



Analisis Kegagalan Mur *Heavy Hexagonal* pada *Valve Flange* dalam Sistem Jalur Pipa di Industri Minyak dan Gas

Ahmad Gunawan
Pawawoi

Jurusan Teknik Metalurgi
Fakultas Teknik- Universitas Jenderal Achmad Yani

Abstrak. Pada proses penyambungan sistem jalur pipa di industri minyak dan gas, mur *heavy hexagonal* banyak digunakan. Namun pada penggunaan mur di bagian *valve flange* beberapa mur mengalami patah. Dari hasil penelitian, patah yang terjadi disebabkan adanya retak pada ujung sisi bagian luar dari mur dan bagian dalam permukaan ulir. Pada bagian dalam ini ditemukan cacat yang merupakan awal terjadinya korosi sumur yang kemudian meningkat menjadi korosi retak tegang. Kekerasan pada bagian patah mengalami penurunan dibanding bagian tidak mengalami patah. Sedangkan pada pemeriksaan struktur mikro, awal retakan terjadi pada bagian akar ulir berupa retak intergranular yang selanjutnya merambat pada batas butir. Dari hasil analisa tegangan, terjadi momen lentur sebesar 1943,76 Nmm akibat adanya tegangan sebesar 876,48 Mpa. Gaya lentur yang terjadi disertai adanya lingkungan klor yang korosif merupakan dua komponen utama penyebab terjadinya korosi retak tegang atau *stress corrosion cracking*.

Kata kunci: *mur heavy hexagonal, pitting corrosion, stress corrosion cracking, momen lentur dan intergranular*

1 PENDAHULUAN

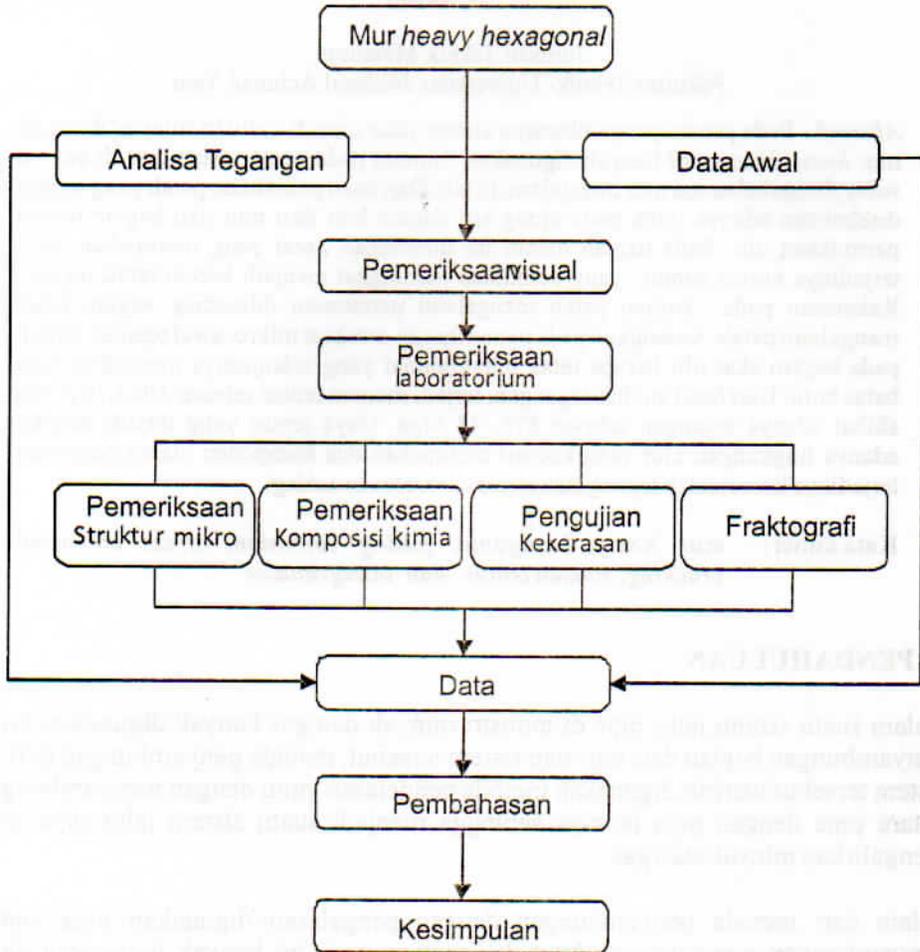
Dalam suatu sistem jalur pipa di industri minyak dan gas banyak digunakan proses penyambungan bagian dari tiap-tiap sistem tersebut, metoda penyambungan dari tiap sistem tersebut banyak digunakan metoda pengelasan yaitu dengan menyambungkan antara pipa dengan pipa lainnya sehingga menjadi suatu sistem jalur pipa untuk mengalirkan minyak atau gas.

