AL-DYAS
Jurnal Inovasi dan Pengabdian kepada Masyarakat

p-ISSN : 2964-4992
e-ISSN : 2964-4984

Terindeks : Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Semantic, Garuda, Google, Base, etc.

https://doi.org/10.58578/aldyas.v3i1.2773

ANALISIS PEMBEBANAN STATIS KOMPONEN CROSSBAR CLINKER COOLER DENGAN VARIASI BEBAN HORIZONTAL TERHADAP LUBANG PASAK

Analysis of Static Load on Crossbar Components of Clinker Cooler with Variation of Horizontal Load on Bolt Holes

M. William Akbar[1], Andril Arafat[2], Delima Yanti Sari[3], Zainal Abadi[4]
Universitas Negeri Padang
williamakb10@gmail.com

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Feb 19, 2024	Feb 22, 2024	Feb 25, 2024	Feb 28, 2024

Abstract

A clinker cooler is a very important piece of equipment in the cement industry because it functions to cool the slag or clinker that comes out of the kiln. In the cement industry, the processed clinker is first heated in a rotary kiln at °C and then lowered to temperature again. Next, the crossbar hammer crusher driven by the drive plate crushes the clinker. Clinker is transferred from the cooler inlet to the cooler outlet by this device. The performance of the main clinker cooler due to small errors can cause the kiln to stop working or disrupt other operations, such as in the mile finish area. In certain cases, cement production was disrupted due to a break in the crossbar component in the clinker cooler using the tested software Ansys Workbench 2020. It is hoped that the data from this simulation can be used as a benchmark between the results of the simulation, it can be used as a benchmark between the results of the best modified design for increasing crossbar durability through statistical loading tests with the FEA method.

Keywords: *Crossbar; Safety Factor; FEA; Modification*

Jurnal Al-DYAS is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

Abstrak: Clinker cooler adalah salah satu peralatan yang sangat penting dalam industri semen karena berfungsi untuk mendinginkan terak atau clinker yang keluar dari kiln. Pada industri semen, clinker yang telah diproses pertama kali dipanaskan pada rotary kiln °C, kemudian diturunkan ke suhu kembali. Selanjutnya, crossbar yang digerakkan oleh plat penggerak menghancurkan clinker. Clinker ditransfer dari inlet pendingin ke outlet pendingin oleh perangkat ini. Kinerja clinker cooler utama karena kesalahan kecil dapat menyebabkan kiln berhenti bekerja atau mengganggu operasi lainnya, seperti di area finish mil. Dalam kasus tertentu, produksi semen terganggu karena patah pada komponen crossbar di clinker cooler menggunakan software teruji ansys workbench 2020. Diharapkan data dari simulasi ini dapat digunakan sebagai tolak ukur antara hasil simulasi tersebut, dapat digunakan sebagai tolak ukur antara hasil dari desain modifikasi yang terbaik untuk meningkatkan ketahanan crossbar melalui uji coba pembebanan statis dengan metode FEA.

Kata Kunci : Crossbar ; Modifikasi ; FEA; Faktor Keamanan

PENDAHULUAN

Crossbar adalah salah satu komponen *cooler* yang terhubung langsung dengan *clinker* sebagai alat komponen yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengangkut *clinker* dari inlet pendingin ke *outlet* pendingin (juga dikenal sebagai *hammer crusher*). Material dari crossbar biasanya berupa *cast iron* atau *forged carbon steel* yang berfungsi sebagai media pendingin dan transport *clinker*. Selain berfungsi sebagai media pendinginan *clinker* secara konduksi, *crossbar* juga berfungsi untuk melindungi drive plate dari material *clinker* yang memiliki *temperature* tinggi(Setiyana 2007).

Kinerja *clinker cooler* sangat penting karena apabila sedikit gangguan terjadi selama operasinya, itu dapat menyebabkan kiln berhenti bekerja atau mengganggu operasi lainnya, seperti di area *finish mill*. *Clinker cooler* yang digunakan pada Indarung VI merupakan peralatan yang memiliki teknologi terbaru. *Cooler* ini baru beroperasi sejak tahun 2018. Namun, pada bulan januari 2020 komponen *crossbar* pada *clinker cooler* ditemukan mengalami kegagalan contohnya ternjadinya *crack* /patah tepatnya pada bagian area lubang pasak pada *crossbar*.

