

# Analisa Kegagalan Baut Piston Vvcp Gas Kompresor Gemini Ds-504 Emp Malacca Strait Sa

Ilham Khoirul Ibad dan Rochman Rochiem

Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh

Nopember (ITS)

Kampus ITS, Keputih, Surabaya 60111

*E-mail:* rochman@mat-eng.its.ac.id

**Abstrak**—Berawal dari kegagalan baut piston VVCP gas kompresor Gemini DS-504 maka dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan tersebut. Tahapan investigasinya meliputi pengamatan makro, uji SEM, uji tarik, uji *hardness*, uji komposisi dan uji metalography selain itu dilakukan perhitungan manual analisa tegangan yang diterima baut. Dari pengamatan makro terlihat indikasi retak, daerah perambatan retak dan daerah patah akhir. Dalam uji komposisi terdapat beberapa unsur yang seharusnya tidak ada dalam baut. Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa baut mempunyai kekuatan tarik yang tinggi melebihi spesifikasi yang seharusnya begitupun dari hasil uji *hardness* nilai kekerasannya juga lebih tinggi dari yang seharusnya. Hasil metalography menunjukkan bahwa struktur mikro yang terbentuk yaitu temper martensit hal ini sesuai dengan standarnya sedangkan hasil uji SEM menunjukkan di daerah perambatan retak terdapat striasi dan di daerah patah akhir morfologinya terlihat kasar. Dalam perhitungan analisa tegangan menunjukkan baut masih aman terhadap kriteria kegagalan fatigue akibat beban kompresi tetapi dalam perhitungan teori buckling baut tidak sesuai. Dari hasil investigasi baut mengalami kegagalan dengan tipe patahan unidirectional bending, disebabkan tidak mempunya baut menerima beban kompresi sehingga terjadi buckling dan mnyebabkan baut mengalami kegagalan.

**Kata Kunci**—Baut, kegagalan, buckling, unidirectional bending.

## I. PENDAHULUAN

EMP Malacca Strait SA merupakan perusahaan eksplorasi minyak dan gas yang berkantor pusat di Jakarta. Dalam menjalankan usahanya EMP Malacca Strait SA mengutamakan keselamatan, kesehatan dan pengelolaan lingkungan yang baik demi menjadi perusahaan eksplorasi dan produksi minyak dan gas terkemuka di Asia.

Dalam suatu eksplorasi dan produksi minyak dan gas keandalan fasilitas pendukungnya, seperti kompresor, *pressure vessel*, pipa dan sebagainya mutlak dibutuhkan. Kompresor merupakan salah satu jenis komponen yang berfungsi untuk meningkatkan tekanan fluida (*compressible fluid*) dengancara mengurangi volumenya. Naiknya tekanan memberikan energi kepada fluida sehingga mampu mengalir dari suatu tempat ketempat yang lain secara kontinu. Namun demikian kompresor juga memiliki resiko kegagalan yang harus

diperhitungkan sehingga perlu adanya pemeriksaan yang berbasis keandalan. Kegagalan dalam sebuah komponen industri seperti kompresor merupakan hal yang sangat penting untuk diantisipasi agar tidak terjadi. Secara umum, sebuah komponen industry mempunyai desain waktu yang telah ditentukan dengan kondisi kerja dan perawatannya. Walaupun umur komponen industry terbatas namun merupakan hal wajib bagi industry untuk menjaga seluruh komponen agar dapat berfungsi dengan baik dan dapat mencapai umur yang telah ditargetkan.

Salah satu permasalahan yang terjadi di EMP Malacca strait SA adalah patah pada baut piston VVCP gas kompresor gemini DS-504. Tidak dapat dipastikan penyebab kegagalannya karena banyak faktor yang mempengaruhinya. Penyebab utama diindikasikan adanya beban secara terus menerus yang mengenai sambungan baut sehingga menyebabkan adanya retak, dengan adanya retak akan terjadi konsentrasi tegangan yang membuat retak tersebut tumbuh menjadi besar dan akhirnya baut akan mengalami kegagalan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penyebab terjadinya kegagalan. Diharapkan penelitian ini bermanfaat bagi mahasiswa, perusahaan dan semua pihak, selain itu penelitian ini juga dapat dijadikan referensi untuk mengembangkan teori analisa kegagalan terkait.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

