

Analisis Kegagalan Komponen Spring Rod dalam Spring Suspension Assembly pada Coal Mill Tuban I PT. Semen Indonesia Tbk.

Ryan Tri Kurniawan, Alvian Toto Wibisono, dan Lukman Noerochim

Departemen Teknik Material, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: lukman@mat-eng.its.ac.id

Abstrak—*Spring rod* merupakan bagian komponen dari *Coal Mill* yang berfungsi untuk menahan getaran dari *grinding roller* yang berputar menggiling batu bara. Komponen *spring rod* merupakan batang berulir yang tersambung ke sistem *hydraulic*. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis penyebab terjadinya kegagalan pada *spring rod* di *coal mill* dengan tujuan menganalisis faktor penyebab dan mekanisme terjadinya kegagalan komponen *spring rod* dalam *spring suspension assembly* pada *coal mill*. Pengujian yang akan dilakukan untuk menganalisis kegagalan ini adalah uji komposisi, pengamatan makroskopik, uji mikroskopik, dan uji kekerasan. Setelah dilakukan pengujian tersebut didapatkan faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 yaitu kesalahan pemilihan material dan kesalahan perlakuan panas. Mekanisme kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 diawali oleh *initial crack* pada akar gigi pada ulir dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spring rod* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

Kata Kunci—*Spring, Rod, Coal Mill, Failure*.

I. PENDAHULUAN

PADA tahun 2014 kapasitas terpasang Semen Indonesia sebesar 31,8 juta ton semen per tahun, dan menguasai sekitar 42% pangsa pasar semen domestic. PT. Semen Indonesia memiliki anak perusahaan PT. Semen Gresik, PT. Semen Padang, PT. Semen Tonasa dan Thang Long Cement. Untuk PT Semen Indonesia sendiri memiliki 4 pabrik dengan kapasitas terpasang 8,5 juta ton semen per tahun yang berlokasi di Desa Sumberarum, Kec Kerek, Tuban, Jawa Timur.

Semen sendiri terdiri atas bahan baku utama dan bahan baku tambahan jika ditinjau dari segi fungsinya. Material yang termasuk bahan baku utama adalah batu kapur (CaCO_3), *clay* (tanah liat), pasir silika (SiO_2), *iron sand* (Fe_2O_3). Serta bahan baku tambahan dari semen adalah *trass*, *gypsum* dan dolomit. Proses produksi semen yang pertama yaitu penambangan bahan baku untuk pembuatan semen terutama batu kapur (CaCO_3) dan *clay* (tanah liat) menggunakan alat-alat berat kemudian dikirim ke pabrik, yang kedua, bahan-bahan yang telah ditambang kemudian diteliti di laboratorium kemudian dicampur dengan proporsi yang tepat dan kemudian dilanjutkan ke proses penggilingan awal (*raw mill*) untuk memperkecil dimensi material. Proses selanjutnya adalah bahan kemudian dipanaskan di *preheater*, dilanjutkan di dalam kiln sehingga bereaksi membentuk kristal klinker. Kiln ini menggunakan bahan dasar pembakaran batu bara yang sebelumnya diproses di *coal mill* yang berjenis *vertical roller mill*, agar ukuran batu bara ini dapat digunakan pada kiln. Kristal klinker ini kemudian didinginkan di *cooler* dengan bantuan angin. Panas dari proses pendinginan ini di alirkan lagi ke *preheater* untuk menghemat energi. Klinker ini kemudian dihaluskan lagi dalam

tabung yang berputar yang bersisi bola-bola baja yaitu pada *ball mill* sehingga menjadi serbuk semen yang halus. Klinker yang telah halus ini disimpan dalam silo. Dari silo ini semen di *packing* dan dijual ke konsumen [1].

