



## **ANALISA KERUSAKAN *STUD BOLT* TURBIN UAP 300 MW DAN UPAYA PENCEGAHANYA**

Heru Santosa

<sup>1</sup>*Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia*

E-mail : dosen00686@unpam.ac.id

Masuk : 27 Februari 2020

Direvisi : 18 Maret 2020

Disetujui : 25 Maret 2020

**Abstrak:** Fungsi *Stud Bolt* adalah untuk mengikat *casing* atas dan *casing* bawah pada turbin uap 330 MW, bekerja pada temperatur  $\pm 538^{\circ}$  operasi terus menerus 24 jam dan sudah beroperasi selama  $\pm 25$  tahun. Kerusakan yang terjadi mengalami patah dan retak padaleher ulir *stud Bolt*. Jika kerusakan diabaikan, maka uap dalam turbin tidak akan berjalan semestinya. Analisa pengkajian penyebab utama terjadinya kerusakan melalui beberapa pengujian fraktografi, metalografi, uji kekerasan, uji SEM, komposisi kimia dan pengamatan perubahan sifat mekanis logam material *Stud Bolt* akibat pengaruh panas tekanan dan getaran. Hasil dari pengujian SEM dengan menggunakan detektor BSE terlihat patah yang terjadi merupakan patahan brittle. Hasil pengujian komposisi kimia dan PMI kandungan Ni sebesar 34.5 - 35.5 %, dengan Cr sebesar 14.8 - 16.6 %. Hasil pengujian kekerasan sesuai dengan nilai standar jika dibandingkan dengan standar material SA-453 M Gr. 665 class A sebesar 328 - 410 HV (maks). Penyebab utama kerusakan digunakan untuk pengembangan kualitas *Stud Bolt* serta optimasi usaha memperpanjang umur operasional (*life time*) meliputi perbaikan desain, material, manufaktur, cara pemasangan serta penerapan system manajemen pemeliharaan yang tepat.

Kata kunci: Turbin, *Stud Bolt*, turbin uap, metalografi, kekerasan

**Abstract:** *Stud Bolt* is to tie the top casing and the bottom casing to a 330 MW steam turbine, working at  $\pm 538^{\circ}$  operating temperature continuously 24 hours and has been operating for  $\pm 25$  years. The damage was broken and cracked at Bolt's threaded neck. If damage is ignored, the steam in the turbine will not run properly. Analysis of the assessment of the main causes of damage through a number of fractographic, metallographic, hardness tests, SEM tests, chemical composition and observations of changes in mechanical properties of *Stud Bolt* metal material due to the influence of heat pressure and vibration. The results of SEM testing using a BSE detector show that the fracture that occurred is a brittle fault. The results of testing the chemical composition and PMI of Ni content of 34.5 - 35.5%, with Cr of 14.8 - 16.6%. Hardness test results are still in accordance with the standard value when compared with the material standard SA-453 M Gr. 665 class A is 328 - 410 HV (max). Conclusion The main causes of damage are used for the development of *Stud Bolt* quality as well as business optimization to extend operational life (*life time*) including the improvement of design, materials, manufacturing, installation methods and application of appropriate maintenance management systems.

**Keywords:** Turbin *Stud Bolt*, steam turbine, metalografi, hardness.

### **PENDAHULUAN**

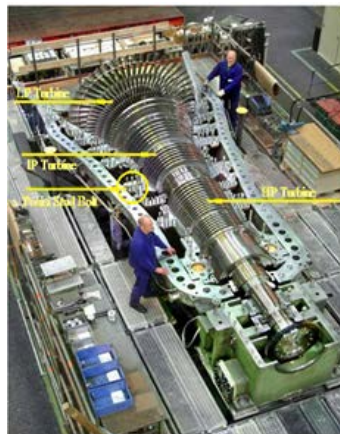
Pada salah satu industri pembangkit tenaga listrik, yang menggunakan turbin uap sebagai media untuk menggerakkan generator (PLTU), telah beroperasi selama  $\pm 25$  tahun. Pada salah satu komponennya yaitu *stud bolt* yang jumlahnya cukup banyak berfungsi sebagai baut pengikat *casing* atas dan *casing* bawah turbin uap mengalami kerusakan ketika *casing* turbin dibuka ada yang patah.