Selain dari metoda penyambungan dengan pengelasan digunakan juga metoda penyambungan menggunakan baut dan mur, metoda ini banyak digunakan dalam suatu sistem jalur pipa pada umumnya terdapat pada bagian *flange*. Baut dan mur digunakan juga untuk menyambungkan pipa dengan *valve flange*. Pada *valve flange* terdapat beberapa baut dan mur yang digunakan, beberapa dari mur untuk mengencangkan *valve flange* tersebut mengalami patah.

Dalam penelitian ini dibahas mengenai analisa kegagalan pada mur *heavy hexagonal* sebagai pengikat *valve flange* yang digunakan bersama dengan baut, dimana mur mengalami retak pada saat digunakan disalah satu bagian dari *valve flange*. Mur yang retak mengalami patah dan menyebabkan suatu sistem tidak dapat digunakan karena salah satu komponen yang mendukung tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Hal ini yang menjadi dasar pemikiran untuk dilakukannya penelitian mengenai aspek-aspek penyebab retak pada mur tersebut, dan dapat diperoleh solusi untuk menghindari kemungkinan terjadi kembali hal yang serupa.

2 SKEMAPENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan secara garis besar ditunjukkan pada gambar *flow chart* di bawah ini:



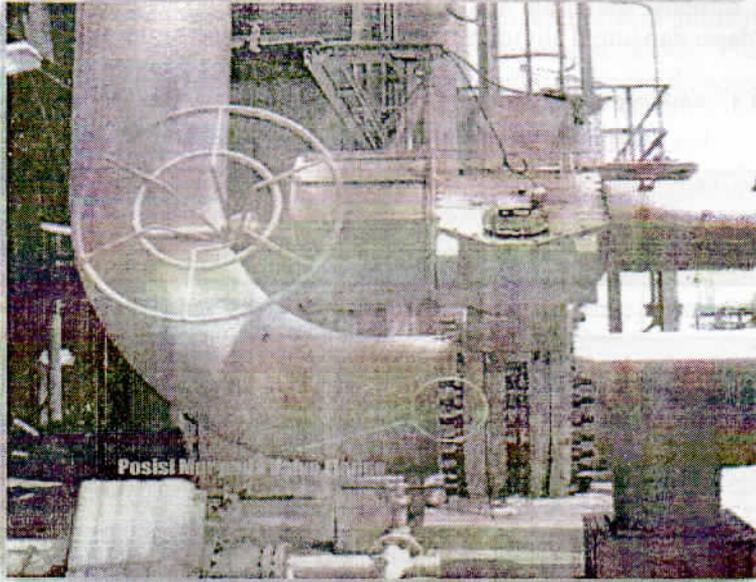
Gambar 1. Metode Penelitian

3 DATA DAN PEMBAHASAN

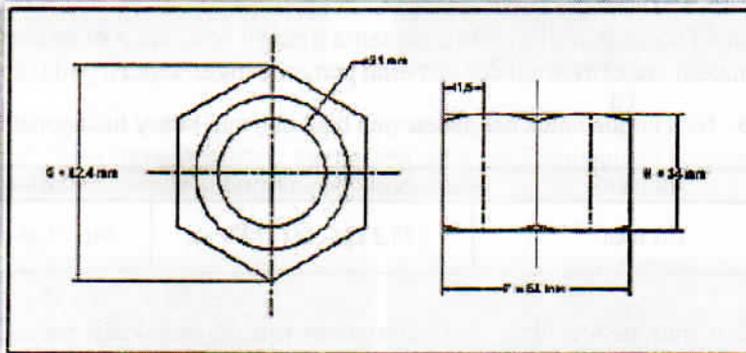
Data diperoleh dari data awal yang meliputi kondisi pemakaian mur, standar dan proses perlakuan kerja yang digunakan dan lingkungan kerja dari mur tersebut. Kemudian dilakukan serangkaian pengamatan, pengujian dan perhitungan tegangan yang digunakan sebagai bahan untuk menganalisa kerusakan mur yang terjadi.

