

MODE KEGAGALAN STRUKTUR PIPA PADA CANTILEVER TUNGGAL

Darwinto¹⁾, Agus Saleh²⁾, Edison Ginting³⁾, Eva Damayanti⁴⁾, Rudi M Simorangkir⁵⁾,
Mekanik Industri dan Desain, Politeknik TEDC Bandung^{1),2),3)}

Teknik Elektornika, Politeknik TEDC Bandung⁴⁾

Mesin Otomotif, Politeknik TEDC Bandung⁵⁾

Email: darwinto@poltektedc.ac.id¹⁾, abahagus@poltektedc.ac.id²⁾, edisinisuka@gmail.com³⁾,
evadamayanti@poltektedc.ac.id⁴⁾, smkgkr@gmail.com⁵⁾

Abstrak

Struktur Cantilever merupakan struktur yang banyak ditemukan secara umum. Struktur ini biasanya berupa suatu batang yang ditopang atau dijepit, sedangkan ujung kedua material yang dijadikan batang Cantilever bekerja secara terbuka (tanpa di topang) dan memiliki beban kerja tertentu pada ujungnya. Saat bagian sisi terbuka di terapkan suatu beban, maka ujung yang ditopang akan mengalami momen yang bervariasi nilainya tergantung beban yang diberikan, jenis setruktur ini banyak digunakan umumnya pada pengaplikasian pemasangan CCTV pada wilayah terbuka, dan pemasangan lampu pada jalan umum. Atas dasar latar belakang tersebut penulis bertujuan untuk melakukan penelitian yang berhubungan dengan kekuatan material yang direncanakan, yaitu pipa karbon. selain itu penelitian dilakukan untuk dapat meminimalisir pengeluaran yang terlalu besar, maksud dari tujuan tersebut adalah, merancang sesuatu yang bermanfaat, murah, dan memiliki ketahanan atau ketangguhan yang baik dalam pengoperasiannya. Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah berupa pengumpulan data melalui proses studi literatur, wawancara, atau observasi langsung terhadap posisi tiang-tiang yang telah terpasang di sepanjang jalan yang dilalui. Hasil dari penelitian ini adalah berupa struktur cantilever tunggal yang kokoh tetapi murah dalam pembuatannya, sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur yang baik, kuat, dan tahan terhadap beban kerja, tidak selamanya harus dibuat dengan biaya yang mahal.

Kata Kunci: Pipa, Stress Analysis, Autocad and Lisa, Struktur Cantilever Tunggal

Abstract

The Cantilever structure is a structure that is commonly found in general. This structure usually consists of a beam that is supported or fixed at one end, while the other end of the material used as a Cantilever beam works openly (without support) and has a specific load at its end. When a load is applied to the open side, the supported end will experience a moment that varies in value depending on the applied load. This type of structure is widely used, generally in the installation of CCTV in open areas and in street lighting. Based on this background, the author aims to conduct research related to the planned material strength, namely carbon pipes. In addition, the research is conducted to minimize excessive expenditures, meaning that the goal is to design something that is useful, affordable, and has good durability or resilience in its operation. In this study, the method used is data collection through literature studies, interviews, or direct observations of the positions of the poles that have been installed along the passed roads. The result of this research is a robust yet inexpensive single cantilever structure, thus it can be concluded that a good, strong, and load-resistant structure does not always have to be made at a high cost.

Keywords: Pipe, Stres Analysis, Autocad and Lisa, Single Cantilever Structure

I. PENDAHULUAN

Dalam proses pembangunan banyak hal yang harus dipertimbangkan, mulai dari biaya hingga material yang digunakan. Baja berongga umumnya memiliki beberapa jenis bentuk diantaranya persegi, persegi panjang, dan silinder, dimana baja jenis ini sangat mudah ditemukan dipasaran dengan ketebalan tertentu.

Dalam perencanaannya, bentuk yang dimaksud adalah benda berbentuk silinder yang memiliki rongga (pipa).

Dalam beberapa kasus yang ditemukan, struktur Cantilever dengan material Pipa sangatlah mudah terdeformasi, hal ini disebabkan bukan

hanya penerapan beban yang diberikan pada struktur, tetapi pengaruh penampang material dan proses yang berlebih, sehingga material mudah terdeformasi baik dari batang utama sebagai penopang, maupun batang Cantilever itu sendiri.