Umumnya PLTU menggunakan turbin uap tipe multistage, yakni turbin uap yang terdiri atas lebih dari 1 stage turbin (*Turbin High Pressure, Intermediate Pressure, dan Low Pressure*) [1,2,3]. Uap air superheater

yang dihasilkan oleh boiler masuk ke turbin High Pressure (HP), dan keluar pada sisi exhaust menuju ke boiler lagi untuk proses reheater. Uap air yang dipanaskan kembali ini dimasukkan kembali ke turbin uap sisi Intermediate Pressure (IP), dan uap yang keluar dari turbin IP akan langsung masuk ke Turbin Low Pressure (LP). Selanjutnya uap air yang keluar dari turbin LP masuk ke dalam kondenser untuk mengalami proses kondensasi.

Oleh pihak suplier yang didukung oleh salah satu perusahaan Jepang harus diganti, karena umur pakainya sudah habis. Kendalanya yaitu untuk pemesanan stud bolt di janjikan waktu 3 sampai 6 bulan, oleh karena itu pihak industri membuat keputusan harus segera di buat dengan menggunakan bahan baut *spindel bol*, dan salah satu *stud bolt* pada posisi *Intermediate Pressur (IP)* sudah terjadi patah ketika *Stud bolt* dibuka, penyebab terjadinya patah kemungkinan umur pakainya sudah lewat dan kemungkinan temperature dan *pressure (IP)* yang lebih rendah dari high pressure (HP), lebih cenderung terjadi kondensasi uap yang mengandung garam NaCl sehingga memicu terjadinya korosi, yaitu kemungkinan korosi antar Kristal (*intergranular corrosion*), *korosi fatigue* dan korosi retak tegang (*stress corrosion cracking*). Oleh sebab itu untuk mengetahui terjadinya kerusakan atau patah kemudiandilakukan identifikasi dengan melakukan pemeriksaan dan pengujian, meliputi : pemeriksaan metalografi (*microstructure*), uji SEM ,uji komposisi kimia, uji *fractografi* dan uji kekerasan.

Mengingat pentingnya peranan *Stud Bolt* tersebut sebagai pengikat antara *casing* atas dan *casing* bawah turbin (lihat Gamabr.1) dan untuk menghindari terjadinya kerusakan maka diperlukan estimasi umur pakainya agar dapat dilakukan optimasi dan efisiensi terhadap operasi peralatan tersebut, disamping *integritas* dan *reliabilitasnya* dapat tetap dipertahankan [5,6].



Gambar 1. Posisi stud bolt pada turbin uap [4,5]

## METODOLOGI

Untuk mengganti Stud Bolt perlu diketahui jenis material dan sifat material untuk dilakukan pengujian antara lain uji :metalurgrafi, mikro frctografi,kekerasan, analisa SEM (DX).

### 1. Data teknis stud bolt

O b j e k: *Stud Bolt Turbine IP Inner Casing*

Material : Ni Cr

Diameter : 65 mm

Panjang : 602,5 mm

Jam Operasi : 219000 jam ( ± 25 Tahun)



Gambar 2. Bolt Turbine No. mengalami crack seperti ditunjukkan pada lingkaran kuning.

**Keterangan:**

1-4 :Lokasi Pengambilan Spesimen Uji Metalografi, Kekerasan, dan SEM-EDX.

5 : Lokasi Pengambilan Spesimen Uji Komposisi Kimia.

1 : Lokasi Dilakukannya Uji Penetrant

**2. Uji Visual dan Penetrant Test Pada Bolt Turbin IP Inner Casing**

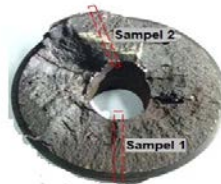
Pengujian Visual dengan berbagai Perbesaran 30x,40x,dan 60 x dilakukan pada 4 titik/lokasi pengamatan meliputi:

- a. Spot keliling lokasi terjadinya crack (seperti ditunjukkan Pada Gambar 2 posisi 1,2,3 dan 4 )
- b. Lokasi tengah bolt turbin sebagai referensi (seperti ditunjukkan Pada Gambar 2 di posisi 5)

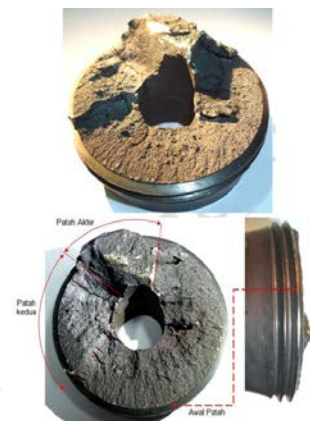
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### III. 1. Observasi foto struktur mikro

Pada gambar 3 ditunjukkan bahwa sampel 1 adalah kondisi patah awal dan sampel 2 adalah kondisi patah akhir. Pada Gambar 4 diperlihatkan posisi pengambilan sampel untuk uji struktur mikro.



