

ANALISIS KEGAGALAN PRODUK *PRESERED CONCRETE GIRDER I* AKIBAT DEFORMASI CETAKAN DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Eko Teguh Fiji Santoso¹, Choirul Anwar¹, Ghani Heryana¹

¹Jurusan Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknologi Wastukencana

Eko.teguh.f.s@gmail.com, Choirul@stt-wastukencana.co.id, Tosidagama@gmail.com

ABSTRAK

Presered concret I girder merupakan desain bentuk *girder* yang paling banyak digunakan pada bangunan struktur jembatan dan *flyover* di Indonesia, Untuk produksi *PCI Girder* memerlukan cetakan yang cukup kuat untuk menahan tekanan yang terjadi. Namun dalam kondisi aktual cetakan tidak mampu menahan tekanan beton dan getaran *vibrator* sehingga terjadi deformasi cetakan yang mengakibatkan dimensi produk berubah dari desain awal. Oleh karena itu untuk menganalisis masalah deformasi cetakan perlu dilakukan pengumpulan data aktual kemudian melakukan analisis yang terjadi pada cetakan.

Salah satu metode yang dapat dipakai untuk menganalisis pergeseran cetakan yaitu dengan metode elemen hingga. Dari analisis metode elemen hingga yang dilakukan dengan menggunakan Solidworks, dari hasil analisis maka didapatkan tegangan maksimal yang terjadi 477200000 N/m^2 nilai tersebut melebihi *yield strength* material 206807000 N/m^2 sehingga cetakan mengalami lendutan 2,25mm serta pengaruh dari getaran *vibrator* dengan nilai lendutan sebesar 0,074 mm.

Setelah analisis dilakukan maka tindakan rekomendasi dilakukan dengan cara menambah rangka dengan baja jenis UNP atau *clamping* untuk dukungan *bracing* dibagian tengah cetakan, kemudian dilakukan analisis statis sehingga nilai *von mises* dari cetakan berubah menjadi nilai maksimal : 329800000 N/m^2 dan lendutan berkurang menjadi 0,952cm.

Kata kunci: *PCI Girder*, metode elemen hingga, difleksi cetakan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hal yang mendasari dari penelitian ini dikarenakan cacat produksi *Presered Concrete I girder* yang mengakibatkan dimensi berubah mengakibatkan berat dan volume berubah, sehingga menambah anggaran biaya untuk menambah jumlah material serta dapat mengurangi kapasitas beban maksimum kendaraan dari desain rencana. Untuk mengurangi cacat produksi maka perlu dilakukan analisis kegagalan cetakan *Presered Concrete I girder* dengan menggunakan metode elemen hingga, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui penyebab kegagalan produksi akibat deformasi cetakan kemudian dapat dilakukan tindakan selanjutnya.

1.2 Batasan Masalah

Agar pembahasan dapat terpusat dan terarah sesuai dengan tema metode penelitian ini, maka ditetapkan batasan masalah yaitu:

Penelitian ini hanya menganalisis tekanan yang terjadi pada cetakan dan distribusi getaran *vibrator* dengan menggunakan metode elemen hingga.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Presered Concrete I Girder*

Presered concrete I girder adalah sebuah balok beton yang terletak diantara dua penyangga dapat berupa *pier* ataupun *abutment* pada suatu jembatan atau *flyover* dengan profil I. *Presered concrete I girder* merupakan desain bentuk *girder* yang paling banyak digunakan pada bangunan struktur jembatan dan *flyover* di Indonesia. Profil *PCI girder* berbentuk penampang I dimana bagian tengahnya mempunyai dimensi lebih kecil dari bagian sayapnya sehingga berat *PCI girder* relatif lebih ringan dan dianggap paling ekonomis jika dibandingkan jenis *girder* lainnya, namun untuk memproduksi *PCI girder* terdapat masalah yang menyebabkan dimensi produk berubah.

2.2. Pengertian Metode Elemen Hingga

Metode Elemen Hingga atau biasanya disebut *Finite Element Analysis* (FEA) adalah metode numerik yang dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan *mode shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida.

Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEA adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan metrik matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*.

1.3. Pengertian Cetakan

Cetakan adalah sebuah alat yang digunakan pada proses produksi dengan cara membentuk bahan mentah (material cair) sesuai dimensi kemudian mengeras material cair tersebut di dalam sehingga terbentuk produk yang sesuai geometri yang akan dibuat. Cetakan *presered concrete I girder* dibuat dengan menggunakan pelat baja *mild steel* jenis baja A36 yang berbentuk dinding dan terdapat *frame* pada bagian luarnya.



Gambar 1. Cetakan girder PT. XYZ

Tabel 1. Mekanikal Properti ASTMA36

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m ²
Poisson's Ratio	0.26	N/A
Shear Modulus	7.9e+010	N/m ²
Mass Density	8000	kg/m ³
Tensile Strength	517017000	N/m ²
Compressive Strength		N/m ²
Yield Strength	206807000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.1e-005	/K

Sumber : Solidwork 2016

Terdapat beberapa komponen yang ada pada cetakan antara lain:

1. Baut adalah komponen permesinan yang terbuat dari baja, berbentuk tabung dengan ulir di bagian luar dan mur merupakan *fasteners* dengan aplikasi pemakaian sebagai pasangan dari *bolt*. Baut disini yang dipakai untuk menyambung cetakan menggunakan baut dengan kelas 8.8 dengan tegangan leleh (*fy*) 640Mpa dan tegangan putus (*fu*) yaitu 800Mpa.

