



## **Analisa Kegagalan Dan *Redesign* Pen Roll Pada Alat Roll Tembaga**

**Saiful Fuad, Eka Marlina**

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya  
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia  
email: [saifulfuad020598@gmail.com](mailto:saifulfuad020598@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisa kegagalan pada alat roll tembaga yang sudah ada saat ini. Kegagalan sering terjadi pada komponen pen roll nomor 2. Selanjutnya analisa tersebut akan digunakan untuk melakukan *redesign* pada bagian pen roll nomor 2 dari alat pengeroll tembaga agar memiliki *life cycle* yang lebih tinggi.

Proses *redesign* akan diawali dengan membuat sketsa alat roll tembaga berdasarkan dimensi contoh barang yang diberikan, dari hasil sketsa tersebut akan dibuat 2D dan 3D CAD *modelling* dengan menggunakan *software* Autodesk AutoCad dan Autodesk Inventor untuk menyesuaikan dimensi alat ketika dirakit. Setelah hasilnya sesuai, proses berikutnya adalah menganalisa desain alat yang sudah ada sekarang menggunakan *Finite Element Method* (FEM) dan teori kegagalan Soderberg. Analisa FEM akan dilakukan dengan menggunakan *software* Ansys. Dilanjutkan dengan membuat desain alat yang baru lalu dilakukan analisa FEM. Selanjutnya hasil analisa *life cycle* dari kedua desain dibandingkan.

Data analisa dari desain alat mula-mula dan desain alat baru yang telah dibandingkan akan memperlihatkan hasil mana yang lebih baik. Dari penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa *redesign* pen roll nomor 2 berupa profil, dimensi, dan material berhasil memiliki *life cycle* yang lebih tinggi dibandingkan desain alat mula-mula, sehingga desain baru ini akan digunakan sebagai referensi pembuatan alat yang baru.

**Kata kunci:** *Analisa, Pen roll, FEM, Life cycle, Ansys*

### **PENDAHULUAN**

Dewasa ini Indonesia bukan lagi negara agraris seperti yang kita kenal dahulu di pelajaran sekolah dasar. Melainkan merupakan negara industri karena banyak terjadinya perubahan fungsi lahan pertanian menjadi bangunan, hal ini juga dibuktikan dari sumber pendapatan negara Indonesia terbesar adalah dari sektor industri. Dalam masa pandemi seperti sekarang industri harus tetap berjalan meskipun terdapat banyak kendala, perusahaan dituntut untuk cepat beradaptasi jika ingin tetap bertahan.

Keadaan ini membuat proses impor barang atau jasa menjadi terlambat, hal ini

disebabkan proses produksi di luar negeri yang juga terhambat dengan adanya pandemi. Oleh karena itu perusahaan nasional mencari alternatif dengan menggandeng perusahaan lokal di Indonesia untuk memenuhi kebutuhannya, salah satunya adalah pabrik *smelter* tembaga yang berada di Gresik yaitu PT. SMELTING.

Tembaga menjadi komoditas logam industri yang tengah berada dalam kinerja positif, seiring membaiknya ekonomi China yang terlebih dahulu menghadapi pandemi sebelum Indonesia. Seperti yang diketahui jika China adalah importir tembaga terbesar ([investasi.kontan.co.id](http://investasi.kontan.co.id), 2020).

Dalam proses pengolahannya, proses pemindahan tembaga salah satunya menggunakan mesin roll untuk mempermudah pekerjaan. Mesin ini tersusun dari beberapa bagian seperti 3 buah roll, 3 pasang pen, bushing, dan frame. Ketika mesin beroperasi, penerima beban utama adalah roll bagian tengah. Sedangkan roll yang lain digunakan untuk menggelindingkan material tembaga yang sudah jatuh diterima roll bagian tengah. Mesin ini beroperasi sebanyak 5 lot tiap minggu dan setiap selesai 1 lot mesin dimatikan untuk perawatan. Lot adalah satuan yang digunakan di PT Smelting, nilai tiap lot adalah kerja selama 4-5jam (Priatma Oktawian, komunikasi pribadi. 2020, 2 November).

Dengan kondisi tembaga yang panas dan sistem kerja seperti itu, pen roll akan mengalami kerusakan berupa terjadinya defleksi atau deformasi plastis. Akibat dari terjadinya defleksi pada pen roll ini, roll tidak akan bisa berputar dan mesin roll tidak bisa beroperasi. Sehingga pekerjaan akan terpaksa berhenti untuk proses *maintenance*.



