

Analisa Local Stress pada Free Water Knock Out (FWKO) Vessel Akibat Beban Eksternal Nozzle Line Process Piping Inlet High Pressure Oil Separation System Study Case Project Jirak Waterflood PEP

Luky Arya Wijaya^{1*}, Moh. Miftachul Munir², Mahasin Maulana Ahmad³

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: lukyarya18@gmail.com^{1*}; mas.munir@gmail.com²; mahasinmaulana@ppns.ac.id³;

Abstract - The separation system "EPC Pengembangan Fasilitas Produksi dan Injeksi Lapangan Jirak Waterflood " project uses free water knock out (FWKO) and line process piping as high pressure 3 phase fluid separation with design pressure 100 psig temperature 176 °F. In design of nozzle feed inlet (NI-10") with outside diameter nozzle 10.75 in, and nominal thickness 0.594 in result design of reinforcement pad with diameter pad 14.182 in, and pad thickness 0.472 in. In design of process line inlet piping according to ASME B31.3 using pipe material A-106 Gr.B NPS 8 in Sch 20 with nominal thickness 0.25 in. Analysis of WRC 107 local stress on the cylindrical shell due to external load line piping resulted in stress grouping 1, 2, and 3 of 12794.220 psi, 13135.109 psi, and 13632.715 psi. And validation calculation using component analysis software CAESAR II to get the match result of software and check the results of the analysis of local stress cylindrical vessels.

Keywords: External Load Piping, FWKO Vessel, Local Stress, Nozzle Design, Software

Nomenclature

Pm primary general membrane stress (psi)
P pressure (psi)
R radius of shell (in)
ts tebal shell (in)
PL primary local stress (psi)
Q secondary stress (psi)
P radial load (lb)
Mc circumferential moment (lb.in)
ML longitudinal moment (lb.in)
MT torsional moment (lb.in)
Vc circumferential force (lb)
VL longitudinal force (lb)
 $\sigma\phi$ normal stress in the circumferential direction with respect to the shell (psi)
 σx normal stress in the longitudinal direction with respect to the shell (psi)
 τx shear stress in the x face in the ϕ direction with respect to the shell (psi)
 $\tau\phi$ shear stress in the ϕ face in the x direction with respect to the shell (psi)
 $N\phi, N_x$ membrane force in shell wall in the circumferential and longitudinal direction with respect to the shell
 $M\phi, M_x$ bending moment in shell wall in the circumferential and longitudinal direction with respect to the shell
x coordinate in longitudinal direction of shell
 ϕ coordinate in circumferential direction of shell
 β attachment parameter
 γ shell parameter
Rm mean radius of cylindrical shell (in)

Ro outside radius of cylindrical attachment (in)
T thickness of cylindrical shell (in)
T direction with respect to the shell (psi)
Kn stress concentration factor for membrane load
Kb stress concentration factor for bending load
Ni tegangan membran tiap satuan panjang shell dalam arah i (lb/in)
Mi tegangan bending tiap satuan panjang shell dalam arah i (lb/in)

1. PENDAHULUAN

Jirak Waterflood Project merupakan fungsi kerja yang berada di area kerja PT. Pertamina EP berlokasi di Lapangan Jirak, Field Pendopo. Sebagai tindak lanjut dalam pengembangan struktur Jirak melalui program *infill drilling & work over* maupun program *waterflooding*, maka PT Pertamina EP berencana akan melakukan pembangunan fasilitas pengolahan dan injeksi air terproduksi di lapangan Jirak (*Water Treatment & Injection Plant / WTIP*) dengan tujuan meningkatkan kapasitas dan kualitas serta optimalisasi air injeksi dan minyak. Sejalan dengan penambahan jumlah sumur aktif yang berproduksi menggunakan *artificial lift*, berkembangnya *Fluid Handling Facility* berupa penambahan *Equipment Skimming Tank* untuk separasi minyak tekanan rendah dan FWKO untuk separasi minyak dengan tekanan tinggi.