II. LANDASAN TEORI

A. Pengertian Rangka

Struktur Cantilever Tunggal merupakan struktur batang yang ditopang dan sisi lainnya terbuka (bebas), struktur Cantilever tunggal umumnya digunakan pada pemasangan tiang CCTV jalan, dan Lampu Penerangan.

Secara fungsi, konstruksi ini sangatlah efisien dan fleksibel dalam penggunaannya, terutama pada CCTV umum yang memerlukan ruang terbuka. Dalam perancangannya, struktur ini dibuat berdasarkan perencanaan yang matang, hal ini dapat dimulai dari pembuatan beberapa gambar, yang nantinya akan dihitung tingkat kekuatannya sesuai beban kerja yang diampu. Setelah itu, proses analisis menggunakan software-pun dilakukan, hal ini bertujuan untuk memenuhi syarat pembangunan struktur, dimana data tersebut dapat dijadikan sebagai data pembandingan dalam perencanaan struktur yang direncanakan. ini merujuk pada metode kegagalan struktur yang umum terjadi akibat kesalahan dalam proses analisis kekuatan yang biasanya tidak adanya data pembandingan dalam perencanaan yang dilakukan.



Gambar 1. Pipa Karbon Rendah
Sumber :(minjiesteel.com)

B. Analisis Kekuatan Pipa

Perencanaan Pipa ini di rancang sesimpel mungkin untuk mengurangi beban yang berlebihan pada batang Pipa, dalam perencanaan dan perancangannya, struktur tetap membutuhkan perhitungan dan analisis data di segala aspek yang berhubungan dengan tingkat kekuatan. Beban statis yang bekerja pada struktur nantinya akan terlihat dan dapat dianalisis kembali melalui metode pembandingan data, baik secara hitungan manual ke software, maupun sebaliknya. Software yang digunakan dalam perancangan ini adalah Autocad 2006 dan Lisa.

Pipa carbon rendah umumnya memiliki kadar karbon berkisar antara 0,05-0,15% carbon (C), dimana pipa tersebut memiliki tingkat ke uletan yang baik dan dapat dijadikan sebagai material teknik untuk struktur dengan kekuatan tertentu.

Pemilihan pipa umumnya dapat di sesuaikan dengan kondisi diantaranya luar dan dalam ruangan terbuka. Apabila material akan digunakan pada ruangan terbuka, maka pertimbangan yang dilakukan adalah faktor lingkungan, yang dimana material akan mudah terdegradasi jika tidak sesuai akan peruntukannya.

C. Pemilihan Material Logam

Material adalah sesuatu bahan yang memiliki beberapa kandungan diantaranya unsur besi dan carbon (Fe dan C), yang dipadu dengan metode tertentu sehingga menghasilkan beberpa jenis material diantaranya baja carbon dan baja paduan.

Tabel 1. Sifat Mekanik Baja Carbon
Sumber :(minjiesteel.com)

JenisBahan	Kandungan Carbon (C)	Kekuatan Tarik Max
Low Carbon Steel	+0,05-0,15%	+250-270Mpa
Medium Carbon Steel	+0,3-0,6%	+290-330Mpa
High Carbon Steel	+0,6-1,5%	+>330Mpa

Pemilihan material yang akan digunakan umumnya mengacu kepada kebutuhan berdasarkan fungsi dan beban yang dipikul oleh suatu struktur, dengan demikian tingkat kegagalan pada struktur tersebut dapat dengan baik dicegah untuk menghindari kegagalan struktur.

Bahan yang digunakan dalam pembuatan struktur cantilever ini adalah jenis pipa carbon rendah sim pipe dengan ukuran tertentu terlihat pada Gambar 1.

D. Pengelasan

Metode penyambungan logam telah ada sejak ribuan tahun lalu, yang banyak dilakukan oleh pandai besi yaitu menggunakan metode tempa. Kemudian pada abad ke 19 mulai dikenal pengelasan menggunakan gas oksigen dan gas *acetylene* yang menghasilkan nyala api yang panas. Bersamaan dengan itu juga dikenal pengelasan yang bersumber dari energi listrik.

