

PENGARUH PROFIL *THREAD RELIEF* PADA TERHADAP FAKTOR KONSENTRASI TEGANGAN PADA CONNECTOR UNTUK PENGANGKATAN TUBING

Donny Indarto¹, Mahfudz Al Huda²

^{1,2}Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Pancasila
Jl Borobudur No. 7 – Jakarta Pusat, 10320
Telp. (62-21) 31926047
dony_pi@yahoo.com

Abstrak

Connector berulir pada tubing hanger running tool assembly digunakan untuk mengangkat dan memasang tubing hanger dan rangkaian pipa tubing pada sumur migas. Investigasi kegagalan patah pada Connector saat proses pengangkatan dan pemasangan tubing di lapangan, mendapati bahwa zona dengan konsentrasi tegangan tinggi merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap kegagalan patah. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa besarnya tegangan dan konsentrasi tegangan profil thread relief radius dan profil thread relief non-radius/sudut pada Connector. Selain itu profil thread relief Connector yang memiliki konsentrasi tegangan lebih rendah dapat ditentukan, sehingga dapat mengurangi terjadinya resiko kegagalan. Percobaan dilakukan dengan menganalisa profil thread relief sudut 60° terhadap vertikal, maupun profil thread relief radius 0,762 mm. Analisis dilakukan menggunakan metode elemen hingga (FEM) sehingga diperoleh faktor konsentrasi tegangan pada tiap profil. Uji tarik pada representasi tiap profil juga dilakukan pada spesimen. Penggunaan strain gage dengan presisi merekam nilai regangan aktual pada profil thread relief yang dikonversi menjadi mechanical properties. Mechanical properties tersebut kemudian dijadikan acuan untuk melakukan analisis elemen hingga sehingga diperoleh faktor konsentrasi tegangan pada tiap profil. Kedua hasil analisis dibandingkan dan dari keduanya didapatkan pola atau trend yang sama, yaitu profil thread relief sudut memiliki faktor konsentrasi tegangan yang lebih rendah.

Kata Kunci: Connector, faktor konsentrasi tegangan, thread relief, FEA, strain gage

I Pendahuluan

Tubing hanger [1] adalah peralatan yang berfungsi untuk menggantung pipa tubing dengan sambungan ulir. Sedangkan *Connector* atau biasa disebut *inner sub* berfungsi sebagai alat untuk mengangkat dan memasang *tubing hanger* pada sumur. Pada saat pengangkatan *Connector* harus menanggung beban *tubing hanger* dan seluruh pipa tubing yang tergantung padanya. Kegagalan *Connector* dapat menyebabkan kebocoran dan kecelakaan fatal di lokasi pengeboran minyak/gas baik yang berlokasi di darat (*onshore*) maupun yang berada di tengah laut (*offshore*). Kegagalan peralatan yang sering terjadi adalah disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya proses instalasi yang tidak sesuai prosedur, desain yang kurang sempurna, proses inspeksi yang tidak dijalankan dengan semestinya dan beberapa sebab lainnya.

Connector yang diproduksi oleh sebuah perusahaan produksi *Wellhead* dan *Xmas Tree* mengalami kegagalan patah pada saat pengangkatan *tubing hanger* di lapangan. Tegangan dalam proses pengangkatan ditimbulkan oleh beban rangkaian tubing dan *tubing hanger*. Lokasi patahan terjadi pada profil perubahan bentuk geometri *Connector* yang berpotensi menaikkan konsentrasi tegangan. Beberapa

penelitian [11] menyebutkan bahwa faktor konsentrasi tegangan tergantung pada geometri benda, terutama pada dimensi radius *fillet*. Secara umum, semakin kecil radiusnya semakin besar tegangannya.



Gambar 1: Kegagalan pada *Connector*

Identifikasi masalah dengan beberapa departemen terkait mengarah kepada profil *thread relief* di

Connector adalah faktor yang berpengaruh terhadap kegagalan *Connector* pada saat proses pemasangan. Desain profil dengan perubahan geometri dapat didesain ulang, sehingga didapatkan profil optimum yang dapat mengurangi terjadinya kegagalan patah.

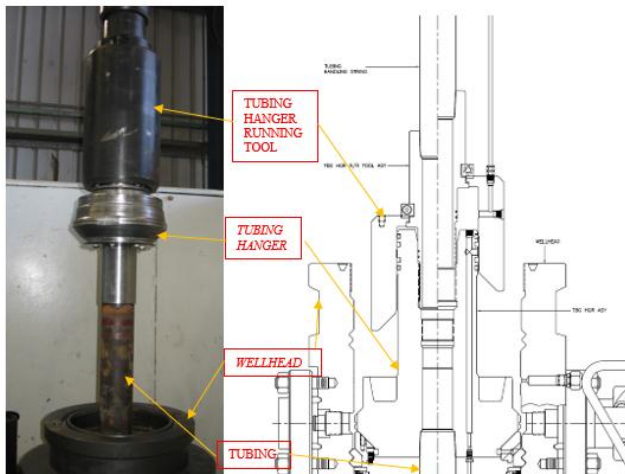
Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis besarnya tegangan dan konsentrasi tegangan profil *thread relief* radius dan profil *thread relief* non-radius/sudut pada *Connector*.
2. Menganalisis besarnya tegangan dan konsentrasi tegangan profil *thread relief* radius dan profil *thread relief* non-radius/sudut pada spesimen.
3. Membandingkan nilai faktor konsentrasi tegangan profil *thread relief* radius dan profil *thread relief* non-radius/sudut, sehingga dapat ditentukan profil *thread relief* dengan faktor konsentrasi tegangan yang lebih rendah, untuk mengurangi resiko kegagalan patah.

