

ANALISIS PERUBAHAN STRUKTUR KOLOM BAJA PIPE RACK TINJAUAN DAMPAK STRUKTUR BAWAH

Tri Setiyono

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

email: trisetiyono@rocketmail.com

Heri Khoeri

Dosen Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : hkhoeri@hesa.co.id

ABSTRAK : Pada Proyek Oil & Gas Plant biasanya terdapat struktur civil yang berfungsi sebagai penunjang sistem pemipaan, salah satu struktur tersebut yaitu Struktur Baja Pipe Rack. Perhitungan struktur baja Pipe Rack ini menganalisa perubahan struktur kolom baja pada struktur Pipe Rack, yang akhirnya akan berdampak pada struktur bawahnya. Perubahan struktur kolom baja Pipe Rack di modelkan dalam bentuk Model-1, Model-2 & Model-3. Dari analisa didapatkan bahwa perubahan penambahan dan pengurangan allowable stress rasio pada baja Pipe Rack sebesar 1.19%-80% per item Profil Baja, perubahan defleksi Kolom sebesar 1.14%, perubahan defleksi balok sebesar 61.7% dan berat struktur total mengalami perubahan sebesar 1.11%-5.91%. Dari analisa dampak pada tinjauan struktur bawah di dapat rasio tulangan pada kolom pedestal sebesar 1.14% atau masih sama dengan kondisi normal, akan tetapi terjadi penambahan penulangan pada balok tie-beam sebesar 40%, di tinjau dari struktur tiang pancang terjadi perubahan perilaku pada tiang pancang, yaitu terjadi defleksi tanah pada tiang pancang sebesar 1.35cm – 10.5cm. Dari semua analisa model struktur baja Pipe Rack dengan perubahan struktur kolom maka dapat ditinjau bahwa baja Pipe Rack yang di modelkan secara stabilitas strukturnya terhadap beban pipa dan stabilitas struktur terhadap struktur bawahnya.

Kata kunci : Struktur Pipe Rack, Baja Pipe Rack, Baja ASD dan LRFD

ABSTRACT: In Project RFCC (Residual Fluid Catalytic Cracking) RU IV Cilacap Pertamina are civil structure that serves as the supporting piping systems, one of these structures, namely Steel Pipe Structure Pipe Rack. Calculation steel structure is to analyze changes in the structure of steel columns in Pipe Rack structure, which will ultimately have an impact on the underlying structure. Changes in the structure of steel columns Pipe Rack is modeled in the form of Model-1, Model-2 and Model-3. From the analysis it was found that the addition and subtraction changes the ratio of allowable stress in the steel Pipe Rack at 1:19% -80% per item Profile Steel, change column deflection at 1:14%, a change of 61.7% beam deflection and the total weight of the structure unchanged at 1:11% -5.91 % .From analysis of the impact on the bottom structure can review reinforcement ratio in columns or pedestals of 1:14% was the same as the normal conditions (model-1), but the addition of the tie-beam reinforcement in the beam by 40%, in the review of the structure of the pole stake there is a change of behavior on the pile, which occurs in the soil pile deflection of 1.35mm - 3.5mm. From all the analysis models of steel structures Pipe Rack with changes in the structure of the column can be reviewed that steel Pipe Rack Model-2 is better than Model-3 is the stability of the structure and stability of the structure of the pipe load to the structure underneath

Keywords: Structure Pipe Rack, Steel Pipe Rack, Steel ASD & LRFD

PENDAHULUAN

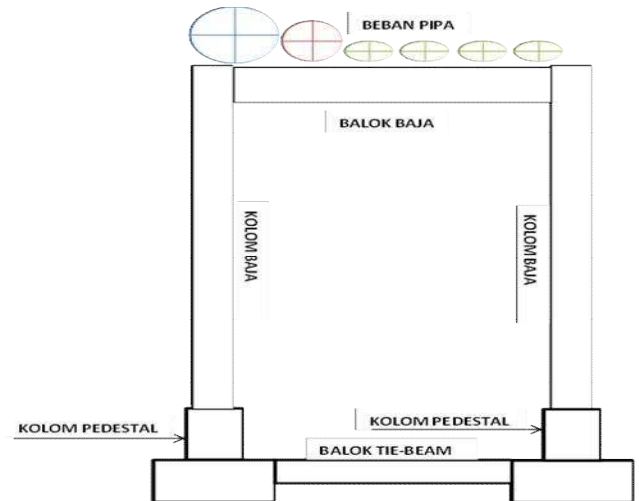
Seiring dengan majunya teknologi serta sistem perpipaan dalam dunia industri petrochemical, Oil & Gas, maka semakin luas pula penggunaan struktur civil sebagai penunjang sistem pemipaan tersebut. Struktur tersebut harus dapat menopang beban-beban pipa itu sendiri. Salah satu struktur penunjang sistem pemipaan tersebut yaitu Struktur Pipe Rack.