Pabrik Semen sendiri memiliki banyak komponen penunjang salah satunya yang berperan penting ialah tempat penggilingan batubara (*coal mill*). Tempat ini berfungsi sebagai penghancur batubara yang nantinya hasil dari *coal mill* digunakan sebagai bahan bakar untuk pabrik semen, yaitu pada proses pembakaran di *rotary kiln*. *Coal Mill* pada PT. Semen Indonesia menggunakan jenis *vertical roller mill*. Pada *vertical roller mill* ini, terdapat bagian yang dinamakan *spring suspension assembly* yang berfungsi untuk menahan getaran dari *grinding roller* yang berputar menggiling batu bara. Pada *spring suspension assembly* ini, terdapat bagian yang dinamakan *spring rod* atau batang pegas yang tersambung ke sistem *hydraulic*. Namun, pada saat dilakukan *maintenance* pada *Coal Mill* Tuban 1 yang dilakukan pada Januari 2017, ditemukan *spring rod* yang telah patah menjadi 2 bagian, sehingga *spring rod* tersebut harus diganti secara keseluruhan, sehingga sangat merugikan PT. Semen Indonesia karena *coal mill* Tuban 1 ini tidak dapat berjalan dengan baik dan mengganggu proses pada pembuatan semen. *Spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 ini telah bekerja selama 10 tahun.

Untuk hipotesa awal, kemungkinan terjadinya patahan dikarenakan oleh kegagalan lelah (*fatigue failure*). Patah lelah dapat dilihat adanya lokasi yang dapat menginisiasi adanya retakan lelah. Patahan yang terjadi akibat dari proses lelah dapat disimpulkan dari striasi dan adanya *beachmark* pada penampang permukaan yang patah [2]. Maka dari itu, dilakukanlah analisis terhadap kegagalan ini untuk membuktikan hipotesa awal tersebut, dan untuk menanggulangi hal tersebut, maka dilakukanlah analisis kegagalan terhadap *spring rod* pada *spring suspension assembly* agar kegagalan ini tidak terjadi lagi.

II. METODE PENELITIAN

A. Review Dokumen Perusahaan

Review dokumen perusahaan dilakukan untuk mendapatkan data perusahaan yang berkaitan dengan *spring rod* sebagai pendukung hasil penelitian. Data yang harus diambil yaitu desain *spring rod*, data operasi, spesifikasi material, dan *maintenance record*.

B. Preparasi Spesimen

Tahap Persiapan ini diperlukan sebelum melakukan pengujian untuk menentukan penyebab kegagalan patahan *spring rod* pada PT Semen Indonesia. Persiapan ini berupa proses *cutting* menggunakan *wire cut* dengan ukuran dimensi 20x20x20 mm.

Proses pemotongan dilakukan pada bagian yang dekat dengan patahan dan bagian yang jauh dari patahan. Spesimen yang berada pada bagian yang jauh dari patahan akan diuji sebagai perbandingan antara material yang baru dengan material yang sudah patah/gagal.

C. Uji Komposisi

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat pada komponen yang mengalami kegagalan. Pada identifikasi komposisi kimia menggunakan alat *Optical Emission Spectroscopy (OES)* di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya untuk mengetahui komposisi yang ada pada *spring rod*.

D. Pengamatan Makroskopik

Pengamatan makro dilakukan untuk mengetahui bentuk, tampilan dan lokasi komponen yang mengalami kegagalan secara makro. Pengamatan makro dilakukan menggunakan kamera dan mikroskop optik.

Adapun perlakuan terhadap sampel material adalah melakukan pengambilan fotografi dengan kamera DSLR untuk mendapatkan informasi bentuk dari kegagalan secara makro. Setelah itu dilakukan pengamatan melalui *stereomicroscope Carl Zeiss Stemi DV4* terhadap sampel material dengan perbesaran 8 kali untuk mendapatkan profil patahan makronya.