3.1 Mur Heavy Hexagonal

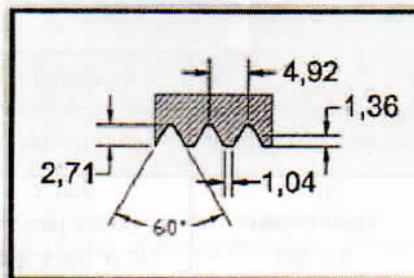
Mur *heavy hexagonal* digunakan pada *valve flange* sebagai pengencang pada sistem jalur pipa di industri MIGAS. Lokasi pemakaian dan gambar teknik dari mur *heavy hexagonal* ditunjukkan pada gambar 2 dan gambar 3.



Gambar 2. Posisi tempat pemasangan mur *heavy hexagonal* yang mengalami kegagalan pada *valve flange* dalam sistem jalur pipa di industri MIGAS



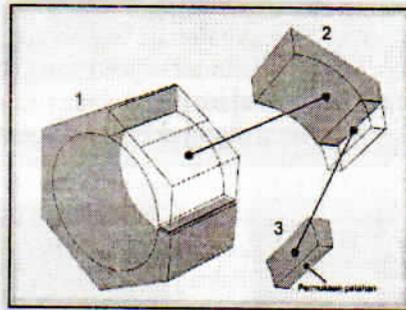
Gambar 3. Gambar teknik dimensi dan ukuran mur *heavy hexagonal* (satuan dalam mm).



Gambar 4. Gambar teknik dimensi dan ukuran ulir pada mur *heavy hexagonal*

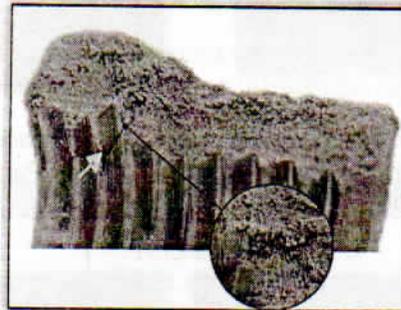
3.3 Pemeriksaan Fraktografi

Permukaan patahan dari salah satu bagian dijadikan posisi pengambilan gambar untuk pengamatan fraktografi, dengan gambar untuk tiap bagian diperlihatkan pada gambar 7. Awal dan permukaan retakan ditunjukkan pada gambar 8.



Gambar 7. Posisi pengambilan dan pemotongan sampel pemeriksaan fraktografi dan struktur mikro.

- (1) Komponen mur
- (2) Hasil pemotongan komponen mur tersebut
- (3) Pengambilan permukaan patahan



a)



b)

Gambar 8. a) Awal retakan dari bagian dalam komponen mur heavy hexagonal dengan adanya cacat pada bagian ulir (tanda panah)
 b) Arah perambatan retakan dipermukaan patahan dengan awal retakan pada bagian ulir

3.4 Pengujian Komposisi Kimia

Tabel 5. Komposisi kimia komponen mur *heavy hexagonal* dan standard ASTM A 453 Grade 660.