II Landasan Teori

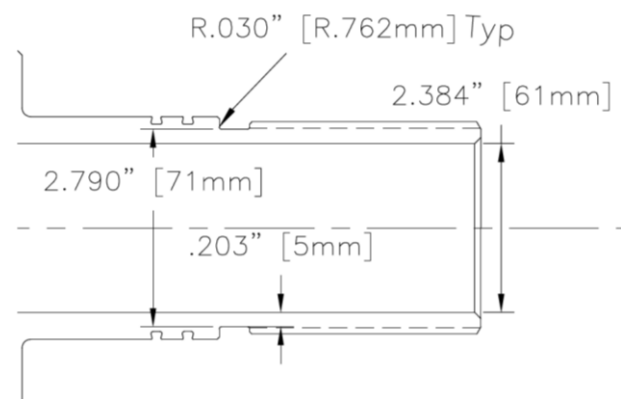
2.1. *Connector*

Tubing hanger running tool harus mengangkat beban *tubing hanger* dan juga beban seluruh rangkaian tubing dari atas *wellhead* sampai ke kedalaman dimana reservoir migas berada. Kedalaman sebuah reservoir bervariasi, namun maximum standar yang ada sedalam kurang lebih 3,05 km.



Gambar 2: Memasang *Tubing Hanger* di *Wellhead*

Komponen utama *Tubing hanger running tool* adalah *Connector*. Geometri dan profil *Connector* sangat mempengaruhi kekuatannya. Salah satu profil pada *Connector* adalah *thread relief*. *Thread relief* diperlukan dalam proses pemrosesan bubut ulir (*thread*), sebagai tempat keluarnya tool setelah melakukan pemotongan ulir. Pada area inilah terdapat bagian dengan area potong melintang minimum (paling tipis) pada *Connector*. Bagian tertipis ini jugalah yang menjadi bagian terlemah dari *Connector*.



Gambar 3a Geometri profil *thread relief* dengan radius 0,762 mm

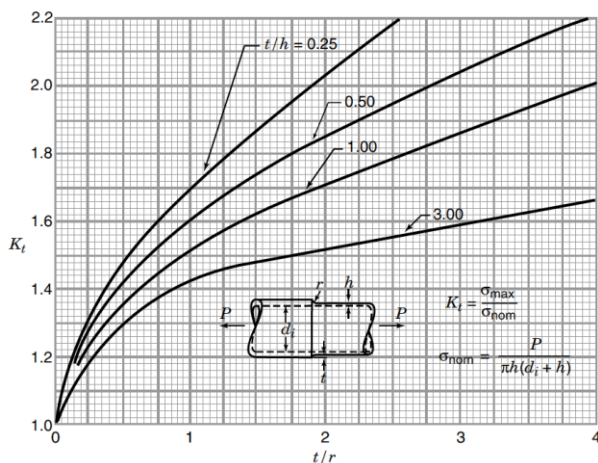
Karmiadji [2], menyebutkan setiap perubahan bentuk pada komponen mekanis, terutama perubahan bentuk yang terjadi pada penampang komponen tersebut menimbulkan perubahan dari distribusi tegangan sederhana pada batang prisma menjadi tegangan-tegangan yang berbeda pada titik-titik perubahan penampang. Distribusi tegangan yang tidak merata disebabkan oleh perubahan bentuk ini dinamakan konsentrasi tegangan. Kondisi ini terjadi pada semua jenis tegangan akibat proses manufaktur seperti bentuk-bentuk komponen yang tidak beraturan seperti adanya *fillet*, takikan dan cekungan.

Palmiyanto [4], menyebutkan bahwa salah satu penyebab kegagalan pada komponen hasil permesinan adalah adanya bagian yang mengalami nilai konsentrasi tegangan yang tinggi karena perubahan bentuk geometri. Konsentrasi tegangan memainkan peranan vital pada gagalnya part hasil permesinan. Konsentrasi tegangan ini harus didesain dengan optimal untuk mencegah kegagalan.

Mauk [10], menemukan bahwa Peterson memiliki lebih sedikit deviasi dibandingkan literatur lainnya dalam korelasi penentuan faktor konsentrasi tegangan menggunakan metode elemen hingga (*FEA*).