Merujuk *American Welding Society* (AWS), pengertian pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua material / lebih, biasanya berupa logam, dengan menggunakan energi panas sampai material yang akan disambung tersebut meleleh (*meltd*) kemudian menyatu / berpadu (*fused*), dengan memberikan tekanan atau tidak,

serta dengan memberikan bahan tambahan (*consumable*) atau tidak.

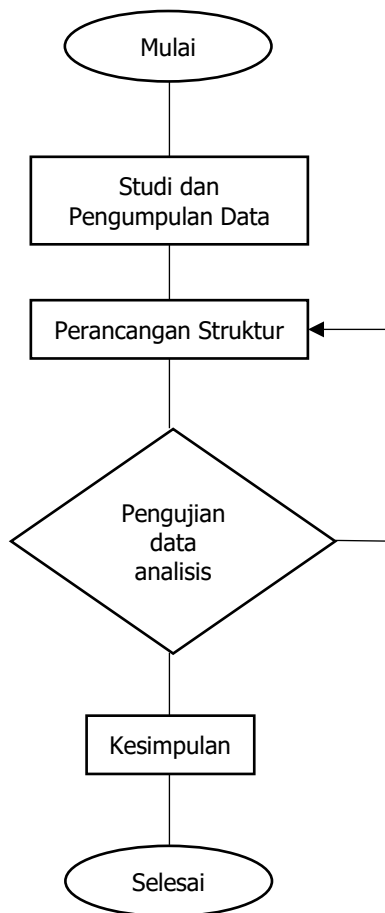
E. *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW)

SMAW adalah salah satu jenis pengelasan yang menggunakan loncatan electron (busur listrik) sebagai sumber panas untuk pencairan logam. Suhu busur dapat mencapai 3300 ° C, jauh diatas titik lebur baja, sehingga dapat mencairkan baja secara serta merta/cepat (*instant*).

SMAW dapat menggunakan arus listrik bolak balik (AC = *alternating current*) maupun arus searah (DC = *direct current*). Jika arus bolak balik yang digunakan tidak ada kutup kutup, sebaliknya apabila arus searah yang digunakan maka digunakan kutup kutup (+) dan (-). Kondisi ini disebut polaritas.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini. Adapun tahapan yang dilakukan diantaranya; survey dan pengumpulan data, perancangan struktur, analisis data uji, kesimpulan, dan selesai.



Gambar 2. Diagram Alir

Dari diagram alir yang disediakan, perancang memulai penelitian ini dari perencanaan pembuatan struktur terlebih dahulu, membandingkan contoh sampel yang ditemukan dan melakukan pemilahan data melalui metode *Decision Matrixs*. Setelah data terpenuhi, pengumpulan data melalui perhitungan data pembanding dilakukan, hal ini bertujuan untuk meminimalisir terjadinya kesalahan yang dapat menyebabkan terjadinya kegagalan pada struktur, dalam hal ini metode yang dilakukan adalah DFMEA (*Design Failur Mode and Effect Analysis*). Perancangan struktur ini terdiri dari beberapa parameter yang ditinjau diantaranya:

1. *Displecement* yang dipengaruhi oleh penerapan gaya akibat beban kerja,
2. *Bending Moment About Weight* akibat *Displecement* yang terjadi,
3. Tegangan Kerja / *Longitudinal Stress* akibat tekanan kerja batang dan beban eksternal yang mempengaruhi momen kerja terjadi, hal ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh struktur akibat faktor penerapan gaya yang dilakukan.
4. Penentuan faktor keamanan struktur.

Setelah memenuhi beberapa parameter tersebut, pengujian data analisispun dilakukan pada batang dengan ratio tertentu, hal ini bertujuan untuk melihat seberapa akurat hasil dari analisis data software yang digunakan, dan data pembanding struktur yang telah diperoleh.

