



Analisis proses hot tapping pada pipa distribusi gas *online service* dengan pengelasan *Shielded Metal Arc Welding*

Yunan Sadli Nasution¹, *Budi Prasajo¹, Endah Wismawati¹, Subagio So'im², M. Ari³

¹Program Studi Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Program Studi Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

³Program Studi Teknik Pengelasan, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Corresponding author: budiprasajo@ppsn.ac.id

Abstrak

Penambahan fasilitas perpipaan pada industri diperlukan pembuatan percabangan baru. Secara umum pemasangan percabangan mengharuskan untuk menghentikan sementara proses yang sedang beroperasi, sehingga menyebabkan kerugian yang sangat besar. Oleh sebab itu diperlukan teknologi yang digunakan untuk membuat percabangan tanpa menghentikan proses operasi. Pada penelitian ini, percabangan dengan diameter 12" akan dipasang pada pipa existing diameter 16". Sistem tersebut harus dipasang tanpa menghentikan operasi dari *pipeline*. *Hot-tapping* adalah teknologi yang berfungsi untuk membuat percabangan pada kondisi *online service*. Dilakukan perhitungan dan analisa perhitungan untuk memastikan proses *hot-tapping* benar-benar *safe* untuk dioperasikan. Poin – poin yang harus perhatikan meliputi *heat input*, tekanan operasi selama proses pengelasan *hot-tapping*, tegangan yang terjadi pada sistem percabangan. Analisa pada *split tee* dilakukan karena tegangan yang terjadi akibat proses pengelasan dengan *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW) dan pengurangan ketebalan. Analisa pada sistem pipa dilakukan karena terjadi percabangan baru sehingga menyebabkan terjadinya tegangan baru. Hasil dari analisa pada *split tee* dan pada sistem pipa digunakan sebagai acuan pembuatan prosedur pelaksanaan *hot-tapping*. Tegangan maksimum yang terjadi pada pipa selama *hot-tapping* adalah pada area pengelasan (22.828 psi). Pengelasan mengakibatkan sebagian logam pipa mencair sehingga selama proses pengelasan (*hot-tapping*) tekanan kerja harus diturunkan sebesar 25,27%. Kondisi fluida selama proses pengelasan *hot-tapping* tetap *safe* jika kedalaman *drilling* tidak melebihi 304,8 mm (terukur dari *outside* diameter pipa). Hasil desain percabangan baru layak untuk difabrikasi karena *stress* yang terjadi masih di bawah nilai tegangan ijin.

Kata kunci : *Hot-tapping*, tegangan pada *split tee*, tegangan pada sistem pipa

Hot tapping process analysis on gas distribution pipes online service using Shielded Metal Arc Welding

Abstrack

In a piping system makes it possible to add branching into an existing piping system. In this research will discuss about installation 12 " branch pipe in to 16 " existing pipe. The system should be installed without interrupting the operation of the pipeline to avoid huge losses. Hot-tapping is a technology that works to create branching on the online service pipe condition. Calculation and analysis of the results to ensure the process of hot-tapping absolutely safe to operate. parameters that must be considered include the heat input, the operating pressure during welding hot-tapping process with Shielded Metal Arc Welding, stress that occurs at the branching system. Analysis on split tees must be done because of stress that occurs due to the welding process and the reduction in thickness. Analysis on the plumbing system must be done because of a new branching thus causing new stress. The results of the analysis on split tees and the pipe system is used as a reference-making procedures for implementing hot-tapping. Maximum stress that occurs in the pipes during hot-tapping process is the welding area (22.828 psi). The welding process causes melting partial in the metal pipe so, during welding process (hot-tapping) working pressure should be reduced by 25.27%. The condition of the fluid in the existing pipeline still safe because liquefaction as a result of the welding process does not penetrate to the inner pipe. The new design results in branch pipe eligible to fabricated because stress that occurs is still below the allowable stress values.