Dupen [11], menyebutkan bahwa faktor konsentrasi tegangan tergantung pada geometri benda, terutama pada dimensi radius *fillet*. Secara umum, semakin kecil radiusnya semakin besar tegangannya.

Berdasarkan profil *thread relief* pada *Connector* maka sesuai dengan Peterson [3] dipilihlah grafik yang spesifik untuk *shoulder fillet* pada *bar* dengan area bundar dengan lubang aksial sebagaimana pada Gambar berikut.



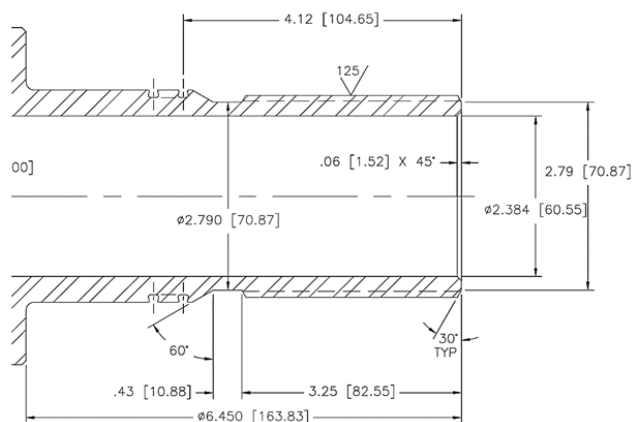
Gambar 3b Faktor konsentrasi tegangan K_t , pada pipa dengan *fillet* pada beban Tarik (Sumber: Pilkey, 2008)

2.2 Desain profil baru

Sengupta, menyebutkan pendekatan desain yang lebih baik adalah untuk berusaha mengurangi efek konsentrasi tegangan pada area dengan tegangan kritis. Lebih jauh lagi, Chakraborty, memberikan beberapa metode untuk mengurangi konsentrasi tegangan, di antaranya:

1. Menyediakan radius *fillet* sehingga potongan melintang dapat berubah secara bertahap.
2. Gunakan juga *fillet* bentuk elips jika diperlukan
3. Jika penonjolan diperlukan pada suatu desain, maka penonjolan yang sempit lebih disukai daripada penonjolan yang lebar.

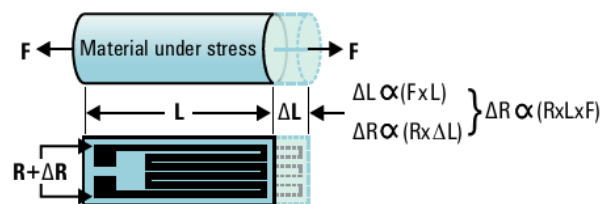
Dengan maksud untuk menjaga panjang *Connector* tetap sama sebagaimana yang ada, sehingga tidak merubah biaya *raw material*, maka desain profil *thread relief* yang baru adalah dengan mengganti profil radius sebesar 0,762 mm dengan sudut 60° terhadap vertikal, sesuai gambar 4.



Gambar 4 Profil thread relief dengan sudut 60°

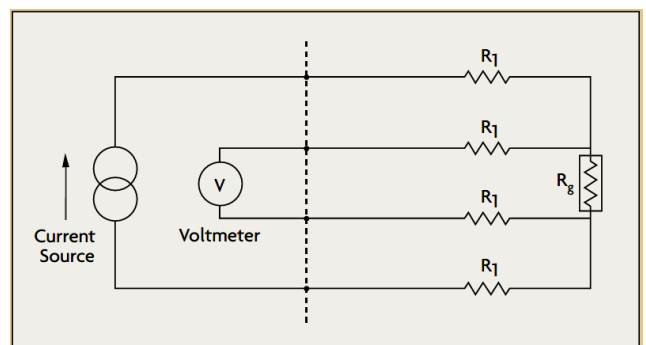
2.3 Prinsip Kerja Strain Gauge

Strain gauge direkatkan erat pada objek yang akan diukur sehingga elemen sensor (foil logam resistif) dapat memanjang atau berkontraksi sesuai regangan yang dialami oleh objek yang diukur. Ketika mengalami perpanjangan mekanis atau kontraksi, sebagian besar logam mengalami perubahan dalam tahanan listrik. *Strain gauge* menerapkan prinsip ini untuk mengukur regangan melalui perubahan resistansi.



