

Analisa Kegagalan *Conrod Bearing* Pada *Main Engine* Kapal

Cepat

Dwi Tatang Yulianto¹, D.N. Adnyana²

¹ Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional

² Program Pasca Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik Industri, Institut Sains dan Teknologi Nasional

Email: dtyulianto@gmail.com

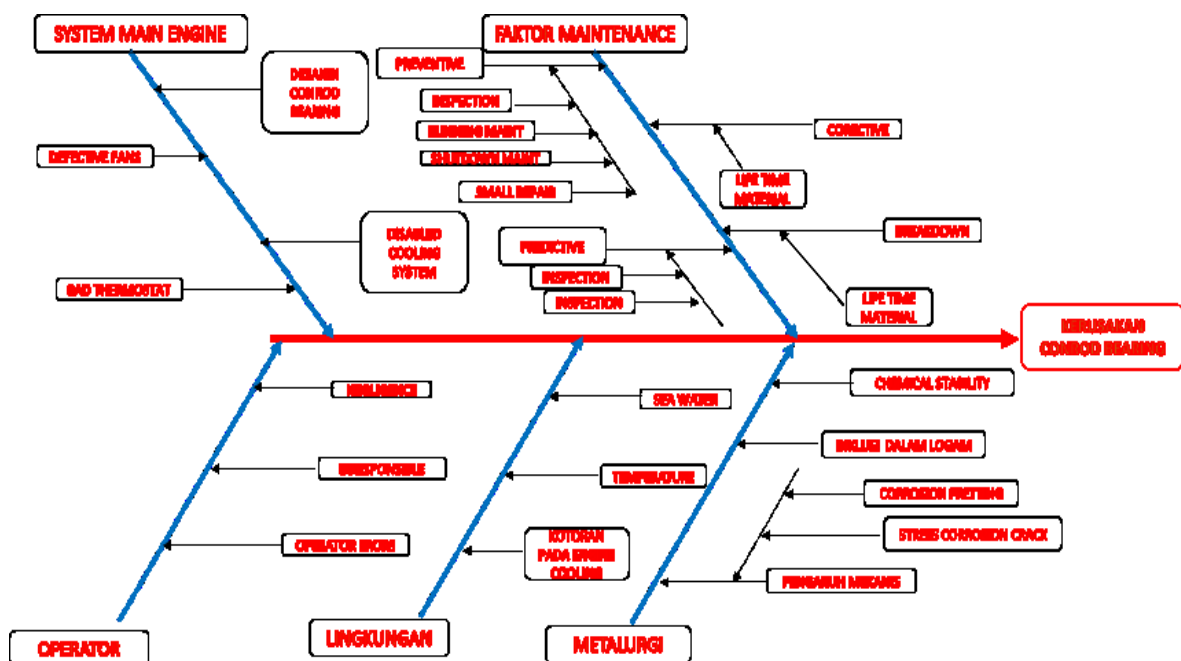
Informasi Artikel:	ABSTRAK
<i>Received:</i> 06 September 2020	Kerusakan conrod bearing pada main engine kapal cepat akibat design material, peningkatan panas yang berlebih pada sistem engine cooling (overheat) dan pengeoperasian. Untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dilaksanakan beberapa pengujian seperti pengamatan visual makro, analisis komposisi kimia, kekerasan mikro dengan vickers, fraktografi, metalografi, pengukuran ketebalan lapisan. Hasil analisis telah terjadi overheating dan deform pada conrod bearing akibat bergesekan dengan connecting rod dan terlihat pada daerah tepi alur adanya gesekan, dan tidak ditemukan lapisan babbitt dikarenakan lapisan tersebut sudah lebur (fase liquid) pada temperature 354°C sesuai dengan standar logam babbitt ASTM B23-00 2014 serta lapisan back steel mengalami deform.
<i>Accepted:</i> 02 Desember 2021	
<i>Available:</i> 15 Desember 2021	
Kata Kunci:	ABSTRACT
<i>Conrod bearing damage</i> <i>Overheat</i> <i>Babbitt layer</i> <i>Back-up steel</i>	<i>Damage to the conrod bearing on the main engine of the fast ship due to material design, increased overheating of the engine cooling system (overheat) and operation. To identify the cause of damage, several tests were carried out such as macro-visual observation, chemical composition analysis, micro hardness with vickers, fractography, metallography, and coating thickness measurements. The results of the analysis have overheating and deforming of the conrod bearing due to rubbing against the connecting rod and there is friction on the edge of the groove, and there is no babbitt layer found because the layer has melted (liquid phase) at a temperature of 354 ° C according to the ASTM B23-00 2014 babbitt metal standard and the back steel layer is deformed.</i>