Berdasarkan UG-22 ASME Sec VIII Div 1, beban yang harus dipertimbangkan untuk merancang bejana tekan meliputi *internal* atau *external design*

pressure, weight of vessel dalam kondisi operasi maupun tes dan attachment seperti nozzle (ASME, 2017) [3]. Perhitungan manual stress analysis in a cylindrical shell sesuai dengan Welding Research Council (WRC) 107 digunakan untuk memverifikasi efek beban nozzle pada shell (G.S. Jagadale, 2015) [4]. Dan untuk membandingkan hasil perhitungan manual dibutuhkan pemodelan dengan menggunakan component analysis software.

Vessel free water knock out (FWKO) didesain dengan design pressure sebesar 100 psig, design temperature sebesar 176 °F, dan capacity 17500 BFPD (Barrel Fluid Per Day). Dan sesuai pada specification process design basis menyatakan bahwa sparing philosophy pada proyek Jirak Waterflood PEP ini vessel free water knock out (FWKO) merupakan main equipment dan harus memakai U-Stamp ASME serta tersertifikasi MIGAS.

2. METODOLOGI

2.1 Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini menjelaskan cara dan analisa desain vessel free water knock out (FWKO) sebagai proses separasi minyak bertekanan tinggi sesuai code dan perancangan line process inlet & outlet vessel yang terhubung pada vessel free water knock out (FWKO).

Stress analysis in a cylindrical shell sesuai dengan WRC 107 berdasarkan beban external akibat percabangan line process inlet nozzle vessel manual dan menggunakan component analysis software.

2.2 Tinjauan Pustaka

2.2.1 Data teknis

Untuk dapat melakukan analisa local stress FWKO vessel akibat beban eksternal nozzle line process piping inlet, dibutuhkan perancangan desain pressure vessel Free Water Knock Out (FWKO) dan line process piping, beberapa data berikut diperlukan sebagai pendukung objek perancangan yang akan dilakukan.

Tabel 1 Data Kondisi Desain

Design Condition	Value	Unit
Design Pressure (Pd)	110	psig
Design Temperature (Td)	176	°F
Operating Pressure (Po)	40.57	psig
Operating Temperature (To)	155.3	°F
Capacity	17500	BFPD
Allow Stress Shell (Sshell)	20000	psi
Allow Stress Head (Shead)	20000	psi
Joint Eff Shell (Eshell)	1	
Joint Eff Head (Ehead)	1	
Corrosion Allow (CA)	0.118	in
Internal Diameter (ID)	8	ft
Length	21 ft 4 in	(T/T)
Depth of Head (H)	24	in
Inside Radius (R)	48	in

Sumber: Data Perusahaan

Tabel 2 Data Fluid Properties

Fluid Properties	Value	Unit
Sp. Gravity	0.846	
Density (ρ)	846	kg/m ³

Fluid Properties	Value	Unit
Liq Level (H)	73	in
Gravity	9.8065	m/s ²

Sumber: Data Perusahaan

Tabel 3 Data Material

Komponen	Material
Shell / Head	SA 516 Gr.70
Nozzle	SA 106 Gr. B / SA 516 Gr. 70
Nozzle Plate	SA 516 Gr.70
Flange	SA 105
Saddle	SA 36
Lifting Lug	SA 36

Sumber: Data Perusahaan

2.2.2 Analisa local stress pada cylindrical vessel akibat beban nozzle

Beban yang harus dipertimbangkan dalam merancang bejana tekan yaitu internal atau external design pressure, weight of vessel dalam kondisi operasi maupun tes, welded component atau attachment seperti nozzle (ASME, 2017) [3]. Untuk memastikan pada sambungan nozzle akibat beban external yang diterima nozzle tidak terjadi tegangan yang berlebih maka perlu dilakukan local stress analysis of a nozzle in cylindrical shell. (G.S. Jagadale, 2015) [4].