### I. Tahapan investigasi

Dilakukan dengan pengujian langsung sesuai dengan prosedur dan metode yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam eksperimen ini yaitu: uji komposisi kimia, uji tarik, uji *hardness*, uji SEM dan metalography. Uji SEM/EDX ini dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dan morfologi dari material baut kompresor yang mengalami kegagalan. Spesimen diletakkan di atas holder yang sebelumnya telah dilekatkan pada carbon tape. Carbon tape ini berfungsi untuk melekatkan holder dengan smapel. Selanjutnya holder dimasukkan ke dalam mesin dan siap untuk diamati. Uji metalography digunakan untuk mengetahui struktur mikronya. Pematangan dilakukan dengan

menggunakan gergaji manual/mesin dengan pendinginan air. Sampel dimounting untuk mempermudah pengampelasan. Jenis mounting yang digunakan adalah resin acrylic. Pengampelasan dilakukan menggunakan amplas silikon karbida sampai grade 2000. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan pasta poles alumina. Pengetesan dilakukan dengan menggunakan larutan nital kemudian dibersihkan dengan air mengalir lalu dikeringkan dengan *hair dryer*. Pengamatan dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pada layar computer akan tampak permukaan specimen dengan berbagai perbesaran yang bias diatur. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan alat uji kekerasan Rockwell C dengan indenter terbuat dari intan. Pengujian ini menggunakan standard ASTM E18. Untuk rockwell C atur total gaya yang diberikan sebesar 150 kgf dan akan didapatkan nilai kekerasan dalam satuan HRC. Pengujian tarik dilakukan untuk memperoleh sifat mekanik dari material baut, sehingga dapat diketahui penyebab kegagalan yang terjadi dengan membandingkan dan menganalisa beban yang diterima baut dengan hasil pengujian tarik.. Uji komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia dari material baut yang patah untuk dikonfirmasi dengan spesifikasi yang tertera dalam manual book gas kompresor yang diberikan. Pengujian ini menggunakan optical emission spectrometer.

2. Analisa tegangan

Perlu dilakukan analisa pembebanan dan tegangan yang diterima baut piston VVCP gas kompresor untuk mengetahui apa sebenarnya penyebab kegagalan pada komponen tersebut. Berdasarkan yang didapat dari data operasional standard dilakukan analisa kegagalan pada baja akibat beban dinamik dengan tiga metode yaitu Gerber method, Goodman method dan sodberg selain itu dilakukan analisa tegangan akibat buckling karena berdasarkan pengalaman menunjukkan bahwa pada kondisi tertentu komponen yang mengalami beban kompresi tidak gagal dengan crushing akan tetapi gagal dengan beban bending hal ini biasa disebut Buckling.

III. HASIL DAN DISKUSI

Semua baut dibuat sesuai dengan standard SAE grade 5 ditunjukkan oleh Gambar 1 dan berdasarkan deutschman (1975) dalam standard amerika mengacu pada ASTM A449 yaitu quenched and tempered medium carbon steel dengan kadar karbon 0,25 hingga 0,58. Material ini memang dikhususkan untuk baut yang membutuhkan kekuatan tarik yang tinggi.

A. Hasil pengujian komposisi

Hasil pengujian komposisi kimia menggunakan optical emission spectrometer ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan komposisi kimia standard ASTM A449 dengan hasil uji komposisi

| Unsur | ASTM A449 | Baut patah(average) |
|-------|-----------|---------------------|
| C     | 0,25-0,55 | 0,4320              |
| Si    | -         | 0,1821              |
| Mn    | 0,57 min  | 0,7135              |
| P     | 0,048 max | 0,00                |
| S     | 0,05 max  | 0,0183              |
| Cu    | -         | 0,0671              |
| Ni    | -         | 0,0635              |
| Cr    | -         | 1,0427              |
| Mo    | -         | 0,1634              |
| Al    | -         | 0,0155              |
| V     | -         | 0,0080              |
| Fe    | Balance   | Balance             |

Dari hasil pengujian komposisi didapatkan beberapa unsur yang tidak terdapat dalam standard ASTM A449 seperti vanadium, molibdenum, kromium dll. Besar persentase unsur tersebut relatif kecil.