Gambar 3. Posisi Pengambilan sampel untuk pemeriksaan struktur mikro



Gambar 4. Posisi Pengambilan sampel untuk pemeriksaan struktur mikro

Photo makro Patahan baut turbine material NiCr, luas patah awal  $\pm$  melebihi  $\frac{1}{2}$  diameter dan dilanjut patah kedua dan patah akhir menyisakan permukaan yang tinggi dan banyak terjadi retakan di bagian dalam maupun di permukaan patahan. Patah awal mulai dari permukaan luar bolt tersebut, menjalar secara cepat ke dalam. Hal ini disebut patah getas over load.



Gambar 5. Patah akhir membentuk sudut 45°

Pada Gambar 5 memperlihatkan patahan patah kedua dan patah akhir . Pada sampel 2 yaitu patah akhir membentuk 45°  
Pengamatan dengan mikroskop optik dengan perbesaran 6 x dan 25 x diperlihatkan pada Gambar 6.

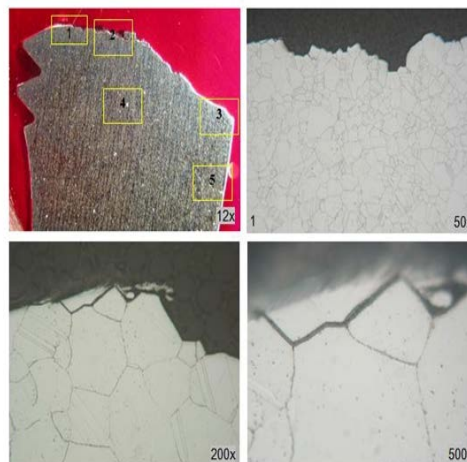


Gambar 6. perbesaran gambar 6X dan 25X

Perbesaran Gambar 6 awal patah berupa patah getas( *brittel* ), terlihat adanya jejak SCC (*Stress Corrosion Crack*) yang bercabang- cabang.

### III.2. Mikrofraktography

Pada Gambar 7 terlihat bahwa retak awal bermula dari permukaan luar *stud bolt* pada area dasar ulir . Terdapat produk korosi yang mengandung elemen Cl, yang diduga berasal dari lingkungan marine (pinggir laut ) .adanya *stress* yang tinggikan element Cl pada material austenitic memicu timbulnya *Stress Corrosion Cracking* ( SCC ) [11,12]



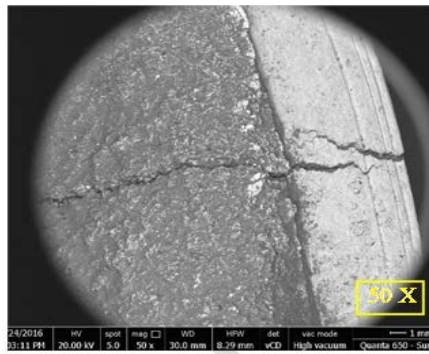
Gambar. 7 Struktur mikro sampel 1 (daerah awal patah) lokasi 1 di kaki ulir berupa austenitic dan mengalami retak batas butir ( SCC Intergranular). Etsa: aqua regia

Hasil analisa Makrofraktography diperoleh bahwa :

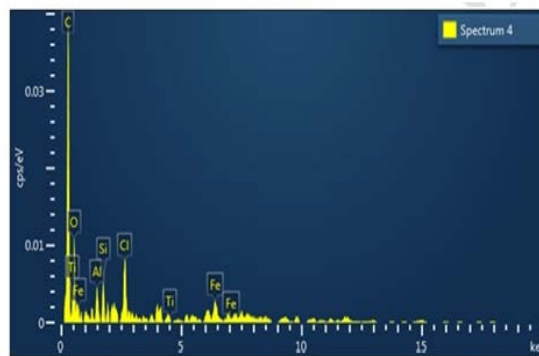
- Tidak ada ciri –ciri patah fatigue.
- Berupa patah getas (*brittel*), dengan awal patah didasar ulir yang merupakan lokasi stres raiser.
- Ciri-ciri patah getas yaitu tidak ada necking.
- Ciri-ciri patah static adalah over loud yaitu berupa chevron pattern yang mengarah pada titik awal patah.

### III.3. Analisa Scanning Electron Microscopy (SEM) dan Energy Dispersive Ray Analysis (EDX) Stud Bolt IP Inner casing turbin

Pengujian SEM-EDX dilakukan pada spesimen uji yang berada pada area patahan (Fracture). Hasil dari pengujian ditunjukkan pada Gambar 8 dibawah ini.