Gambar 5 Tegangan (F) regangan (ΔL) dan respon *strain gauge* (ΔR) (Sumber: Agilent, 2009)

Jembatan *Wheatstone* merupakan salah satu metode paling populer untuk mengukur hambatan listrik, namun metode lain juga bisa digunakan. Sirkuit ohm empat-kawat membatalkan kontak dan resistansi kontak, sehingga menghasilkan akurasi dan resolusi pengukuran yang tinggi saat mengukur nilai resistansi yang sangat kecil. Sirkuit ohm empat-kawat sangat ideal untuk mengukur perubahan inkremental resistensi kecil pada sensor keluaran-resistensi. Keuntungan utama dari sirkuit ohm empat-kawat adalah kabel timah tidak mempengaruhi pengukuran karena tegangan dideteksi langsung di seluruh elemen *strain gauge*. Instalasi sirkuit ohm empat-kawat terdiri dari voltmeter, arus sumber, dan empat resistor utama, R_1 , di seri dengan resistor pengukur, R_g . Perbedaan resistensi *gauge* terukur dibagi dengan resistensi tanpa tegangan memberikan nilai yang kecil dari regangan. Nilai ini digunakan bersama dengan faktor pengukur (K_s) untuk menghitung regangan.



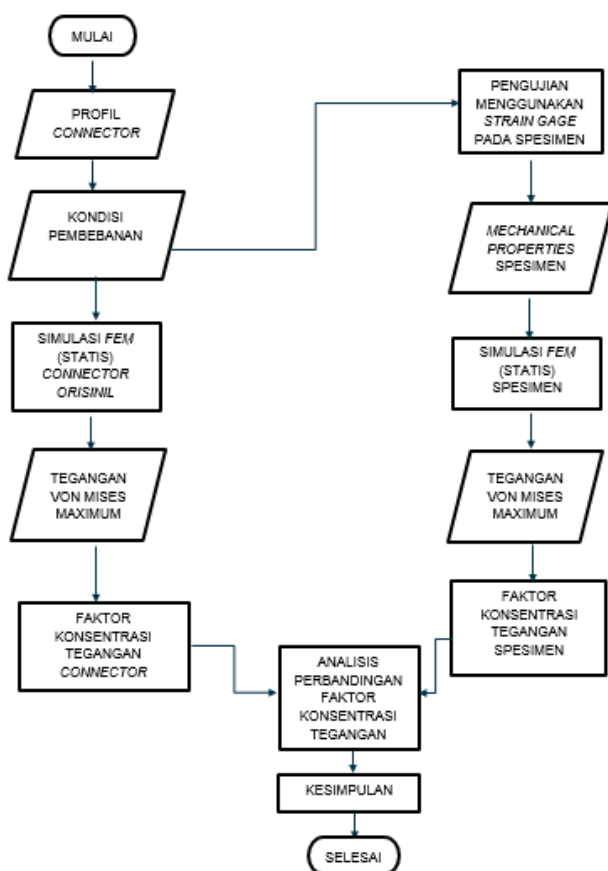
Gambar 6 Skematik sirkuit ohm empat-kawat

(Sumber: Omega: 1998)

III Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan perbandingan tegangan dan faktor konsentrasi tegangan antara dua kondisi,

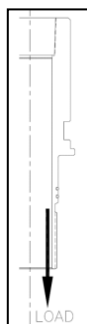
1. kondisi pertama adalah kondisi connector orisinil
2. kondisi kedua adalah kondisi spesimen yang merepresentasikan kedua profil sudut maupun radius. Dikarenakan oleh keterbatasan ketersediaan material, jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian hanya 1 sampel saja.



Gambar 7 Diagram alir penelitian

3.1 Skenario Pembebanan

Pembebanan terbesar terjadi pada saat pengangkatan *Tubing hanger*, beban aksial *tubing hanger* dan rangkaian tubing di gantung oleh *Connector*



Gambar 8 Diagram benda bebas pembebanan Connector

3.3 Analisis Elemen Hingga

Analisis metode elemen hingga dengan menggunakan software *Solidworks Simulation*.

Berdasarkan data *Millcert* untuk material yang digunakan adalah *AISI 4140 Alloy Steel*.

Tabel 1 Spesifikasi raw material
(Sumber: *Mill Cert QA PT XXX*)

Data Mekanikal		Nilai	Satuan
Hardness	QTC	311	HBW
	Product	311	HBW
Yield Strength		861,8	N/mm ²
Tensile Strength		972,16	N/mm ²
Elongation		22	%
ROA		65	%
Charpy Impact Test	Direction	Long	
	Temp.	-60	°C
	Impact value	54	J
		55	J
		51	J

3.4 Pengujian

Pengujian yang mengaplikasikan pembebanan statis pada suatu benda uji untuk mengetahui karakteristiknya. Pembebanan statis yang diberikan berupa beban tarik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan standar ASTM E8 sebagai acuan,

walaupun tidak 100 % memenuhi persyaratan dari standar tersebut, baik dalam persyaratan bentuk dan jumlah spesimen, proses dan persyaratan-persyaratan lainnya.

Pengujian dilakukan pada spesimen model Connector yang memiliki kedua-dua profil *thread relief* (*chamfer* maupun *radius*). Tujuan pengujian adalah untuk memperoleh nilai regangan untuk tiap-tiap profil *thread relief*, baik dengan sudut 60° terhadap vertikal maupun dengan radius 0,762 mm.