Keywords: *Hot tapping, Stress in split tee, Stress in piping system*

1. Pendahuluan

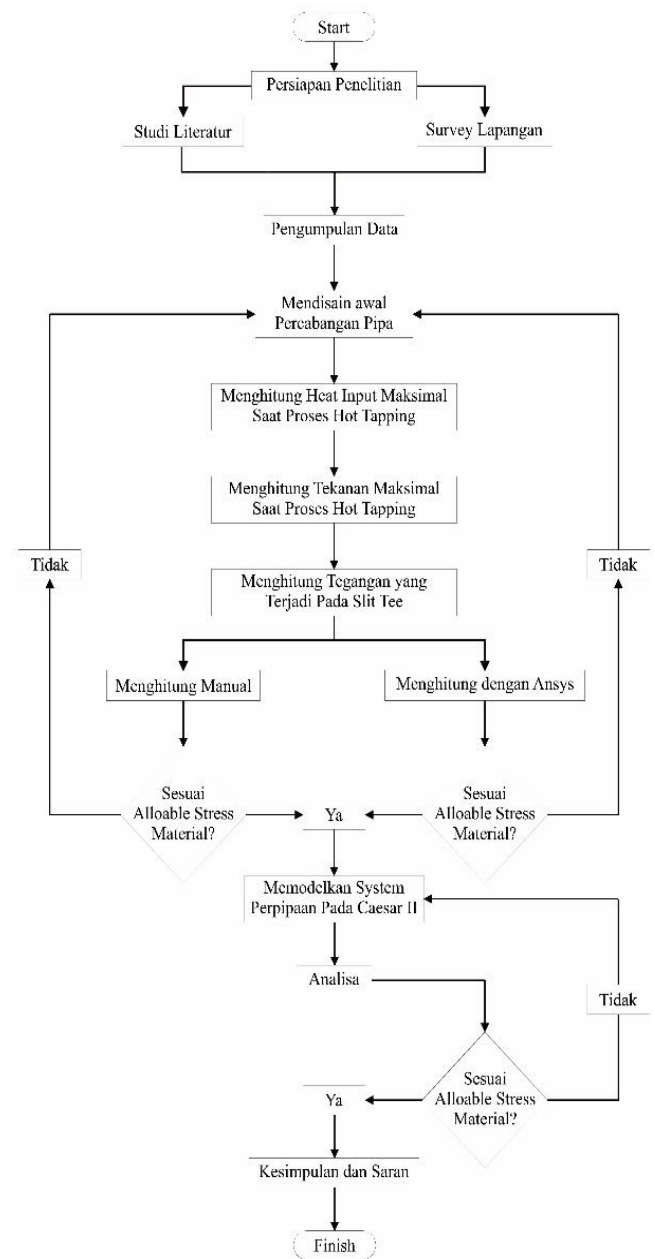
Industri akan semakin berkembang dalam penangan manajemen yang baik, termasuk industri gas. Salah satu program pengembangan jalur distribusi gas ini merupakan proyek *pipeline* sepanjang 648 km yang terbentang di kota Jawa Timur. Guna meningkatkan keandalan jaringan untuk penyaluran gas tersebut yaitu dengan cara pemasangan *metering and regulating station* (MRS). Untuk menghubungkan antara MRS dengan jalur *pipeline* perlu dilakukan penyambungan keduanya dengan pengelasan SMAW tanpa ada pemutusan aliran gas di dalam sistem yang disebut *hot-tapping*. Teknologi ini akan dipakai untuk *pipeline* dengan pipa *existing* 16 inch dengan rencana cabang 12 inch. Pekerjaan *hot-tapping* sangat berbahaya [1], karena melibatkan pengerjaan panas seperti pengelasan serta pengeboran saat sistem sedang beroperasi. Untuk itu membutuhkan perhitungan dan analisa yang meliputi *heat input*, tekanan operasi dan tegangan yang terjadi pada area percabangan agar proses pekerjaan *hot-tapping* aman untuk dilakukan. Penelitian tentang *hot-tapping* sudah pernah dilakukan oleh Mc. Elligot [2]. Penelitian tersebut berisikan tentang *design hot-tapping*, kualifikasi pekerja, *quality control* (dalam kegiatan ini mengatur bagaimana proses NDT (*Xray* atau *Ultrasonic* harus dilakukan), serta analisis biaya. Penelitian yang dilakukan Mc. Elligot lebih terfokus pada pengerjaan *hot-tapping* dimana pada tahun 1998, *hot-tapping* merupakan hal yang baru.