B. Hasil pengamatan makro

Dari hasil pengamatan visual secara makro dengan bantuan kamera ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. Permukaan patahan baut

**C. Hasil pengujian kekerasan**

Pengujian kekerasan menggunakan metode Rockwell C dengan standard ASTM E 18, indentor berupa intan dengan distribusi dari pusat diameter menuju ke luar diameter dan hasilnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kekerasan di daerah dekat patahan

| indentasi | HRC      | HRC   | HRC      |
|-----------|----------|-------|----------|
| Rata-rata | 36,26667 | 35,82 | 36,20667 |

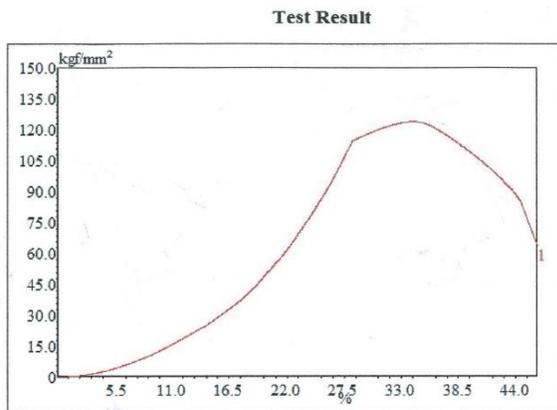
Berikut ini adalah hasil uji kekerasan pada bagian yang jauh dari permukaan patahan ditunjukkan Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Nilai kekerasan di daerah jauh dari patahan

| Indentasi | HRC  | HRC   | HRC   |
|-----------|------|-------|-------|
| Rata-rata | 33,7 | 34,45 | 34,41 |

**D. Hasil pengujian tarik**

Pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik sesuai dengan sandard ASTM E8 dan hasil pengujian tarik baut patah ASTM A449 ditunjukkan oleh Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik tegangan-regangan baut patah

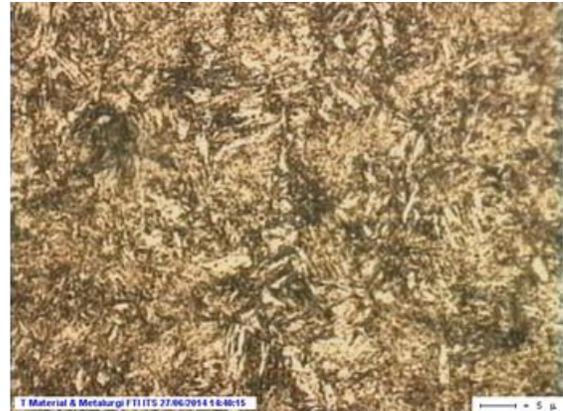
Dari hasil pengujian tarik tersebut dapat dibuat perbandingan mechanical properties dari baut yang patah dengan spesifikasi asli dari standard ASTM A449 seperti yang ditunjukkan Tabel 4 dibawah ini :

Tabel 4. Perbandingan Sifat mekanik

| Bahan      | Tensile strength,min, psi(Mpa) | Yield strength,min psi (Mpa) | Elongation in 4D min, % | Reduction area, min % |
|------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| ASTM A449  | 105 000 (725)                  | 81 000 (560)                 | 14                      | 35                    |
| Baut Patah | 174 944 (1206.2)               | 166 401 (1147)               | 21                      | -                     |

**E. Hasil pengujian strukturmikro**

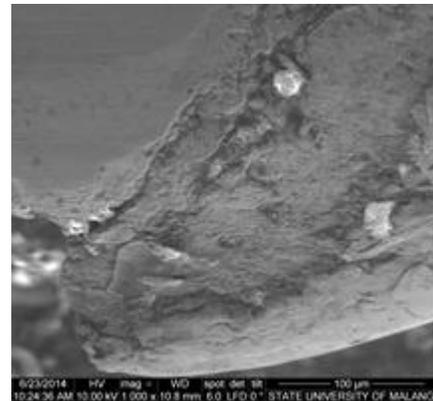
Dilakukan pengujian strukturmikro untuk mengetahui fasa pada baut patah ASTM A449 dalam pengujian ini menggunakan standard ASTM E3-95 dan didapatkan hasil seperti Gambar 3 berikut ini.