Unsur	Hasil Spektrometri % Berat	ASTM A 453 Grade 660 ^{*)} % Berat
Karbon	0,058	0,08 max
Mangan	1,51	2,00 max
Posfor	0,02	0,040 max
Sulfur	0,004	0,030 max
Silikon	0,70	1,00 max
Nikel	26,94	24,00 - 27,00
Krom	15,99	13,50 - 16,00
Molybdenum	1,149	1,00 - 1,50
Titanium	1,697	1,90 - 2,35
Aluminium	0,094	0,35 max
Vanadium	-	0,10 - 0,50
Kobalt	0,499	-
Tembaga	0,115	-
Besi	Sisa	Sisa

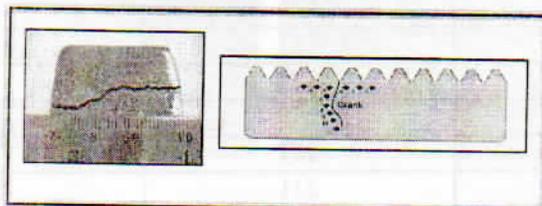
Tabel 6. Sifat mekanik⁽¹⁸⁾

Temperature	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (0,02% offset) (MPa)	Elongation (%)	Reduction of Area (%)
205	1000	524	21,5	52,8
317	965	501	20,8	47,5
370	948	490	22,0	45,0

*data diperoleh dari hasil perhitungan dengan metoda interpolasi

3.5 Pengujian Kekerasan

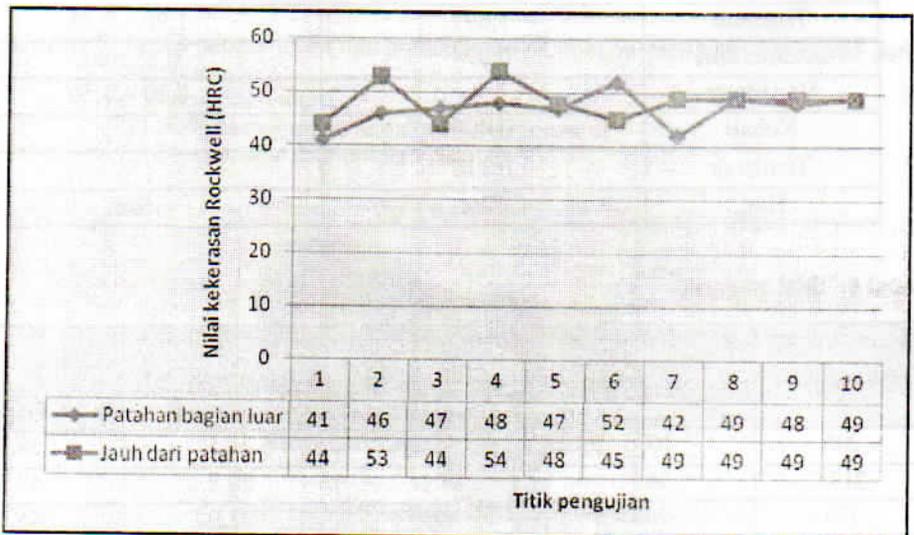
Lokasi pengujian kekerasan ditunjukkan pada gambar 9 sedangkan hasil pengujian kekerasan mur *heavy hexagonal* diperlihatkan pada data tabel 6 dan 7 dengan grafik distribusi kekerasan ditunjukkan pada gambar 10 dan 11.



Gambar 9. Daerah titik uji keras dengan metoda *Rockwell C* dan *Vickers*

Tabel 7. Hasil pengujian kekerasan makro dengan menggunakan metoda Rockwell C

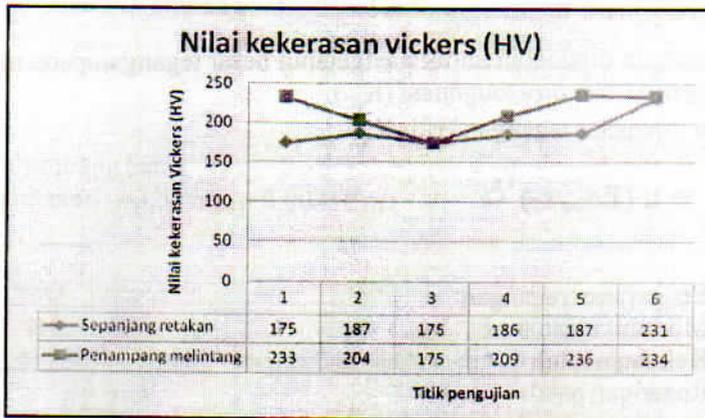
Titik Pengujian	Daerah Pengujian HRC	
	Patahan bagian luar	Jauh dari patahan
1	41	44
2	46	53
3	47	44
4	48	54
5	47	48
6	52	45
7	42	49
8	49	49
9	48	49
10	49	49