Pada penelitian kali ini, terdapat perbedaan pembahasan yang akan dijelaskan pada poin-poin dibawah ini.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Diagram Alir Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian ini dijelaskan dalam bentuk diagram alir berikut



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.2 Perhitungan Heat Input

Cara yang digunakan untuk menghindari terjadinya kegagalan (terbakar dan meledaknya pipeline) selama proses pengelasan yaitu dengan mempertimbangkan besarnya heat input yang terjadi selama proses pengelasan berlangsung sesuai dengan persamaan yang tercantum pada *maximum temperature of wall thickness* 3.3.2 DEP 31.38.60.10-Gen [3]

$$HI = K \times \frac{V \times A}{S} \quad (1)$$

HI = heat input (joule per mm)
 K = net factor
 = 0.85 for butt welds, dan
 = 0.57 (=2/3 x 0.85) for fillet welds.
 V = voltage (Volts)
 A = current (amperes)
 S = travel speed (mm/s)

2.3 Perhitungan Thikcnss Minimum

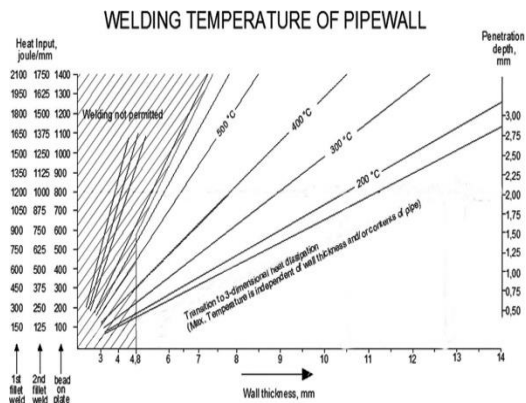
Tebal material pipa yang dibutuhkan untuk operasi normal dapat dihitung dengan berdasarkan standar [4] sebagai berikut :

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot S \cdot F \cdot E \cdot T} \quad (2)$$

t = required nominal wall thickness (inch)
 P = design pressure (psig)
 S = specified minimum yield stress (psi)
 D = nominal outside diameter of run pipe (inch)
 T = temperature derating factor
 F = design factor
 E = longitudinal joint factor

2.4 Perhitungan available thickness (tav) during welding

Tebal material yang tersedia adalah tebal material yang tidak mencair akibat proses pengelasan. Kedalaman material yang mencair (kedalaman penetrasi) dapat dihitung dari Gambar 2. Grafik *welding temperature of pipe wall*.



Gambar 2. Grafik *welding temperature of pipe wall* [3]

Grafik di atas digunakan untuk mencari nilai *penetration depth* (t_{av}), sehingga didapat rumus :

$$t_{av} = t - h \quad (3)$$

t_{av} = Available thickness (mm)
 t = Actual wall thickness (mm)
 h = Penetration depth (mm)

2.5 Perhitungan Maximum Allowable Pressure

Perhitungan *allowable pressure* penting dilakukan untuk memastikan berapa tekanan yang diperbolehkan selama proses pengelasan berlangsung. Perhitungan *allowable pressure* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada ASME B.31.8 dengan mempertimbangkan temperatur maksimal material.