Kategori stress pada pressure vessel adalah primary, secondary dan peak stress. Primary stress dibedakan lagi menjadi 3 (tiga) yaitu primary local stress (PL), primary general bending stress (Pb) dan primary general membrane stress (Pm). Primary general stress merupakan tegangan yang terjadi pada seluruh bagian perpotongan pressure vessel yang diakibatkan oleh beban mekanik. Perhitungan primary general membrane stress dapat dilihat pada persamaan 1. Secondary stress (Q) merupakan load and moment akibat thermal expansion (Moss, 2004) [6]. Pada penelitian ini hanya membahas primary dan secondary stress. Komponen tegangan diuraikan dalam komponen tegangan longitudinal (σx) dan tegangan circumferential (σφ). Allowable stress untuk kombinasi tegangan berdasarkan ASME Section VIII Divisi 2 dapat dilihat pada Tabel 4 (ASME, 2010) [2].

$$P_m = \frac{P \times R}{t_s} \quad (1)$$

Tabel 4 Allowable Stress Categories

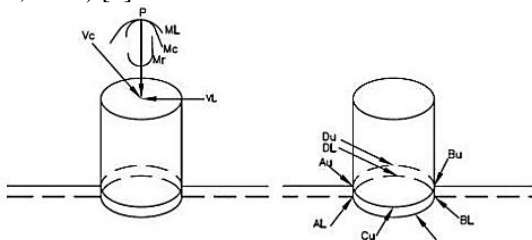
No	Stress Grouping	Allowable Stress
1	Pm	S
2	Pm + PL	1.5 S
3	Pm + PL + Q	3 S

Sumber: (ASME, 2010) [2]

Menurut (Andrade, 2015) [1], metode analisa local stress pada nozzle yang sering digunakan adalah Welding Research Council 107 (WRC 107). WRC 107 merupakan metode empiris yang digunakan untuk mengestimasi tegangan pada spherical dan cylindrical shell yang dibebani oleh attachment atau nozzle. Dan beban nozzle pada pipa terdiri atas 6 (enam) komponen yaitu: (K.R Wichman, 1979) [5]

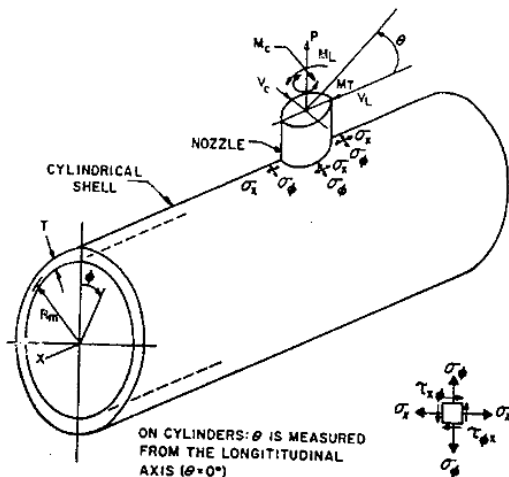
1. Beban radial P ,
2. Momen sirkumferensial MC ,
3. Momen longitudinal ML ,
4. Momen torsi MT ,
5. Gaya geser sirkumferensial VC ,
6. Gaya geser longitudinal VL

Beban *nozzle* pada *cylindrical vessel* ditunjukkan pada Gambar 1 dimana A, B, C dan D merupakan lokasi dimana tegangan *local* pada dinding silinder diprediksi, *subskrip U* merujuk kebagian luar dinding dan *subskrip L* merujuk ke bagian dalam dinding. Titik A dan B terletak pada garis lurus yang sejajar dengan sumbu x dari silinder. Titik C dan D terletak pada garis lurus yang memotong tegak lurus garis A-B (PT Tijara Pratama; COADE Inc; IDCS Asia Pte Ltd, 2004) [7]



Gambar 1 Beban Nozzle pada Cylindrical Vessel
 Sumber: (Andrade, 2015) [1]

Perjanjian arah gaya dan momen menurut referensi *WRC 107* diperlihatkan pada Gambar 2. Sedangkan perjanjian tanda tegangan yang dihasilkan oleh gaya radial dan momen seperti pada Tabel 5.