Pada perencanaan suatu struktur Baja Pipe Rack, harus ditinjau kekuatan struktur tersebut pada tiga kondisi yaitu pada saat kondisi kosong (*Empty*), kondisi beroperasi (*Operation*) ataupun kondisi tes (*Hydro test*), dan pada saat instalasi pipa-pipa tersebut. Sehingga pada kondisi tersebut dapat dibuktikan bahwa struktur tersebut aman digunakan baik ditinjau secara kekuatan struktur itu sendiri (*stress ratio*) ataupun ditinjau stabilitas strukturnya terhadap beban pipa dan stabilitas struktur terhadap struktur bawahnya.

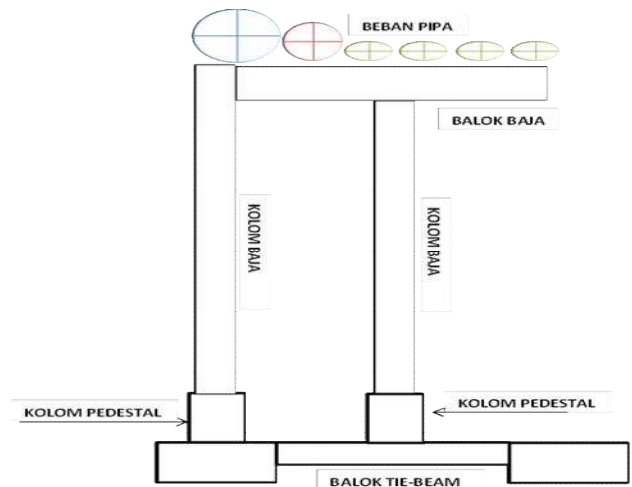
Dalam konstruksi perencanaan struktur Baja Pipe Rack biasanya ditemukan beberapa kendala atau kasus di lapangan yang berdampak perubahan struktur pada baja Pipe Rack, dan salah satu contoh kendala atau kasus tersebut yaitu terdapat suatu kondisi dimana sistem perpipaan mengalami perubahan, sehingga keadaan pipa menabrak salah satu bagian kolom struktur baja Pipe Rack, sehingga berdampak pada struktur bawah yang kondisinya sudah di lakukan pemasangan pondasi. Dengan kondisi tersebut maka perlu di analisa kembali apakah kondisi struktur tersebut aman dengan tinjauan pondasi yang sekarang. Apabila struktur tersebut ditinjau secara

kekuatan struktur itu sendiri (*stress ratio*) ataupun ditinjau stabilitasnya, struktur tersebut aman di gunakan untuk menunjang sistem perpipaan itu sendiri. Analisa perubahan kolom Struktur Baja Pipe Rack di modelkan dalam bentuk 3 model, sebagai berikut :

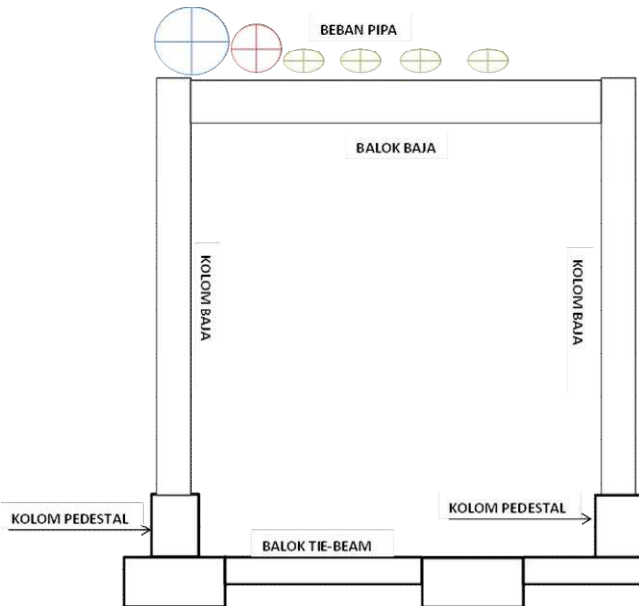
1. Kolom struktur Baja Pipe Rack Model-1 (Normal)