$$P = \frac{2 \cdot S \cdot t \cdot F \cdot E \cdot T}{D} \quad (4)$$

P = design pressure (psig)
 S = specified minimum yield stress (psi)
 D = nominal outside diameter of run pipe (inch)
 t = nominal wall thickness (inch)
 T = temperature derating factor
 F = design factor
 E = longitudinal joint factor

2.6 Perhitungan Maximum Allowable Stress

Berdasarkan ASME section.II D MANDATORY APPENDICES, Mandatory appendix 1 paragraf (a) [5], bahwa terdapat beberapa cara untuk perhitungan maksimum *allowable stress* dan dari perhitungan tersebut dipilih nilai yang terkecil. Perhitungan *allowable stress* diantaranya adalah :

1. *Specified minimum tensile strength* pada temperatur ruangan dibagi dengan 3.5.
2. *Specified minimum tensile strength* pada temperatur tertentu dibagi dengan 3.5.
3. *Specified minimum yield strength* pada temperatur ruangan dikalikan dengan 2/3.
4. *Specified minimum yield strength* pada temperatur tertentu dikalikan dengan 2/3.

2.6 Perhitungan Tegangan pada Split-Tee

Dalam menganalisa tegangan yang terjadi pada daerah *split-tee* perlu dilakukan 2 metode, yaitu metode perhitungan manual dan metode perhitungan dibantu dengan *software* (ANSYS), hal ini dilakukan karena pada daerah *split-tee* merupakan daerah dari *segment hot-tapping* yang kemungkinan terjadinya kegagalan lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang lainnya. Sehingga untuk menghindari

kemungkinan kegagalan, dari perhitungan ke 2 metode tersebut harus *acceptable*.

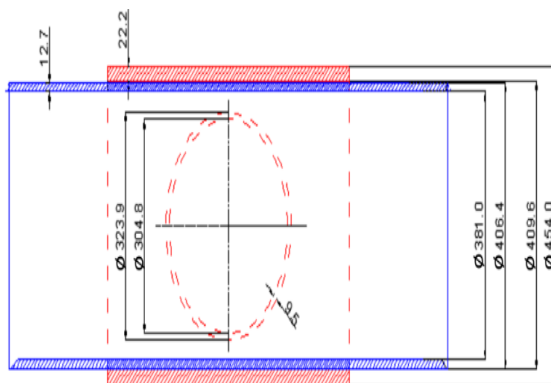
Untuk perhitungan tegangan berdasarkan tegangan *hoop stress* yang ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tangensial [6]. Perhitungan tersebut menggunakan rumus sebagai berikut [7] :

$$\sigma_{SH} = \frac{P \cdot di \cdot L}{2 \cdot L \cdot t} = \frac{P \cdot di}{2 \cdot t} = \frac{P \cdot do}{2 \cdot t}$$

- P = Tekanan internal (psi)
- L = Panjang pipa (ft)
- di = Diameter dalam pipa (in)
- do = Diameter luar pipa (in)
- t = Tebal pipa (in)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Spesifikasi Pipa dan Penyambungan



Tabel 1. Data Spesifikasi Pipa API 5L X-52

Data	Nilai	Satuan
NPS	16	inch
Schedule	XS	-
Inside Diameter	15	inch
Outside Diameter	16	inch
Wall Thickness	0,5	inch
Yield Strength	73.099	psi
Tensile Strength	84.702	psi
Allowable Hoop Stress	26.416	psi

Tabel 2. Data Split-Tee

Data	Nilai	Satuan
NPS	16-16-12	inch
Run Pipe (ID)	16,125	inch
Run Pipe (OD)	17,875	inch

Run Pipe Wall Thickness	0,875	inch
Branch Pipe (ID)	12	inch
Branch Pipe (OD)	12,750	inch
Branch Pipe Wall Thickness	0,375	inch