Hasilnya :

1. *Displecement* Struktur sesuai dengan data analisis,
2. Momen kerja diprediksi sesuai hasil analisis data *displecement*,
3. Tegangan kerja sesuai data berdasarkan momen yang bekerja,
4. Faktor keamanan memenuhi standard kerja struktur cantilever.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Mode Kegagalan Struktur Pipa Pada Cantilever Tunggal

Perancangan adalah suatu kegiatan awal dari suatu rangkaian dalam proses pembuatan struktur. untuk tahapannya sebagai berikut:

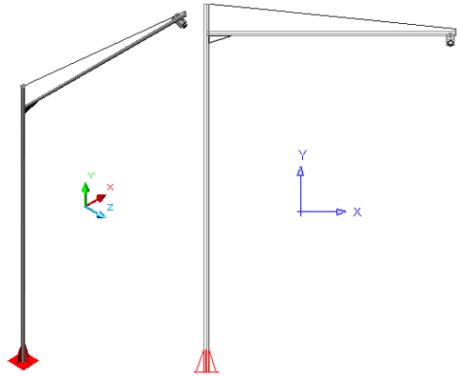
1. Membuka aplikasi *Autocad 2006*,
2. Menggambarkan Struktur yang dimaksud,
3. Kemudian menghitung luas penampang material struktur cantilever, dan membandingkan dengan hasil software,
4. Menentukan hasil akhir inersia luas penampang dengan membagi tegangan kerja tertinggi,
5. Menentukan penampang material utama
6. Membuat gambar pembanding

Syarat : pembebanan yang diterapkan telah diketahui sebesar +-10Kg untuk beban yang

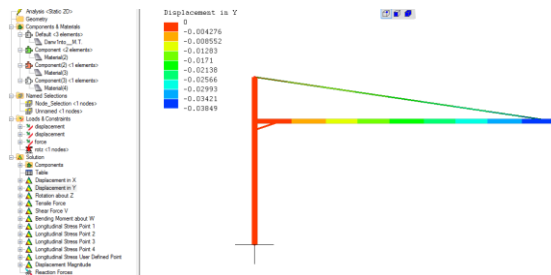
direncanakan, dgn panjang lengan proporsional untuk diameter pipa sebesar $D 0,056 \times E210 / (4) = 2,94m$.

Sehingga massa benda $\times 2,94 =$ Panjang Lengan Yang Diencanakan ($10/2,94=3,4m$).

Ket: Diameter yang dituju adalah diameter batang cantilever, dan bobot mati Batang Cantilever telah diketahui sebagaimana masa benda yang selalu berbanding lurus dengan volume benda itu sendiri.

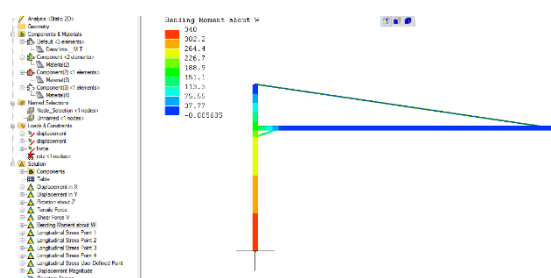


Gambar 3. Rancangan Cantilever Tunggal (A)



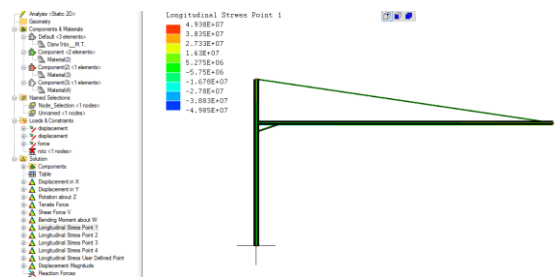
Gambar 4. Perpindahan Arah Y (A)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan *Displacement* (perpindahan) yang terjadi pada gambar 4 berkisar 30mm. pada wilayah pembebanan.



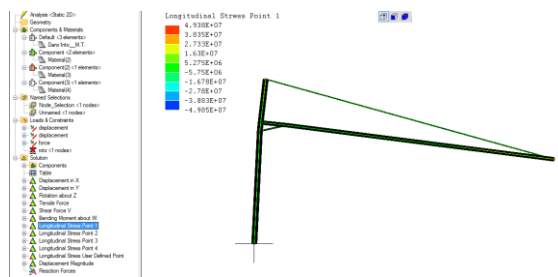
Gambar 5. Bending Momen Nodel Tumpuan (A)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan Bending Momen yang terjadi pada gambar 5 berkisar 340N pada titik TKS 1 atau wilayah yang dijadikan tumpuan.