2. Kolom struktur Baja Pipe Rack Model-2 (Kolom Menumpu di atas Balok Tie-beam di tengah Bentang)



3. Kolom struktur Baja Pipe Rack Model-3 (Kolom Menumpu di atas Balok Tie-beam Cantilever)



LANDASAN TEORI

Pipe Rack

Menurut Drake, Richard M., P.E., S.E., SECB and Walter, Robert J., P.E., S.E. "Seismic Design of Structural Steel Pipe Racks", Structure Magazine. February 2012, Struktur Baja Pipe Rack adalah Rak Pipa yang terdiri dari serangkaian beam transversal yang berjalan sepanjang sistem pipa, berjarak pada interval seragam biasanya sekitar 20 ft.



Gambar 1. Konstruksi Baja Pipe Rack dengan Pipa

Pembebanan

Berikut pembebanan pada struktur Pipe Rack menurut pedoman perencanaan pembebanan untuk struktur Industri (Mohamed A. El-Reedy, Ph.D.) dan menurut ASCE (American Society of Civil Engineering).

1. Beban Mati (Dead Load)

Beban mati adalah beban konstan yang disebabkan oleh berat struktur itu sendiri

2. Beban Hidup (Live Load)

Beban hidup adalah beban gravitasi yang dihasilkan oleh penggunaan dan hunian Gedung-gedung dan struktur

3. Beban Angin (Wind Load)

Beban angin adalah beban yang bekerja pada struktur akibat tekanan dari gerakan angin

4. Beban Gempa (Seismic Load)

Beban Gempa adalah semua beban statik ekuivalen yang bekerja pada struktur akibat adanya pergerakan tanah oleh gempa bumi, baik pergerakan arah vertikal maupun horizontal. Beban gempa berdasarkan peraturan UBC-97.

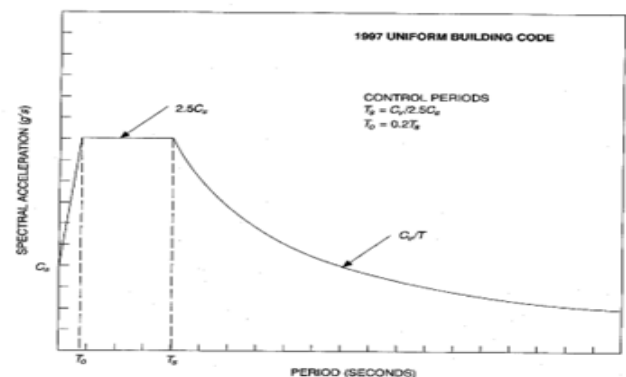


FIGURE 16-3—DESIGN RESPONSE SPECTRA

Gambar 2. Grafik Gempa UBC-97

Analisa Gempa pada UBC 97 sebagai berikut :

$$Vb = \frac{Cv \times I}{R \times T} \times Wt$$

Tidak boleh lebih dari

$$Vb = \frac{2.5Ca \times I}{R} \times Wt$$

Dan tidak boleh kurang dari

$$Vb = 0.11Ca \times I \times Wt$$

Khusus untuk Zone 4, total base shear tidak boleh kurang dari :

$$Vb = \frac{0.8 \times Z \times Nv \times I}{R \times wt}$$

Dimana :

Cv, Ca = koefisien gempa berdasar pada zone dan type tanah.

R = Struktur resistensi terhadap gempa

T = Periode fundamental strukturn Method A atau Method B.

Na, Nv = Near source factor.

5. Beban Pipa

Beban mati untuk pipa yang dilakukan pada Pipe Rack diperkirakan dengan menggunakan pengukuran berikut, kecuali Jika informasi beban yang sebenarnya tersedia dan mengharuskan sebaliknya.

- *Pipa Kosong*

Di asumsikan beban terbagi rata dari 40 psf (1,9 kPa) untuk pipa, dan insulasi. Nilai ini setara dengan 40 pipa, 8 in (203 mm) diameter, penuh air, di 15-in. (381-mm) spasi.

- *Pipa Beroperasi*

Di asumsikan 60% dari beban operasi pipa diperkirakan akan dikombinasikan dengan angin atau beban gempa.