Tabel 3. Contoh tabel

Data	Keterangan/Nilai	Satuan
Fluida	Natural Gas	-
Tekanan	720	psi
Temperatur	26,67	C
Mass Flow	17968,40	lb/hr
Massa Jenis	0,64	lb/ft ³

Tabel 4. Welding Parameter

Weld Layers Butt & Fillet Weld	Ampere	Voltage	Speed Range (mm/min)
Root Pass	75-110	18-20	50-100
Hot Pass	80-110	18-20	50-100
Filler	80-135	20-36	50-100
Capping	80-135	20-36	50-100

3.2 Hasil Perhitungan Heat Input

Parameter yang berhubungan dengan *heat input* adalah; *voltage*, *ampere*, dan kecepatan pengelasan. *Heat input* yang dihitung adalah *heat input* untuk pengelasan *butt weld* dan *fillet weld*. Adapun hasil dari perhitungan tersebut :

Tabel 5. Hasil Perhitungan Heat Input

Jenis Pengelasan	Heat Input
Butt Weld	1195,1 J/mm
Fillet Weld	801,42 J/mm

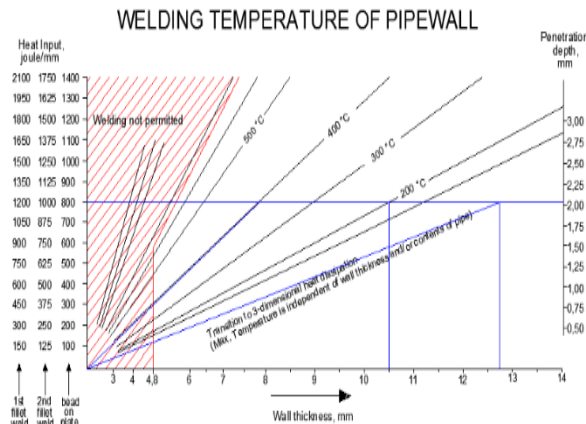
Dari kedua perhitungan *heat input* (*butt weld* dan *fillet weld*) yang mempunyai nilai lebih tinggi adalah *heat input* dari *butt weld* sehingga jenis sambungan pengelasan yang perlu dianalisa adalah *butt weld*.

3.3 Hasil Perhitungan *Minimum Thickness*

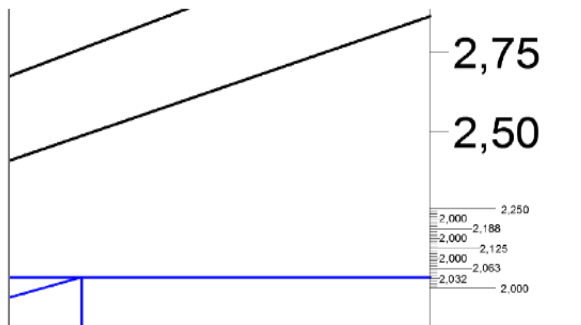
Hasil perhitungan *minimum thickness* diketahui bahwa ketebalan aktual yang dibutuhkan untuk kondisi operasi normal (720 psi) adalah 0,098 inch atau 2,50 mm.

3.4 Hasil Perhitungan t_{av} dan Allowables Pressure

Untuk mencari nilai t_{av} dibutuhkan nilai *penetration depth* yang didapat dari grafik yang dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 4. Hasil Grafik *Welding Temperature Of Pipewall*



Gambar 5. Detail Hasil Grafik *Welding Temperature Of Pipewall*

Jadi ketebalan yang masih tersedia selama proses pengelasan adalah 10,66 mm. Tetapi dengan pertimbangan penurunan *yield strength* akibat tingginya temperatur pengelasan, maka kadar *carbon* material pipa juga harus dipertimbangkan. Berdasarkan *API Spesification 5L*, kadar karbon dari material *API 5L-X52* adalah 0,26 % sehingga untuk menghindari perubahan struktur mikro, temperatur yang diperhitungkan harus kurang dari 725°C. Mengacu pada *welding temperature of pipe wall*, untuk temperatur *inner pipe* 200 C dan *heat input* 1195,1 joule/mm, ketebalan material pipa yang dibutuhkan (t_{min}) adalah 10,55 mm, sehingga tebal material yang tersedia (t_{av}) adalah 0,866 inch. Adapun

perhitungan *allowable pressure* menggunakan variable t_{av} untuk *wall thickness*-nya sehingga didapat hasil 538,08 psi.