1. PENDAHULUAN

Connecting rod bearing (*Conrod bearing*) merupakan salah satu bagian dari elemen *main engine* Kapal Cepat yang memegang peranan cukup penting, karena berfungsi untuk menumpu sebuah connecting rod *main engine* sehingga poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan dan putaran gerakan bolak-baliknya dapat berlangsung secara halus dan aman. *Conrod bearing* harus cukup kuat untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Pada *conrod bearing* ini terjadi gesekan luncur antara permukaan poros (tap) dengan permukaan *bearing*, untuk mengurangi gesekan-gesekan tersebut digunakan minyak pelumas sebagai lapisan perantaranya.[5]

Telah terjadi kerusakan pada material *conrod bearing* *main engine* Kapal Cepat. Kerusakan tersebut kemungkinan terjadi karena abrasi (abrasion), kelelahan (*fatigue*), korosi / pengkaratan (*corrosion*), meleleh dan tersapu (*wiping*), kavitasi, luka terkikis (*fretting*), kesalahan-kesalahan *desain*, pemasangan yang tidak benar (*incorrect assembly*), faktor-faktor lingkungan (*environmental factors*) dan faktor operasional. [4]

Hasil pengamatan secara visual yang sudah dilaksanakan, telah terjadi kerusakan *conrod bearing* pada *main engine* Kapal Cepat berupa goresan pada face bearing dan korosi, maka perlu dilaksanakan penelitian dan analisis meliputi kegiatan: pemeriksaan secara visual, pengujian komposisi kimia, pengujian metalografi, pengujian kekerasan, pengukuran ketebalan dan kajian manajemen pemeliharaan yang dilaksanakan. Data dari hasil pengujian tersebut, digunakan sebagai dasar penelitian dan analisis untuk mencari faktor-faktor penyebab terjadinya kerusakan dan pencegahannya. Faktor-faktor penyebab ini dapat ditunjukkan dalam diagram "tulang ikan". [7]