Gambar 8. Tampilan Permukaan Patahan (Fraktur) pada spesimen no. 1 sisi dalam terlihat dengan detektor BSE untuk melihat komposisi material



Gambar 9. Hasil difraktogram SEM-EDX sampel 3 pada permukaan sisi luar.

Tabel 1. Hasil komposisi kimia

Elemen	% wt.	% wt sigma
C	64,59	12,04
O	20,84	12,13
Al	1,64	0,93
Si	2,56	1,03
Cl	4,70	1,70
Ti	0,11	0,76
Fe	5,56	3,00
Total	100,0	

Berdasarkan hasil uji SEM-EDX seperti diperlihatkan pada Gambar 9 dan tabel 1 diperoleh bahwa :

1. Spesimen 1 pada gambar 11 dengan menggunakan detektor BSE terlihat patahan yang terjadi merupakan patahan *brittle*.
2. Spesimen 2 dengan detektor BSE terlihat struktur *Ni based alloy* dan bukan merupakan ferrite-pearlite akan tetapi merupakan Austenitic.
3. Spesimen 3 menunjukkan timbulnya microcrack akibat terjadinya serangan SCC yaitu kombinasi ion Chlorida dan working stress.
4. Spesimen 4 yang merupakan referensi memperlihatkan material dalam kondisi baik dimana dengan pengujian EDX hanya terdapat unsur-unsur dari material tersebut.

#### III.4. Pengujian Kekerasan Pada Bolt Turbin IP Inner Casing

Uji kekerasan Bolt Turbin IP inner Casing menggunakan alat uji Vickers dilakukan pada spesimen 1 awal patah, spesimen 2 akhir patah dan spesimen .

Data alat uji kekerasan Vickers:

Nama alat : Frank Finotest

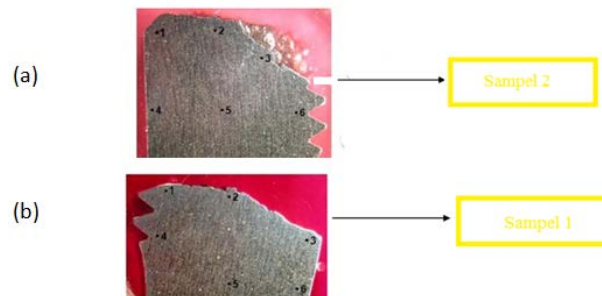
Metode Uji : Hardness Vickers (HV)  
 Beban ( P ) : 10 Kgf  
 Sudut Identor : 136°  
 Waktu Uji : 15 detik  
 Temperatur Uji : 28°C  
 Standar Uji : SNI 19-0409-1989

Pada Tabel 2 diperlihatkan hasil pengujian kekerasan vickers Bolt turbin IP inner casing pada spesimen 1 dan 2.

Tabel 2. Hasil uji kekerasan Bolt turbin IP inner Casing spesimen 1

Kode	Nilai Kekerasan ( HV )		Standar ASME SA-453 M Class 1
	Spesimen 1 ( awalpatah )	Spesimen 2 ( akhirpatah )	
Bolt Turbin IP Inner Casing Rata-rata	297	367	328 – 410 HV ( Maksimum )
	322	367	
	333	302	
	312	317	
	306	306	
	327	298	
	316,6	326,1	

Hasil dari pengujian kekerasan, bahwa pada spesimen 1 dan 2 dimana nilai kekerasan masih sesuai dengan nilai standar jika dibandingkan dengan standar material SA-453 M Gr. 665 class A sebesar 328 - 410 HV (maks). Namun nilai kekerasannya masih mendekati spesifikasinya. Posisi pengambilan sampel untuk uji kekerasan vickers di tunjukkan pada Gambar 10 sebagai berikut.