2. *Bracing* adalah komponen cetakan yang berfungsi sebagai penopang cetakan pada berbagai arah untuk menghindari terjadinya perubahan posisi terutama pada saat pengecoran. Material yang digunakan adalah pipa baja dengan kedua ujung terpasang baja dengan bentuk silinder pejal dan terdapat ulir segi empat.

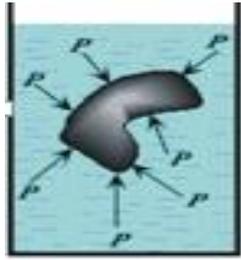
3. *Vibrator* adalah salah satu alat yang digunakan saat pengecoran dimana alat ini berfungsi untuk memadatkan beton yang dituangkan dalam cetakan untuk mengeluarkan udara yang terjebak dalam campuran beton sehingga produk yang dihasilkan mendapatkan kekuatan yang merata dan juga untuk menghindari adanya keropos. Terdapat 2 jenis *vibrator* yaitu : *vibrator external* dan *vibrator internal*.

4. *Tierod* adalah alat bantu berbentuk baja silinder berongga dengan sambungan ulir di kedua sisi yang berfungsi untuk mengunci cetakan bagian atas sehingga pada saat proses pengecoran dilakukan, cetakan tidak mengalami pergeseran. *Tierod* ini biasanya menggunakan pipa baja berdiameter 10 mm dan panjang tergantung dimensi cetakan

1.4. Tekanan Hidrostatik

Tekanan Hidrostatik adalah tekanan pada zat cair yang diam sesuai dengan namanya (*hidro* : air dan *static* : diam). Atau lebih lengkapnya tekanan hidrostatik didefinisikan sebagai tekanan yang diberikan oleh cairan pada kesetimbangan karena pengaruh gaya gravitasi bumi. [9]

Hal ini berarti setiap benda yang berada di suatu wadah pada zat cair yang diam, tekanannya tergantung dari besarnya gravitasi, kedalaman/ketinggian benda terhadap permukaan zat cair dan massa jenis zat cair. [9]



Gambar 2. Tekanan Pada Benda

<http://phisiceducation09.blogspot.com>
diakses 17.36 Juli 2019

Dari gambar di atas maka di dapatkan persamaan untuk menghitung tekanan hidrostatik dengan menggunakan rumus :

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m \cdot g}{A} \dots\dots\dots (1)$$

$$m = p \cdot V \dots\dots\dots (2)$$

$$P = \frac{p \cdot V \cdot g}{A} \dots\dots\dots (3)$$

Dan (volume) $V = A \cdot h \dots\dots\dots (4)$

$$P = \frac{p \cdot A \cdot h \cdot g}{A} \dots\dots\dots (5)$$

$$P_h = pgh \dots\dots\dots (6)$$

2.5. Konsep Tumpuan Sendi

Balok adalah elemen struktur yang dominan memikul gaya dalam berupa momen lentur dan juga geser.

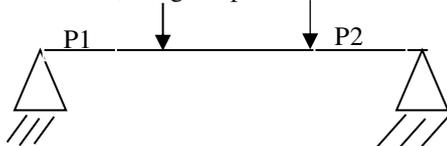
1. Balok sederhana atau bertumpuan sederhana yaitu sebuah balok dengan dua tumpuan di kedua ujungnya.
2. Balok kantilever yaitu balok dengan tumpuan jepit di ujung satunya dan bebas di ujung lainnya.
3. Balok *overhang* (bagian *overstek*) yaitu balok dengan tumpuan di ujung balok dan tumpuan.

2.6. Jenis Beban

Beban adalah suatu benda mati maupun hidup yang mempunyai massa

dan berada diatas suatu struktur baik balok, kolom maupun pelat dengan beban terpusat/titik.

Contoh: manusia, tiang lampu dll.

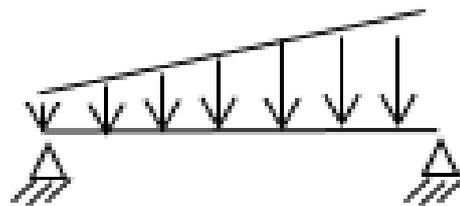


Gambar 3. Beban Terpusat

Beban terdistribusi, terbagi dua yaitu terdistribusi merata dan terdistribusi variasi. Beban ada jika suatu beban memiliki luasan bidang beban dalam menumpu struktur. Contoh: keramik, tempat tidur dll.