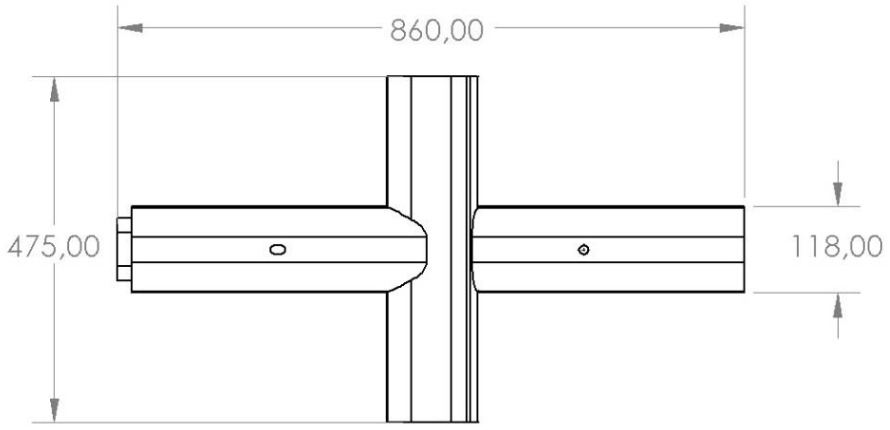
Untuk menganalisis kegagalan pada alat bantu permesinan yakni menggunakan metode FEA (*Finite Element Analysis*), metode tersebut merupakan metode pendekatan untuk memperoleh pendekatan secara numerik menggunakan bantuan komputer dengan cara mendiskritisasi menjadi bagian kecil yang berhingga jumlahnya, sehingga bagian kecil tersebut digabungkan dan dianalisis secara perhitungan (Rusdiyana et al. 2016). Metode FEA (*Finite Element Analysis*) juga dapat membatu engineer untuk memperoleh data gaya pembebanan secara teoritis pada pemodelan(Yaqin et al. 2021)(Yaqin, Siahaan, and Pranoto 2019).

Pertambahan panjang akibat gaya (strain), distribusi tegangan, *displacement* dari sebuah geometri dan bentuk tertentu, regangan pada sebuah material dapat dianalisis menggunakan FEA (Fenite Element Analysis).(Prasetiyo, Sekarjati, and Haryo 2022).

Oleh karena itu , dengan memanfaatkan perkembangan *software* yang berkembang hingga saat ini. Sebagai salah satu *software* yang telah teruji, dengan menggunkan *ansys workbench* 2020, selanjutnya dilakukanlah modifikasi bentuk dari *crossbar* serta pengujian dan pembandingan agar data hasil simulasi tersebut dapat digunakan sebagai tolak ukur antara untuk menentukan desain modifikasi dan material yang terbaik untuk meningkatkan ketahanan *crossbar* melalui uji coba pembebanan statis secara horizontal dengan menghasilkan perbandingan nilai berupa *equivalent stress* (*Von Mises*), *total deformation* (*Displacement*), dan *safety factor* dengan metode *finite element*

METODE

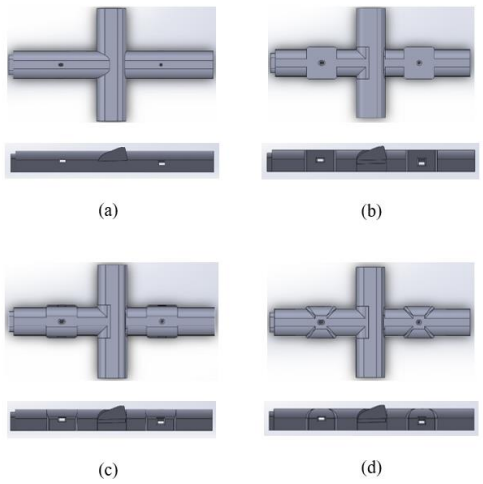
Bagian berikutnya adalah metode. Pada bagian ini, menerangkan tentang : metode apa yang digunakan dalam melakukan penelitian; deskripsi singkat objek penelitian yang diteliti; deskripsi singkat cara pengambilan data; proses penelitian yang dilakukan dan atau desain alat yang dikembangkan. Salah satu komponen cooler yang terhubung langsung dengan *clinker* adalah *crossbar* (Gambar 1), yang digerakkan oleh plat penggerak (*drive plate*), sebagai alat komponen yang berfungsi untuk mendinginkan dan mengangkut *clinker* dari inlet pendingin ke *outlet* pendingin (juga dikenal sebagai *hammer crusher*).(Flsmidth 2013)



Gambar 1 Desain utama komponen crossbar clinker cooler.

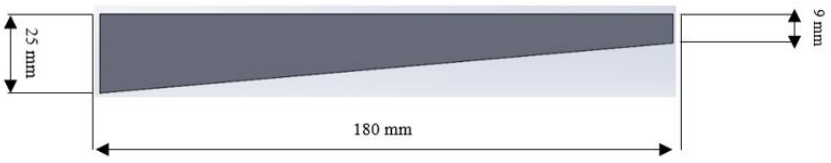
Mendesain ulang *crossbar* yang patah dilakukan menggambar ulang desain crossbar berdasarkan *drawing*. Hasil ukuran ini dimodelkan menggunakan *software* berbasis 3D *Solidwork*s 2020 memiliki ukuran panjang x lebar ; (860 x 475) mm seperti yang terlihat pada Gambar 1. Konsep desain modifikasi 1, 2, dan 3 (Gambar 2). Desain modifikasi 1 berbentuk kotak dengan bagian sudut dan tepi lubang diberi *fillet*, sedangkan desain modifikasi 2 dibuat dengan atas memberi lengkung melingkar mengikuti bentuk desain *original* . Konsep desain modifikasi 3 dengan bagian atas dibuat berbentuk semi kubah dengan *fillet* disekelilingnya.

Dari keterangan keempat desain diatas semuanya dapat dijelaskan oleh gambar 2 dibawah ini ;



Gambar 2 Desain original (a), modifikasi 1 (b), modifikasi 2 (c), modifikasi 3 (d).