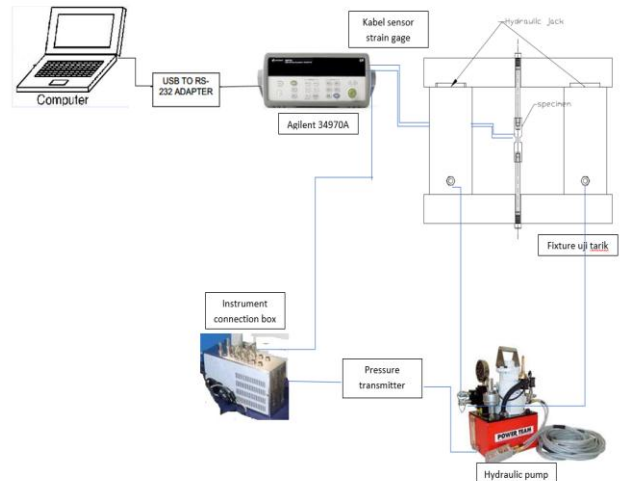
Gambar 9 Spesimen uji Tarik

Percobaan dilakukan pada laboratorium pengujian RND KOP Surface Products. Pengujian tarik dilakukan menggunakan 2 buah *Hydraulic cylinder Enerpac RC-506* yang dipompa dengan pompa hidrolik PowerTeam. Dengan pengaturan uji tarik ini piston Enerpac akan mendorong plat atas sementara plat bawah tertahan oleh piston dan menghasilkan beban tarik pada spesimen.



Gambar 10 Alat uji tarik

Dengan dimensi spesimen yang tersedia, maka pengujian hanya dilakukan pada area elastis dari material spesimen dengan memberikan beban maksimal sampai sebesar 10 ton (10.000 kg). Pengujian dengan jumlah *strain gauge* 5 buah namun yang diambil datanya hanya 2 buah *strain gauge*. Channel B bertugas mengukur hambatan yang akan di konversi menjadi regangan pada profil sudut 60° dan channel E bertugas mengukur hambatan yang akan di konversi regangan pada profil radius 0,762 mm.



Gambar 11 Diagram skematik sistem DAQ uji tarik dengan *strain gauge*

IV Analisis Hasil Pengolahan Data

4.1 Berat tubing

Tubing yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Jenis ulir : New VAM RS
- Diameter nominal : 73,02 mm
- Unit berat (p) : 9,52 kg/m
- Kedalaman tubing (d) : 3.048 m

Sehingga berat rangkaian tubing:

$$\begin{aligned} W_{\text{tubing}} &= p \times d \quad (1) \\ &= 9,52 \times 3.048 \\ &= 29.017 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat *Tubing Hanger* $W_{\text{th}} = 12,5 \text{ kg}$

Berat keseluruhan beban:

$$\begin{aligned} W_{\text{T}} &= W_{\text{tubing}} + W_{\text{th}} \quad (2) \\ &= 29.017 + 12,5 \\ &= 29.029,5 \text{ kg} \approx 284.807 \text{ N} \end{aligned}$$

Tegangan nominal:

$$\begin{aligned} \text{Beban} \quad W_{\text{T}} &= 29.048,5 \text{ kg} \\ \text{Diameter dalam} \quad i_d &= 60,808 \text{ mm} \\ \text{Ketebalan} \quad h &= (o_d - i_d) / 2 \\ &= (70,612 - 60,808) / 2 \end{aligned}$$

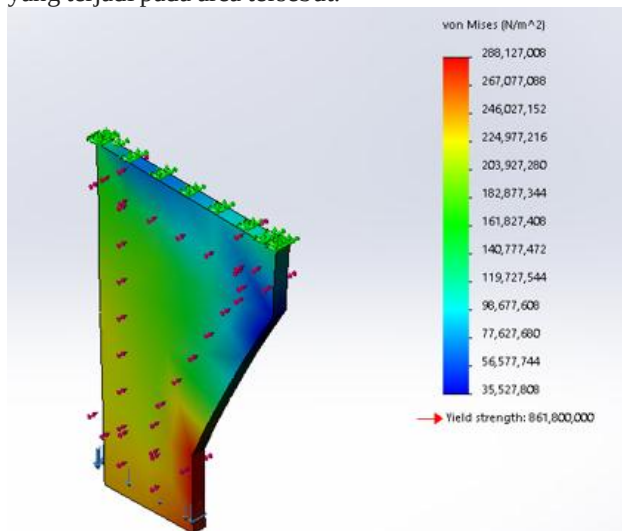
$$= 4,902 \text{ mm}$$

Sehingga secara matematis tegangan nominal dapat dinyatakan sebagai:

$$\begin{aligned}\sigma_{\text{nom}} &= P/(\pi \cdot h(d_i+h)) \dots \dots \dots (3) \\ &= 29.048,5/(\pi \cdot 4,902 (60,80 + 4,902)) \\ &= 28,71 \text{ kgf/mm}^2 \\ &= 281.54.921,5 \text{ N/m}^2\end{aligned}$$