Gambar 4. Distribusi Merata



Gambar 5. Distribusi Variasi

Sumber : Ferdinand L Singer, Andrew Pytel
Ilmu Kekuatan Bahan Erlangga 1995

2.6.3. Jenis- jenis Reaksi Gaya:

Semua yang berkaitan dengan balok akan penentuan gaya reaksi yang bekerja pada balok itu sendiri. Bila terdapat beberapa gaya bekerja dalam satu bidang, maka tiga persamaan keseimbangan statika harus tersedia. Untuk balok pada umumnya yang berbentuk lurus dalam kedudukan yang horizontal, maka sumbu x akan diambil sebagai arah yang horizontal, sumbu y untuk arah yang vertikal dan sumbu z yang arah gayanya tegak lurus terhadap bidang-benda. Penggunaan ketiga persamaan pada beberapa persoalan balok bertujuan untuk melakukan peninjauan lebih mendalam tentang reaksi di setiap tumpuan dan defleksi pada bagian di sepanjang balok. Untuk balok-balok yang stabil dalam jumlah gaya yang kecil, deformasi tidak begitu terlihat besar lendutanya. [6]

1. Gaya *horizontal* (H) adalah gaya yang bekerja searah atau mendatar pada bidang struktur.
2. Gaya *vertikal* / Gaya geser (V / R) adalah gaya yang bekerja tegak lurus pada bidang struktur.
3. Gaya Putar/ Momen (M) adalah gaya yang dapat memutar suatu struktur, dapat berada dimana saja dan untuk mengetahui besarnya dengan mengali jarak dan gaya vertical yang ada.

$$\Sigma F_x = 0 \text{ RHA} = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$\Sigma F_y = 0 \text{ RVA} + \text{RVB} - F_1 = 0 \dots\dots\dots (8)$$

$$MA = 0 \text{ F.A} - \text{RVB.L} \dots\dots\dots (9)$$

$$MB = 0 \text{ F.B} - \text{RVA.L} \dots\dots\dots (10)$$

Sedangkan untuk mencari momen maksimum dan lendutan dapat menggunakan persamaan berikut:

$$M_{\max} = \frac{WL}{8} \dots\dots\dots (11)$$

$$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{My}{I} \dots\dots\dots (12)$$

$$\delta = \frac{5ML^3}{384EI} \dots\dots\dots (13)$$

$$EIy = \frac{Wl^3}{384} \dots\dots\dots (14)$$

2.7. Konsep Tegangan –Regangan

Pada dasarnya tegangan dapat didefinisikan sebagai besaran gaya yang bekerja pada suatu satuan luas. Dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Tegangan } \sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

(σ) : Tegangan (N/mm²)

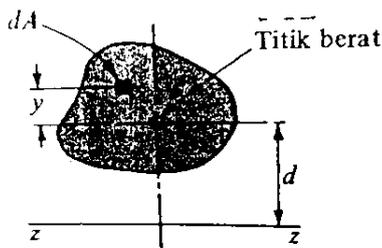
[F] : Gaya yang bekerja (N)

[A] : Luas bidang (mm²)

Pada suatu bidang yang dikenai suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut, yaitu tegangan normal dan tegangan geser. Tegangan normal adalah tegangan yang tegak lurus terhadap permukaan benda dari gaya aksial dan momen lentur.

2.8. Inersia Bidang

Untuk menggunakan rumus lenturan, maka momen inersia penampang dapat ditentukan dengan integrasi $y^2 dA$. Untuk mendapatkan momen inersia suatu luas yang terdiri dari bentuk sederhana, maka diperlukan teorema sumbu sejajar. [5]



Gambar 6. Inersia Bidang

(i) momen inersia terhadap sumbu I_{zz} : $\int (d + y)^2 dA$

Dimana sebelumnya y diukur dari sumbu yang melalui titik berat dengan mengkuadratkan konstanta keluar tanda *integral*.

$$I_{zz} = d^2 \int A dA + 2d \int A y dA + \int A y^2 dA = Ad^2 + 2d \int A y dA + I_0$$

Akan tetapi, karena sumbu y di ukur dari titik berat dari daerah luas, maka : $\int y dA$ adalah nol.

$$I_{zz} = I_0 + Ad^2$$

$$I_{ax} = \frac{1}{12} bh^3 \dots\dots\dots (16)$$

$$I_{ay} = \frac{1}{12} b^3 h \dots\dots\dots (17)$$

$$I_{bx} = \frac{1}{12} bh^3 \dots\dots\dots (18)$$

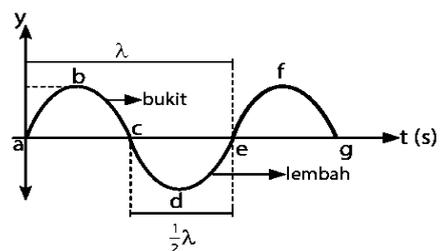
$$I_{by} = \frac{1}{12} b^3 h \dots\dots\dots (19)$$

Satuan momen inersia adalah : I : (mm⁴) / cm⁴ atau m⁴, tergantung satuan dasar yang digunakan.