Berdasarkan dari ketiga desain modifikasi diatas, selanjutnya untuk menentukan ukuran dari lubang pada *crossbar*, maka kita dapat melihat dari ukuran besar pasak dilihat dari gambar 3, dengan ukuran yang dapat digunakan sebagai landasan dalam memodifikasi ukuran dan bentuk namum tetap mempertahankan ukuran dan letak lubang pada *crossbar* berdasarkan desain *original*.

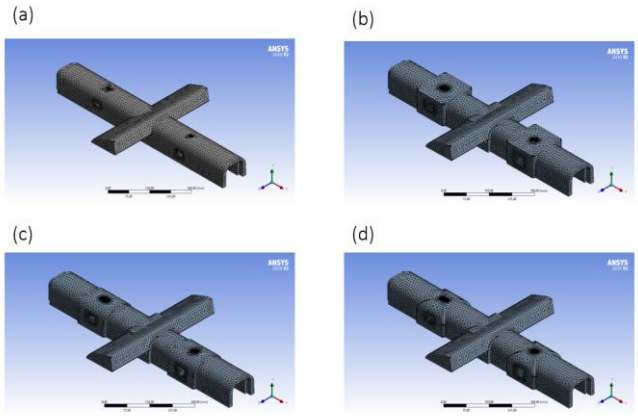


Gambar 3 Desain dan ukuran pasak pada crossbar.

Berdasarkan proses mesh dengan skala meshing yang digunakan sebesar 0.01 mm. Semakin kecil skala *mesh* yang digunakan maka semakin akurat hasil analisis yang dihasilkan didapatkan sehingga nilai skala sangat mempengaruhi juga pada hasil titik tegangan pada *crossbar* dicontohkan pada gambar 4. Hasil *meshing* yang dianalisis pada *crossbar original* beserta desain modifikasi sehingga hasil elemen dan *nodes meshing* memiliki adalah nilai yang bervariasi seperti yang ditunjukkan tabel 4 dibawah ini.

Tabel 1. Hasil Mesing crossbar

Desain	Nodes	Elemen
Original	117440	74545
Modifikasi 1	166738	107919
Modifikasi 2	157032	101132
Modifikasi 3	162770	105089



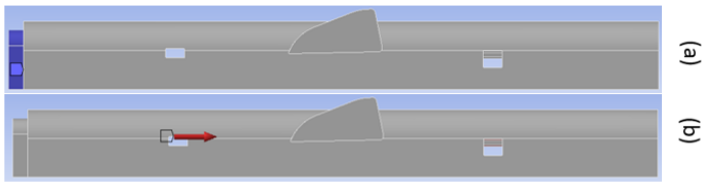
Gambar 4 Meshing Original, (b) meshing modifikasi 1, (c) meshing modifikasi 2, (c) meshing modifikasi 3.

Simulasi menggunakan motode FEA

Metode FEA (*Finite Element Analysis*) pada umumnya di gunakan untuk meneliti analisa struktur, termal, dan lainnya. Struktur rangka batang dimana batang antara dua titik hubung yang membentuk elemen rangka secara otomatis sehingga memerlukan elemen hingga. Metode ini dilakukan kepada semua *crossbar* dengan membandingkan hasil *crossbar* original dengan desain 3 modifikasi terhadap 3 faktor yaitu *von misses stress, displacement,* dan *safety factor*. Metode *finite element analysis* (FEA) adalah metode numerik dengan berbasis

komputer yang digunakan untuk memecahkan masalah teknis dalam geometri bidang atau volume yang sudah ditentukan dalam penelitian ini. Dalam situasi seperti ini, geometri tersebut dibagi menjadi elemen kecil (Putra and Mukhtar 2023). Analisa statik digunakan. Menurut (Dobrovolsky and Troitsky 1962) dan (Mukhtar et al. 2021), rentang nilai faktor keamanan didasarkan pada pembebanannya. Uji kekuatan dan keamanan dilakukan dengan pembebanan statis dengan nilai angka keamanan 1,25–2,0.

Eksperimen yang diukur yaitu tegangan maksimum (*Von Misses Stress*) yang dialami oleh crossbar yang masing-masing konfigurasi dengan sambungan pasak artinya tidak memiliki celah antar muka lubang dan pasak. Untuk jarak antar lubang sesuai dengan desain utama atau *original*.



Gambar 5 (a) Lokasi Fixed support,(b) Arah gaya pembebanan

Boundary conditions yang digunakan untuk mendapatkan hasil analisis yaitu dengan beban searah dengan gaya dorong (horizontal), pada gambar 5 (a) dan (b) menggunakan variasi beban 500000 N, 600000 N, 700000 N searah sumbu x dengan beban yang diberikan pada bagian horizontal dengan crossbar bagian lubang dan bagian samping *crossbar* yang dijadikan *fixed constrant*, ditunjukkan pada gambar 5. Proses simulasi analisis ada beberapa parameter atau data yang diinput seperti karakteristik yang digunakan untuk dapat membandingkan hasil analisis dari beberapa desain modifikasi tersebut. Karakteristik mekanis pada *crossbar* dilihat melalui parameter *density, modulus elasticity, yield strength, poission ratio* dan *thermal expansion* sehingga dapat disimulasikan melalui *ansys*. Data yang diukur untuk menentukan parameter input yang ditunjukkan oleh tabel 2, 3 dan 4 berikut ini berdasarkan sumber (www.totalmateria.com) dan (makeitform.com)

Table 2 Material properties ASTM A297 grade HH.