E. Pengamatan Mikroskopik

Pengamatan mikroskopik dengan menggunakan mikroskop optik dilakukan untuk menganalisis fasa, bentuk, dan ukuran strukturmikro. Hal ini digunakan untuk mengetahui proses manufaktur yang terjadi pada material *spring rod*. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik Olympus BX51M-RF.

F. Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dengan melakukan indentasi di beberapa titik pada sampel material. Pengujian ini dilakukan dengan metode Vickers dimana dalam pengujiannya memakai indenter bola baja, pembebanan sebesar 100 kgf dan waktu indentasi selama 15 detik. Pengujian ini menggunakan *Universal Hardness Tester HBRV 187.5A* di Laboratorium Metalurgi, Jurusan Teknik Material dan Metalurgi, ITS.

G. Analisis Titik Kritis (FEM)

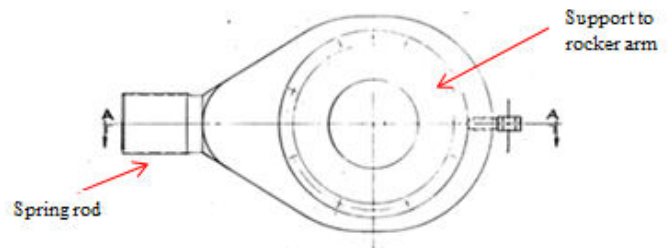
Analisis titik kritis dengan menggunakan metode elemen hingga dilakukan untuk mengetahui daerah pada material dengan tegangan terbesar yang dapat menyebabkan adanya patahan. Analisis ini menggunakan software simulasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Record Spring Rod di Coal Mill Tuban I

Pada bulan Januari 2017, PT. Semen Indonesia melaksanakan *maintenance* rutin yang berlangsung selama 2 minggu. Kemudian ditemukan sebuah patahan dari komponen *spring rod* yang merupakan bagian dari sistem *spring suspension assembly* pada mesin *Coal Mill Tuban 1*. Komponen *spring rod* ini telah bekerja selama 10 tahun. Menurut operator, kasus patahnya *spring rod* ini belum pernah terjadi sebelumnya dan baru terjadi kali ini. Material standard dari *spring rod* menggunakan AISI 4140.

Berikut ini data-data dari *spring rod* mencakup gambar desain *spring rod* pada Gambar 1 dan data operasi pada Tabel 1.



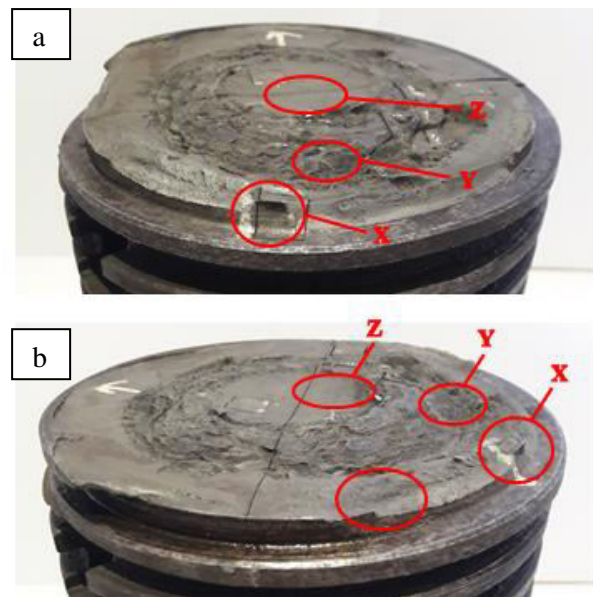
Gambar 1. Desain *spring rod* di PT. Semen Indonesia.