Gambar 2 Tipe Beban Nozzle pada Cylindrical Shell
 Sumber: (K.R Wichman, 1979) [5]

Tabel 5 Tanda Perjanjian Beban

Tegangan	Lokasi	Beban		
		P	MC	ML
Membran $N\phi/T, Nx/T$	Au, AL	-	-	-
	Bu, BL	-	-	+
	Cu, CL	-	-	-
	Du, DL	-	-	+
Bending, $6Mx/T^2$	Au	-	-	-
	AL	+	+	+
	Bu	-	-	+
	BL	+	+	-

Tegangan	Lokasi	Beban		
		P	MC	ML
Membran	Cu	-	-	-
	CL	+	+	+
	Du	-	+	+
	DL	+	-	-
Bending, $6M\phi/T^2$	Au	-	-	-
	AL	+	+	+
	Bu	-	-	+
	BL	+	-	-
Membran	Cu	-	-	-
	CL	+	+	+
	Du	-	+	+
	DL	+	-	-

Sumber: (K.R Wichman, 1979) [5]

Berdasarkan hasil penelitian *Bijlaard's* didapatkan formula untuk pembacaan kurva nondimensional dengan parameter *shell* (γ) dan parameter *attachment* (β). Formula untuk menghitung *shell parameter* dan *round attachment parameter* dapat dilihat pada persamaan 2 dan 3. (K.R Wichman, 1979) [5]

$$\gamma = \frac{R_m}{T} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{0.875 r_o}{R_m} \quad (3)$$

Perhitungan tegangan akibat *membrane* dan *bending load* menggunakan *stress concentration factor value*. Nilai *stress concentration factor* untuk *membrane load* (K_n) dan untuk *bending load* (K_b) dapat dilihat pada persamaan 4 dan 5 yang didapat dari buku *Pipe Stress Analysis*. (Sam Kannapan, 1968) [8]

$$K_n = 1 + \left[\frac{1}{5.6 \frac{r_o}{2T}} \right]^{0.65} \quad (4)$$

$$K_b = 1 + \left[\frac{1}{9.4 \frac{r_o}{2T}} \right]^{0.8} \quad (5)$$

Perhitungan tegangan pada *WRC 107* mengacu pada persamaan umum yang dapat dilihat pada persamaan 6.

$$\sigma_i = K_n \frac{N_i}{T} \pm K_b \frac{6M_i}{T^2} \quad (6)$$

Gaya membran dan momen *bending* tak berdimensi masing-masing beban dapat dilihat pada grafik *WRC 107*. Terdapat 16 (enam belas) grafik pada *WRC 107* untuk *cylindrical shell*. Berdasarkan pembacaan grafik *WRC 107* akan didapatkan nilai persamaan gaya *membrane* dan *bending moment* seperti Tabel 6.

Tabel 6 Gaya Membran dan Momen Bending pada Cylindrical Shell

No	Longitudinal		Circumferential	
	From Figure-	Read Curve for	From Figure-	Read Curve for
1	3C or 4C	$\frac{Nx}{P/R_m}$	3C or 4C	$\frac{N\phi}{P/R_m}$
2	1C-1 or 2C	$\frac{Mx}{P}$	1C or 2C-1	$\frac{M\phi}{P}$

No	Longitudinal		Circumferential	
	From Figure-	Read Curve for	From Figure-	Read Curve for
3	2A	$\frac{Mx}{Mc/R_m^2\beta}$	1A	$\frac{M\phi}{Mc/R_m^2\beta}$
4	4A	$\frac{Nx}{Mc/R_m\beta}$	3A	$\frac{N\phi}{Mc/R_m\beta}$
5	4B	$\frac{ML/R_m^2\beta}{Mx}$	3B	$\frac{ML/R_m^2\beta}{M\phi}$
6	2B or 2B-1	$\frac{ML/R_m\beta}{Mx}$	1B or 1B-1	$\frac{ML/R_m\beta}{M\phi}$

Sumber: (K.R Wichman, 1979) [5]

Tegangan geser akibat momen torsi (MT) dihitung sesuai persamaan 7. Sedangkan tegangan geser *round attachment* akibat Vc dan VL berdasarkan persamaan 8 dan 9.

$$\tau\phi x = \tau x\phi = \frac{M_T}{2\pi r_o^2 T} \quad (7)$$

$$\tau x\phi = \frac{V_L}{\pi r_o T} \cos \theta \quad (8)$$

$$\tau\phi x = \frac{V_C}{\pi r_o T} \sin \theta \quad (9)$$

Perhitungan *combined stress intensity* (S) berdasarkan WRC 107 dapat dilihat pada persamaan 10 dan 11 dengan ketentuan berikut ini.