Property	Value	Unit
Young Modulus	186000	Mpa
Poisson's Ratio	0,3	N/A
Bulk Modulus	71538,46	Mpa

Shear Modulus	71538,46	Mpa
Density	7723	(kg m^-3)
Tensile Yield Strength	250	Mpa
Tensile Ultimate Strength	260	Mpa

Table 3 Material properties ASTM A48

Property	Value	Unit
Young Modulus	95000	Mpa
Poisson's Ratio	0,26	N/A
Bulk Modulus	65972,22	Mpa
Shear Modulus	37698,41	Mpa
Density	7150	(kg m^-3)
Tensile Yield Strength	170	Mpa
Tensile Ultimate Strength	250	Mpa

Table 4 Material properties ASTM A297 grade HK

Property	Value	Unit
Young Modulus	186000	Mpa
Poisson's Ratio	0,3	N/A
Bulk Modulus	155000	Mpa
Shear Modulus	71538,46	Mpa
Density	7750	(kg m^-3)
Tensile Yield Strength	270	Mpa
Tensile Ultimate Strength	280	Mpa

HASIL DAN PEMBAHASAN

Equivalent Stress (Von Mises)

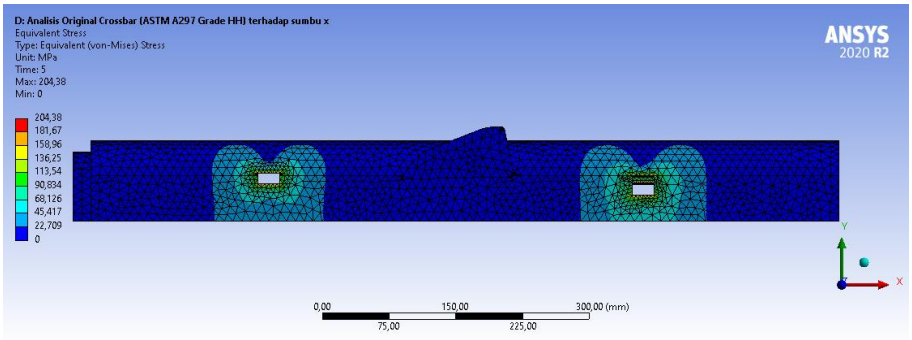
Tegangan maksimal (*von mises*) merupakan intensitas gaya yang bekerja pada setiap satuan luas bahan. *Von mises* terjadi ketika sebuah material diberi beban oleh gaya (Fauzi 2013). Perhitungan untuk menemukan solusi permasalahan nilai batas pada sebuah pemodelan sistem yakni menggunakan metode *fenite element analysis*. Pada simulasi pembebanan variasi 500000 N, 600000 N, 700000 N menunjukkan persebaran tegangan yang sama sebagaimana yang ditunjukkan pada tabel 5. Pola distribusi kontur pemodelan memperlihatkan sisi lengkung memiliki nilai tegangan tinggi sama, apabila diperhatikan secara detail terdapat perbedaan distribusi relatif kecil. Semakin besar nilai gaya yang diberikan pada

sebuah pemodelan maka *stress* yang terjadi semakin besar (Prasetiyo, Sekarjati, and Haryo 2022).

Table 5 Hasil variasi simulasi equivalent (Von Mises) stress.

Material	Desain	Pembebanan (N)		
		500000(Mpa)	600000 (Mpa)	700000 (Mpa)
ASTM A297 Grade HH	Original	145,98	175,18	204,38
	Modifikasi 1	119,53	143,43	167,34
	Modifikasi 2	118,51	142,22	165,92
	Modifikasi 3	119,53	143,43	167,34
ASTM A48	Modifikasi 1	163,73	196,48	229,22
	Modifikasi 2	164,52	197,42	230,33
	Modifikasi 3	163,73	196,48	229,22
ASTM A297 Grade HK	Modifikasi 1	98,931	118,72	138,5
	Modifikasi 2	97,54	117,05	136,56
	Modifikasi 3	98,931	118,72	138,5

Hasil analisis simulasi menunjukkan pada tabel 5 menunjukkan kenaikan *equivalent stress* mengalami kenaikan dengan bertambahanya beban yang diberikan. Nilai e*quivalen stress* tertinggi dimiliki oleh material ASTM A48 desain modifikasi 2 pada variasi pembebanan 500000 N, 600000 N, 700000 N berturut - turut memiliki nilai sebesar 164.52 Mpa, 197.42 Mpa, 230.33 Mpa. Nilai *equivalent stress* (*von mises*) mengalami peningkatan seiring bertambahnya pembebanan. Hal tersebut disebabkan pemberian *equivalent stress* berbanding lurus dengan gaya yang didapatkan (Sitepu 2016). Contoh *Contoh* hasil simulasi *equivalent (Von Mises) stress* dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini;



Gambar 7 Contoh hasil simulasi equivalent (Von Mises) stress (mpa).