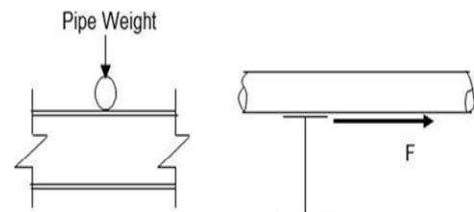
- *Pipa Test*

Pengujian beban mati atau berat kosong dari pipa ditambah berat dari media uji yang terkandung dalam satu set sistem perpipaan secara bersamaan diuji. Untuk setiap pipa yang lebih besar dari 12 inci (304 mm) diameter nominal, beban terkonsentrasi, termasuk berat pipa, produk, katup, fitting, dan insulasi, harus digunakan sebagai pengganti 40 - psf (1,9 - kPa) beban digunakan untuk 8-in pipa. Beban ini harus seragam didistribusikan ke daerah terkait pipa itu.

6. Beban Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang terjadi akibat dua permukaan benda yang saling bergesekan. Pada struktur baja Pipe Rack beban gesek disebabkan oleh geser pipa atau penukar panas arah horizontal karena ekspansi termal.

μ	: 0,30 (steel to steel) 0,10	or specified by piping	for Pipe > 10" for smaller pipe
F	: $\mu \times \text{total pipe load}$: heaviest single pipe	} or whichever is greater $\times \mu$	



Gambar 3. Ilustrasi Beban Gesek Baja dengan Pipa

HASIL ANALISA PROFIL BAJA PIPE RACK

Jenis material baja yang dianalisa pada struktur Piper Rack adalah JIS G3101 Grade SS400 dengan F_y : 2400 Kg/cm², dan berat jenis baja di ketahui sebesar 7850 Kg/m³.

Tabel 1. Item Profil Baja yang di Analis

PROFIL BAJA YANG DI ANALISA	DIMENSI
Kolom Utama	H 300x300x10
Balok Melintang	H 400x200x8
Balok Tengah	H 200x100x5.5
Balok membujur	H 250x125x6
Bracing Mendatar	T 125x125
Bracing Tegak Lurus	T 125x125

Analisa Stress Ratio Profil Baja

Hasil analisis atau resume stress Ratio dari tiap-tiap profil baja yang dianalisa menggunakan software staad pro, akan di dapatkan nilai ratio baja tersebut, nilai ratio baja tersebut di ambil nilai maksimum atau terbesar dari keseluruhan profil baja yang digunakan pada struktur Pipe Rack, dan batasan nilai Ratio tersebut yaitu tidak boleh melebihi angka 1 (Ratio Baja < 1).

Tabel 2. Stress Rasio Pada Baja Pipe

PROFIL BAJA	STRESS RATIO		
	Model-1	Model-2	Model-3
H 300x300x10	0.516	0.538	0.564
H 400x200x8	0.755	0.697	0.764
H 200x100x5.5	0.746	0.294	0.298
H 250x125x6	0.53	0.535	0.564
T 125x125	0.199	0.292	0.205
T 125x125	0.683	1.225	1.225
T 125x125	-	0.626	0.638

Pada Hasil analisis atau resume stress Ratio pada Tabel 2, terdapat satu item profil dimana Allowable stress ratio melebihi nilai dari allowable yang di izinkan pada model-1, model-2 & model 3, sehingga profil tersebut harus di ganti dengan profil yang mempunyai dimensi lebih besar dari profil sebelumnya. Jadi item profil baja yang di ganti yaitu Bracing tegak lurus T125x125 di ganti menjadi T175x175.

Analisa Defleksi Balok dan Defleksi Kolom Baja Pipe Rack

Hasil analisa atau resume terhadap Defleksi Balok dan Defleksi kolom pada struktur Baja Pipe Rack yang di analisa dengan software staad pro berdasarkan peraturan ASCE (*American Society of Civil Engineering*) sebagai berikut:

$$\text{Defleksi Balok} = \Delta_{\max} < L/300$$

$$\text{Defleksi Kolom} = \Delta_{\max} < L/150$$

Tabel 3. Analisa Defleksi Pada Baja Pipe

BATASAN	ANALISA DEFLEKSI		
	($\Delta_{\max}$) Model-1 (mm)	($\Delta_{\max}$) Model-2 (mm)	($\Delta_{\max}$) Model-3 (mm)
$\Delta_{\max} < 2000/300$ = 6.7mm	3.14	5.08	5.08
$\Delta_{\max} < 5500/150$ = 36.7mm	28.9	29.23	29.62

Analisa Berat Struktur Baja Pipe Rack

Dari analisi perubahan struktur kolom Baja Pipe Rack di dapat perubahan berat struktur baja Pipe Rack, berat struktur tersebut antara lain berat struktur total, volume struktur dan Berat index struktur.