Gambar 1. Gambar alat dari samping

Berdasarkan dari uraian dan hasil pengamatan di lapangan diatas, penulis bermaksud melakukan analisa kegagalan yang terjadi pada bagian pen alat roll tembaga ini dengan menggunakan metode elemen hingga (*Finite Element Method*). Selanjutnya akan dilakukan *redesign* dengan memanfaatkan *software* berbasis *Finite Element Method* agar didapatkan hasil design baru yang memiliki *life cycle* yang lebih tinggi.

## KEKUATAN BAHAN

Kekuatan bahan adalah mempunyai sebuah material untuk menahan gaya-gaya yang terjadi akibat dari adanya beban yang diterima. Perhitungan kekuatan bahan adalah hubungan beban, luas, gaya dan tegangan yang bekerja pada struktur beban tersebut. Berdasarkan ilmu perhitungan kekuatan bahan, *strength* suatu material dihitung berdasarkan *stress* yang disebabkan oleh beban nominal yang terdapat pada bagian-bagian kritis dari suatu komponen sehingga dapat ditentukan dimensi yang dibutuhkan pada bagian-bagian kritis tersebut. Perhitungan *strength* dari suatu material ini akan bermanfaat jika kondisi kerja dan pembebanan yang bekerja pada struktur tersebut mendekati kenyataan, sehingga struktur yang akan digunakan aman terhadap gaya maksimum yang yang mungkin terjadi akibat kombinasi beban.

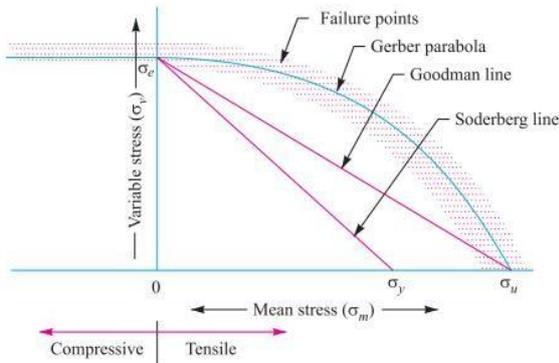
### FEM (*Finite Element Method*)

FEM adalah suatu metode analisa dengan cara membagi sistem yang dianalisa menjadi elemen elemen yang lebih kecil dengan bentuk yang sederhana, elemen elemen tersebut terdiri dari beberapa nodal (Yulinto dan Winarso, 2012: 4). Karakteristik FEM yang membedakan dengan prosedur numerik yang lain adalah:

- FEM menggunakan penyelesaian integral untuk menghasilkan sistem persamaan aljabar.
- FEM menggunakan fungsi-fungsi kontinyu untuk mendeteksi kuantitas atau kualitas yang belum diketahui.

### TEORI KEGAGALAN

Ketika melakukan analisa dan desain mesin, ada beberapa metode yang dapat menjadi opsi untuk menghitung kegagalan akibat tegangan yang diterima material.



Gambar 2. Hubungan *Variable Stress* dengan *Mean Stress*

Perbedaan metode yang digunakan akan membuat perbedaan pada hasil akhir desain karena setiap metode mempunyai kecenderungan yang berbedabeda. Ada metode yang memberikan dimensi hasil perhitungan yang lebih besar dari kebutuhan sehingga kurang ekonomis, sedangkan ada pula metode yang memberikan dimensi hasil perhitungan yang lebih kecil sehingga lebih ekonomis. Beberapa metode tersebut yaitu Metode Gerber, Goodman, dan Soderberg. Perbedaan dari ketiga metode ini dideskripsikan pada gambar 2, dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa metode Soderberg memberikan hasil yang paling

konservatif dan metode Gerber memberikan hasil yang paling mendekati kondisi nyata, namun rawan terjadi kegagalan, sehingga pemilihan faktor keamanan (*safety factor*) yang tepat sangat diperlukan. Dalam analisa dan proses desain ulang yang diusulkan, penulis akan menggunakan metode Soderberg. Hal ini beralasan karena kegagalan pada alat terjadi ketika alat mengalami deformasi plastis dan tidak sampai terjadi patah, sehingga metode ini yang paling cocok digunakan.