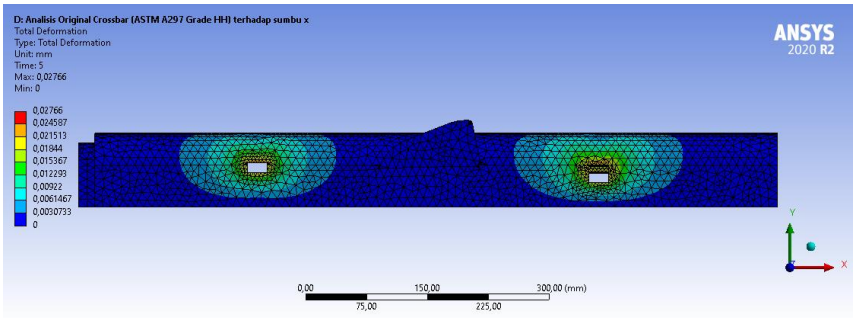
Total Deformation (Displacement)

Perpindahan bentuk (*displacement*) merupakan perubahan fisik yang diakibatkan oleh adanya gaya atau pembebeban yang diterima (*force*) terhadap sebuah bidang atau volume (Suprapto and Wibawa 2021). Deformasi, yang terjadi sebagai akibat dari penerimaan gaya atau beban oleh material yang digunakan, adalah indikator penting yang menunjukkan apakah material yang digunakan tangguh menahan beban yang diberikan. Semakin kecil angka yang dihasilkan dari deformasi, maka material tersebut semakin kuat (Wibawa 2019). Hasil simulasi *total deformation* (*dissplacement*) terlihat pada tabel 6 berikut;

Table 6 Hasil variasi simulasi total deformation/displacement (mm).

Material	Desain	Pembebanan (N)		
		500000 (mm)	600000 (mm)	700000 (mm)
ASTM A297 Grade HH	Original	0,019757	0,023709	0,02766
	Modifikasi 1	0,015026	0,018032	0,021037
	Modifikasi 2	0,028936	0,034724	0,040511
	Modifikasi 3	0,015026	0,018032	0,021037
ASTM A48	Modifikasi 1	0,016505	0,019806	0,023107
	Modifikasi 2	0,031729	0,038075	0,044421
	Modifikasi 3	0,016505	0,019806	0,023107
ASTM A297 Grade HK	Modifikasi 1	0,01361	0,016332	0,019054
	Modifikasi 2	0,026195	0,031434	0,036673
	Modifikasi 3	0,01361	0,016332	0,019054

Nilai deformasi tertinggi dimiliki oleh material ASTM A48 desain modifikasi 2 variasi pembebanan 500000 N, 600000 N, 700000 N berturut - turut memiliki nilai sebesar 0.031729 mm, 0.038075 mm, 0.044421 mm. ketika desain crossbar diberi pembebanan tinggi, apabila jika tidak berubah secara signifikan. Hal tersebut mengartikan komponen tidak rusak dan dapat digunakan dengan aman begitu pula sebaliknya jika berubah secara signifikan maka diperlukan segera penanganan agar tidak terjadinya kejadian serupa (Pratama and Mahardika 2018). Contoh hasil simulasi *total deformation* (*dissplacement*) dapat dilihat pada gambar 8 dibawah ini;



Gambar 8 Contoh hasil simulasi total deformation (displacement) mm.

Safety Factor

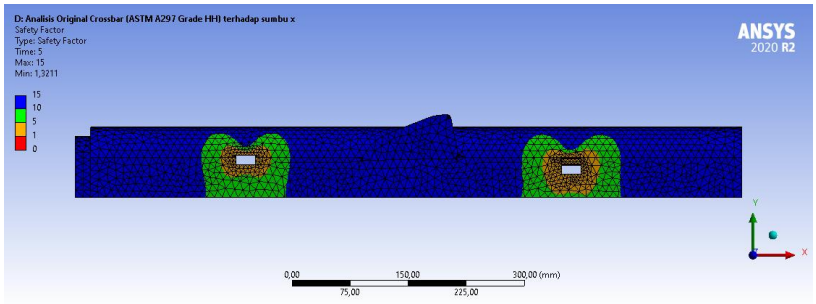
Faktor keamanan (*Safety Factor*) merupakan suatu hal yang penting dalam perancangan dan analisis struktur secara menyeluruh sehingga dapat terjamin keamanan dari sebuah desain. Parameter terpenting dalam melakukan sebuah desain dan pengujian tegangan pada suatu bentuk objek saat menerima beban dari luar baik itu beban tarik maupun tekan adalah faktor keamanannya (Yaqin et al. 2021). Untuk memperoleh faktor keamanan dapat diperoleh dengan membandingkan antara tegangan yang diberikan dengan tegangan luluh beban (Wibawa 2019). Hasil simulasi pemodelan ditunjukkan pada tabel 7. Simulasi pemodelan crossbar menunjukkan perubahan distribusi angka keamanan.