Struktur Baja Pipe Rack yang baik di tinjau dari desain struktur, mempunyai berat index antara 15 Kg/m³ sampai 25 Kg/m³.

Tabel 4. Berat Struktur Baja pada Pipe Rack

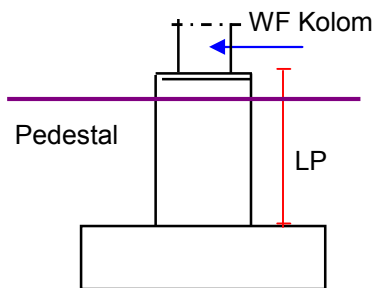
Item	Model-1	Model-2	Model-2
Berat Struktur Total (Kg)	16272.3	16083.1	17235.3
Volume Struktur (m ³)	792	792	792
Berat Index (Kg/m ³)	20.54	20.31	21.761

HASIL ANALISA STRUKTUR BAWAH PIPE RACK TINJAUAN PERUBAHAN STRUKTUR KOLOM BAJA PIPE RACK

Analisa Kolom Pedestal Pondasi

Parameter untuk melakukan analisa pada kolom pedestal pondasi struktur Pipe Rack Model-1, Model-2 & Model-3 sebagai berikut :

- Mutu Beton (Fc) = 23 Mpa
- Width (B) = 0.51 m
- Depth (H) = 0.51 m
- Luas Penampang Area (A) = 0.26 m²
- Tinggi Pedestal (Lp) = 1.6 m



Pengecekan kelangsingan kolom pedestal berdasarkan ACI-318 R-08, dimana dengan nilai K = 2 di dapat sebagai berikut :

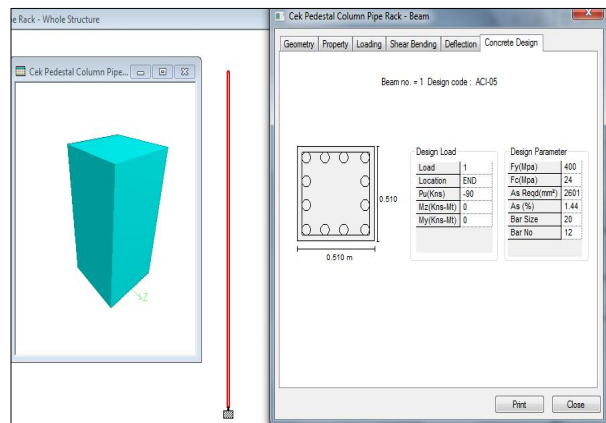
$$\frac{K \times L_u}{r} < 22$$

$$\frac{2 \times 1.6}{0.15} < 22$$

$$21.74 < 22 \text{ (OK)}$$

Dari Analisa Pedestal menggunakan software Staad pro yang hasil pembebanannya melalui analisa transfer beban pada bawah pedestal, maka didapat besaran tulangan sebagai berikut :

- As Perlu = 2601 mm²
- Rasio tulangan = 1.44% > 1% (OK)
- Tulangan Utama = 12D19
- Concrete Cover = 65 mm



Gambar 4. Modeling Kolom Pedestal

Pada analisa kolom pedestal untuk struktur Pipe Rack Model-1, Model-2 & Model-3 di dapat Rasio tulangan 1.44%, artinya tidak terjadi perubahan pada kolom pedestal yang di tinjau dari dimensi ataupun rasio tulangan, akan tetapi pada model-2 & model 3 terjadi perpindahan posisi atau letak kolom pedestal mengikuti perubahan atau letak kolom Baja Pipe Rack.

Analisa Balok Tie-Beam Pondasi

Parameter untuk melakukan analisa pada Balok Tie-Beam struktur Pipe Rack Model-1, Model-2 & Model-3 sebagai berikut :

- Panjang Tie Beam (L) = 8.9 m
- Cover Concrete = 65 mm
- Mutu Beton (f_c') = 23 MPa
- Mutu Baja (f_y) = 400 MPa
- Mutu Baja Stirrups (f_y) = 240Mpa
- Modulus Elastisitas (E_c) = 22.540Mpa
- Jarak Efektif (d) = 335 mm
- Faktor Reduksi (ϕ_f) = 0.8
(ϕ_v) = 0.7
(ϕ_s) = 0.85