Gambar 10. (a) Sampel 1 lokasi patah awal, (b) lokasi patah akhir

**III. 5. Pengujian Komposisi Kimia Stud Bolt**

Hasil analisa komposisi kimia dari material Bolt Turbine IP Inner Casing diperlihatkan pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Hasil analisa komposisi kimia pada material Bolt Turbine IP Inner Casing

No.	Unsur	Komposisi Kimia	PMI Positive material identification	Standar A-193 Grade 1D	Standar SA-453M Grade 655
1	C	0.028	0.0262	0.08max	0.08max
2	Si	0.258	0.248	0.030max	0.10-0.80
3	S	<0.0001	<0.0001	0.045max	0.030max
4	P	0.432	<0.0001	2.00max	0,040max
6	Mn	0.432	0.431	10.0-14.0	1.25-2.00
7	Ni	34.5	35.5	16.0-18.0	24.0-28.0
8	Cr	16.6	14.8		1.25-2.2
9	Mo	0.0763	2.67		0.25
10	V	0.254	0.132		
11	Cu	0.0763	0.0746		0.25max
12	W	0.0254	0.281		
13	Ti	0.26	2.25		2.70-3.30
14	Sn	0.0001	<0.0058		
15	Al	0.187	0.177		0.25max
16	Pb	<0.001	<0.0001		
17	Nb	0.0691	0.08		
18	Zr	0.0045	0.0409		
19	Zn	<0.0001	<0.0001		
20	Fe	25	25.6		
21	Co	17.4	18.1		

Pengujian komposisi kimia pada material Bolt Turbine IP Inner Casing, dilakukan menggunakan Spark Optical Emission Spectroscopy dengan Standard ASME SA-453 M dan ASTM A 193. Pengujian ini untuk mengetahui unsure kimia penyusun dari material Bolt turbine. Hasil nya sebagai berikut:

*turbin Inner Casing* berdasarkan data hasil Tabel 1, material Stud Bolt Turbin tersebut adalah Ni based Alloy. Dengan hasil Pengujian komposisi kimia dan PMI kandungan Ni sebesar 34.5 - 35.5 %.,dengan Cr sebesar 14.8 - 16.6 %.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pembahasan pada BAB IV dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Secara visual pada area kerusakan seperti ditunjukkan pada Gambar *stud bolt* 1.3, teramati dinding *Stud Bolt* mengalami patah getas yang diindikasikan karena *overload* pada saat pengencangan *Stud bolt*.
- Dari hasil pengamatan pengujian, struktur mikro *stud bolt* menunjukkan bahwa *stud bolt* sudah mengalami cracking sebelum terjadinya patah yang disebabkan adanya serangan SCC yang diduga *Corodant* tersebut adalah ion Cl<sup>-</sup>
- Dari hasil pengamatan mikro antara specimen uji pada lokasi pecah (spesimen1,2 dan 3) serta specimen ujung tube (spesiment 4) sebagai referensi. Terjadinya Serangan *Stress corrosion cracking* (SCC) menyebabkan *stud bolt* tersebut berkurang kekuatannya secara signifikan, sehingga saat dilakukan pengencangan dengan beban torsi yang sama terjadi patah getas. Pada saat maintenance semua baut harus diperiksa dengan penetrant test (PT Fluorescent), untuk mendeteksi dini kemungkinan adanya SCC.
- Hasil uji kekerasan pada spesimen 1 dan 2 dimana nilai kekerasan masih sesuai dengan nilai standar jika dibandingkan dengan standar material SA-453 M Gr. 665 class A sebesar 328 - 410 HV (maks). Namun nilai kekerasannya masih mendekati spesifikasinya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Daryanto, *IlmuMetalurgy*.Satunusa, Bandung, Oktober 2010
- [2]. Anrinal, *Metalurgifisik*, Andi, Padang, Februari 2013
- [3]. Kenji chi jiiwa, Tata Surdia, *Teknikpengecoranlogam*, Balaipustaka, Bandung, November 1986
- [4]. D.N. Adnyana, *Struktur dan Sifat Mekanis Material Logam*, Diktat Mata Kuliah Program Pasca Sarjana (S2) ISTN Jakarta, 2003.
- [5]. Christopher J, Mc Cauley, *Machinery's Handbook*, 29th Edition, 2012
- [6]. Japanes Standards Association, *Ferrous Material & Metalurgy*, JIS Hanbook, Japan 2007
- [7]. J.P. Holman, "*PerpindahanKalor*" Erlangga, 1993
- [8]. KARL-ERIC, T., *Steel and Its HeatTreatment*, 2nd ed , Buffer Warth& Co Boston, London 1994.
- [9]. Stephen I Karsay, *Ductile Iron II*, Quebec Iron and Titanium Corporation, Canada 1997
- [10].Andrew KS Jardine, Albert H.C Tsang, *Maintenance, Replacement and Reliability*, CRC Press, 2006.
- [11].Jhon Moubray, *Reliability Centered Maintenance*, 2nd, Industrial Press Inc,1997
- [12].D. Deutschman,E.Wilson, J. Micles, *MachiedesignTheory and Practice*, Macmillon Publishing CO,Inc, New York.