Table 7 Hasil simulasi variasi simulasi safety factor

Material	Desain	Pembebanan (N)		
		500000 (N/A)	600000 (N/A)	700000 (N/A)
ASTM A297 Grade HH	Original	1,8495	1,5413	1,3211
	Modifikasi 1	2,1753	1,8127	1,5538
	Modifikasi 2	1,4344	1,1953	1,0246
	Modifikasi 3	2,2589	1,8824	1,6135
ASTM A48	Modifikasi 1	1,588	1,3233	1,1343
	Modifikasi 2	1,0333	0,86109	0,73808
	Modifikasi 3	1,6491	1,3742	1,1779
ASTM A297 Grade HK	Modifikasi 1	2,6281	2,1901	1,8772
	Modifikasi 2	1,7429	1,4524	1,2449
	Modifikasi 3	2,7292	2,2743	1,9494

Hasil safety factor yang didapat dari hasil simulasi menunjukkan bahwa safety factor pada desain crossbar dikatakan aman terhadap pembebanan yang diberikan. Hal tersebut, ditunjukkan oleh nilai angka keamanannya diatas 1 dari tegangan yang bekerja dan memenuhi

syarat mampu menahan pembebanan dinamis (Yaqin et al. 2021). Contoh hasil *safety factor* dapat dilihat pada pada gambar 9 dibawah ini;



Gambar 9. Contoh hasil simulasi safety factor.

Dalam hal ini, berdasarkan tabel 7 kita dapat mengetahui bahwa nilai faktor keamanan (*safety factor*) dengan nilai pembebanan. Hasil analisis pada tabel yang tertinggi dimiliki oleh material ASTM A48 desain modifikasi 2 variasi pembebanan 500000 N, 600000 N, 700000 N berturut - turut memiliki nilai *factor* sebesar 1.0333, 0.86109, 0.73808. Nilai *safety factor* terkecil pada material ASTM A297 *grade* HK modifikasi 3 pada variasi pembebanan 500000 N, 600000 N, 700000 N berturut - turut factor sebesar 2.7292, 2.2743, 1.9494.

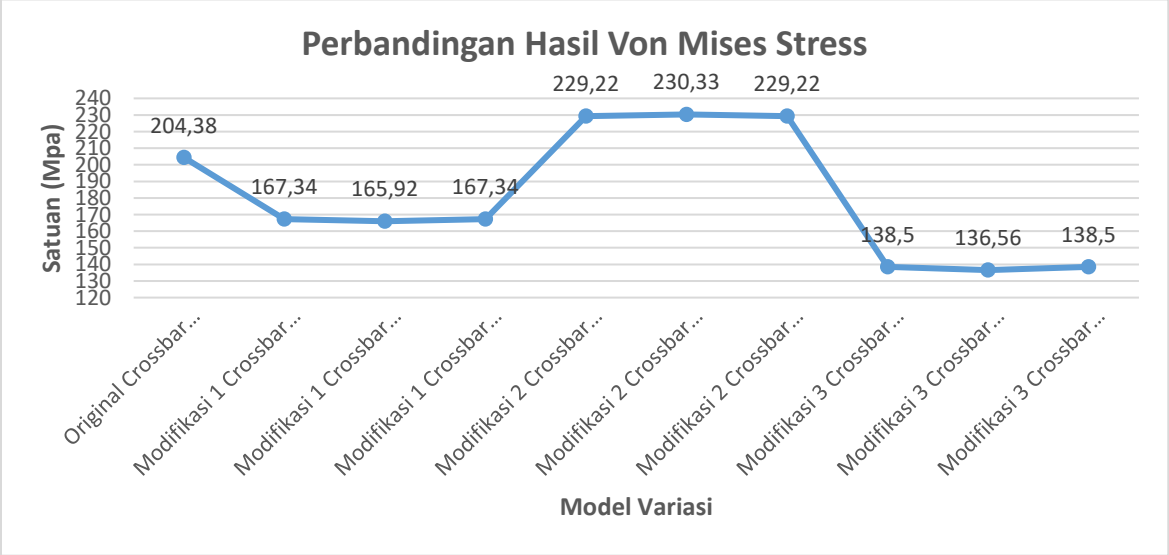
Dan kemudian dapat diperoleh perbandingan dari seluruh hasil simulasi *von mises stress*, *total deformation/displacement*, dan *safety factor* pada pembebanan tertinggi adalah berikut;