Balok Tie-Beam Pipe Rack Model-1

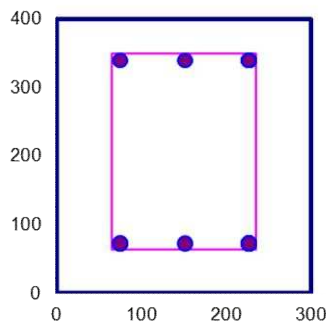
Di dapat nilai beban dalam dari Analisa pedestal dan struktur baja Pipe rack sebagai berikut :

Pu.pd = 151.67 kN

Mu.pd = 62.49 kN

Sehingga dari Analisa beban tersebut di dapat dimensi balok Tie-beam dengan ukuran 300x400 dan konfigurasi penulangan pada balok tie-beam sebagai berikut :

TOP	3-D19
BOTTOM	3-D19
STIRRUPS	D10-150



Gambar 5. Konfigurasi Penulangan Tie-beam Pipe Rack Model-1

Balok Tie-Beam Pipe Rack Model-2

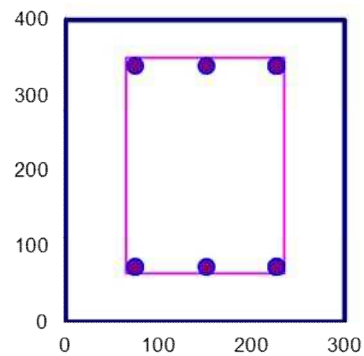
Di dapat nilai beban dalam dari Analisa pedestal dan struktur baja Pipe rack sebagai berikut :

Pu.pd = 174.69 kN

Mu.pd = 94.43 kN

Sehingga dari Analisa beban tersebut di dapat dimensi balok Tie-beam dengan ukuran 300x400 dan konfigurasi penulangan pada balok tie-beam sebagai berikut :

TOP	3-D19
BOTTOM	3-D19
STIRRUPS	D10-150



Gambar 6. Konfigurasi Penulangan Tie-beam Pipe Rack Model-2

Balok Tie-Beam Pipe Rack Model-3

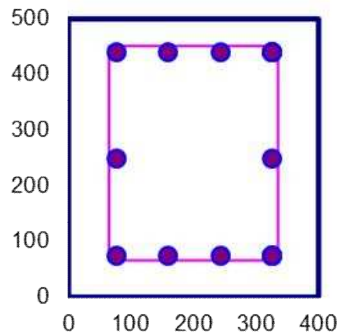
Di dapat nilai beban dalam dari Analisa pedestal dan struktur baja Pipe rack sebagai berikut :

Pu.pd = 151.67 kN

Mu.pd = 62.49 kN

Sehingga dari Analisa beban tersebut di dapat dimensi balok Tie-beam dengan ukuran 400x500 dan konfigurasi penulangan pada balok tie-beam sebagai berikut :

TOP	10-D19
BOTTOM	10-D19
STIRRUPS	D10-150

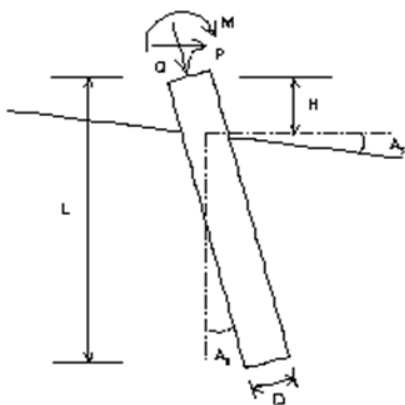


Gambar 7. Konfigurasi Penulangan Tie-beam Pipe Rack Model-2

Analisa Prilaku Tiang Pancang Akibat Perubahan Struktur Kolom Baja Pipe Rack

Pengecekan pile ini menggunakan referensi melalui software Allpile v.7 yang data-datanya di dapatkan dari pengujian tanah di lapangan (Soil Investigation).

Adapun hasil Analisa prilaku tiang pancang akibat perubahan struktur kolom baja Pipe Rack sebagai Berikut :



Gambar 8. Analisa Tiang Pancang

- Prilaku Tiang Pancang Pipe Rack Model-1

Beban axial yang di izinkan bekerja pada pile adalah 3265.537 kN lebih besar dari beban axial akibat struktur atas 141.70 kN. Sehingga pile pondasi secara kemampuan memikul beban axial dari struktur pipe rack di katagorikan aman. ($Q_{allow} > Q$).