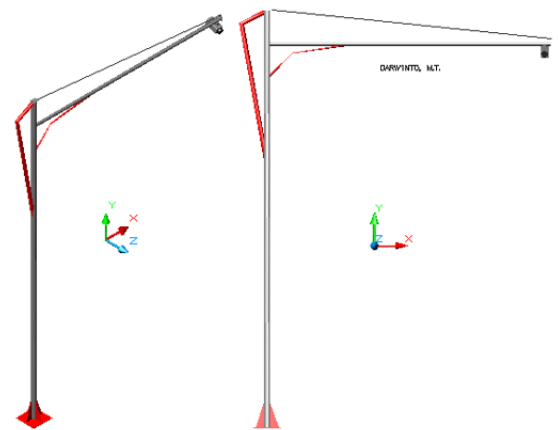
Gambar 6. Tegangan Kerja (A)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan Tegangan yang terjadi pada gambar 6 Berkisar 49,38 Mpa, hal ini menunjukkan bahwa faktor keamanan berkisar 5,06, dimana faktor keamanan tersebut dari dihitung dengan $Sf = T_{yie} / \text{Material} / T_{working}$ Yang Didapat.

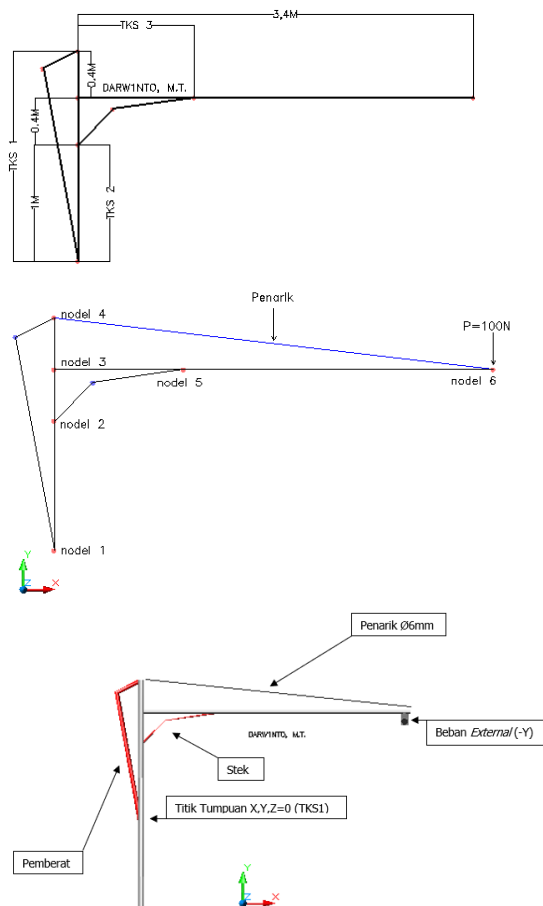


Gambar 7. Hasil Simulasi (A)

Dari hasil simulasi ini kita dapat melihat bahwa batang yang terkena beban terdeformasi besar, dan dalam aktualisasi terhadap guncangan, maka *Magnetude* akan sama besar dengan *displacement* yang terjadi.



Gambar 8. Rancangan Cantilever tunggal (B)



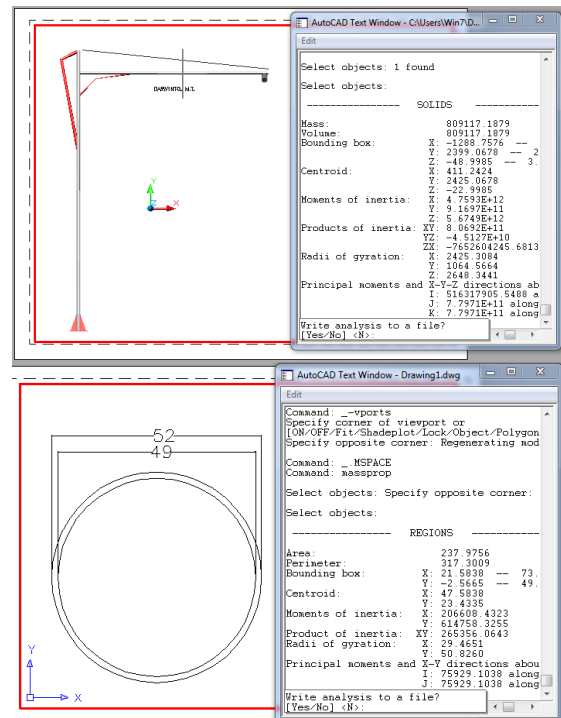
Gambar 9. Keterangan Detail Gambar (B)

Pada gambar 9, dapat kita lihat bahwa, terdapat beberapa titik vital pada struktur diantaranya:

1. Titik TKS (titik kesetimbangan struktur),
2. Titik tumpuan jepit arah x,y,z (Nodel 1),
3. Dan titik pembebanan.

Titik TKS adalah titik yang dimana stres analisis awal dilakukan, titik ini didapat dari wilayah singgung benda X dan Y, yang dimana masing-masing benda memiliki jarak tertentu (tidak sama).