Tabel 1. Data operasi *Coal Mill Tuban 1*

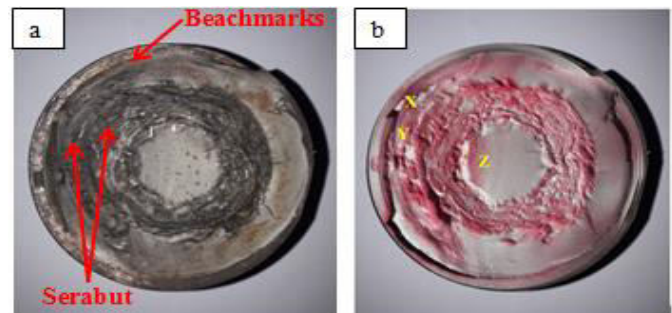
<i>Hydraulic pneumatic pressure (kg/cm²)</i>	69
Temperatur kerja (°C)	61

B. Pengamatan Hasil Makro

Gambar 2 menunjukkan foto makro permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara horizontal. Sedangkan Gambar 3 (a) merupakan permukaan *spring rod* sebelum dilakukan liquid penetrant test dan Gambar 3 (b) merupakan permukaan *spring rod* setelah dilakukan liquid penetrant test. Pengujian liquid penetrant dilakukan untuk mempermudah melihat morfologi pola patahan pada permukaan.



Gambar 2. Foto makro permukaan *spring rod* secara horizontal pada sudut pandang yang berbeda.



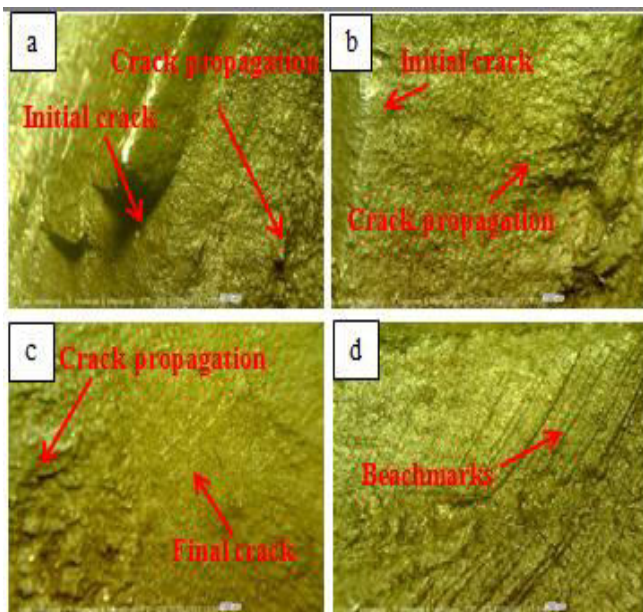
Gambar 3. Foto makro permukaan *spring rod* secara vertikal (a) sebelum dilakukan liquid penetrant test (b) setelah dilakukan liquid penetrant test.

Gambar 2 menunjukkan permukaan *spring rod* yang mengalami kegagalan secara horizontal dengan sudut pengambilan gambar yang berbeda. Dapat dilihat bahwa *initial crack* berada pada akar gigi dari ulir yang dapat dilihat pada titik X, kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* (*crack propagation*) yang dapat dilihat pada titik Y, dan terjadi *final fracture* atau *final crack* yang dapat dilihat pada titik Z.

Gambar 3 (b) menunjukkan permukaan *spring rod* yang patah akibat tegangan *tension – compression* yang berulang setelah dilakukan *liquid penetrant test*. Tegangan *tension – compression* mengakibatkan inisiasi patahan pada diameter terluar *spring rod* dengan intensitas tegangan yang rendah, yang dapat dibuktikan dengan banyaknya serabut yang terbentuk pada pola patahan. Daerah patahan dibagi menjadi 3 titik yaitu retak awal (*initial crack*) pada titik X, penjaralan retak (*crack propagation*) pada titik Y, dan *final crack* ditunjukkan pada titik Z [3].