3.5 Hasil Perhitungan *Allowable Stress*

Untuk mempermudah perhitungan, maka perlu dilakukan pengumpulan data tentang *mechanical properties material* (*tensile strength* dan *yield strength*). Rangkuman perhitungan *Allowable Stress* disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 6. *Mechanical Properties Material*

Mechanical Properties	Pada Temperatur Ruang	Pada suhu 400 C
<i>Tensile Strength</i>	84.702 psi	71.996,70 psi
<i>Yield Strength</i>	73.099 psi	62.134,15 psi

Tabel 7. Hasil Perhitungan *Allowable Stress*

Langkah Perhitungan	Hasil
<i>Specified minimum tensile strength</i> pada temperatur ruangan dibagi dengan 3.5	24.200 psi
<i>Specified minimum tensile strength</i> pada temperatur tertentu dibagi dengan 3.5	20.570 psi
<i>Specified minimum yield strength</i> pada temperatur ruangan dikalikan dengan 2/3	48.732 psi
<i>Specified minimum yield strength</i> pada temperatur tertentu dikalikan dengan 2/3	41.422 psi

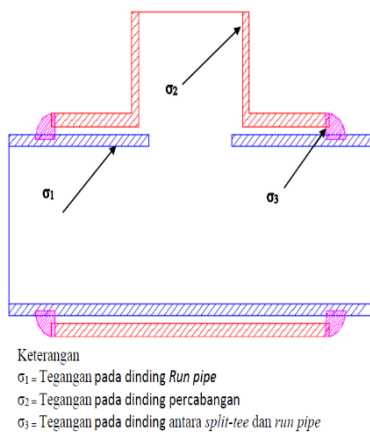
Dari perhitungan di atas, maka dapat *allowable stress* material dapat diketahui,

1. *Allowable stress runpipe* (*during welding*) (S_1) = 20.570 psi
2. *Allowable stress runpipe*, pipa cabang dan logam las (S_2) = 24.200 psi

3.6 Hasil Perhitungan Tegangan (Manual)

Tegangan pada *split-tee* yang akan dihitung meliputi daerah *run pipe* (σ_1), percabangan (σ_2), dan daerah antara *split-tee* dengan *outside diameter run pipe* (σ_3) seperti yang ditunjukkan Gambar 6.

Lokasi Tegangan dibawah ini :



Gambar 6. Lokasi Tegangan

Hasil perhitungan tegangan dengan perhitungan manual dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

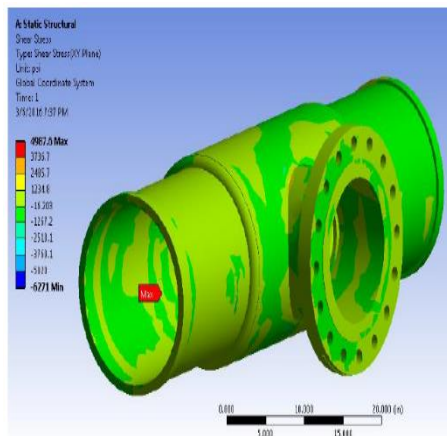
Tabel 8. Hasil Perhitungan Tegangan (Manual)

Area Tegangan	Hasil (psi)
Run Pipe (σ_1)	12.687,225
Area Percabangan (σ_2)	12.240
Dinding antara Split-tee dan Run pipe (σ_3)	5.760

3.6 Hasil Perhitungan Tegangan dibantu Software ANSYS

Dari hasil pemodelan pada ANSYS, akan diperoleh hasil *finite elemen* yang dapat dianalisa, pokok bahasan yang akan dianalisa dari hasil *running ansys* meliputi *maximum principle stress*, *shear stress*, *total deformation*, dan *normal stress*.