4.2 Simulasi pada Connector

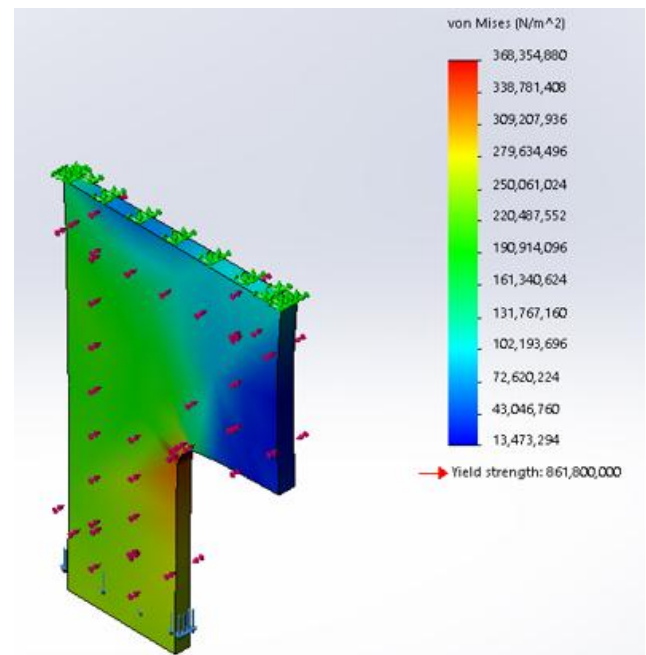
Distribusi tegangan Von Mises, tegangan tarik maksimum pada model *thread relief Connector*, dimana semakin merah maka semakin besar tegangan yang terjadi pada area tersebut.



Gambar 12 Hasil proses *solving* pada tahap *post-processor* pada profil *thread relief* dengan sudut 60° (*chamfer*)

Pada profil *thread relief* dengan sudut (*chamfer*) diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 288.127.008 N/m². Maka nilai konsentrasi tegangan untuk profil *thread relief* sudut, dapat dihitung sebesar:

$$K_t = \sigma_{\text{maks}} / \sigma_{\text{nominal}} = 288.127.008 / 281.548.921,5 = 1,023$$



Gambar 13 Hasil proses *solving* pada tahap *post-processor* pada profil *thread relief radius*

Pada profil *thread relief radius* diperoleh tegangan tarik maksimum 368.354.880 N/m². Sehingga nilai konsentrasi tegangan dapat dihitung sebesar:

$$K_t = \sigma_{\text{maks}} / \sigma_{\text{nominal}} = 368.354.880 / 281.548.921,5 = 1.308$$

4.4 Percobaan

Standar dan spesifikasi *strain gauge* yang dipakai dalam pengujian menggunakan Kyowa.

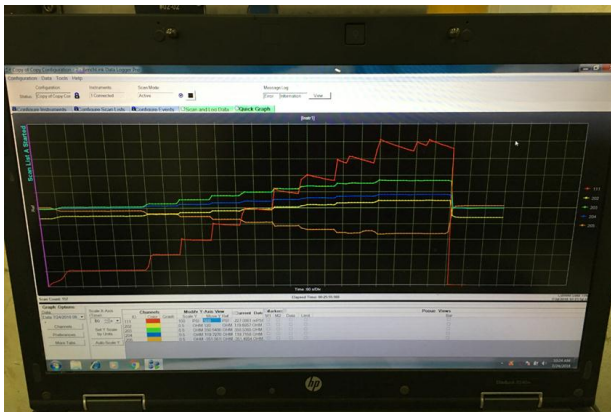
Tabel 2 Spesifikasi *Strain Gauge*

Merk	TML
Tipe	FLA-5-11
Gauge length	5 mm
Gauge Resistance	120 ± 0.3 Ω
Gauge Factor	2,13 ± 1 %
Operating Temperature	-20 to 80 °C
Compensation Range	+10 to +80 °C
Materials Backing	Epoxy
Materials Element	Cu-Ni alloy foil
Strain limit	3% (30000 × 10 ⁻⁶)
Fatigue life at room temperature	1 × 10 ⁶ (±1500 × 10 ⁻⁶)



Gambar 14 lokasi penempelan *strain gauge* dan penomoran *channel*-nya.

Dari data hasil pengujian tarik didapatkan grafik hubungan antara beban tarik yang diwakili oleh tekanan *hydraulic cylinder* P (garis merah) terhadap harga regangan ϵ di sejumlah titik pada spesimen yang telah dipasang *strain gauge* (garis hijau, dan biru).