### MATERIAL SCM440 DAN ASSAB 705

Pen roll pada alat roll tembaga sebelum dilakukan *redesign* yang dibahas dalam penelitian ini menggunakan material SCM 440 atau setara dengan AISI 4140. Material ini merupakan baja paduan chromium-molybdenum. Dari paduan chromium didapatkan kekerasan, dan molybdenum untuk menyeragamkan kekerasan juga kekuatan yang tinggi.

*Design* pen roll yang baru direncanakan menggunakan material ASSAB 705 atau setara dengan AISI 4340. Material ini juga terdiri dari paduan chromium-molybdenum namun ada tambahan berupa nikel yang berfungsi untuk memberikan ketangguhan dan kekerasan. Berikut gambar *mechanical properties* dari kedua material AISI 4140 dan AISI 4340.

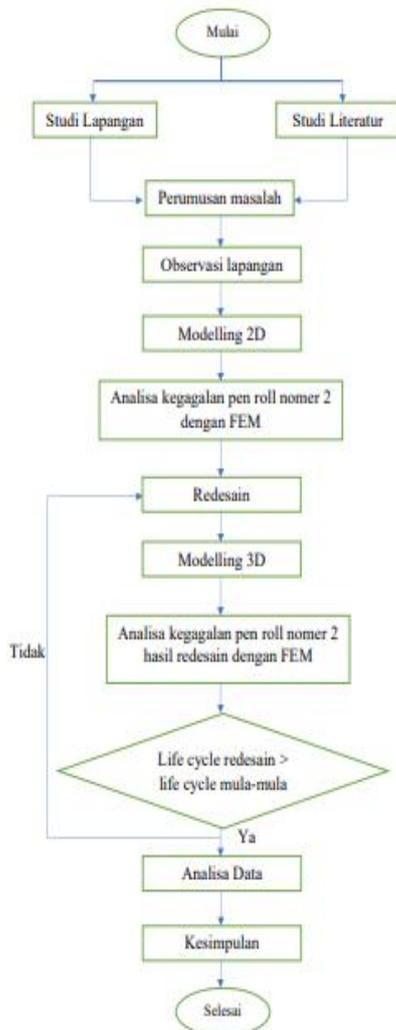
Standard	Grade	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni
ASTM A29	4340	0.38-0.43	0.60-0.80	0.035	0.040	0.15-0.35	0.70-0.90	0.20-0.30	1.65-2.00
	4130	0.28-0.33	0.40-0.60	0.035	0.040	0.15-0.35	0.80-1.10	0.15-0.25	

Gambar 3. Komparasi komposisi kimia

	4130	4340
Tensile Strength	97,000 psi	185,500 psi
Yield Strength	63,000 psi	125,000 psi
Elongation (2")	25.5%	12.2%
Reduction in Area	59.5%	36.3%
Brinell Hardness	197	363

Gambar 4. Komparasi material kondisi *normalized*

## PROSEDUR EKSPERIMEN



Gambar 5. Flowchart Penelitian

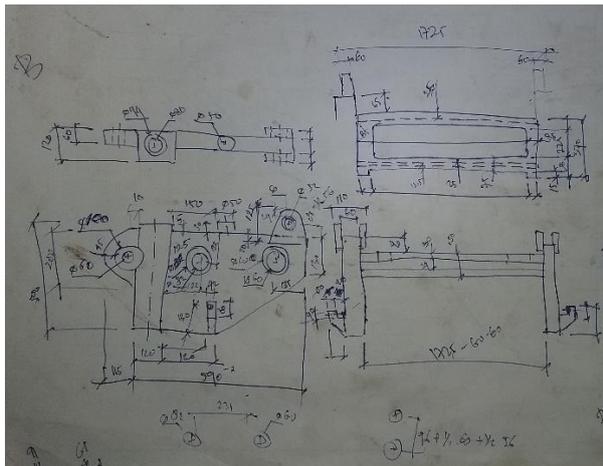
Penelitian dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Tahap awal dilakukan dengan mempelajari referensi dari buku, jurnal penelitian dan hasil penelitian sebelumnya tentang analisa kegagalan pada suatu alat. Kemudian melakukan studi lapangan Alat Roll Tembaga. Didapatkan data spesifikasi Alat Roll Tembaga berupa dimensi, beban yang diterima alat saat beroperasi, dan material apa saja yang digunakan untuk tiap komponennya.
2. Tahap kedua adalah merumuskan masalah yang terjadi pada Alat Roll Tembaga.
3. Tahap ketiga dilakukan observasi ke lapangan untuk mengetahui kondisi ketika alat terpasang.
4. Tahap keempat memodelkan hasil data yang telah didapat dari observasi lapangan menjadi gambar 2D.
5. Tahap kelima adalah melakukan analisa kegagalan pen roll nomor 2 dengan FEM. Dari tahap ini didapatkan tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur dari desain sesuai dengan grafik S-N material yang digunakan.
6. Tahap keenam adalah melakukan redesign Alat Roll Tembaga.
7. Tahap ketujuh adalah melakukan analisa kegagalan pen roll nomor 2 hasil redesign dengan FEM. Dari tahap ini didapatkan tegangan maksimal, tegangan minimal, serta umur dari desain sesuai dengan grafik S-N material yang digunakan.
8. Tahap kedelapan adalah membandingkan hasil simulasi sebelum dan sesudah redesign.
9. Apabila hasil redesign memiliki *life cycle* yang lebih tinggi, maka akan didapat data yang baru dan hasil penelitian ini telah dapat memberikan kesimpulan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