2.9. Konsep Getaran Mekanis

Getaran adalah suatu gerak bolak balik di sekitar pusat kesetimbangan. Kesetimbangan disini yang di maksud adalah keadaan suatu benda berada pada posisi diam bila tidak terjadi gaya yang bekerja pada benda tersebut. Getaran mempunyai amplitudo (Jarak simpangan terjauh dari titik tengah) yang sama. [1]

Gambar 7. Gelombang Transversal



Sumber : Jurnal analisis karakteristik getaran

Dasar analisis getaran dapat dipelajari dengan menghitung rumus cepat rambat gelombang dinyatakan sebagai berikut.

$$\lambda = v \times T / f \dots\dots\dots (20)$$

$$F = \frac{n}{t} \dots\dots\dots (21)$$

$$T = \frac{t}{n} \dots\dots\dots (22)$$

$$T = \frac{1}{f} \dots\dots\dots (23)$$

Maka: $V = \frac{\lambda}{T}$ atau $V = \frac{\lambda}{f}$ (24)

Dimana :

λ = Panjang gelombang (meter)

v = Cepat rambat gelombang (m/s)

f = frekuensi gelombang (detik)

n = Jumlah gelombang

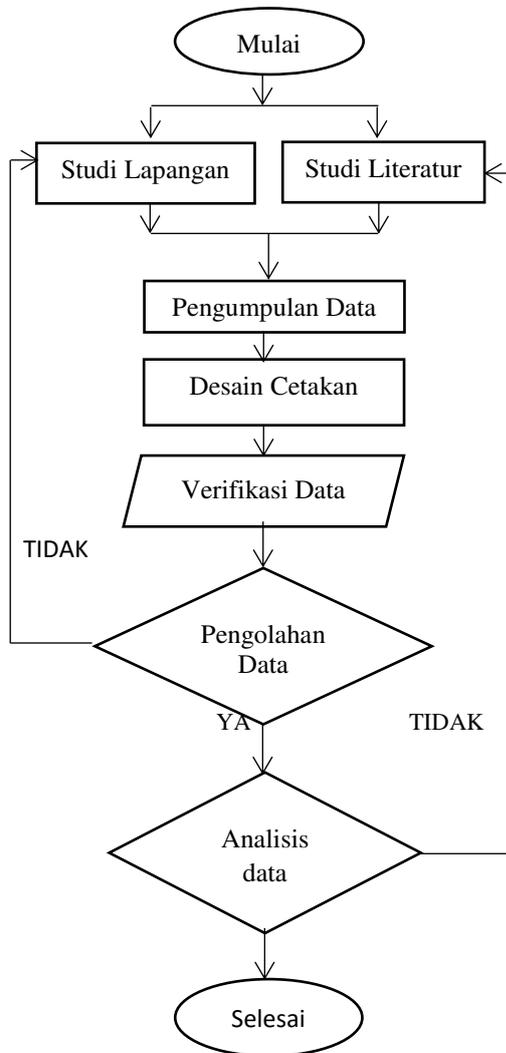
T = Periode (detik)

t = Waktu (detik)

3. METODOLOGI

3.1 Diagram alir perancangan

Garis besar langkah kerja penelitian dapat dibuat program flow chart seperti di bawah ini :

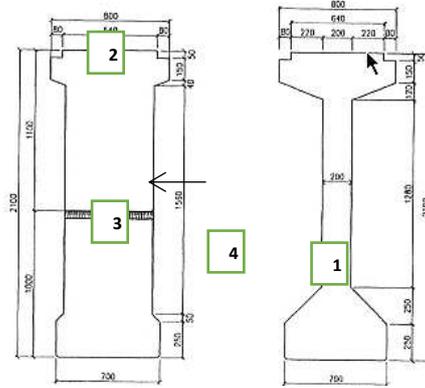


Gambar 8. Langkah kerja

4. PEMBAHASAN

4.1. Volume Cetakan

Untuk menghitung dan menganalisa tekanan yang terjadi pada cetakan khususnya di segmen 3, maka perlu dilakukan perhitungan volume beton yang berada pada cetakan mulai dari segmen 1-5.



Gambar 9. Girder Tampak Depan

Perhitunan luas bidang pada bagian 1.

$$p \times l = 0,25 \times 0,7 = 0,175m^2$$

$$p \times l = 1,8 \times 0,2 = 0,36m^2$$

$$2 \times \frac{1}{2} a \times t = 2 \times \frac{1}{2} \times 0,28 \times 0,25 = 0,7m^2$$

$$2 \times p \times l = 2 \times 0,15 \times 0,3 = 0,09m^2$$

$$p \times l = 0,25 \times 0,7 = 0,175m^2$$

$$2 \times \frac{1}{2} a \times t = 2 \times \frac{1}{2} \times 0,12 \times 0,3 = 0,036m^2$$

$$\text{Luas 1} = 0,8555m$$

Berikut ini table hasil perhitungan luas bidang 1, 2, 3, 4 dari segmen 1-5 dan hasil volumenya.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Volume

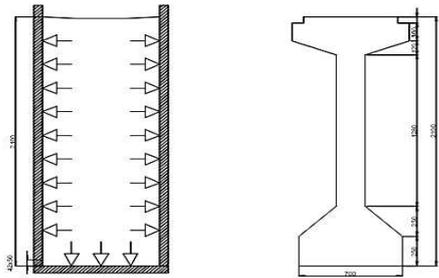
Luas Bidang		Perhitungan Volume cetakan		
No	Luas	Segmen 1 / 5	Segmen 2 / 4	Segmen 3
1	0,8555m ²	7,4305m ³	6,044m ³	6,648m ³
2	1,3877m ²			
3	0,6565m ²			
4	0,189m ²			
Total Volume		32,949m ³		

Dari hasil perhitungan didapatkan nilai volume beton sebesar 32,949 m³ dan hasil volume pada program solidwork didapatkan nilai sebesar 32,7463591m³

Persentase $\frac{32,7463591}{32,949m^3} (100\%) = 99,384\%$

4.2. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

Untuk menghitung tekanan yang terjadi pada cetakan akibat dari beton curah maka penulis melakukan analisa tekanan khususnya pada *segmen 3* yang lebih sering terjadi cacat sehingga didapat nilai distribusi tekanan dari titik permukaan atas beton yaitu tinggi benda kerja yang diamati 1,4 meter, sampai 1,9 meter dari permukaan meja kerja.