Selain keterangan titik vital tersebut, gambar diatas juga menjelaskan adanya pemberat di wilayah tumpuan, komponen ini bertujuan untuk menyeimbangkan kembali tiang agar tetap stabil jika sewaktu-waktu guncangan terjadi. Selain itu, stek penahan dibuat lebih panjang, dimana stek ini berfungsi untuk mempersingkat titik beban menuju titik momen pada tiang utama, sehingga momen yang bekerja pada tumpuan terbagi dan dapat mencegah terjadinya perpindahan berlebih.



Gambar 10. Keterangan Inersia Luas Penampang Material dan Massa Benda (B)

Pada keterangan gambar 10 menunjukkan batang memiliki berat tersendiri sebelum diterapkan beban. Selain itu inersia luas penampang material (I) menjadi tolak ukur dalam memilih dimensi material sesuai beban kerja. Perhitungan manual dalam menentukan (I) tersebut adalah sebagai berikut:

$$I_{OD} = 1/4x(\pi r^4)$$

$$I_{ID} = 1/4x(\pi r^4)$$

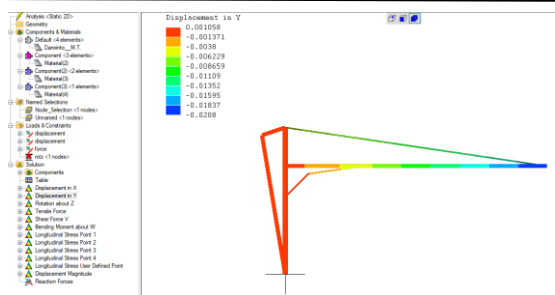
$$I_{Total} = I_{OD} - I_{ID}$$

Ket:

OD = Outside Diameter
 ID = Inside Diameter
 I = Inertia

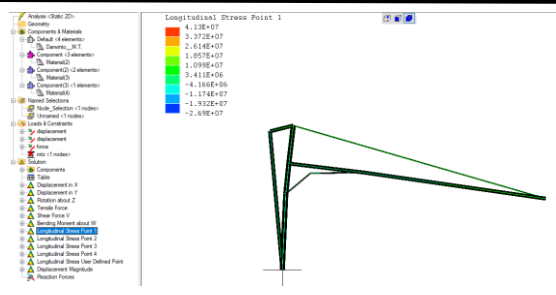
Dan pada kasus ini, pipa yang dipakai memiliki dimensi = 52mm dengan ketebalan 1,5mm, sehingga $I = 75.890,16$.

$I = 0,0000758906$ (setelah dibagi tegangan tertinggi dalam peninjauan **Gpa** terhadap beban kerja **MPa**).



Gambar 11. Perpindahan Arah Y (B)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan *Displacement* (perpindahan) yang terjadi pada gambar 11 berkisar 20mm, pada wilayah pembebanan.



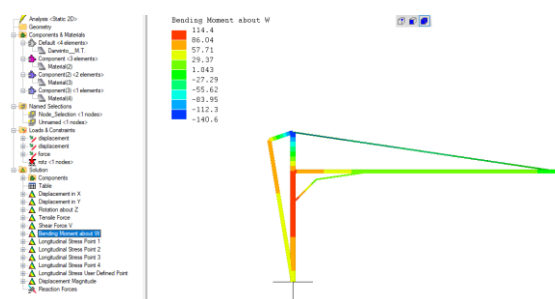
Gambar 14. Hasil Simulasi (B)

Dari hasil simulasi ini kita dapat melihat bahwa batang yang terkena beban terdeformasi lebih kecil.