Table 8 Hasil Simulasi Pada Crossbar

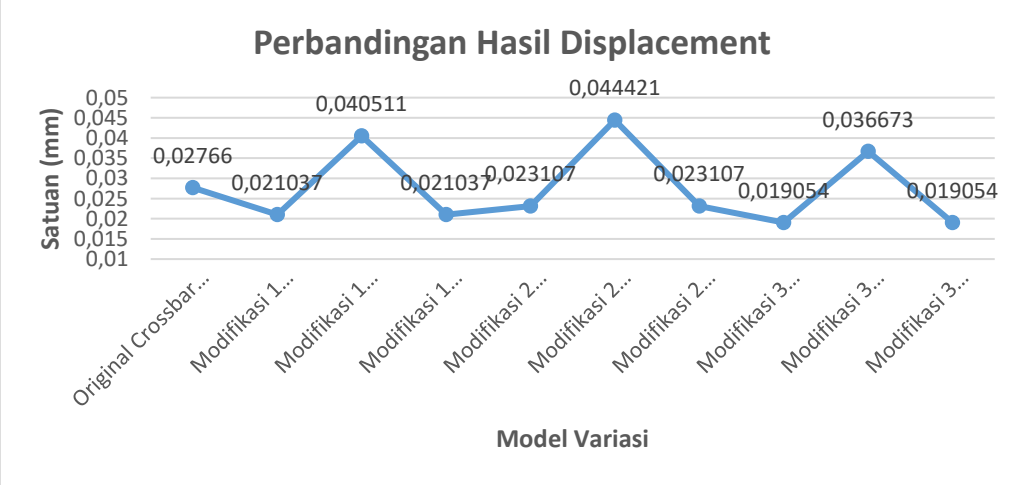
Hasil Simulasi Pada Crossbar Pada Pembebanan 7000000 N			
Variasi	Von Mises Stress (Mpa)	Displacement (mm)	Safety Factor (N/A)
Original Crossbar (ASTM A297 Grade HH)	204,38	0,02766	1,3211
Modifikasi 1 Crossbar (ASTM A297 Grade HH)	167,34	0,021037	1,5538
Modifikasi 1 Crossbar (ASTM A297 Grade HH)	165,92	0,040511	1,0246
Modifikasi 1 Crossbar (ASTM A297 Grade HK)	167,34	0,021037	1,6135
Modifikasi 2 Crossbar (ASTM A297 Grade HH)	229,22	0,023107	1,1343
Modifikasi 2 Crossbar (ASTM A48)	230,33	0,044421	0,73808
Modifikasi 2 Crossbar (ASTM A297 Grade HK)	229,22	0,023107	1,1779

Modifikasi 3 Crossbar (ASTM A297 Grade HH)	138,5	0,019054	1,8772
Modifikasi 3 Crossbar (ASTM A48)	136,56	0,036673	1,2449
Modifikasi 3 Crossbar (ASTM A297 Grade HK)	138,5	0,019054	1,9494

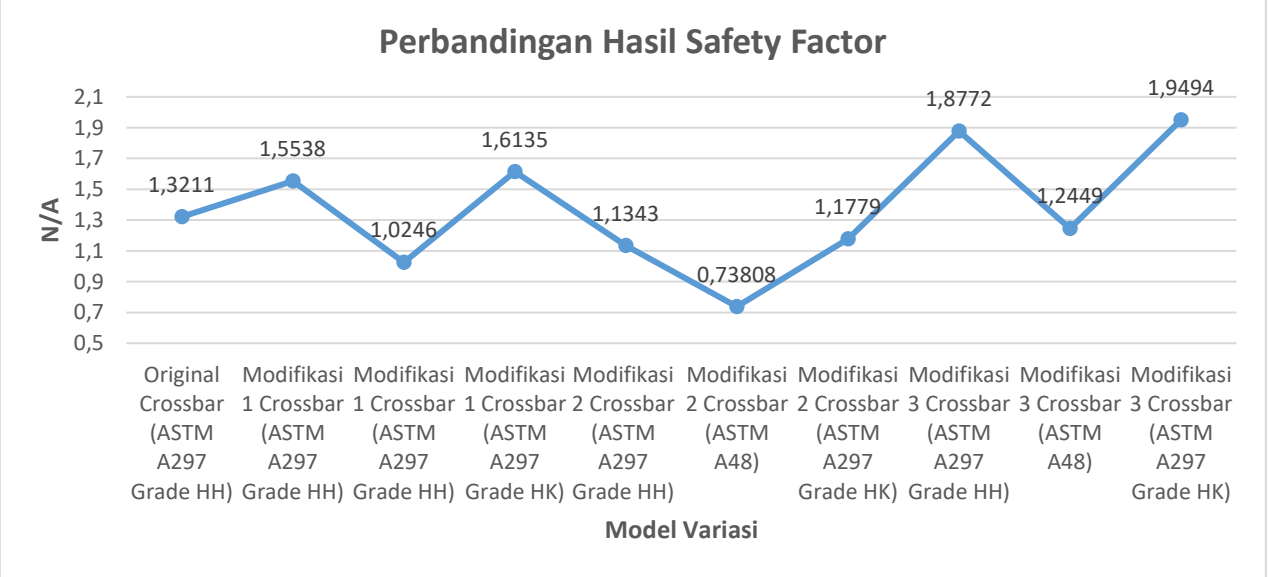
Selanjutnya. berdasarkan tabel hasil simulasi pada *crossbar* dengan variasi pembebanan (force), maka diperoleh perbandingan grafik setiap hasil *von mises, displacement, dan safety factor* seperti dibawah ini;



Grafik 1 Perbandingan hasil analisa tegangan (Von Mises) stress



Grafik 2 Perbandingan hasil analisa total deformation/perpindahan bentuk (Displacement)