Gambar 9. Tekanan Hidrostatik

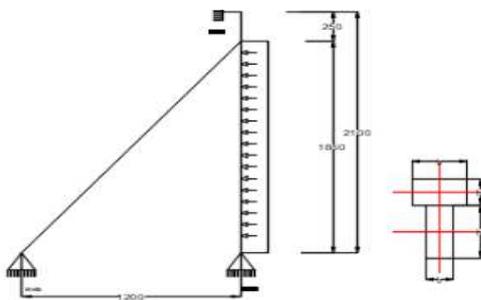
Perhitungan tekanan hidrostatik pada tinggi 1,9 meter

$P_h = \rho \cdot g \cdot h = 2400kg/m^3 \cdot 9,8m/s^2 \cdot 1,9m$
 $P_{total} = P_h + P_{udara} = 144688 Pa$

Tabel 3. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

Tinggi (m)	Gravitasi m/s ²	Berat Jenis kg/m ³	Tekanan
1,9	9,8	2400	44688 Pa
1,8	9,8	2400	42336 Pa
1,7	9,8	2400	39984 Pa
1,6	9,8	2400	37632 Pa
1,5	9,8	2400	35280 Pa
1,4	9,8	2400	32928 Pa

4.3. Perhitungan Momen Gaya



Gambar 10. Diagram Benda Bebas

$RVB = \frac{F.A}{L} = \frac{144688 \cdot 1,05}{1,85} = 82120,2 N.m$

$RVA = \frac{F.A}{L} = \frac{144688 \cdot 0,8}{1,85} = 62657,7 N.m$

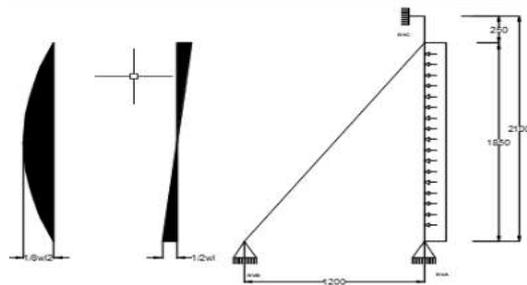
$\Sigma Fy = 0 \quad RVA + RVb - F1 = 0 \quad 82120,2 + 62657,7 - 144688 = 0$

$I_{ax} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}1200 \cdot 8^3 = 51200 mm^4$

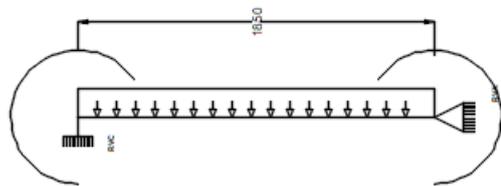
$I_{ay} = \frac{1}{12}b^3h = \frac{1}{12}1200^3 \cdot 8 = 1,152e9 mm^4$

$I_{bx} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}8 \cdot 80^3 = 34133,33 mm^4$

$I_{by} = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}8^3 \cdot 80 = 40960 mm^4$



Gambar 11. Reaksi Gaya



Gambar 12. Momen Gaya

$M_{max} = \frac{WL}{8} = \frac{144688 \cdot 1,85}{8} = 33459,1 N.m$

$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{My}{I} = \frac{33459,1 \cdot 0,008}{0,01152} = 25987650,5 N/m^2$

$\sigma = \frac{M}{S} = \frac{My}{I} = \frac{33459,1 \cdot 0,08}{0,01152} = 259876505 N/m^2$

Lendutan Maksimal

$\delta = \frac{5ML}{384EI} = \frac{5 \cdot 144688 \cdot 1,85^3}{384 \cdot 51707000 \cdot 0,01152} = 2,0025mm$

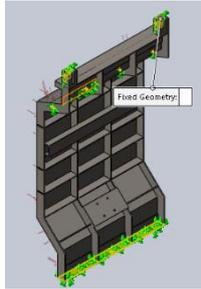
$EIy = \frac{WI^3}{384} = \frac{144688 \cdot 1,85^3}{384} = 2197,5 N.m^3$

4.4. Hasil Analisis Statik

Untuk analisis distribusi tegangan beban statis dengan menggunakan *software solidwork* dilakukan terhadap rangka cetakan yang akan dianalisis menggunakan tipe *Von Misses Stress*. Analisis dilakukan untuk mengetahui kekuatan rangka cetakan terhadap beban statis untuk

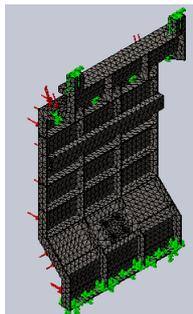
mengetahui kekuatan rangka, agar dapat mengetahui nilai tegangan yang terjadi. Pembebanan terhadap rangka ditunjukkan pada anak panah yang berwarna merah muda dengan diasumsikan gaya pada jarak 1,9 meter dengan tekanan sebesar 144688 Newton/metar².