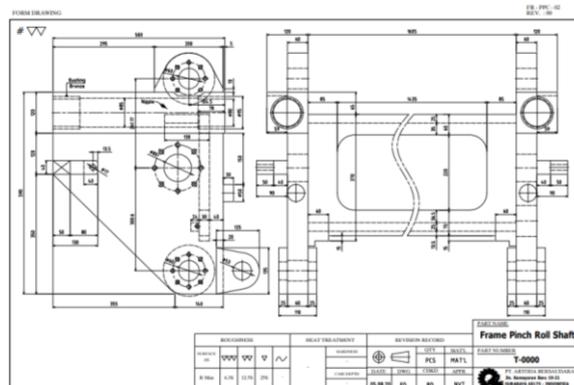
### Proses Sketsa dan Drawing

Proses ini dilakukan dengan menggambar contoh barang yang sudah ada atau *original*, hal ini dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan dimensi dari alat sesuai dengan kondisi awal. Hal ini penting dilakukan, mengingat untuk mendapatkan hasil analisa yang mendekati benda aslinya dibutuhkan data material dan juga profil yang lengkap.

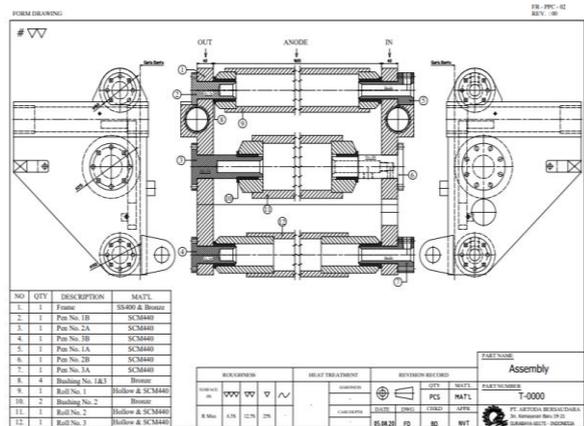


Gambar 6. Gambar sketsa

Setelah proses skets selesai, dilanjutkan dengan proses *drawing* menggunakan *software* CAD. Dalam tahap ini sekaligus dilakukan pengecekan kesesuaian dimensi dengan posisi alat saat kondisi dirakit (*assembly*). Proses ini sering diperlukan pengulangan mengingat kondisi contoh barang yang habis pakai atau sudah dalam kondisi aus sehingga perlunya dilakukan *check* dan *recheck*.