C. Pengamatan Hasil Stereomicroscope

Gambar 4 menunjukkan hasil foto permukaan dari *spring rod* difoto menggunakan *stereomicroscope* perbesaran 8 kali. Gambar 4 (a) menunjukkan retak awal (*crack initiation*), Gambar 4 (b) menunjukkan *crack propagation*, Gambar 4 (c) menunjukkan patah akhir (*final crack*) dan Gambar 4 (d) menunjukkan *beachmarks*.



Gambar 4. Foto *stereomicroscope* pada daerah patahan *tension – compression* pada (a) *initial crack*; (b) *crack propagation*; (c) *final crack*; dan (d) *beachmarks*.

Gambar 4 (a) menunjukkan retak awal (*crack initiation*) pada *spring rod* akibat tegangan *tension – compression* berulang. Retak awal ditunjukkan tanda panah yang kemudian arah retakannya menjalar ke bawah. *crack initiation* memiliki butiran lebih halus dibandingkan dengan *crack propagation*. Gambar 4 (b) menunjukkan *crack propagation* yang ditunjukkan oleh tanda panah yang kemudian arah retakannya menjalar ke samping kanan dan menjalar lagi ke bawah. Terlihat pada *crack propagation* memiliki butir yang lebih kasar jika dibandingkan dengan *initial crack*. Gambar 4 (c) menunjukkan patah akhir (*final crack*). *Final crack* yang memiliki butir permukaan yang lebih halus jika dibandingkan dengan *crack propagation*. Gambar 4 (d) menunjukkan adanya *beachmarks* pada

permukaan patahan *spring rod*. *Beachmarks* mengindikasikan adanya patah lelah. Profil *beachmarks* merupakan hasil dari fluktuasi beban yang diberikan pada benda.

Meninjau hasil pengamatan makro dengan menggunakan *stereomicroscope* tampak patahan yang terjadi pada permukaan *spring rod* dapat di kategorikan patah lelah. Patah lelah terjadi melalui tiga tahap yaitu tahap retak awal (*crack initiation*), tahap penjaralan retak (*crack propagation*), dan tahap patah statis (*final crack*). Setelah retak lelah merambat cukup jauh, maka beban yang bekerja hanya akan didukung oleh penampang tersisa yang belum retak dan akhirnya komponen akan patah (tahap *final failure*) [4].

Hasil pengujian komposisi kimia dan komparasi terhadap standarnya ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil uji komposisi

Unsur (%)	<i>Spring rod</i>	AISI 4140
C	0.342	0.380 – 0.430
Si	0.302	0.15 – 0.30
Mn	0.800	0.75 – 1.0
P	0.0111	≤0.035
S	0.0182	≤0.040
Cr	0.970	0.80 – 1.10
Mo	0.190	0.15 – 0.30
Ni	0.206	-
Al	0.0258	-
Cu	0.189	-

Tabel 2 menunjukkan komposisi kimia pada sampel uji dari *spring rod*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi diatas, komposisi kimia *spring rod* tidak sesuai dengan material standar AISI 4140. Komposisi standar untuk AISI 4140 memiliki kadar karbon pada *range* 0.380 – 0.430%, sedangkan pada *spring rod* memiliki kadar karbon 0.342%. Kadar karbon *spring rod* memiliki selisih lebih sedikit dengan AISI 4140 yaitu 0.038%, sehingga dapat menyebabkan kekuatan dan kekerasan *spring rod* lebih rendah dari standar. Selain itu, terdapat unsur material yang tidak ada pada standar, yaitu Ni sebesar 0.206%, Al sebesar 0.0258%, dan Cu sebesar 0.189%. Unsur – unsur lain dapat menyebabkan material *spring rod* memiliki *hardenability* lebih tinggi dibandingkan material standar AISI 4140 [5].

