mm}$.
- c. *safety factor* minimum sebesar $4,512$.
safety factor maksimum sebesar $1,146 \times 10^2$.

5. Daftar Pustaka

- [1] Halei, M., Dzubanovskyi, I., & Marchuk, I. (2020). Analysis of fatigue in surgeons after simultaneous laparoscopic operations. *Journal of Education, Health and Sport*, 10(7), 429-437.
- [2] Epel, E. S., Crosswell, A. D., Mayer, S. E., Prather, A. A., Slavich, G. M., Puterman, E., & Mendes, W. B. (2018). More than a feeling: A unified view of stress measurement for population science. *Frontiers in neuroendocrinology*, 49, 146-169.
- [3] Janhofer, D. E., Lakhiani, C., & Song, D. H. (2019). Addressing surgeon fatigue: current understanding and strategies for mitigation. *Plastic and reconstructive surgery*, 144(4), 693e-699e.
- [4] Whelehan, D. F., Brown, D. J., Connelly, T. M., & Ridgway, P. F. (2021). Fatigued surgeons: A thematic analysis of the causes, effects and opportunities for fatigue mitigation in surgery. *International Journal of Surgery Open*, 35, 100382.
- [5] McCarthy, T. C. (2021). Laparoscopy. *Veterinary Endoscopy for the Small Animal Practitioner*, 383-552.
- [6] Steffey, M. A. (2022). The Role of Laparoscopy in Cancer Staging. *Small Animal Laparoscopy and Thoracoscopy*, 276-288.
- [7] Kozol, R., Lange, P. M., Kosir, M., Beleski, K., Mason, K., Tennenberg, S., & Wilson, R. F. (1997). A prospective, randomized study of open vs laparoscopic inguinal hernia repair: an assessment of postoperative pain. *Archives of Surgery*, 132(3), 292-295.
- [8] Spagnolo, A. M., Ottria, G., Amicizia, D., Perdelli, F., & Cristina, M. L. (2013). Operating theatre quality and prevention of surgical site infections. *Journal of preventive medicine and hygiene*, 54(3), 131.
- [9] Schroeder, A., Wang, N., Felson, D. T., Lewis, C. E., Nevitt, M. C., & Segal, N. A. (2021). Knee extensor and flexor torque variability during maximal strength testing and change in knee pain and physical function at 60-month follow-up: The Multicenter Osteoarthritis Study (MOST). *American journal of physical medicine & rehabilitation*, 100(2), 196.
- [10] Setyawati, L. (2010). Selintas tentang kelelahan kerja. *Yogyakarta: Amara Books*, 28 - 33.
- [11] Sonawan, H. (2010). *Perancangan elemen mesin*. Alfabeta.
- [12] Dobrovolsky, V. K. (1968). Zablonsky, S. Max. A. Radchik. & L. Erika: Machine Element. *Second Edition, Peace Publisher, Moscow*.
- [13] Vidosic, J. P. (1957). *Machine design projects*. Ronald Press Company.