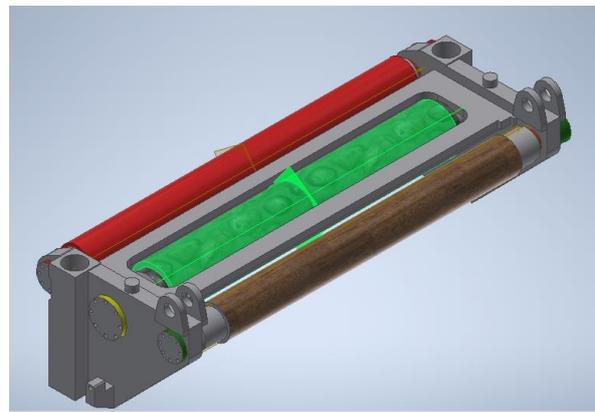


Gambar 7. Gambar CAD bagian *frame*



Gambar 8. Gambar CAD kondisi *Assembly*

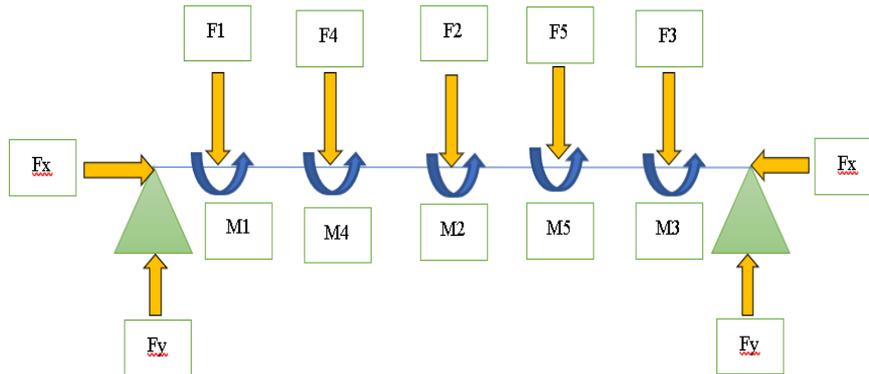
Proses lanjutan setelah gambar CAD 2D sudah sesuai adalah membuat gambar 3D di software Autodesk Inventor. Tiap-tiap part yang menyusun alat roll tembaga diubah menjadi gambar 3D sesuai dimensi dari proses sebelumnya. Part yang sudah dalam bentuk 3D kemudian dilakukan proses *assembly* dan juga simulasi pergerakan roll ketika beroperasi. Tiap proses yang dilakukan harus dilakukan dengan teliti dan dituntut tidak ada kesalahan, karena kesalahan yang terjadi pada proses *assembly* akan mempengaruhi hasil simulasi pada tahap selanjutnya.



Gambar 9. Gambar 3D pada software Autodesk Inventor

### Pemodelan Statis dan Perhitungan Beban Pada Poros

Analisa gaya-gaya yang diterima oleh pen roll digambarkan dengan pemodelan statis, dengan dilakukan pemodelan ini juga akan terlihat gaya reaksinya.



Gambar 10. Analisa Statika

Gambar diatas menunjukkan jenis tumpuan yang digunakan adalah tumpuan engsel, yang berarti pen roll tidak bisa bergerak baik kearah sumbu X maupun sumbu Y. Gaya F1 dan F3 adalah gaya yang timbul dari massa pen roll, gaya ini juga mengakibatkan munculnya M1 dan M3. Nilai gayanya sebagai berikut

$$\begin{aligned} F1 &= F3 = m \cdot g \\ &= 6,8\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \\ &= 66,7\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M1 &= F1 \cdot L \\ M3 &= F3 \cdot L \\ &= 66,7\text{N} \cdot 0,1475\text{m} \\ &= 66,7\text{N} \cdot 1,5775\text{m} \\ &= 9,83825\text{Nm} \\ &= 105,22\text{Nm} \end{aligned}$$

Gaya F2 merupakan gaya yang timbul dari beban berupa tembaga dengan massa 400kg, gaya ini juga mengakibatkan munculnya M3. Nilai gayanya sebagai berikut

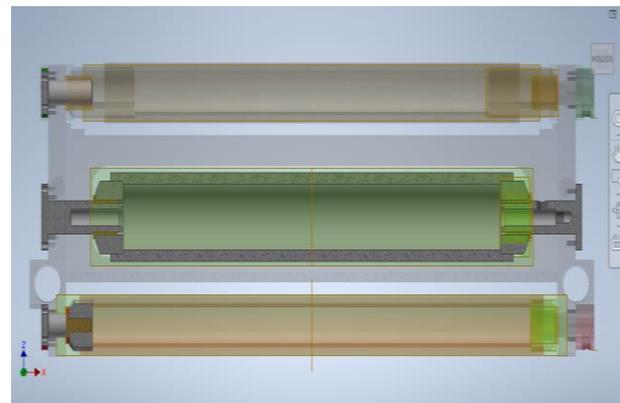
$$\begin{aligned} F2 &= m \cdot g \\ &= 400\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \\ &= 3924\text{N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M2 &= F2 \cdot L \\ &= 3924\text{N} \cdot 0,8625\text{m} \\ &= 3384,45\text{Nm} \end{aligned}$$