Gambar 10. Grafik distribusi nilai kekerasan secara makro dengan metoda Rockwell C

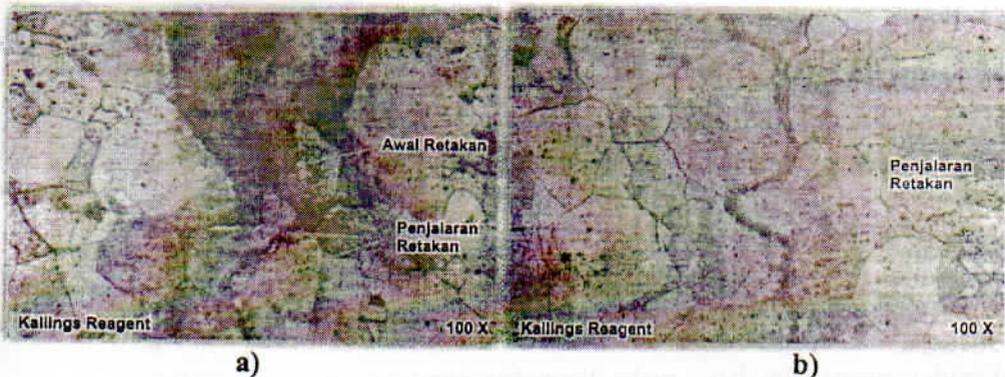
Tabel 8. Hasil pengujian kekerasan mikro dengan menggunakan metoda Vickers

Titik Pengujian	Daerah Pengujian Mikro Vickers	
	Sepanjang retakan	Penampang melintang
1	175	233
2	187	204
3	175	175
4	186	209
5	187	236
6	231	234

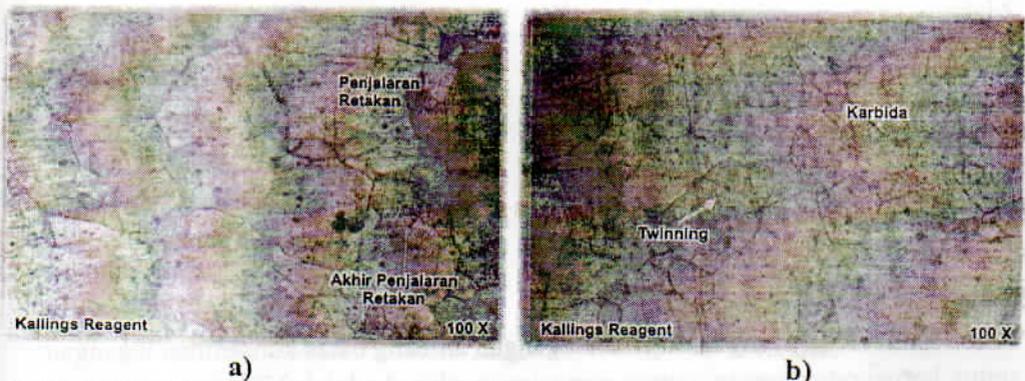


Gambar 11. Grafik distribusi nilai kekerasan secara mikro dengan metoda *Vickers*

3.6 Pemeriksaan Struktur Mikro



Gambar 12. a) Struktur mikro pada daerah awal retakan di kawah ulir, awal retakan akibat dari konsentrasi tegangan pada celah dipermukaan
 b) Struktur mikro pada daerah penjalaran retakan, dengan retakan pada daerah batas butir



Gambar 13. a) Struktur mikro permukaan patahan daerah ujung retakan
 b) Struktur mikro permukaan patahan pada daerah jauh dari retakan, karbida $M_{23}C_6$ yang terbentuk pada struktur austenit dan terbentuknya *twinning*

3.7 Analisa Tegangan

Analisa tegangan dilakukan untuk mengetahui besar tegangan pada material dengan menghitung nilai *fracture toughness* (K_{IC}).