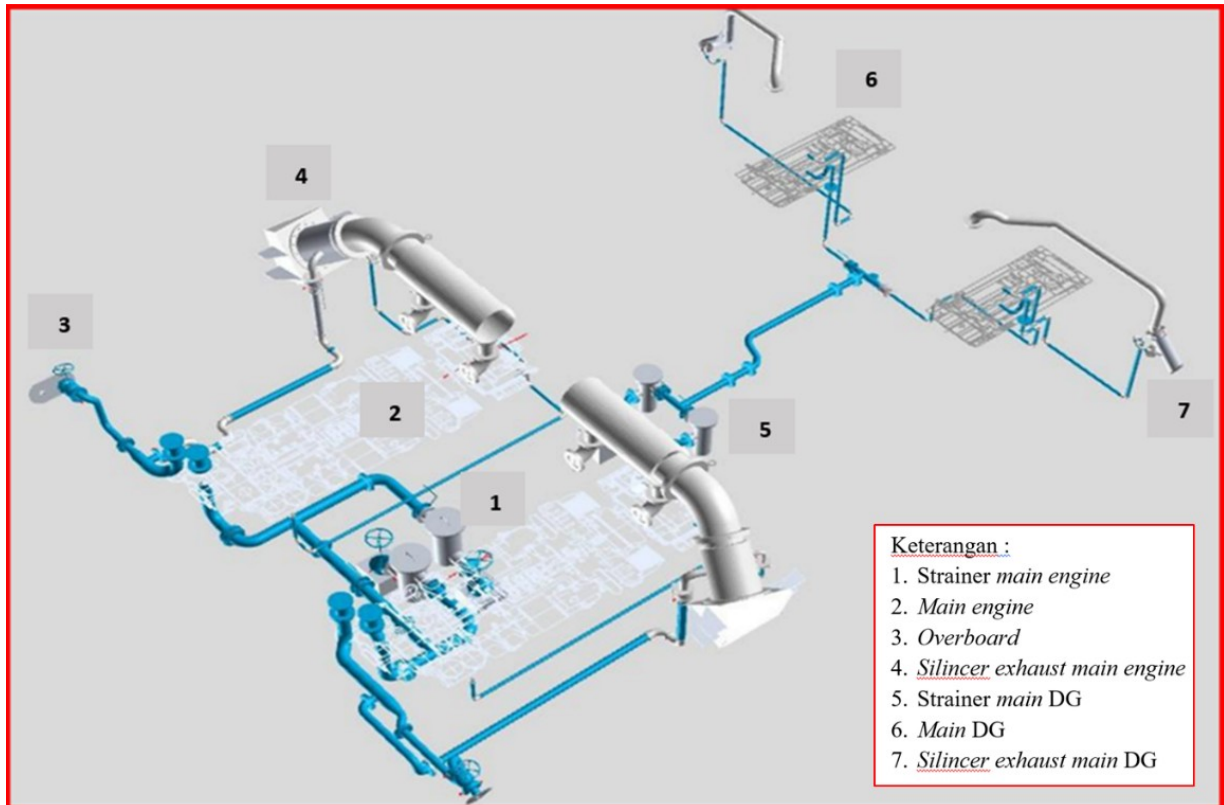


Gambar 1. Diagram tulang ikan terjadinya kerusakan conrod bearing

Pendingin adalah suatu media yang berfungsi untuk menyerap panas. Panas tersebut didapat dari hasil pembakaran bahan bakar didalam *cylinder*. Sistem pendinginan pada

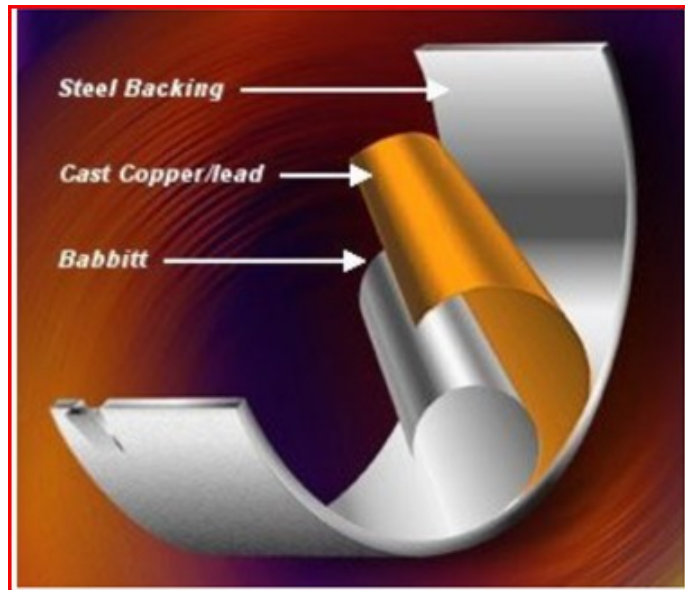
mesin dibuat agar mesin dapat bekerja pada temperatur yang di tentukan setelah mesin hidup, dan menjaga agar mesin dapat bekerja pada temperatur kerja.

Dalam sistem pendinginan tidak langsung menggunakan dua media pendingin, yang digunakan adalah air tawar dan air laut. Air tawar dipergunakan untuk mendinginkan bagian-bagian motor, sedangkan air laut digunakan untuk mendinginkan air tawar, setelah itu air laut langsung dibuang keluar kapal dan air tawar bersirkulasi dalam siklus tertutup [3].



Gambar 2 . *Layout cooling engine* pada kapal cepat

Konstruksi conrod bearing (*sliding bearing*) berbentuk silinder atau silinder yang dibelah dua yang pada bagian dalamnya dilapisi oleh bahan yang mempunyai sifat-sifat seperti mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban statis dan beban dinamis, tahan aus., mampu membenamkan kotoran atau partikel-partikel halus, dapat menyesuaikan diri terhadap lenturan poros atau geometri poros, tahan korosi, koefisien gesek yang rendah dan mempunyai ketahanan terhadap pengelupasan lapisan, dengan nomenklatur conrod bearing seperti gamabar di bawah ini.[5]



Gambar 3. Nomenklatur conrod bearing

Standar logam babbitt yang digunakan untuk *bearing* dengan putaran tinggi menggunakan standar ASTM B23, *grade 2* didapatkan spesifikasi teknis sebagai berikut nilai titik luluhnya (σ_y) 42 MPa, batas elastisitas 23,1MPa, kekuatan maksimum (σ_u) 102,7 MPa dan kekerasan 24,5 BHN [1].