Massa roll 2 menyebabkan timbulnya gaya yang ditumpu oleh pen roll di kedua sisi frame, yaitu F4 dan F5. Besarnya nilai gaya didapat dari perkalian massa dengan percepatan gravitasi, gaya ini juga mengakibatkan munculnya M4 dan M5. Nilai gayanya sebagai berikut

$$\begin{aligned} M_{\text{roll } 2} &= \rho \cdot V \\ &= 7,85 \text{ g/cm}^3 \cdot 22955,51935 \text{ cm}^3 \\ &= 180200 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 180,2\text{kg} \\ F4 &= F5 = 0,5 \cdot m \cdot g \\ &= 0,5 \cdot 180,2\text{kg} \cdot 9,81\text{m/s}^2 \\ &= 883,881\text{N} \\ M4 &= F4 \cdot L \\ &= 883,881\text{N} \cdot 0,155\text{m} \\ &= 137\text{Nm} \\ M5 &= F5 \cdot L \\ &= 883,881\text{N} \cdot 1,570\text{m} \\ &= 1387,69\text{Nm} \end{aligned}$$

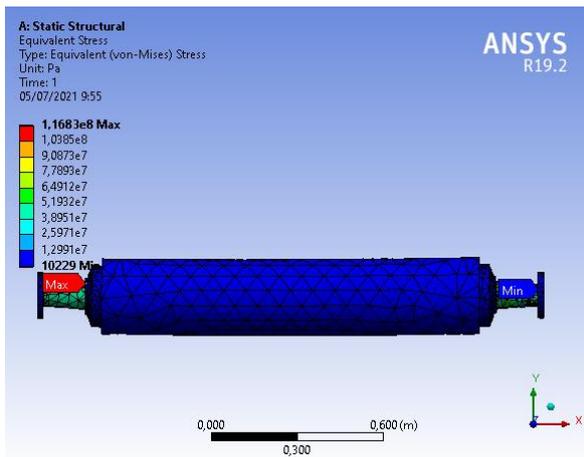


Gambar 11. Model Roll dan Pen Roll saat Assembly

### Analisa statis FEM

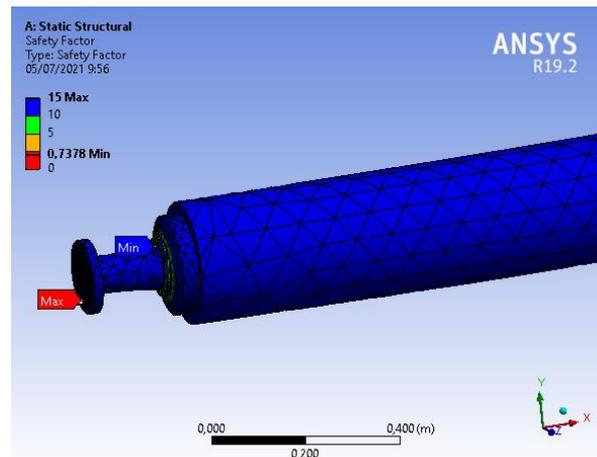
Dalam menganalisa menggunakan metode elemen hingga (FEM), software yang digunakan adalah Ansys R19.2. Dengan menggunakan software ini dapat dilakukan analisa pada alat roll tembaga, khususnya pada model pen roll. Material yang digunakan dalam pembebanan ini adalah AISI 4140, yaitu material yang sesuai dengan contoh mula-mula. Sedangkan gaya-gaya yang bekerja akan memiliki nilai dan posisi yang