Penurunan pile yang di izinkan adalah 2 cm yang setara dengan 2183.88 kN beban axial, sedangkan beban axial yang terjadi 141.70 kN setara dengan penurunan 0.13 cm. Sehingga pile pondasi secara penurunan akibat beban axial di kategorikan aman. ($X_{allow} > X_{settlement}$).

- Prilaku Tiang Pancang Pipe Rack Model-2

Defleksi yang bekerja pada pile adalah 1.35 cm lebih kecil dari defleksi yang di izinkan (allowable deflection) 2.5 cm. Sehingga tiang pancang secara kemampuan menahan beban eksentrisitas axial dari perubahan kolom struktur Pipe Rack di kategorikan masih aman.

Nilai maksimum defleksi yang di izinkan di dasarkan pada teori "Modulus Of Subgrade Reaction" Bowles, yang membahas mengenai konsep hubungan antara tekanan dan defleksi pada tanah. Di dalam teori ini Bowles merumuskan rumus "Modulus Of Subgrade Reaction" dengan nilai settlement tanah maksimum adalah sebesar 1 inch (2,54 cm).

- Prilaku Tiang Pancang Pipe Rack Model-3

Defleksi yang bekerja pada pile adalah 10.4 cm lebih besar dari defleksi yang di izinkan (allowable deflection) 2.5 cm. Sehingga tiang pancang secara kemampuan menahan beban eksentrisitas axial dari perubahan kolom struktur Pipe Rack di kategorikan tidak aman.

Nilai maksimum defleksi yang di izinkan di dasarkan pada teori “Modulus Of Subgrade Reaction” Bowles, yang membahas mengenai konsep hubungan antara tekanan dan defleksi pada tanah. Di dalam teori ini Bowles merumuskan rumus “Modulus Of Subgrade Reaction” dengan nilai settlement tanah maksimum adalah sebesar 1 inch (2,54cm)

PERBANDINGAN STRUKTUR PIPE RACK SEBELUM DAN SESUDAH PERUBAHAN STRUKTUR KOLOM

Perbandingan Allowable Stress Rasio

Berikut tabel perbandingan Allowable Stress rasio Baja Pipe Rack dari hasil analisa studi yang di lakukan :

Tabel 5. Persentase Allowable Stress Rasio Baja Pipe Rack Model-1 dengan Model-2.

Dimensi	Allowable Stress Rasio Baja		
	Model-1 (Existing)	Model-2	%
H 300x300x10	0.516	0.538	4.2
H 400x200x8	0.755	0.697	-7.6
H 200x100x5,5	0.746	0.294	-60.5
H 250x125x6	0.530	0.535	0.94
T 125x125	0.199	0.292	46.7
T 125x125	0.683	1.225	79.4
T 150x150	-	0.626	-

Tabel 6. Persentase Allowable Stress Rasio Baja Pipe Rack Model-1 dengan Model-3.

Dimensi	Allowable Stress Rasio Baja		
	Model-1 (Existing)	Model-3	%
H 300x300x10	0.516	0.564	9.3
H 400x200x8	0.755	0.764	1.19
H 200x100x5,5	0.746	0.298	-60.1
H 250x125x6	0.530	0.564	6.4
T 125x125	0.199	0.205	3
T 125x125	0.683	1.225	-67
T 175x175	-	0.638	-

Perbandingan Defleksi Balok dan Kolom Baja Pipe Rack

Berikut tabel perbandingan Defleksi Balok dan Kolom Struktur Baja Pipe Rack dari hasil analisa studi yang di lakukan :

Tabel 7. Persentase Defleksi Balok & Kolom Model-1 dengan Model-2

ITEM	HASIL ANALISA		
	Model-1 (Existing)	Model-2	%
Defleksi Balok	3.14 mm	5.08 mm	61.7
Defleksi Kolom	28.90 mm	29.23mm	1.14

Tabel 8. Persentase Defleksi Balok & Kolom Model-1 dengan Model-3

ITEM	HASIL ANALISA		
	Model-1 (Existing)	Model-3	%
Defleksi Balok	3.14 mm	5.08 mm	61.7
Defleksi Kolom	28.90 mm	29.62mm	2.45

Perbandingan Berat Struktur Total Baja

Tabel 9. Persentase Berat Struktur Total Model-1 dengan Model-2

Item	Model-1 (existing)	Model-2	%
Berat Struktur Total (Kg)	16272.3	16083.1	-1.16
Volume Struktur (m3)	792	792	-
Berat Index (Kg/m3)	20.54	20.31	-1.11