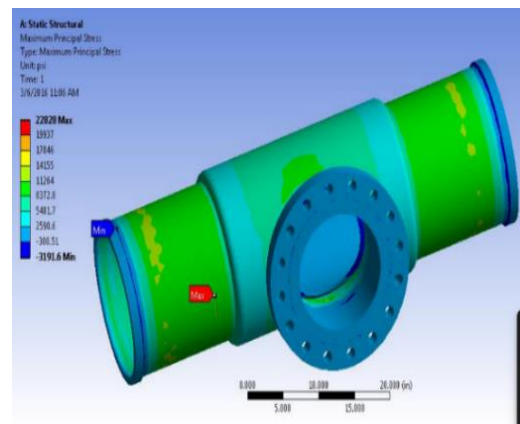
1. Maximum Principle Stress



Gambar 7. Maximum Principle Stress

Dari gambar **Gambar 7.** *Maximum principle stress* dapat diketahui kondisi akibat tegangan yang terjadi pada *segment hot-tapping (Pipeline existing dan split-tee)* bervariasi antara -3.191,6 psi sampai dengan 22.828 psi. Tegangan maksimum terjadi pada daerah yang dilakukan proses pengelasan. Hal ini dapat terjadi karena pada proses pengelasan menyebabkan sebagian tebal dari pipa mencair, sehingga ketebalan yang digunakan untuk menahan tekanan internal menjadi berkurang. Tetapi meskipun terjadi tegangan maksimum di daerah pengelasan (22.828 psi) dapat diterima, karena tidak melebihi *allowable stress* (24.200) psi.

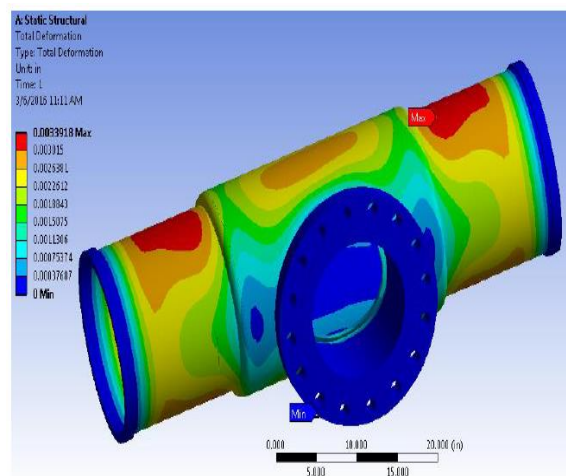
2. Shear Stress



Gambar 8. Shear Stress

Dari **Gambar 8.** *Shear stress* dapat diketahui tegangan geser yang terjadi pada area *hot-tapping* bervariasi mulai dari -6.271 psi sampai dengan 4.987,6 psi dari hasil tersebut menunjukkan bahwa desain tersebut layak untuk difabrikasi karena tegangan yang terjadi tidak melebihi *allowable stress* (24.200) psi.