1. Jika $\tau \neq 0$

$$S = \frac{1}{2} \left[\sigma x + \sigma\phi \pm \sqrt{(\sigma x - \sigma\phi)^2 + 4\tau^2} \right] \text{ or } \sqrt{(\sigma x - \sigma\phi)^2 + 4\tau^2} \quad (10)$$

2. Jika $\tau = 0$

$$S = \sigma x, \sigma\phi \text{ or } (\sigma x - \sigma\phi) \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 External Load Nozzle Feed Inlet

External Load atau beban eksternal yang diterima *nozzle* berasal dari beban *line process inlet separator*. Beban tersebut didapatkan dari pemodelan sistem perpipaan pada *software CAESAR II*. Pada *software CAESAR II*, *nozzle line process inlet separator* dimodelkan sebagai *flexible anchor* sehingga didapatkan nilai beban yang diterima *nozzle* akibat beban sustain dan ekspansi sistem perpipaan.

Hasil beban yang diterima *nozzle* tersebut adalah sebagai berikut tertera pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Beban *Nozzle Feed Inlet*

Beban Nozzle	Nilai WRC 107					
	P	VL	Vc	Mc	ML	MT
	(lb) FY	(lb) FZ	(lb) FX	(lb.in) MZ	(lb.in) MX	(lb.in) MY
Sustain	-316	7	0	-21.4	5.2	29
Ekspansi	75	119	0	-336.5	-622	542.7

Sumber: Report CAESAR II

3.2 Nondimensional Curve WRC 107

Pembacaan *Nondimensional curve WRC 107* berdasarkan nilai γ dan β menggunakan kurva tak berdimensi pada Persamaan 2 dan 3, dan Gaya Membran dan Momen *Bending* pada *Cylindrical Shell* pada Tabel 6.

Parameter pembacaan *Nondimensional curve WRC 107 nozzle feed inlet* tertera pada Tabel 8.

Tabel 8 Parameter Data *Nozzle Feed Inlet*

Parameter	Value	Unit
Outside Diameter Shell	OD	96.945 in
Inside Diameter Shell	ID	96 in
Thickness Shell	T	0.472 in
Mean Radius Shell	Rm	48.236 in
Outside Diameter Nozzle	od	10.75 in
Inside Diameter Nozzle	id	9.562 in
Thickness Nozzle	tn	0.594 in
Outside Radius Nozzle	ro	5.375 in

Sumber: Data Penulis

Hasil pembacaan *Nondimensional curve WRC 107 nozzle feed inlet* tertera pada Tabel 9.

Tabel 9 Pembacaan *Nondimensional curve WRC 107 Nozzle Inlet*

Circumferential Stress Cylindrical Shell Curve					
Curves read for 1979	r	β	Figure	Value	Location
N(PHI) / (P/Rm)	102.	0.09	4C	22.2	A, B
	10	75		0	
N(PHI) / (P/Rm)	102.	0.09	3C	13.0	C, D
	10	75		0	
M(PHI) / P	102.	0.09	2C-1	0.06	A,B
	10	75		0.09	
M(PHI) / P	102.	0.09	1C	1	C, D
N(PHI) / (MC/Rm^2* β)	102.	0.09	3A	3.80	A, B,
	10	75		0.08	C, D
M(PHI) / (MC/Rm* β)	102.	0.09	1A	6	A, B,
	10	75		11.2	C, D
N(PHI) / (ML/Rm^2* β)	102.	0.09	3B	0	A, B,
	10	75		0.03	C, D
M(PHI) / (ML/Rm* β)	102.	0.09	1B-1	5	A, B,
	10	75		0.03	C, D