Grafik 2 Hasil pengukuran beban tarik vs regangan

Pada beban *cylinder* maksimal (P_{max}) sebesar 10-ton (98.066,5 N) didapatkan hasil pengukuran regangan sebagai berikut:

Tabel 3 Data Pengukuran *strain gauge*

<i>Strain gauge</i>	ϵ Regangan
B	0,001073
E	0,002582
Total	0,003655

Berdasarkan tabel 3, *channel data acquisition* hasil pengukuran memiliki nilai regangan dengan rentang yang kecil. Ini menunjukkan karakteristik dari pengujian statis. Hubungan tegangan – regangan hukum Hooke digunakan untuk menghitung besar nilai tegangan, dimana:

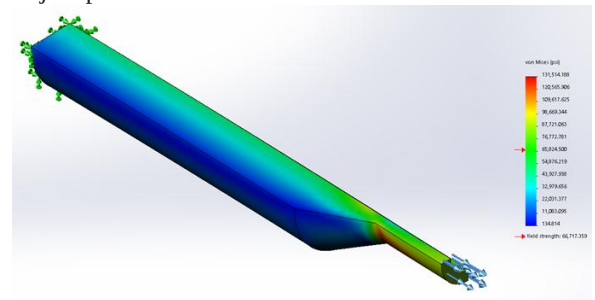
E = modulus elastisitas bahan = 200.000 MPa.

$$\sigma = E\epsilon \quad (6)$$

Sehingga didapatkan nilai *tensile strength* sebesar 731 MPa. Nilai inilah yang akan dijadikan acuan dalam perhitungan tegangan untuk simulasi spesimen menggunakan metode elemen hingga.

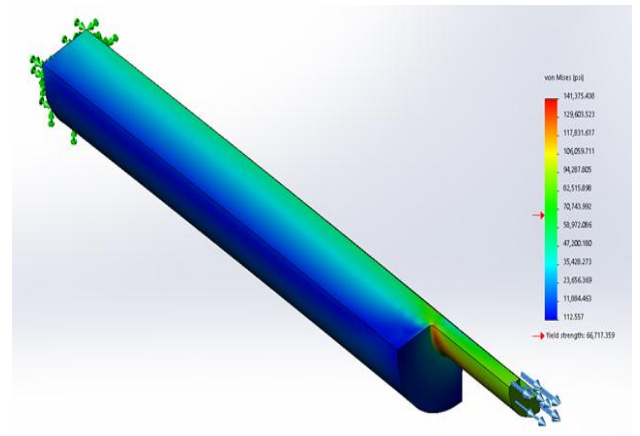
4.5 Analisa Elemen Hingga Spesimen

Distribusi tegangan Von Mises, tegangan tarik maksimum pada model profil spesimen, dimana semakin merah maka semakin besar tegangan yang terjadi pada area tersebut.



Gambar 15: Hasil proses solving pada tahap post-processor pada profil spesimen dengan sudut (*chamfer*)

Pada profil spesimen dengan sudut (*chamfer*) diperoleh tegangan tarik maksimum sebesar 906,76 Mpa.



Gambar 16: Hasil proses solving pada tahap *post-processor* pada profil *thread relief radius*

Pada profil spesimen radius diperoleh tegangan tarik maksimum 974,63 Mpa.

Dari gambar detail specimen, didapatkan dimensi sebagai berikut:

• Diameter Nominal (D) = 19,33 mm

Sehingga luas area penampang rata rata adalah:

$$A = \pi/4 \times D^2$$

$$(4)$$

$$= \pi/4 \times 19,33^2$$

$$= 293,55 \text{ mm}^2$$

Sehingga didapatkan nilai tegangan rata-rata sebagai berikut:

$$\sigma_{\text{nominal}} = P_{\text{max}} / A \dots\dots\dots (5)$$

$$\sigma_{\text{nominal}} = 98.066,5 / 293,55$$

$$\sigma_{\text{nominal}} = 334,07 \text{ MPa}$$

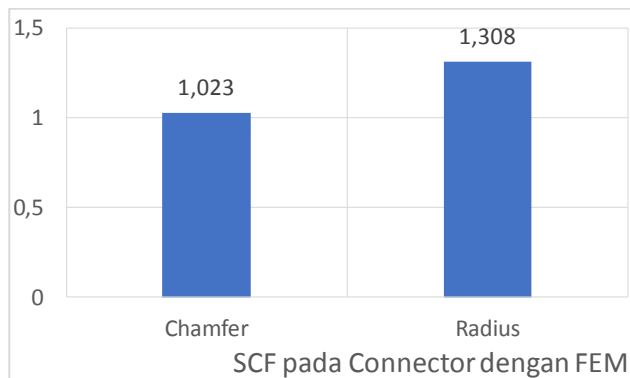
Faktor konsentrasi tegangan dapat dihitung sebagai berikut:

$$K(\text{chamfer}) = \sigma_{\text{maks}}(\text{chamfer}) / \sigma_{\text{nominal}} = 906,76 / 334,07 = 2,714$$

$$K(\text{radius}) = \sigma_{\text{maks}}(\text{radius}) / \sigma_{\text{nominal}} = 974,63 / 334,07 = 2,917$$