Grafik 3 Perbandingan hasil analisa faktor keamanan (Safety Factor)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa modifikasi desain 2 dengan material ASTM A48 memiliki hasil faktor keamanan terendah, yang mengindikasikan bahwa desain tersebut kurang tahan terhadap kesalahan atau perubahan dalam produksi. Sebaliknya, desain modifikasi 3 dengan material ASTM A297 *grade* HK memiliki hasil faktor keamanan tertinggi, yang mengindikasikan bahwa desain tersebut akan menjadi desain yang lebih aman dan lebih terjamin. Berdasarkan temuan-temuan rinci ini, penulis merekomendasikan untuk memprioritaskan memilih modifikasi desain 3 dengan material ASTM A297 *grade* HK untuk modifikasi *crossbar*, karena memiliki hasil tegangan *von mises* yang paling kecil dan faktor keamanan yang tinggi. Namun, modifikasi desain 3 dengan material ASTM A297 *grade* HH juga dapat menjadi pilihan yang layak, karena memiliki hasil perpindahan /*displacement* terendah dan hasil faktor keamanan yang tinggi. Secara keseluruhan, temuan ini dapat membantu memandu proses modifikasi *crossbar* dan memastikan desain yang lebih stabil dan andal.

DAFTAR PUSTAKA

Bima Saputra, Eka, Ahmad Zohari, and Wahyu Bambang Sulistyo. (2023). "Analysis Static of Chassis Robot Arm As Design Modification Induction Melting Furnace Machine Using Fea Method (Analisis Statik Rangka Robot Arm Sebagai Modifikasi Desain Mesin Induction Melting Furnace Menggunakan Metode Fea)." *Journal Renewable Energy & Mechanics* 6(2):85–98. doi: 10.25299/rem.2023.vol6(02).14344.

Dobrovolsky, V., and Anatoly Troitsky. (1962). "Machine Elements: A Textbook." *Moscow ; Peace Publisher*.

Fauzi, Helmi. (2013). "Analisis Tegangan Pada Frame Mobil Listrik Sinosi Dengan Metode Elemen Hingga." *Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember*.

Flsmidth. (2013). "FLSmidth Cross-Bar Cooler." Pp. 1–60 in.

Khaira, Zakhratul. (2023). "Analisis Statik Pengaruh Variasi Material Rangka Kursi Roda Hewan Lipat Menggunakan Metode Elemen Hingga." *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa* 28(1):44–52. doi: 10.35760/tr.2023.v28i1.6875.

Mukhtar, M. Nushron Ali, Titik Koesdijati, Sagita Rochman, Edi Nasrulloh, and Lutfi Hidayat. (2021). "Analisis Desain Stator Generator Tipe Magnet Permanen Fluks Aksial Menggunakan Metode Finite Element Analysis (FEA)." *Jurnal Teknik Mesin* 8(2):149–56.

Prasetiyo, Angger Bagus, Kartinasari Ayuhikmatin Sekarjati, and Sigiet Haryo. (2022). "Design And Analysis of The Effect of Variation Of Compression Force on Allen Key Using Finite Element Analysis Method." *SJME Kinematika* 7(1):39–52. doi: 10.20527/sjmekinematika.v7i.

Pratama, Juan, and Muslim Mahardika. (2018). "Finite Element Analysis to Determine the Stress Distribution, Displacement and Safety Factor on a Microplate for the Fractured Jaw Case." in *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1941. AIP Publishing.

Putra, Yunnanta Adi, and M. Nushron Ali Mukhtar. (2023). "Analisis Statik Bracket Roll Brush Mesin Tensor Menggunakan Metode Fea." *Elemen : Jurnal Teknik Mesin* 10(1):57–63. doi: 10.34128/je.v10i1.246.

Rusdiyana, Liza, Suhariyanto, Gathot Dwi Winarto, Syamsul Hadi, and Mahirul Mursid. (2016). "Desain Dan Analisa Pisau Penghancur Bonggol Jagung Sebagai Bahan Pakan Ternak." *Jurnal Energi Dan Manufaktur* 9(1):49–53.

Setiyana, Budi. (2007). "Analisis Unjuk Kerja Grate Clinker Cooler Pada Proses Produksi Semen." *Jurnal Rotasi* 9(3):19–26.

Suprapto, Ready Kresna Nanda, and Lasinta Ari Nendra Wibawa. (2021). "Desain Dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi Pergerakan Kendali Terbang Menggunakan Metode Elemen Hingga." *JTM-ITI (Jurnal Teknik Mesin ITI)* 5(1):19–28.

Wibawa, Lasinta Ari Nendra. (2019). "Desain Dan Analisis Tegangan Alat Pengangkat Roket Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga." *Jurnal Energi Dan Teknlogi Manufaktur (JETM)* 2(01):23–26.

Yaqin, Rizqi Ilmal, Juniawan Preston Siahaan, and Sigiet Haryo Pranoto. (2019). "Analisis Tegangan Propeller Kapal Penangkap Ikan Di Kota Dumai Menggunakan Finite Element Analysis." *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)* 5(2):56–63.

Yaqin, Rizqi Ilmal, Mega Lazuardi Umar, Sigiet Haryo Pranoto, Angger Bagus Prasetiyo, and Bambang Hari Priyambodo. (2021). "Studi Perancangan Pisau Pada Mesin Pencacah Plastik Menggunakan Finite Element Analysis." *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)* 7(1):44–53.