Material yang digunakan untuk membuat rangka cetakan adalah baja karbon tipe A36. Dengan profil siku ketebalan pelat 8 mm, tebal *frame* 8 mm, panjang *frame* 80 mm dan ukuran 41540 mm x 2100mm



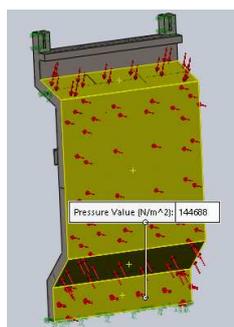
Gambar 13. *Fix geometry* Cetakan

Terdapat 12 Permukaan yang di pakai sebagai acuan *fix geometry* yaitu pada tempat *bracing*, *tierod* dan *fastener* pelat bagian bawah.



Gambar 14. *Meshing*
Tabel 4. *Meshing*

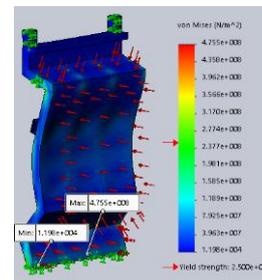
Master Used	Solid Mesh
Total Nodes	33077
Total Elemen	16427
Elemen Size	48.9735 mm
Tolerance	2.44868 mm
Maximum Aspect Ratio	37.539
% of elements Aspect Ratio < 3	10,8
% of elements Aspect Ratio > 10	4,68



Gambar 15. *Pressure load*

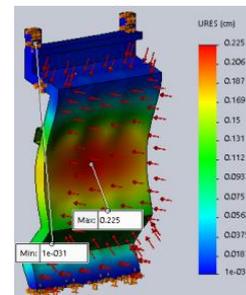
Hasil simulasi pengujian analisis distribusi tegangan pada beban statis tipe *Von Mises Stress* yang telah dilakukan terhadap rangka cetakan stand ditunjukkan pada gambar 16.

Analisis distribusi tegangan ditunjukkan dengan warna merah pada tegangan maksimum, dan warna biru pada tegangan minimum. Dari analisis yang dilakukan didapatkan hasil tegangan maksimum sebesar $4,772e+008 \text{ N/m}^2$ dan tegangan minimum sebesar $1,574e+004 \text{ N/m}^2$ Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai matrial sudah mengalami *deformasi* atau patah. Karena tegangan maksimal sudah sebanding atau lebih besar dari *yield strength* material.



Gambar 16. Hasil Analisis Statis

Besarnya perubahan material yang terjadi akibat beban yang diberikan (*displacement*) ditunjukkan pada gambar 17. Berikut ini.



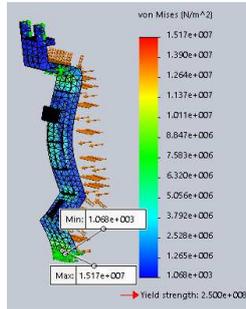
Gambar 17. Perubahan (*displacement*)

Dari analisis yang dilakukan pada cetakan, perubahan (*displacement*) maksimum sehingga terjadi deformasi plastis ditunjukkan dengan warna merah 2,25mm dengan jarak *displacement* 2,25mm. Pada daerah berwarna biru muda adalah daerah elastis. Sedangkan daerah berwarna hijau adalah daerah transisi elastis dan plastis. Pada daerah kuning material sudah bersifat plastis atau tidak dapat di kembalikan ke bentuk semula.

4.5. Analisis Dinamika Struktur

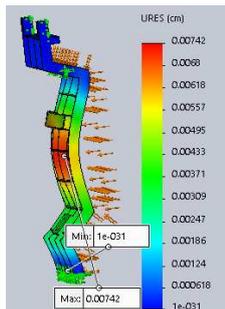
Hasil simulasi analisis distribusi tegangan dinamis tipe *Von Mises Stress* yang

telah dilakukan terhadap rangka cetakan ditunjukkan pada gambar 18.



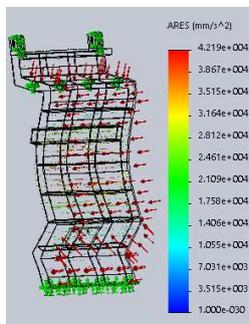
Gambar 18. Hasil Analisis dinamika

Analisis distribusi tegangan ditunjukkan dengan warna merah pada tegangan maksimum, dan warna biru pada tegangan minimum. Dari analisis yang dilakukan didapatkan hasil tegangan maksimum sebesar $1.517e+007 \text{ N/m}^2$ pada node 9352 dan tegangan minimum sebesar $1.068e+003 \text{ N/m}^2$ pada node 9511. Besarnya perubahan material yang terjadi akibat beban yang diberikan (*displacement*) ditunjukkan pada gambar 19 berikut ini.