Nilai faktor intensitas tegangan kritis K_{IC} :

$$K_{IC} \cong n (E\sigma_{ys} \epsilon_f)^{1/2}$$

Dimana:

n = Pengerasan regangan

E = Modulus elastisitas

σ_{ys} = Kekuatan luluh

ϵ_f = Regangan patah

Dalam menentukan nilai eksponen pengerasan regangan n dilakukan metode *trial and error* (coba-coba). Dimana bagian kiri harus sama dengan/ mendekati bagian kanan.

$$\frac{S_{II}}{S_y} = \left(\frac{n}{\text{offset}} \right)^n \exp(-n)$$

$$\frac{965}{501} = \left(\frac{n}{0,02} \right)^n \exp(-n)$$

$$1,93 = \left(\frac{0,354}{0,02} \right)^{0,354} \exp(-0,354)$$

$$1,93 = 1,93$$

Maka nilai n yang diperoleh dari hasil coba-coba adalah 0,354

Nilai elongasi (E) dari material adalah 20,8%, nilai kekuatan luluh (σ_{ys}) adalah 501MPa.

Untuk mencari nilai dari ϵ_f maka digunakan rumus:

$$\epsilon_f = \ln \frac{1}{1 - q}$$

Diketahui nilai reduksi penampang (q) adalah 47,5%

Maka:

$$\epsilon_f = \ln \frac{1}{1 - 47,5}$$

$$\epsilon_f = 3,83$$

Maka nilai K_{IC} bahan adalah:

$$K_{IC} \cong 0,354 (20,8 \times 501 \times 47,5)^{1/2}$$

$$K_{IC} \cong 249,06 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Asumsi nilai K_{ISCC} yang merupakan tegangan ambang batas konsentrasi tegangan untuk korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*) adalah 25% dari nilai KIC maka, nilai $K_{ISCC} = 62,27 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$

Untuk mencari tegangan ambang batas dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K_{ISCC} = \sigma \sqrt{\pi a}$$

Dimana:

σ = Tegangan ambang batas

a = Panjang retakan $\rightarrow 3,52 \text{ mm} = 0,00352 \text{ m}$

$$\sigma = \sqrt{\frac{K_{ISCC}^2}{\pi a}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{62,27^2}{3,14 \times 0,00352}}$$

$$\sigma = 593,72 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

Faktor intensitas tegangan K_I :

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}$$

$$K_I = 34 \sqrt{(3,14) \times (0,00352)}$$

$$K_I = 3,57 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$K_I (3,57 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) < K_{IC} (249,06 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}})$$

Area tegangan tarik pada ulir As

$$A_s = \frac{\pi}{4} (d - 0,9382 \times P)^2$$

$$A_s = 0,785 (31 - 0,9382 \times 1,36)^2$$

$$A_s = 1228,18 \text{ mm}^2$$

Dimana:

d = diameter dalam mur (mm)

P = tinggi ulir (mm)

Tegangan pada ulir σ_{ulir} :

$$\sigma_{ulir} = \frac{W}{\pi d h z}$$

Dimana:

W = tegangan yang diberikan (MPa)

d = diameter dalam mur (m), $31 \text{ mm} = 0,031$

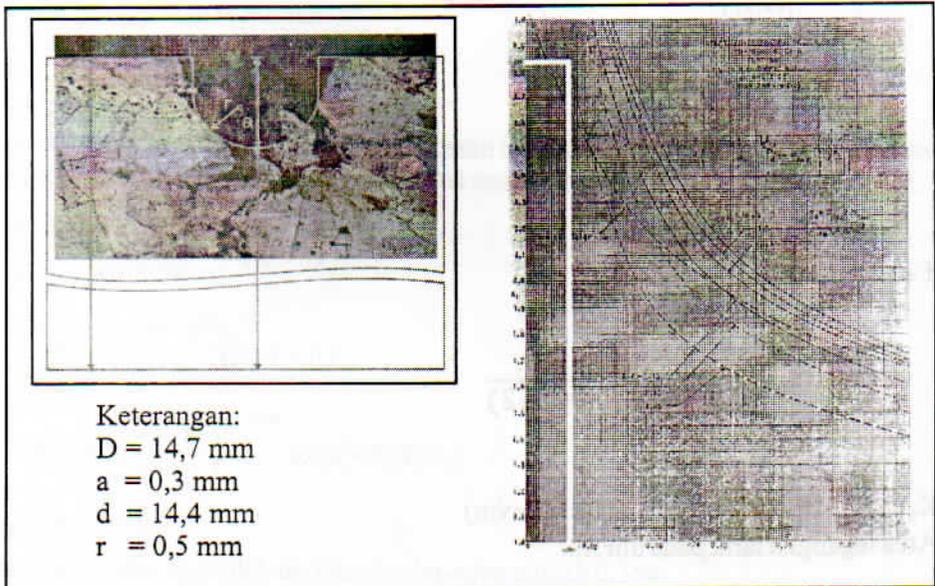
h = tinggi ulir (m), $1,36 \text{ mm} = 0,00136 \text{ m}$