Tabel 10. Persentase Berat Struktur Total Model-1 dengan Model-2

Item	Model-1 (existing)	Model-3	%
Berat Struktur Total (Kg)	16272.3	17235.3	5.91
Volume Struktur (m3)	792	792	-
Berat Index (Kg/m3)	20.54	21.76	5.93

KESIMPULAN

Dari hasil analisa yang di lakukan didapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kinerja Struktur Baja Pipe Rack

- Setelah Pipe Rack mengalami perubahan pada struktur kolom, terjadi perubahan terhadap nilai allowable stress rasio dari yang di izinkan, sehingga berdampak pada berubahan terhadap salah satu item profil baja.
- Perubahan Penambahan dan pengurangan allowable stress rasio baja yang terjadi 1.19% - 80%.
- Dari Allowable stress rasio baja yang di peroleh dari hasil analisa studi dapat di simpulkan bahwa semakin

panjang bentang suatu item profil baja pipe rack maka nilai allowable stress rasio semakin besar, begitu pun sebaliknya.

- Dari analisa pergeseran kolom yang terjadi dapat di simpulkan bahwa semakin kolom bergeser menjauhi kolom lainnya, maka nilai allowable stress rasio dan nilai defleksi yang terjadi semakin besar, begitu pun sebaliknya.
- Dari analisa studi mengenai Perubahan defleksi balok dan kolom yang terjadi, maka dapat di simpulkan bahwa persentase perubahan defleksi yang terjadi sebesar 1.14 % untuk kolom baja pipe rack dan 61.7% untuk balok baja pipe rack.

2. Kinerja Struktur Bawah (Pedestal & Balok Tie Beam)

- Berdasarkan hasil study perubahan struktur kolom baja pipe rack dapat di simpulkan, bahwa pedestal pondasi pun mengalami perubahan posisi sesuai kolom baja pipe rack.
- Dari hasil analisa perhitungan, kondisi kolom pedestal masih tetap dan tidak mengalami perubahan baik dimensi ataupun jumlah tulangan, dan nilai rasio tulangan yang terjadi masih sama, yaitu sebesar 1,44%.
- Berdasarkan hasil study perubahan struktur kolom baja pipe rack terjadi perubahan dimensi pada Balok tie-beam, dari kondisi 300x400 (model-1) menjadi 300x400 (model-2) dan 400x500 (model-3).

3. Kinerja Struktur Tiang Pancang

- Berdasarkan hasil study tiang pancang yang dilakukan pada 3 model struktur pipe rack, di simpulkan perubahan pada struktur kolom Pipe Rack berpengaruh sangat besar pada perilaku Tiang pancang (pile).
- Berdasarkan Analisa perilaku tiang pancang akibat perubahan struktur kolom baja Pipe Rack, di dapat perubahan perilaku tiang pancang Pipe Rack Model-2 & Model-3 yaitu terjadi Defleksi tanah pada tiang Pancang, besaran defleksi tanah pada tiang pancang sebesar 1.35 cm (Pipe Rack Model-2) dan 10.5 cm (Pipe Rack Model-3), sedangkan defleksi tanah yang di izinkan menurut Teori Bowles adalah sebesar 2.5 cm.
- Berdasarkan Analisa perilaku tiang pancang pada kondisi tanpa adanya perubahan struktur Pipe Rack (Model-1) yaitu tidak terjadi defleksi tanah pada tiang pancang, akan tetapi terjadi penurunan tiang pancang (settlement) sebesar 0.13 cm dari penurunan yang di izinkan yaitu 2 cm.

DAFTAR PUSTAKA

1. Setiawan, Agus. 2008. *"Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD (Berdasarkan SNI 03-1729-2002)"*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
2. El-Reedy, Mohamed A. 2011. *"Construction Management And Design of Industrial Concrete and Steel Structures"*. New York : CRC Press Taylor and Francis Group
3. SNI 03-1729-2002. *"Tata Cara Perencanaan Struktur Baja untuk Bangunan Gedung"*. Departemen Pekerjaan Umum.
4. ANSI/AISC . 2005. *"Specification for Structural Steel Buildings"*. Chicago, IL : American Institute of Steel Construction.
5. ACI. 2002. *"Building Code Requirements for Structural Concrete"*. Farmington Hills, MI : American Concrete Institute
6. SNI 03-2847-2002. *"Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung"*. Surabaya: ITS Press.
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Pipe_rack
8. <http://civilandstructure.wordpress.com/2009/06/08/struktur-pre-cast-untuk-pipe-rack-di-oilgas-plant/>