Gambar 19. Perubahan (*displacement*)

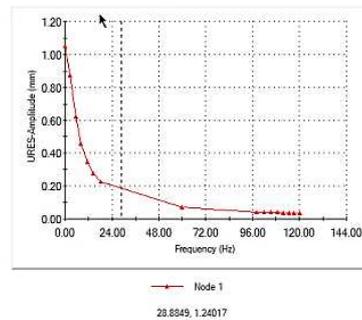
Perubahan (*displacement*) maksimum ditunjukkan dengan warna merah 0,0742mm dan perubahan minimum ditunjukkan dengan warna biru 0 mm. Gambar 20. menggambarkan hasil kecepatan pergeseran struktur.



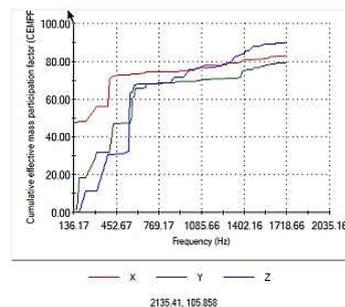
Gambar 20. Kecepatan Pergeseran Struktur

Nilai kecepatan pergerakan cetakan dengan nilai minimal yaitu $0.000e+000 \text{ mm/s}^2$ pada Node: 65 dan nilai kecepatan maksimal

$4.219e+004 \text{ mm/s}^2$ pada Node: 22295. Fungsi eksitasi yang diberikan berupa *vibrasi* dari nilai getaran mesin *vibrator* maksimum. Hasil analisis dinamika struktur terbagi dari dua bagian, yaitu analisis *Normal Modes* dan analisis *Respon Frekuensi (FRF)*. Hasil analisis respon frekuensi adalah grafik FRF (*Frequency Response Function*) terdiri dari 3 parameter yaitu perpindahan (*deformation/displacement*), kecepatan (*velocity*), dan percepatan (*acceleration*). Dalam standar respon fungsi parameter tersebut ditampilkan dalam grafik FRF yaitu grafik *receptance*, *mobilit*, dan *accelerance*. Grafik *receptance*, *mobility*, dan *accelerance* ialah grafik yang menunjukkan hasil dari pembagian antara ketiga parameter dengan gaya (*force*). Untuk Frekuensi respon fungsi pada analisis model diperoleh frekuensi pribadi *natural* di tunjukan pada gambar 21.

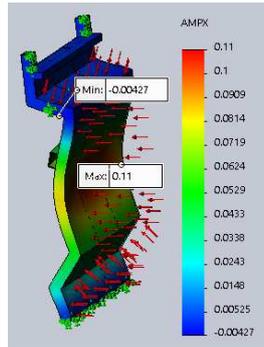


Gambar 21. Grafik Frekuensi Pribadi



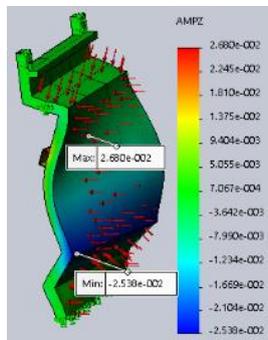
Gambar 22. Grafik Frekuensi vs Cumulative *Effective mass Participation*

Plot amplitude yang dihasilkan dengan nilai frekuensi awal 120 hz pada analisis menggunakan metode frekuensi, maka nilai minimal yang dihasilkan yaitu : 0.00 pada node 61 dan nilai maksimal yang di dihasilkan sebesar $1,106e-001$ dan nilai maksimal pada node 18470 ke arah sumbu x



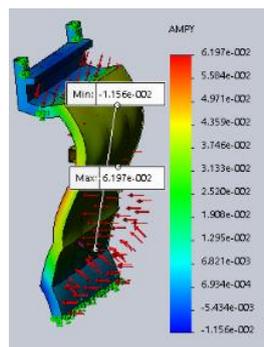
Gambar 23. Efek Getaran Frekuensi X

Plot *amplitude* yang di dihasilkan pada cetakan dengan nilai minimal $-4,404e-002$ Hz pada *node* 65 dan nilai maksimal sebesar $4,711e-002$ dan nilai maksimal pada *node* 10685 ke arah sumbu z.



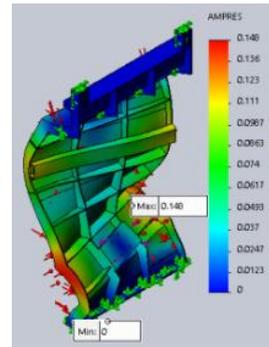
Gambar 24. Efek Getaran Frekuensi Z

Plot *amplitude* yang dihasilkan pada cetakan dengan nilai minimal $-5,365e-003$ Hz dan nilai maksimal sebesar $5,591e-003$ pada *node* 65 dan nilai maksimal pada *node* 861 ke arah sumbu y.



Gambar 25. Efek Getaran

Plot *resultan amplitude* yang dihasilkan pada cetakan dengan nilai minimal 0.00 pada *node* 65 dan nilai maksimal $1,480e-001$ Hz dan nilai maksimal pada *node* 2687.



Gambar 26. Efek Getaran Frekuensi 229.64 Hz

Berikut ini adalah data pengaruh getaran terhadap kecenderungan cetakan untuk mengalami perubahan posisi. Untuk melihat hasil analisis maka terdapat faktor penting, faktor yang penting yaitu dalam penentuan parameter kecepatan sudut ω ($\frac{rad}{sec}$) frekuensi (Hz) dan waktu (*secon*) yang diambil dari hasil analisis.