z = jumlah ulir (per meter) = $1 \text{ in} = 8 \text{ ulir} \rightarrow 1 \text{ m} = 39,37 \text{ in} = 315 \text{ ulir}$

$$\sigma_{ulir} = \frac{34}{(3,14) \times 0,031 \times 0,00136 \times 315}$$

$$\sigma_{ulir} = \frac{34}{0,042}$$

$$\sigma_{ulir} = 809,52 \text{ MPa}$$



Gambar 14. Geometri awal retak dari korosi sumuran (pitting corrosion) dan faktor konsentrasi tegangan teoritis untuk batang pelat dengan takik bentuk U pada satu sisi akibat beban lentur

Tegangan yang bekerja pada takikan:

$$\sigma_i = \frac{\sigma}{K_t}$$

$$\sigma_i = \frac{809,52}{2,84}$$

$$\sigma_i = 285,04 \text{ MPa}$$

Faktor intensitas tegangan pada komponen dengan takikan, dengan asumsi a = kedalaman takikan, $0,3 \text{ mm} = 3 \times 10^{-4} \text{ m}$

$$K_t = \sigma_L \sqrt{\pi a}$$

$$K_t = 285,04 \sqrt{3,14 \times (3 \times 10^{-4})}$$

$$K_t = 8,71 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$$

$$K_1 (8,74 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}) < K_{1c} (249,06 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}})$$

$$\sigma = K_T \cdot \sigma_{\text{NCL}}$$

$$\sigma = 2,84 \times 593,72$$

$$\sigma = 1686 \text{ MPa}$$

Tegangan yang menyebabkan momen:

$$\sigma_M = \sigma \cdot \sigma_{\text{NCL}}$$

$$\sigma_M = 1686 \cdot 809,52$$

$$\sigma_M = 876,48 \text{ MPa}$$

Moment lentur pada mur

$$M = \frac{\sigma_M l_x}{y}$$

$$l_x = \frac{1}{12} b h^3$$

Dimana:

b = tebal mur : 11,5 mm

h = tinggi mur : 34 mm

$$l_x = \frac{1}{12} 11,5 \times 34^3$$

$$l_x = 4,98$$

$$y = \frac{1}{2} 34$$

$$y = 17$$

maka:

$$M = \frac{876,5 \times 4,98}{17}$$

$$M = 1943,76 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Gaya lentur pada mur

$$M = F \frac{1}{2}$$

$$F = \frac{4 \times 1943,76}{42,5}$$

$$F = 182,94 \text{ N}$$

Untuk faktor intensitas tegangan yang bekerja pada komponen, adanya takikan sebesar $8,74 \text{ Mpa}\sqrt{\text{m}}$ menghasilkan perbandingan faktor intensitas tegangan takikan K_t lebih kecil dari faktor intensitas tegangan kritis. Komponen mur mengalami momen lentur pada saat pengencangan sebesar $1943,76 \text{ N}\cdot\text{mm}$, akibat adanya tegangan sebesar $876,48 \text{ MPa}$. Gaya lentur yang terjadi pada mur sebesar $182,94 \text{ N}$.