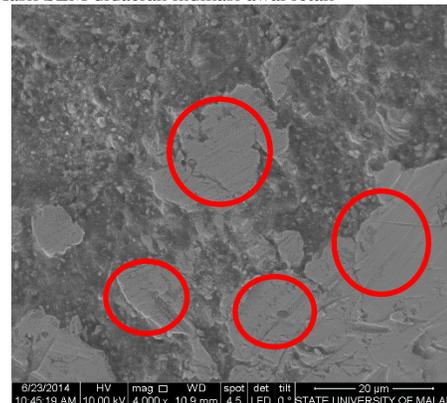
Gambar 3. Temper martensit perbesaran 1000 didekat patahan

**F. Hasil uji SEM**

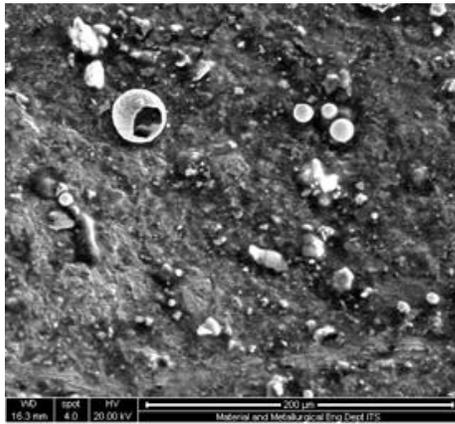
Setelah dilakukan pengamatan makro kemudian perlu dilakukan analisa secara mikro dengan bantuan scanning electron microscope pada permukaan patahannya, mulai dari indikasi retak ditunjukkan Gambar 4, daerah perambatan Gambar 5 dan daerah patah akhir pada Gambar 6. Hasil dari pengamatan tersebut ditunjukkan pada berikut ini.



Gambar 4. Hasil SEM didaerah indikasi awal retak

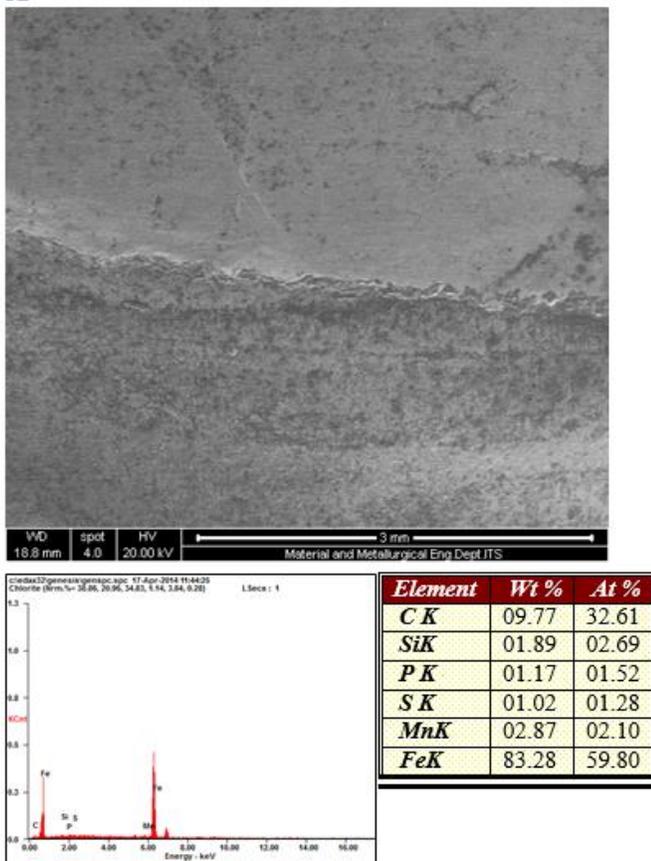


Gambar 5. Hasil SEM didaerah perambatan retak



Gambar 6. Hasil SEM di daerah patah akhir

Pengujian EDX dilakukan untuk mengetahui apa saja unsur yang ada dalam permukaan patahannya. Hasil dari pengujian SEM dengan EDX ditunjukkan Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Hasil EDX permukaan baut

G. Analisa tegangan dan pembebanan

Perlu dilakukan analisa pembebanan dan tegangan yang diterima baut piston VVCP gas kompresor untuk mengetahui apa sebenarnya penyebab kegagalan pada komponen tersebut. Hasil dari perhitungan beban dan tegangan yang diterima baut ditunjukkan oleh Tabel 5 berikut ini.