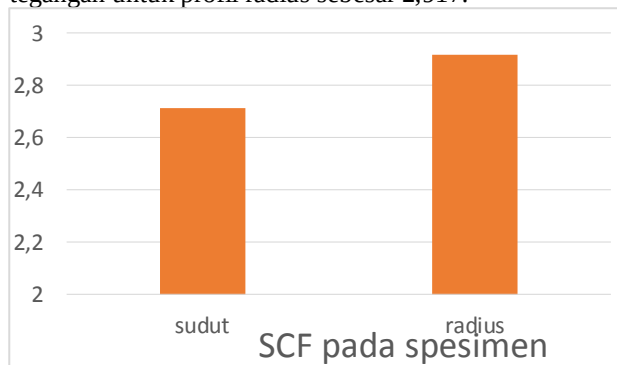
4.6 Perbandingan faktor konsentrasi tegangan antara connector dan spesimen

a. Pada *Connector*, untuk profil thread relief *chamfer*, faktor konsentrasi tegangan sebesar 1,023, sedangkan faktor konsentrasi tegangan untuk profil thread relief radius sebesar 1,308.



Grafik 3 Perbandingan faktor konsentrasi tegangan pada *Connector*

b. Pada spesimen profil sudut faktor konsentrasi tegangan sebesar 2,714, sedangkan faktor konsentrasi tegangan untuk profil radius sebesar 2,917.



Grafik 4 Perbandingan faktor konsentrasi tegangan pada spesimen

V Kesimpulan

Secara teknis hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif profil *thread relief* dengan

faktor konsentrasi tegangan yang lebih rendah. Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Dari hasil simulasi pada *Connector*, dengan beban pipa tubing sepanjang 3.048 m dan *tubing hanger* atau setara dengan 28.480,7 N, maka tegangan Von Mises maksimum pada profil *thread relief* sudut 60° sebesar 288.127.008 N/m² lebih kecil daripada tegangan pada profil radius 0,762 mm sebesar: 368.354.880 N/m². Berdasarkan nilai tegangan tersebut dan geometri *Connector* maka nilai faktor konsentrasi tegangan untuk profil sudut 60° sebesar: 1,023 juga lebih rendah daripada nilai faktor konsentrasi tegangan untuk profil radius 0,762 mm sebesar: 1,308.
2. Dari hasil simulasi pada spesimen, dengan beban tarik sebesar 10-ton didapatkan tegangan Von Mises maksimum pada profil sudut 60° sebesar: 906.760.000 N/m² lebih rendah daripada tegangan Von Mises maksimum untuk profil radius 0,762 mm sebesar: 974.630.000 N/m². Berdasarkan nilai tegangan tersebut dan geometri spesimen maka nilai faktor konsentrasi tegangan untuk profil sudut 60° sebesar: 2,714 juga lebih rendah daripada profil radius 0,762 mm sebesar: 2,917
3. Berdasarkan perbandingan hasil kedua analisis elemen hingga, maka profil *thread relief* sudut 60° memiliki faktor konsentrasi tegangan lebih rendah daripada profil radius 0,762 mm.

Daftar Pustaka

- [1]. API, (2011), *API 6A Specification for Wellhead and Christmas Tree Equipment* – Twentieth Edition, Washington : American Petroleum Institute.
- [2]. Karmiadji, Djoko W (2016), *Optimasi Desain: material, komponen, konstruksi teori dasar & aplikasi*, Jakarta : Engineering Clinics, Fakultas Teknik Universitas Pancasila
- [3]. Pilkey, Walter D, (2008), *Peterson's Stress Concentration Factor* – Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- [4]. Palmiyanto, Martinus H. (2008), *Perbandingan hasil Analisa Konsentrasi Tegangan pada Plat Berlubang Akibat Beban Tarik dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga dan Kajian Eksperimen*, Teknika.
- [5]. API, (2017), *API RP 5C5 Procedures for Testing Casing and Tubing Connections* – Fourth Edition, Washington : American Petroleum Institute
- [6]. API, (2003), *API 5CT Specification for Casing and Tubing* – Ninth Edition, Washington : American Petroleum Institute
- [7]. Petrowiki, 2017. *Completion in Oil & Gas*, SPE

- [8]. API, (2016), *API RP 17G Recommended Practice for Completion/Workover Risers* – Second Edition, Washington : American Petroleum Institute
- [9]. Jones, Franklin D. (2006), *Machinery's Handbook* – Industrial y Press
- [10]. Mauk, Matthew L (1999), *A review of the accuracy stress concentration factors* – Oklahoma State University
- [11]. Dupen, Barry, “*Applied Strength of Materials for Engineering Technology*”, Opus: Research & Creativity at IPFW, Indiana University – Purdue University Fort Wayne, 2014
- [12]. DNV, (2013). *report No: 1-3STPN7*, Det Norske Veritas, Singapore