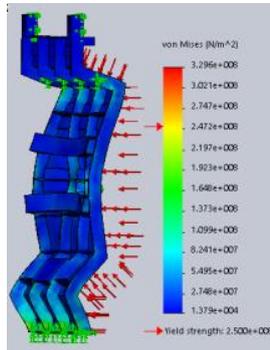
Tabel 5. Hasil Frekuensi Getaran

Frequency Number	Rad/sec	Hertz	Seconds
1	868.13	138.17	0.0072376
2	1023.3	162.86	0.0061401
3	1120.1	178.26	0.0056097
4	1442.9	229.64	0.0043547

4.6. Tindakan Rekomendasi

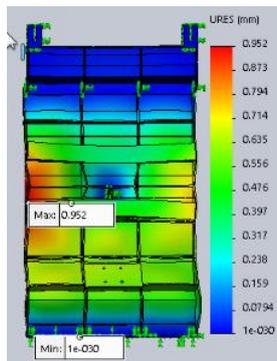
Untuk mengurangi besar pergeseran pada cetakan akibat tekanan beton dan getaran *vibrator*, maka perlu dilakukan tindakan dengan membuat atau menambahkan jumlah *fix support* pada bagian tengah pelat dan penambahan ketebalan tumpuan atau bisa juga dengan penambahan baja UNP atau IWF 150.75 pada cetakan. Gambar di bawah menunjukkan penambahan *fix support*. Sebelum menjalankan simulasi, terlebih dahulu dilakukan pemberian beban berupa tekanan dengan distribusi merata yang nilainya 144688 Pa pada 4 permukaan yang bersentuhan langsung dengan beton, kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan analisis (*run simulation*). Hasil analisis distribusi tegangan statik pada program *solidwork* ditunjukkan dengan warna merah pada tegangan maksimum, dan warna biru pada tegangan minimum. Dari analisis yang dilakukan didapatkan hasil tegangan maksimum sebesar $3,296e+008$ N/m² pada *node* 9352 dan tegangan minimum sebesar $1,379+004$ N/m²

pada *node* 9511. Untuk lebih jelas perhatikan gambar 27 berikut ini menunjukkan hasil nilai tegangan.



Gambar 27. Von mises Stress

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai material sudah mengalami *deformasi* atau patah. Karena tegangan maksimal sudah lebih besar dari *yield strength* material. Besarnya perubahan material yang terjadi akibat beban yang diberikan (*displacement*) Nilai jarak maksimal yang terjadi yaitu 0,952mm pada *node* 9352 dan jarak pergeseran minimal yaitu 1e-030mm pada *node* 9511.



Gambar 28. Jarak Pergeseran

KESIMPULAN

Berdasarkan dari uraian pembahasan analisis Kegagalan Produk *Presered Concret Girder I* Akibat Deformasi Cetakan Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik kesimpulan secara keseluruhan bahwa :

1. Untuk menganalisis tekanan yang terjadi pada cetakan *presered concrete girder I* menggunakan analisis difleksi 2D *DOF* dengan nilai momen maksimal sebesar 33459,1 N.m, tegangan maksimal 285864156.5 N/m² dan lendutan maksimal sebesar 2,0025mm serta dengan menggunakan analisis menggunakan

simulasi pada program *solidwork* tegangan maksimal 492370000 N/m², lendutan maksimum 2.3242mm.

2. Setelah analisis yang dilakukan baik itu perhitungan manual atau menggunakan *solidwork*, maka perlu ditambahkan pelat pada bagian tengah cetakan dengan dibantu *bracing* sebagai penyangga tumpuan seperti yang dijelaskan pada bab iv untuk tindakan rekomendasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad Kholil, Catur Setyawan, Heru Saputro. April. 2015. Analisis Karakteristik Getaran Struktur Lengan Ayun Sepeda Motor Jenis Suspensi Twinshock Menggunakan Metode Elemen Hingga dan Eksperimental Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ.
- [2] Al Ichlas Imran, Kadir. Mei 2017. Simulasi tegangan *von mises* dan *safety factor* *gentry crane* kapasitas 3 ton.
- [3] Bambang Setyono, Mrihrenaningtyas, Abdul Hamid. 2016. Perancangan dan analisis kekuatan *frame* sepeda hybrid “Trisona” menggunakan software autodesk inverter.
- [4] Basri Hasan. Maret 2007. Analisis Lubrikasi Bantalan Bola akibat Getaran dengan Metode Elemen Hingga dan Modifikasi Struktur Mesin Penyeimbang Mini.
- [5] E.P. POPOV Mekanika Teknik
- [6] Fajar Ari Wandono1, Agus Harno Nurdin Syah 2017 Prediksi kekuatan struktur alat uji getaran engine LSU series menggunakan metode elemen hingga.
- [7] Ferdinand L Singer, Andrew Pytel Ilmu Kekuatan Bahan Erlangga 1995
- [8] <http://phisiceducation09.blogspot.com> diakses 17.36 Juli 2019
- [9] <http://teknologisurvey.com> diakses 15.19 Juni 2019.
- [10] <http://usmanalli.blogspot.com> 14.23 Juni 2019.