Longitudinal Stress Cylindrical Shell Curve					
Curves read for 1979	r	β	Figure	Value	Location
N(PHI) / (P/Rm)	102.	0.09	3C	13.0	A, B
	10	75		0	
N(PHI) / (P/Rm)	102.	0.09	4C	22.2	C, D
	10	75		0	
M(PHI) / P	102.	0.09	1C-1	0.09	A,B
	10	75		0.05	
M(PHI) / P	102.	0.09	2C	8	C, D
N(PHI) / (MC/Rm^2* β)	102.	0.09	4A	6.20	A, B,
	10	75		0.04	C, D
M(PHI) / (MC/Rm* β)	102.	0.09	2A	5	A, B,
	10	75		3.90	C, D
N(PHI) / (ML/Rm^2* β)	102.	0.09	4B	3.90	A, B,
	10	75		0.05	C, D
M(PHI) / (ML/Rm* β)	102.	0.09	2B-1	0.05	A, B,
	10	75		0.05	C, D

Sumber: Data Penulis

3.3 Stress Concentration Factor

Perhitungan *stress concentration factor* for *membrane load* dan *bending load* menggunakan Persamaan 4 dan 5.

Hasil perhitungan *stress concentration factor* untuk *nozzle feed inlet* tertera pada Tabel 10.

Tabel 10 Hasil Perhitungan *Stress Concentration Factor Nozzle Inlet*

Hasil Perhitungan	Value	Unit	Note
Stress Concentration Factor for Membran Load	Kn 1.105	-	Equation 4
Stress Concentration Factor for Bending Load	Kb 1.041	-	Equation 5

Sumber: Data Penulis

3.4 Local Stress Calculation

Perhitungan *local stress shell* ada 3 yaitu *Circumferential Stress*, *Longitudinal Stress*, dan *Shear Stress*. Pada *Circumferential* dan *Longitudinal Stress* diakibatkan 3 beban yaitu *Beban Radial (P)*, *Circumferential Moment (MC)*, dan *Longitudinal Moment (ML)*. Sedangkan pada *Shear Stress* diakibatkan 3 beban pula yaitu *Moment Torsi (MT)*, *Longitudinal Force (VL)*, dan *Circumferential Force (VC)*. Pada perhitungan ini terdapat 8 macam posisi tegangan lokal pada dinding silinder yang telah dijelaskan pada Gambar 1.

Perhitungan *local stress* menggunakan hasil beban pada masing – masing *nozzle*, pembacaan kurva *Nondimensional WRC 107*, dan perhitungan *stress concentration factor*, serta Tabel perjanjian beban.

3.4.1 Local stress categories

Tabel 11 berikut menjelaskan seluruh posisi *local stress nozzle feed inlet* untuk *local stress categories*.

Tabel 11 Perhitungan *Local Stress Categories Nozzle Inlet*

Type of Stress	Stress Value At (psi)							
	Au	Al	Bu	Bl	Cu	Cl	Du	Dl
Circ. Pm (SUS)	126	127	126	127	126	127	126	127
Circ. PL (SUS)	.68	.68	.88	.88	.10	.10	.42	.42
Circ. Q (SUS)	.71	.71	.88	.88	.00	.00	.09	.09
Circ. Q (EXP)	5.3	12.	408	.95	52.	15.	423	.85
Long. Pm (SUS)	633	639	633	639	633	639	633	639
Long. PL (SUS)	.05	.05	.47	.47	.65	.65	.92	.92
Long. Q (SUS)	.65	.65	.74	.74	.84	.84	.37	.37
Long. Q (EXP)	26.	18.	446	.78	90.	27.	314	.63

Type of Stress	Stress Value At (psi)							
	Au	Al	Bu	Bl	Cu	Cl	Du	Dl
Shear . Pm (SUS)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Shear . PL (SUS)	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
Shear . Q (SUS)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Shear . Q (EXP)	21.	21.	21.	21.	21.	21.	21.	21.
Pm (SUS)	126	127	126	127	126	127	126	127
Pm+ PL (SUS)	130	131	130	131	128	129	128	129
Pm+ PL+ Q (SUS)	135	125	131	127	136	121	132	125
Q (SUS)	618	669	109	179	715	026	225	407

Sumber: Data Penulis

3.4.2 Local stress summary

Tabel 12 berikut menjelaskan seluruh posisi *local stress nozzle feed inlet* untuk *local stress summary*.