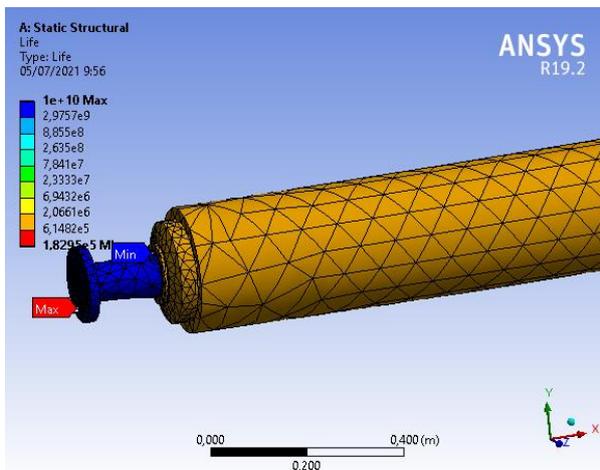
Gambar 15. *Equivalent Stress*

Gambar 15. diatas menunjukkan hasil dari simulasi tegangan ekuivalen maksimum yang terjadi pada alat, nilainya sebesar  $1,1683e+008$  MPa. Letak tegangan tersebut tepat pada bagian pen roll aktual yang mengalami kegagalan. Nilai tegangan minimum yang terjadi terletak pada bagian *flange* pen roll sisi kanan.



Gambar 17. *Safety Factor*

Gambar 17. diatas menunjukkan faktor keamanan yang dapat diterima, yaitu dengan nilai minimumnya sebesar 0,7378. Sedangkan nilai maksimum adalah 15, dengan nilai rata-ratanya 12,378



Gambar 16. *Life cycle*

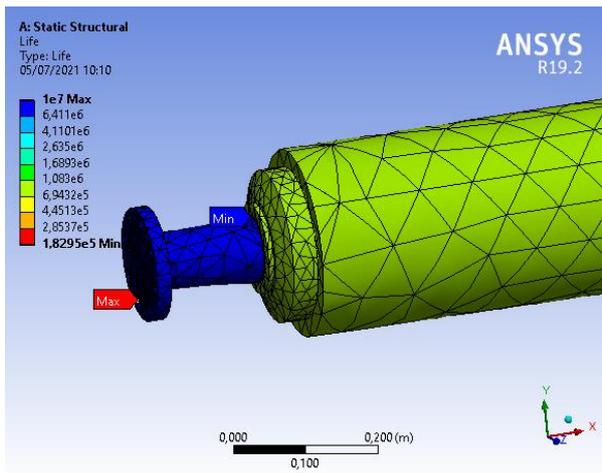
Gambar 16. diatas menunjukkan *life cycle* dari alat roll, yang nilai minimumnya sebesar  $1,8295e+005$  cycle. Sedangkan nilai maksimum adalah  $1,e+010$  cycle, dengan nilai rata-ratanya  $4,679e+009$  cycle.



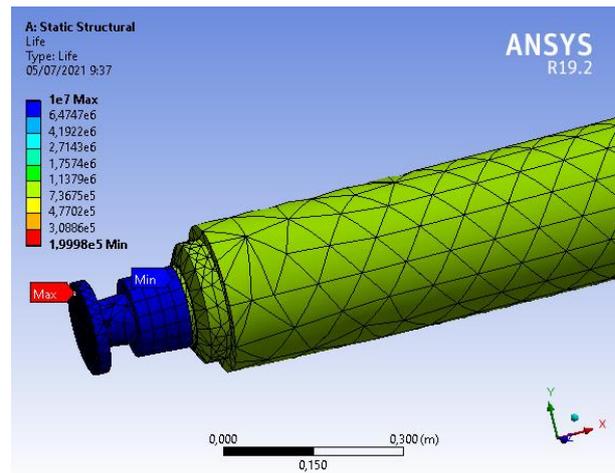
Gambar 18. Pen Roll Nomor 2 Aktual

### Redesign Pen Roll Nomor 2

Sebagai upaya untuk melakukan peningkatan *life cycle* pada pen roll, maka dilakukanlah proses *redesign*. Dalam penelitian ini proses redesign dilakukan dengan menggunakan 2 opsi, yaitu opsi mengganti material yang awal dan juga dengan mengubah dimensi pen roll disertai penambahan *bushing*. Dari kedua opsi ini, selanjutnya akan dipilih salah satu yang memiliki *life cycle* lebih baik. Material yang akan digunakan untuk kedua opsi diatas adalah AISI 4340. Salah satu produsen material ini yang berada di dalam negeri yaitu PT Globalindo Anugerah Jaya Abadi, sehingga material ini mudah ditemukan di pasaran.



Gambar 19. Life Cycle dengan AISI 4340



Gambar 20. Redesign Profil dan Dimensi Pen Roll dengan AISI 4340

Gambar 19. diatas menunjukkan *life cycle* dari alat roll yang telah dilakukan penggantian material dari yang awalnya adalah AISI 4140, menjadi AISI 4340. Pada desain ini nilai minimumnya sebesar  $1,8295e+005$  cycle, yang nilainya masih sama. Namun memiliki keunggulan life cycle pada bagian rollnya yang ditunjukkan dengan warna hijau.