Tabel 5. Hasil perhitungan pembebanan dan tegangan

|                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| Tekanan maksimum                   | 1120 Psi        |
| Tekanan minimum                    | 420 Psi         |
| Beban maksimum                     | 35215,61 N      |
| Beban minimum                      | 13205,91 N      |
| Tegangan maksimum                  | 38,78711966 MPa |
| Tegangan minimum                   | 14,54523 MPa    |
| Konsentrasi tegangan               | 2,14            |
| Tegangan maksimum dengan Kt        | 83,00443607 MPa |
| Tegangan minimum dengan Kt         | 31,12679789 MPa |
| Tegangan variasi                   | 25,19768 MPa    |
| Tegangan rata-rata                 | 57,80676 MPa    |
| Tegangan maksimum ijin             | 587,5 MPa       |
| Tegangan maksimum Gerber method    | 168,7229 Mpa    |
| Tegangan maksimum Soderberg method | 250,4689 MPa    |
| Tegangan maksimum Goodman method   | 216,4042 MPa    |
| Endurance limit (E)                | 903,8 MPa       |
| Tegangan maksimum yang diijinkan   | 587,5 MPa       |

Dari hasil perhitungan beban yang dilakukan sederhana seperti tabel 5 didapatkan tegangan terbesar berdasarkan teori soderberg yaitu sebesar 250,4689 MPa nilai ini masih jauh dibawah tegangan yang diijinkan yaitu sebesar 587,5 MPa. Meskipun nilai konsentrasi tegangan sudah dimasukkan dalam perhitungan untuk ketiga kriteria baik Gerber method, Soderberg Method maupun Goodman method besar tegangan maksimumnya tidak ada yang melebihi besar tegangan maksimum yang diijinkan sehingga material baut piston VVCP tersebut dapat dikategorikan aman terhadap kegagalan fatigue akibat tegangan kompresi berdasarkan ketiga kriteria tersebut.

Ketika komponen menerima beban kompresi ada kemungkinan selain fatigue yaitu terjadinya bending akibat beban kompresi atau yang biasa disebut *buckling*. Berikut ini adalah hasil perhitungan desain baut piston VVCP gas kompresor ditunjukkan oleh Tabel 6.

Tabel 6. Hasil perhitungan desain baut

| Asumsi                             | Diameter (mm) |
|------------------------------------|---------------|
| Both ends Hinged                   | 77,20489566   |
| Both ends fixed                    | 54,59210526   |
| one end fixed and other end hinged | 64,92132      |
| one end fixed and other end free   | 109,1842105   |

Dari hasil perhitungan sederhana *buckling* seperti pada tabel 6 didapatkan bahwa besar diameter baut minimum sebesar 54,59210526 mm bila kondisinya adalah Both ends fixed. Besar diameter baut yang ada adalah 1,5 inch atau 38,1mm, berdasarkan perhitungan desain baut dari keempat asumsi yang diberikan nilai ini masih jauh dari desain minimum dengan asumsi Both ends fixed yaitu sebesar 54,59210526 mm dengan demikian bagaimanapun jenis tumpuan yang ada pada baut piston VVCP gas kompresor dapat dikategorikan tidak aman untuk kegagalan yang disebabkan oleh *buckling*.

H. Pembahasan

Didalam manual book gas kompresor [9] yang diberikan menunjukkan bahwa material yang digunakan sebagai baut piston VVCP gas kompresor adalah SAE grade 5 [5] material

tersebut ekuivalen dengan ASTM A449 yaitu quenched and tempered medium carbon steel dengankadarkarbon 0,25 hingga 0,58. Material ini memang dikhususkan untuk baut yang membutuhkan kekuatan tarik yang tinggi. Hasil pengujian komposisi kimia menggunakan Mesin optical emission spectrometer ditunjukkan pada Tabel 1 didapatkan bahwa ada beberapa unsur kimia yang seharusnya tidak terdapat dalam baut tersebut. Adanya unsur-unsur tersebut akan berpengaruh terhadap sifat mekaniknya terutama kekerasan, dengan adanya tambahan unsur paduan akan meningkatkan *Hardenability* dari material atau sifat mampu dikeraskan dan sifat lainnya sedikit banyak juga akan berubah.