B. Tujuan Proses Analisis Pada Struktur

proses *Stress Analysis* dilakukan untuk mengetahui kekuatan dan kelayakan struktur ketika digunakan, baik ketahanan terhadap guncangan maupun tekanan yang diterima oleh struktur. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada hasil *stress analysis* diantaranya adalah tegangan, perpindahan, momen yang terjadi, dan *safety factor*.

Dalam *Stress analysis* terdapat beberapa warna, warna tersebut menunjukkan tegangan terbesar, tegangan sedang, dan tegangan terkecil. Pada objek berwarna merah adalah tegangan yang paling besar terjadi, ini dipengaruhi oleh beban kerja tiang baik beban internal (berat kosong material) maupun beban external (beban yang diterapkan), sehingga pada wilayah momen dapat diprediksi faktor keamanannya.

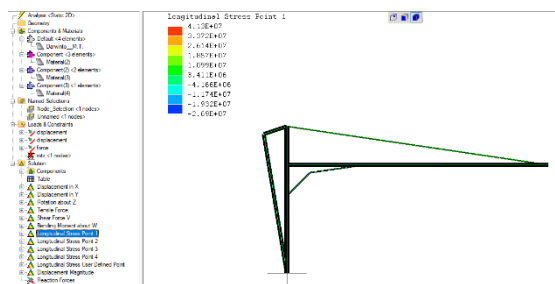


Gambar 12. Bending Momen Nodel Tumpuan (B)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan Bending Momen yang terjadi pada gambar 12 berkisar 114,4N pada titik TKS 1 atau wilayah yang dijadikan tumpuan.

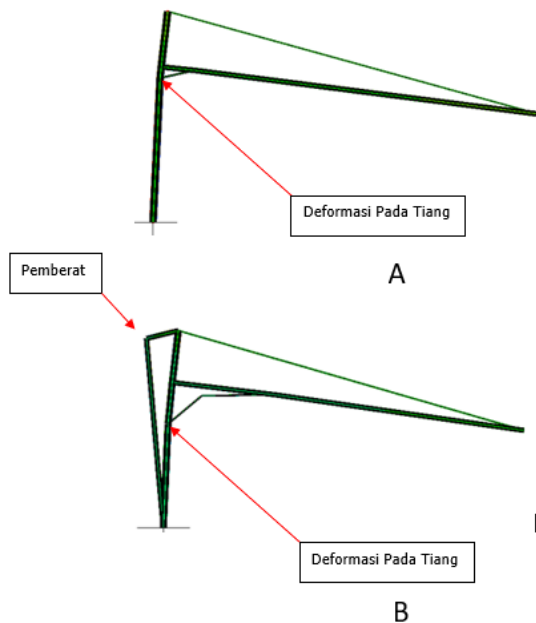
C. Parameter Perancangan:

1. Kekuatan material harus lebih besar dari pada beban yang bekerja,
2. Proses dilakukan secara benar,
3. Hasil proses di uji sesaat dengan beban lebih dari 10Kg,
4. Faktor Lingkungan yang menjadi titik pemasangan Struktur,
5. Metode pemasangan struktur pada titik yang telah ditentukan,



Gambar 13. Tegangan Kerja (B)

Terlihat dari simulasi dalam penentuan Tegangan yang terjadi pada gambar 13 Berkisar 41,38 Mpa, hal ini menunjukkan bahwa faktor keamanan berkisar 6,05, dimana faktor keamanan tersebut dari dihitung dengan $Sf = T_{yield} / T_{working}$ Yang Didapat.



Gambar 15. Perbandingan Tekuk Tiang

Hasil tegangan kerja sangat dipengaruhi oleh beban yang diterapkan, hal ini menunjukkan semakin besar nilai berat, semakin besar juga momen yang bekerja, sehingga tumpuan pendukung harus diberikan pada titik tertentu.

Dari fenomena yang terjadi, dapat kita lihat perpindahan struktur pipa akibat terbebani, pipa terdeformasi akibat penerapan gaya yang diberikan dan ini dipengaruhi oleh berat beban kerja yang diterapkan.

Tumpuan pendukung biasanya memiliki fungsi tersendiri diantaranya:

1. Menjaga struktur tetap stabil saat terjadi guncangan,
2. Menahan struktur dari panjang batang cantilever akibat berat yang diterapkan,
3. Memperkecil Perpindahan untuk menjaga momen yang lebih stabil (nilai momen relatif kecil) pada struktur tersebut.