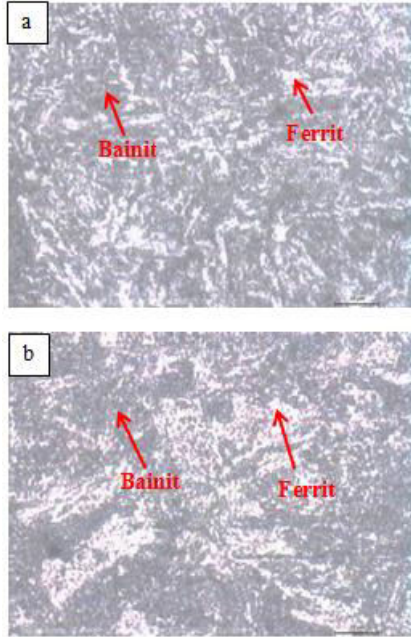
D. Hasil Pengujian Metalografi

Gambar 5 menunjukkan foto struktur mikro pada perbesaran 1000 kali dari material yang jauh dari patahan dan dekat dari patahan.

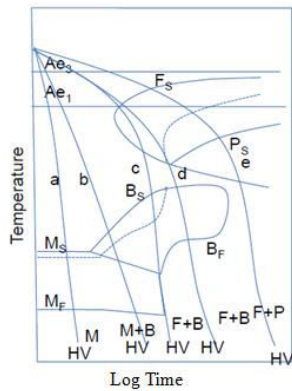
Berdasarkan hasil foto mikroskopik tersebut, didapatkan bahwa bagian terang adalah fasa ferrit dan bagian gelap adalah fasa bainit. Gambar 5 (a) menunjukkan bagian bainit dari material yang jauh dari patahan memiliki luas lebih banyak dibandingkan dengan luas bainit dari material yang jauh dari patahan, yang ditunjukkan pada Gambar 5 (b). Selain itu, bainit dari material yang dekat dari patahan mengalami *elongation* dibandingkan dengan bainit yang jauh dari patahan sehingga menyebabkan adanya *strain hardening* pada material *spring rod*.

Bainit dan ferrit terbentuk pada material didapat dari perlakuan panas dengan pendinginan kontinyu yang sangat

lambat ditunjukkan oleh diagram *continuous cooling transformation* pada garis d di Gambar 6.



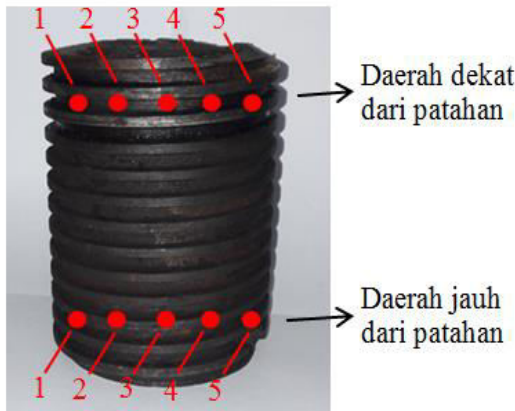
Gambar 5. Foto struktur mikro pada perbesaran 1000x: (a) jauh dari patahan; (b) dekat dari patahan.



Gambar 6. Diagram *continuous cooling transformation* AISI 4140 [6].

E. Hasil Pengujian Kekerasan Vickers

Pengujian *hardness* ini digunakan untuk mengetahui distribusi kekerasan pada *spring rod* yang mengalami kegagalan dan yang berada jauh dari kegagalan. Pengujian ini menggunakan indentasi sebanyak 5 titik pada masing – masing daerah, indentasi dilakukan pada daerah yang dekat dan jauh dari patahan dengan beban sebesar 100 kgf. Pembagian daerah indentasi dapat dilihat pada Gambar 7.