Tabel 12 Perhitungan *Local Stress Summary Nozzle Inlet*

Stress Grouping	Max (psi)	Allowable Stress (psi)	Result
Pm (SUS)	12794.220	20000	Passed
Pm+ PL (SUS)	13135.109	30000	Passed
Pm+ PL+ Q	13632.715	60000	Passed

Sumber: Data Penulis

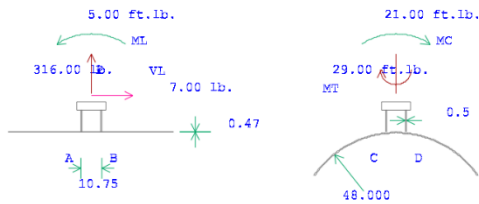
Dapat diambil kesimpulan pada *nozzle feed inlet NI-10"* pada *stress maximum* seluruh posisi ini untuk semua *grouping stress* dinyatakan aman atau tidak melebihi masing - masing *allowable stress material* nya.

3.5 Validation Local Stress Calculation

Validasi analisa *local stress* pada *cylindrical vessel* akibat beban *nozzle line process inlet separator* dilakukan menggunakan *component analysis* pada *software "CAESAR 2018"*. Validasi dengan *software* ini dilakukan untuk mendapatkan hasil yang sesuai *software* atau pengecekan hasil analisa *local stress cylindrical vessel*.

Validasi analisa ini menggunakan semua data analisa pada sub bab 3.4 yang hasil *drawing component analysis* tertera pada Gambar 3.

```
WRC 107 Analysis : WRC107 NI
WRC 107 Version : MARCH, 1979
Pressure (psi) : 124.700 lb./sq.in
Vessel Corr. Allow. : 0.1180
Nozzle Corr. Allow. : 0.1180
Load Input: Sustained Loads
```



Dimension Units : in.

Gambar 3 Validation Local Stress Calculation Nozzle Inlet
Sumber: Report CAESAR II

- [5] K.R. Wichman, A. (1979). *Local Stress in Spherical and Cylindrical Shell due to External Loading*. New York: United Engineer Center.
- [6] Moss, D. (2004). *Pressure Vessel Design Manual*. New York: Gulf Professional Publishing.
- [7] PT Tijara Pratama; COADE Inc; IDCS Asia Pte Ltd. (2004). *Pelatihan Dasar Analisa Tegangan Pipa*. Jakarta: PT Tijara Pratama.
- [8] Sam Kannapan, P. E. (1968). *Introduction to Pipe Stress Analysis*. Canada: A Wiley Interscience Publication.

4. KESIMPULAN

Perhitungan manual tegangan *cylindrical shell vessel* pada 8 *type connection nozzle* akibat *external load* sesuai WRC 107 didapatkan hasil *stress grouping nozzle feed inlet* dibawah batas aman masing – masing *allowable stress materialnya*. Dengan *stress* maksimal yang terjadi untuk *stress grouping 1 (Pm) Primary membrane stress* sebesar 12794.220 *psi* dengan batas aman sebesar 20000 *psi*, untuk *stress grouping 2 (Pm+PL) Primary local stress* sebesar 13135.109 *psi* dengan batas aman sebesar 30000 *psi*, dan untuk *stress grouping 3 (Pm+PL+Q) Secondary stress* sebesar 13632.715 *psi* dengan batas aman sebesar 60000 *psi*. Lalu validasi perhitungan manual menggunakan *component analysis software CAESAR II* yang didapatkan hasil kalkulasi dibawah batas aman yang termasuk kriteria aman.

5. PUSTAKA

- [1] Andrade, T. L. (2015). Analysis of Stress in Nozzle/ Shell of Cylindrical Pressure Vessel Under Internal Pressure and External Load in Nozzle. *JERA ISSN: 2248-9622*, 84-91.
- [2] ASME. (2010). *Rules for Construction of Prssure Vessel ASME Section VIII Divisi 2*. New York: The American Society of Mechanical Engineers.
- [3] ASME. (2017). *Rules for Construction of Pressure Vessel ASME Section VIII Divisi 1*. New York: American Society of Mechanical Engineering.
- [4] G.S. Jagadale, M. R. (2015). Nozzle Load Stress Analysis using WRC 107 and WRC 297. *International Engineering Research Journal ISSN 2395-1621*, 1191-1194.