Nilai yang aman untuk hasil *safety factor* adalah minimum 2 untuk beban baja dan besi, pada pengujian *stress analysis* struktur Cantilever mendapatkan nilai *safety factor* 6,05. Ini menunjukkan bahwa kekuatan material dalam perancangannya lebih besar dari pada beban yang bekerja, sehingga struktur B dapat dikatakan Lebih aman dari pada struktur A, dan pada Struktur B, Pemberat tiang selain berfungsi sebagai Pemberat, dapat juga di fungsikan sebagai penahan Struktur Cantilever Jika sewaktu-waktu Guncangan Besar Terjadi (tiang tidak mudah patah).

Tabel 2. Perbandingan Deformasi Tiang

Benda A			Benda B		
Perpindahan	Momen	tegangan Kerja	Perpindahan	Momen	tegangan Kerja
30mm	340N	49,38 MPa	20mm	114,4N	41,38 MPa
Safety Factor Pada Struktur Sebesar 5,06			Safety Factor Pada Struktur Sebesar 6,05		

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil perancangan Struktur Cantilever ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dari hasil perancangan, *Engineering* melakukan pemodelan dengan menggunakan aplikasi Autocad 2006 dan aplikasi Lisa untuk material Pipa *Low Carbon Steel* pada Ketebalan uji proporsional = 1,5mm.
2. Hasil *stress analysis* pada struktur akan lebih aman jika tumpuan pendukung diberikan sesuai dengan akselerasi material saat terjadi guncangan. dalam hal ini, metode kesetimbangan struktur dengan analisis matematik, menjadi tolak ukur penting dalam membangun sebuah struktur cantilever.
3. Hasil dari proses pengelasan menggunakan mesin las SMAW dengan elektroda yang di rekomendasikan, sangatlah berpengaruh kepada ketahanan leleh material akibat beban, hal ini biasanya dipengaruhi oleh kuat tarik hasil las terhadap elektroda yang digunakan.
4. Hasil dari pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketangguhan struktur yang telah dirancang dan dapat direkomendasikan kepada aplikasi nyata. Pada dasarnya, perencanaan dan perancangan yang baik akan menjadikan suatu konstruksi tangguh dalam pengaplikasiannya.

Adapun saran untuk penyempurnaan Struktur Cantilever dengan Batang Tunggal adalah:

1. Pastikan struktur memiliki tingkat kesetimbangan yang baik,
2. Pastikan kekuatan material yang dijadikan struktur, lebih besar dari pada beban yang bekerja, dan proses dilakukan secara teliti agar material tidak mengalami degradasi (kesalahan proses bisa menyebabkan material leleh dengan sendirinya),
3. Pastikan tiang utama 1,75x – 2x Lebih Besar dari batang Cantilever uji sendiri untuk ketinggian tertentu berdasarkan metode kesetimbangan struktur.
4. Pemasangan tumpuan pendukung dapat dibentuk sedemikian rupa dan pastinya berat beban yang bekerja harus dapat didukung agar guncangan dapat diminimalisir (tumpuan dapat dijadikan pemberat dari sisi samping tempat terjadinya momen).
5. Pastikan nilai *safety factor* terendah pada struktur cantilever dengan panjang lengan tertentu dan beban tertentu berkisar 5.
6. Hasil yang diperoleh dari *Software*, dapat di cek kembali menggunakan perhitungan-perhitungan matematik, fisik, atau mekanik. Hal ini bertujuan untuk ketercapaian data

pembandingan sehingga struktur dapat dikatakan memenuhi syarat bangun.

DAFTAR PUSTAKA

Giancoli, D. C., (2021), Fisika Jilid I (Terjemah). Penerbit Erlangga, Jakarta.

Popov, E.P., Zainul Astamar, (1993), Mekanika Teknik (Terjemah). Penerbit Erlangga, Jakarta.

Singer, F. L., dan Andrew, P., Darwin Sebayang, (1995). Ilmu Kekuatan Bahan (Terjemah). Penerbit Erlangga, Jakarta.

Winter, G. N. (1999). *Elemen mesin 1*. Jakarta: Erlangga.

R C Hibber. Mekanika Teknik Edisi Bahasa Indonesia Jilid2. Prenhalindo. Jakarta.