Gambar 20. diatas merupakan hasil analisa dari alat roll tembaga yang telah dilakukan penggantian material, perubahan dimensi pada pen roll nomor 2, dan juga penambahan *spacer*. Pada desain ini memiliki nilai minimum sebesar  $1,9998e+005$  cycle, yang berarti nilainya lebih besar dari desain mula-mula.

Tabel 4.1 Perbandingan Hasil Desain

PARAMETER	(A) AWAL 4140	(B) REDESIGN 4340	(C) REDESIGN DIMENSI	SATUAN
UTS	655	745	655	MPa
YTS	415	470	415	MPa
Max Eq Elastic Strain	0,0006108	0,0006108	0,00061849	m/m
Total Deformation	0,00020978	0,00020978	0,00011654	m
Max Eq Stress	$1,1683e+008$	$1,1683e+008$	$1,14e+008$	MPa
Life Min	182.950	182.950	199.980	Cycle
Life Average	$4,679e+009$	$5,2104e+006$	$4,7046e+006$	Cycle
Safety Factor Min	0,7378	0,7378	0,75611	
Force	3924	3924	3924	N
Moment	3384,45	3384,45	3384,45	Nm

### KESIMPULAN

Posisi kegagalan yang terjadi dari hasil analisa *finite element method* (FEM) sama dengan letak kegagalan yang terjadi pada pen roll aktual.

Dari hasil analisa fatigue pada pen roll nomor 2, nilai usia pakai minimum tertinggi dari redesign A, B, dan C ditunjukkan oleh desain C dengan nilai 199.980 cycle. Oleh karena nilai ini lebih tinggi dari desain mula-mula, maka desain C akan dijadikan pilihan desain untuk pembuatan pen roll yang baru.

### SARAN

Analisa kegagalan yang dilakukan penulis dalam penelitian ini memiliki aspek-aspek lain yang perlu dianalisa agar dapat menentukan sumber terjadinya kegagalan yang sebenarnya. Berikut saran yang bisa diberikan sebagai langkah perbaikan untuk kedepannya

1. Melakukan analisa thermal dan proses pendinginan yang bekerja pada alat.
2. Perbaiki sistem pendinginan dan pemodelan dengan FEM.
3. Perlakuan panas pada pen roll

### PENGHARGAAN

Penghargaan setinggi-tingginya kepada kedua orang tua saya Bapak Marsandi dan Ibu Mujiastri, kakak saya Saiful Arifin, dosen pembimbing saya Ibu Eka Marlina, serta pihak-pihak lain yang ikut membantu dalam pengerjaan penelitian ini sehingga dapat selesai tepat waktu.

### REFERENSI

- Ahmad, Zainun. 2006. Elemen Mesin 1. Bandung: PT Refika Aditama
- Arif, Z. (2014). MEKANIKA KEKUATAN MATERIAL. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Samudra Langsa
- Arifin, Ahmad Anas dan Maulana, Hasan Syafik. 2020.” Pengembangan Desain Lengan Support Jib Crane Dengan Menggunakan Analisa Metode Elemen Hingga”. Mekanika – Jurnal Teknik Mesin, vol. 6 no. 1, halaman 5-8.
- Dirgantara, H. 2020. Permintaan terus meningkat, laju bullish tembaga terus berlanjut, <URL: <https://investasi.kontan.co.id/news/permintaan-terus-meningkat-laju-bullish-tembaga-terus-berlanjut>> diakses pada 1 Desember 2020 pukul 18.04.
- Hibbeler, R.C. (2012), Structural Analysis, Pearson Prentice Hall, New Jersey
- Khurmi, R.S., Gupta, J.K. (2005), Machine Design, Eurasia Publishing House (PVT.) Ltd., New Delhi

- Souisa, M. (2011). Analisa Modulus Elastisitas dan Angka Poisson Bahan dengan Uji Tarik. Berekeng 5(2), 9-14
- Wibawa, Lasinta Ari Nendra. 2020.” PREDIKSI UMUR FATIK STRUKTUR CRANE KAPASITAS 10 TON MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA”. Media Mesin : Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 21, No. 1, hlm 18-24.