Pengamatan secara makro permukaan baut dilakukan untuk mengetahui pola patahannya. Hasil pengamatan seperti ditunjukkan pada gambar 1 awal indikasi adanya retak berada di bagian paling luar yang mengalami konsentrasi tegangan kemudian retakan tersebut tumbuh hingga akhirnya terjadi patah akhir. Berdasarkan ciri-ciri pola patahan kegagalan fatigue yang ditunjukkan Gambar 2 patahan tersebut termasuk ciri-ciri patah akibat unidirectional bending. Untuk mengetahui standard dimensi pada baut dilakukan pengukuran dengan menggunakan jangka sorong dapat ditentukan bahwa standard dimensi yang digunakan dalam baut tersebut adalah standard Amerika

Dari hasil pengujian kekerasan dari diameter dalam hingga ke luar menggunakan standard ASTM E18 metode Rockwell C didapatkan bahwa rata-rata nilai kekerasan di daerah yang dekat dengan patahan adalah 36,09778 Hrc nilai ini lebih besar dibandingkan dengan nilai kekerasan di daerah yang jauh dari patahan yaitu sekitar 34,18667 Hrc hal ini bisa saja disebabkan oleh adanya internal stress akibat beban kompresi yang ada di daerah dekat dengan patahan sehingga mengakibatkan kekerasannya naik. Sedangkan dari standard ASTM A449 nilai kekerasan yang seharusnya berkisar antara 19 hingga 30 HRC. Baik di daerah dekat patahan dan jauh dari patahan nilai kekerasannya melebihi standard yang seharusnya sehingga dapat dikatakan kekerasannya tidak sesuai standard.

Dari hasil pengujian tarik menggunakan standard ASTM E8 nilai kekuatan tarik maksimum sebesar 1206 MPa dan nilai kekuatan luluhnya 1147 MPa nilai ini sangat jauh melebihi dari standard yang diberikan ASTM A449 yaitu kekuatan tarik maksimum 725 MPa dan kekuatan luluhnya sebesar 560 MPa hal ini bisa disebabkan karena adanya unsur-unsur lain yang seharusnya tidak terdapat dalam baut tersebut dan juga pengaruh dari internal stress yang menyebabkan nilai kekuatan tariknya menjadi lebih tinggi dari spesifikasi yang ada di ASTM A449

Dari hasil pengujian strukturmikro menggunakan standard ASTM E3-98 ditunjukkan pada gambar 3 merupakan ciri-ciri dari strukturmikro temper martensit medium carbon steel [3], sehingga dapat dikatakan strukturmikro baut patah sesuai dengan spesifikasi yang diberikan.

Pengamatan mikro dilakukan dengan bantuan Scanning electron microscope pengujian SEM dilengkapi EDX ditunjukkan pada Gambar 7 di daerah perambatan retak

menunjukkan bahwa tidak ada unsur-unsur hasil reaksi di daerah tersebut sehingga dapat dikatakan hampir tidak terjadi korosi di daerah tersebut.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil investigasi yang telah dilakukan maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan data yang didapat penyebab terjadinya kegagalan baut piston VVCP gas kompresor akibat beban kompresi yang menyebabkan bending atau buckling.
2. Awal retakan bermula dari bagian yang mengalami konsentrasi tegangan lalu tumbuh besar dan akhirnya patah, pola patahannya termasuk unidirectional bending.

#### SARAN

1. Mengganti dengan material yang mempunyai modulus elastisitas lebih tinggi.
2. Mengurangi jarak antara tumpuan (l) dan memperbesar diameter baut

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] \_\_. 2002. ASM handbook Vol. 09 Metallography And Microstructures. Material park. Ohio. USA. ASM international.
- [2] \_\_. 2002. ASM handbook Vol. 11 failure analysis and prevention. Material park. Ohio. USA. ASM international.
- [3] \_\_. 2002. ASM handbook Vol. 12 Fractography. Material park. Ohio. USA. ASM international.
- [4] \_\_. 2002. ASM handbook Vol. 19 failure analysis and prevention. Material park. Ohio. USA. ASM international.
- [5] AA D. Deutchman, Walter J. Michels, Charles E. Wilson., 1975. Machine Design – Theory and Practice. Macmillan Publishing Co., Inc.
- [6] ASTM 2003: Quenched and tempered steel bolt and studs A 449. ASTM International, USA,
- [7] ASTM2003. : Standard Test Method for Rockwell hardness of metallic materials E18. ASTM International, USA,
- [8] ASTM E8-04, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Material. ASTM International, 2004
- [9] Houston, 2006 GE Oil & Gas – high speed reciprocating gas compressors west loop south, USA.
- [10] Khurmi RS Gupta, JK., 2005, Text Book of Machine Design Eurasia, Publishing House, Ltd Ram Nagar, New Delhi