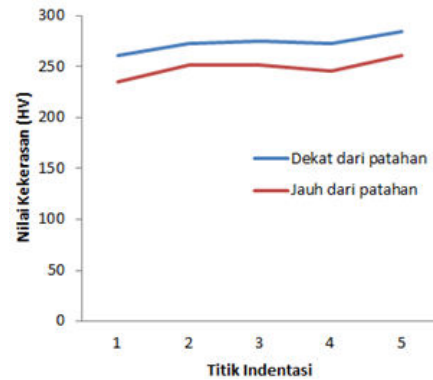
Gambar 7. Titik indentasi pengujian kekerasan

Pada Tabel 3 dapat terlihat bahwa nilai kekerasan di daerah yang jauh dari patahan memiliki rata rata sebesar 249,2 HV, sedangkan yang dekat dengan patahan memiliki nilai rata rata sebesar 273,4 HV. Hal ini dikarenakan adanya efek *strain hardening* di bagian yang terkena deformasi [7]. Nilai kekerasan keduanya melebihi standar kekerasan untuk AISI 4140, yaitu 207 HV. Hal ini dikarenakan material *spring rod* sudah dilakukan perlakuan panas yang sudah dibuktikan pada foto struktur mikro pada Gambar 5.

Pada Gambar 8 menunjukkan grafik kekerasan dari material jauh dari patahan dan dekat dari patahan.

Tabel 3. Data Hasil Pengujian Kekerasan

Nilai Kekerasan (HV)		
Daerah Indentasi	Jauh dari patahan	Dekat dari patahan
1	235	261
2	251	273
3	252	276
4	246	273
5	262	284
Rata – Rata	249.2	273.4



Gambar 8. Grafik nilai kekerasan pada material jauh dari patahan dan dekat dari patahan.

F. Analisis Titik Kritis

Software simulasi digunakan untuk melakukan permodelan pada komponen *spring rod* untuk mengetahui titik tegangan yang paling tinggi pada komponen tersebut. Analisis tegangan dilakukan dengan batasan *fixed support* dan tekanan yang diberikan. Tekanan diberikan dari arah bawah menuju ke atas.

Sebelum dilakukan analisis titik kritis pada komponen *spring rod*, dilakukan perhitungan *actual stress* untuk mengetahui berapa beban yang dapat ditanggung oleh komponen *spring rod*. *Ultimate stress* dari baja AISI 4140 sebesar 655 MPa [8].

- Perhitungan *Actual Stress*

$$\sigma_A = \frac{\sigma_U}{N}$$

Dengan : σ_A = Actual Stress (MPa)

σ_U = Ultimate Stress (Mpa)

N = Factor of Safety (Untuk baja dengan *shock load* memiliki nilai 12) [9].

Maka,

$$\sigma_A = \frac{\sigma_U}{N} = \frac{655}{12} = 54,583 \text{ MPa}$$

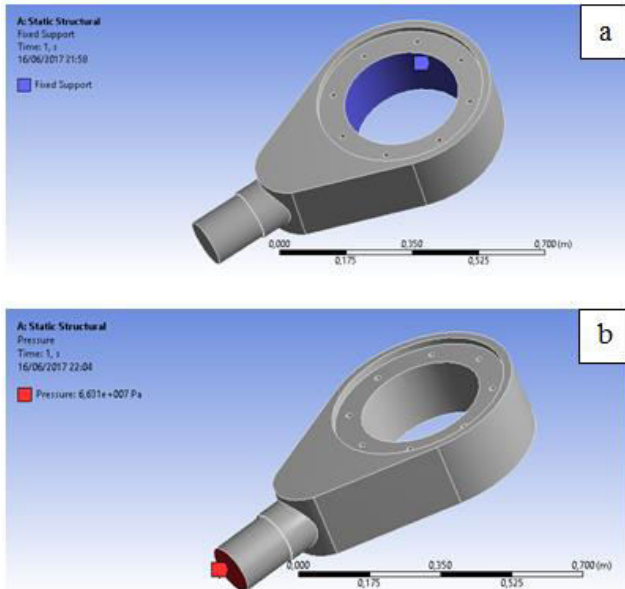
Sehingga, tegangan yang dapat ditanggung oleh *spring rod* sebesar 54,384 MPa.