Berdasarkan standard ANSI atau API 689 dapat dinyatakan bahwa kegagalan yang dialami mur *heavy hexagonal* ini dikategorikan sebagai berikut:

- Jenis kerusakan/kegagalan ANSI/API 689 kode 2.2 dan 2.5
 - 2.2 Merupakan kerusakan jenis korosi
 - o Jenis korosi yang terjadi pada komponen mur *heavy hexagonal* adalah korosi sumuran yang kemudian terjadi korosi retak tegang.
 - 2.5 Terjadi retak dan patah
 - o Akibat dari terjadinya korosi retak tegang komponen mur *heavy hexagonal* mengalami patah pada salah satu bagian sisinya.
- Penyebab kerusakan/kegagalan: ANSI/API 689 kode 2.2
 - 2.2 Akibat dari instalasi dan pemasangan
 - o Pemasangan komponen mur *heavy hexagonal* pada *valve flange* dengan momen pengencangan cukup besar, sehingga menyebabkan komponen ini mengalami tegangan tarik sekeliling dipermukaannya.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan-kesimpulan, bahwa:

1. Jenis kegagalan pada mur *heavy hexagonal* adalah patah getas, yang diawali pada bagian ulir.
2. Dari hasil pemeriksaan komposisi kimia material yang digunakan mur *heavy hexagonal* adalah *ASTM A453 Grade 660 Class A austenitic stainless steel AISI 660* atau sama dengan jenis *iron based superalloy A286*.
3. Struktur mikro mur *heavy hexagonal* memiliki matrik austenit dengan karbida $M_{23}C_6$ di daerah matrik dan batas butir.
4. Pengurangan unsur krom pada daerah batas butir akibat krom berikatan dengan karbon membentuk *chrom carbide* menyebabkan pembentukan lapisan pasif *chrom oxide* dipermukaan material berkurang.
5. Retakan yang dialami mur *heavy hexagonal* diawali dengan terjadinya korosi sumuran (*pitting corrosion*) pada ulir bagian dalam mur yang disebabkan adanya unsur klorida dilingkungan kerja mur tersebut.
6. Dengan adanya lingkungan yang korosif dan tegangan tarik yang dialami material menyebabkan terjadinya korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*).
7. Proses pengencangan pada mur menyebabkan terjadinya lenturan sehingga terjadi tegangan pada arah sekeliling mur.
8. Menurut standard ANSI/API 689 jenis kegagalan yang terjadi adalah kerusakan karena korosi (kode 2.2 dan 2.5), yang diakibatkan oleh adanya kesalahan dalam instalasi atau pemasangan (kode 2.2).

5. DAFTAR PUSTAKA

1. L. Nayyar Mohinder, " *Piping handbook*", Seventh edition. MacGraw-Hill. 1973. (PART A Piping Fundamental-Bolted Join-A369)
2. Oberg Erick, D Jones Franklin, McCauley Chri, " *Machinery's Handbook*", 26th Edition. Industrial Press Inc. New York, 2000. (Thread and Threading. Hal. 1727)
3. Perry H Robert, Green W Don. Perrys, " *Chemical Engineers Calculation Handbook*", The McGraw-Hill Companies, Inc. 1999. (Hal. 124)
4. ASM Metals Handbook, " *Heat Treating*", 8th Edition. Volume 4
5. ASM Metals Handbook, " *Failure Analysis*", 8th Edition. Volume 11.
6. ASM Metals Handbook, " *Corrosion*", 8th Edition. Volume 13.
7. Fontana G Mars, " *Corrosion Engineering*", McGraw-Hill International Editions. Third Edition. 1986.
8. ASM Metals Handbook, " *Atlas of Microstructure of Industrial Alloys*. 8th Edition. Volume 7
9. Roberge R Pierre, " *Handbook of Corrosion Engineerin*",. MacGraw-Hill Companies. 2000
10. Dieter G. E., " *Mechanical Metallurgy*", Mc Graw Hill inc, london 1998.
11. D. A. Jones & M. Macmillan, " *Principle and Prevention of Corrosion*".
12. Vander Voort. George F, " *Metalography, Principles and Practice*", McGraw – Hill Book Company, 1984
13. I Wayan Suweka, " *Failure Analysis*", Kuliah Tamu di UNJANI, 2005