3. Total Deformation

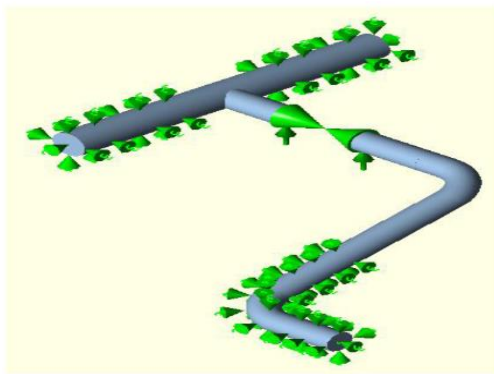


Gambar 9. Total Deformation

Dari **Gambar 9**, *Total deformation* dapat diketahui bahwa deformasi yang terjadi pada percabangan sebesar 0,0034 inch atau sama dengan 0,086 mm. Total deformasi yang terjadi masih memenuhi persyaratan karena tidak melebihi 2% dari nominal pipe diameter. Dan persyaratan yang mengharuskan bahwa total deformasi yang terjadi tidak boleh melebihi 2% digunakan jika kondisi tegangan yang terjadi 30% di atas *yield strength*. Sehingga total deformasi pada kasus ini dapat diabaikan karena tegangan maksimum yang terjadi (22.828 psi) masih jauh dibawah *yield strength* (73.099 psi).

3.7 Memodelkan dengan Caesar II

Hasil pemodelan dari kegiatan menganalisa stress pada pipa percabangan yang dibantu dengan menggunakan *software* Caesar II ditunjukkan pada **Gambar 10**. *Modelling* Caesar II sebagai berikut :



Gambar 10. *Total Deformation*

Dari hasil *running* Caesar II diketahui bahwa untuk *load case*, beban *operating*, *sustain*, dan *occasional* terbesar adalah 11.891,63 psi, sedangkan untuk beban ekspansi terbesar adalah 695,85 psi, sehingga dari nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa stress yang terjadi pada pipa percabangan baru sudah layak untuk difabrikasi karena dari tegangan yang terjadi masih dibawah nilai tegangan yang diijinkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan bahwa tegangan yang terjadi selama proses *hot-tapping* bervariasi antara -3191,6 psi sampai dengan 22828 psi, dan tegangan terbesar terletak pada area ketebalan pipa yang mencair akibat proses pengelasan yaitu 22828 psi. Selama proses pengelasan (*penyambungan split-tee* dengan pipa *existing*) terjadi penurunan kekuatan material dan pengurangan ketebalan pipa *existing*, sehingga tekanan kerja harus diturunkan yang semula 720 psi menjadi 538,08 psi (diturunkan 25,27%).

3. Kondisi fluida selama proses pengelasan *hot-tapping* tetap *safe* jika kedalaman *drilling* tidak melebihi 304,8 mm (terukur dari *outside* diameter pipa).
4. Perhitungan tegangan yang terjadi pada pipa percabangan baru (*Operating, Occasional* dan *Sustained*) terbesar adalah 11891,63 psi, sedangkan untuk *Expansion* adalah 695,85 psi dan dari nilai tersebut masih di bawah nilai *allowable stress*, sehingga pipa percabangan baru sudah layak untuk difabrikasi.

5. Referensi

- [1] API-2201, Safe Hot Tapping Practices in the Petroleum and Petrochemical Industries, Washington: API Publishing Services, 2003.
- [2] McElligott, J A (1998). Use of hot taps for gas pipelines can be expanded. United State.
- [3] DEP-31.38.60.10, HOT-TAPPING ON PIPELINES, PIPING AND EQUIPMENT, Shell, 2010.
- [4] ASME-B31.8, Gas Transmission and Distribution Piping Systems.
- [5] ASME-BPVC-II, Boiler & Pressure Vessel Code Section II : Materials, New York, 2010.
- [6] D. Agustinus, Pengantar Piping Stress Analysis, Jakarta: Entry Agustino Publisher, 2009.
- [7] A. Chamsudi, Diktat Piping Stress Analysis, Jakarta: Rekayasa Industri, 2005.
- [8] William Jarvis, P. B. (2002). Pipeline Hot Tapping Stopping & In-service Welding. Georgetown.
- [9] Panisher, Roy A. et al. (2002). Pipe Drafting and Design. New Delhi : Gulf Professional Publishing
- [10] Tijara Pratama. (2004). Analisa Dasar Pelatihan Tegangan Pipa. Jakarta : Tijara Pratama Inc.