Kemudian dilakukan perhitungan tekanan yang didapat oleh *spring rod*.

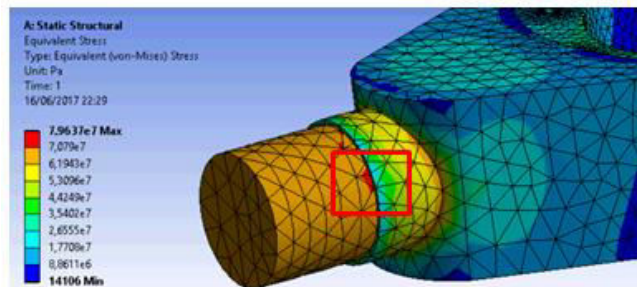
- Perhitungan Tekanan

$$\begin{aligned} \text{Hydraulic pneumatic pressure} &= 69 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 676,2 \text{ kgf/cm}^2 \\ &= 66,31 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Fixed support dan tekanan yang diberikan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Analisis tegangan dengan batasan (a) *fixed support* (b) tekanan *hydraulic pneumatic*.



Gambar 10. Permodelan setelah dilakukan *meshing*.

Kemudian dilakukan *meshing* pada software simulasi yang ditunjukkan pada Gambar 10.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa maksimum tegangan yang terjadi pada komponen *spring rod* terpusat pada bagian yang

ditunjukkan oleh warna merah sebesar 79,637 MPa, di mana pada bagian tersebut merupakan bagian yang menyambungkan *spring rod* ke komponen *support to rocker arm*. Tegangan sebesar 79,637 MPa tersebut melebihi tegangan *actual / actual stress* dari *spring rod* sebesar 54,583 MPa, sehingga dapat terjadi patahan pada daerah tersebut. Hal ini sesuai dengan dengan temuan patahan yang berada pada bagian tersebut.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan serangkaian percobaan dan analisis yang telah dilakukan, terdapat beberapa kesimpulan mengenai kegagalan *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 antara lain sebagai berikut:

1. Faktor yang menyebabkan terjadinya kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 yaitu kesalahan pemilihan dan kesalahan perlakuan panas. Material *spring rod* tidak sesuai dengan standarnya yaitu AISI 4140 dengan kurangnya kadar karbon dan tambahan unsur lainnya, dan material *spring rod* telah dilakukan perlakuan panas yang menyebabkan kekerasannya meningkat, yang seharusnya tidak dilakukan perlakuan panas jika mengacu pada standarnya yang membuat material *spring rod* lebih ulet.
2. Mekanisme kegagalan komponen *spring rod* pada *coal mill* Tuban 1 diawali oleh *initial crack* pada akar gigi pada ulir dikarenakan adanya tegangan yang berulang yang kemudian retakan merambat pada permukaan *spring rod* sebelum terjadinya *final fracture* dikarenakan *spring rod* tidak mampu menahan tegangan yang terjadi sehingga menyebabkan *fatigue failure*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Semen Padang, "Proses Pembuatan Semen," 2015.
- [2] H. Bayrakceken and et al, "Failures of Single Cylinder Diesel Engines Crank Shafts. Afyon," Turkey, 2006.
- [3] S. Nishida, *Failure Analysis in Engineering Application*. Oxford: Butterworth – Heinemann Ltd, 1992.
- [4] A. Akuan, "Kelelahan Logam," Bandung, 2007.
- [5] W. Callister, *Material Science and Engineering an Introduction*. New York: John Wiley & Sons Inc, 2007.
- [6] R. Manna, *Continuous Cooling Transformation*. India: Banaras Hindu University, 2005.
- [7] G. Miyamoto, *Acta Materialia*. Elsevier, 2012.
- [8] Azom, "AISI 4140 Chrome-Molybdenum High Tensile Steel," 2012.
- [9] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *Machine Design*. New Delhi: Eurasia Publishing House, 2005.