Selain dari data tersebut diatas disebutkan bahwa untuk logam *babbitt grade 2*, titik cair logam adalah 241 °C, dengan temperatur pencairan sebenarnya adalah 354 °C dan temperatur untuk penuangan adalah 424 °C. Dalam aplikasi dari ASTM B23 dengan *grade 2*, biasa digunakan untuk aplikasi bantalan dengan kecepatan putar yang tinggi (*High Speed*) dengan tekanan yang rendah (*Low Pressure*). Penggunaan tersebut ideal untuk perbaikan bagian-bagian pesawat yang menggunakan bahan *babbitt*, perbaikan pada bagian – bagian mobil, dan sangat baik digunakan untuk conrod, crank pins, kompresor, mesin pemotong, pompa sentrifugal, dynamo, mesin bus dan diesel, lift, steam cylinder dan steam pump. Sedangkan lapisan *back-up steel* pada *conrod bearing* menggunakan standar ASTM A 534 *grade 9310H* (*Standard of specification for carburizing steel for anti friction bearing*) [2].

2. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian dan pemeriksaan laboratorium dilakukan di Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) Puspiptek, terhadap material *conrod bearing* yang meliputi pemeriksaan secara visual yaitu pemeriksaan secara langsung pada conrod bearing yang rusak dan yang tidak rusak yang mengalami kerusakan dengan menggunakan foto dari berbagai arah, pengukuran ketebalan conrod bearing dengan metoda mikroskop optik dilakukan berdasarkan foto yang telah diambil, analisis komposisi kimia menggunakan alat *spectrometer* dengan tujuan untuk mengetahui jenis kandungan unsur kimia dan prosentasenya. , pengujian metalografi bertujuan untuk mengetahui sifat-sifat logam dan paduannya berdasarkan bentuk struktur mikronya dengan alat mikroskop optik metalurgi, dan pengujian kekerasan dengan metoda vickers, yang bertujuan menentukan kekerasan suatu material, yaitu daya tahan material terhadap indentor intan yang cukup kecil dan mempunyai bentuk geometri.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kronologis terjadinya kerusakan pada *conrod bearing* motor diesel penggerak pokok kapal cepat adalah sebagai berikut :

- Data awal *start engine* pada putaran stasioner 750 rpm, *engine oil pressure* 2,9 bar, *engine coolant temperature* 55°C, *charger air temperature*, 33 °C, *expantion tank* 0,19 bar, *coolant after pump* 0,64 bar, *engine oil temperature* 55°C, *exhaust before turbo* 1 (*Bank A*) 121°C, *exhaust before turbo* 1 (*Bank B*) 40°C dan *load* 63 %.

Pada saat putaran *engine* di naikan ke 800 rpm terjadi *alarm engine power is reduced* , kemudian diperiksa oleh teknisi dan ditemukan perbedaan suhu panas dari sistem pengembalian bahan bakar/*over flow bank A* lebih panas daripada *bank B*.

- Dilaksanakan penggantian suku cadang *real sensor, limiter valve dan injector di bank A (A4,A5 dan A6)*.
- Start engine* dimulai dari putaran *engine* 814, 1018, 1216, 1402 dan pada saat dinaikkan ke 1500 rpm terjadi *alarm coolant press expantion tank* (tekanan 1,4 bar)

Hasil pemeriksaan secara visual *main engine* kapal cepat diperoleh data-data sebagai : media *coolant engine* air tawar masuk ke *carter oli*, *vibrasi engine* sangat besar dan tekanan diatas normal di *expantion tank* dan sistem pendingin air tawar masuk ke *carter/oil par'*.

Dari data kondisi teknis tersebut di atas dan untuk mengembalikan kondisi *main engine* kapal cepat pada *performance* yang maksimal dan siap operasi, maka dilaksanakan tindakan pemeliharaan pada tingkat *overhaul*. Dalam pengujian sampel *conrod bearing*, sampel uji yang diambil adalah *conrod bearing main engine* kapal cepat yang rusak (sampel A dan B) dan yang tidak rusak (sampel C dan D).

Pemeriksaan visual makrografi *conrod bearing*

Hasil pemeriksaan visual dari *conrod bearing* yang mengalami kerusakan dengan menggunakan kamera digital dan diekspos pada bermacam posisi seperti pada Gambar di bawah ini, Foto *conrod bearing* diekspos dalam bermacam posisi sebagai berikut , terlihat pada bagian ujung dan tepi *conrod bearing* yang rusak mengalami *overheat*

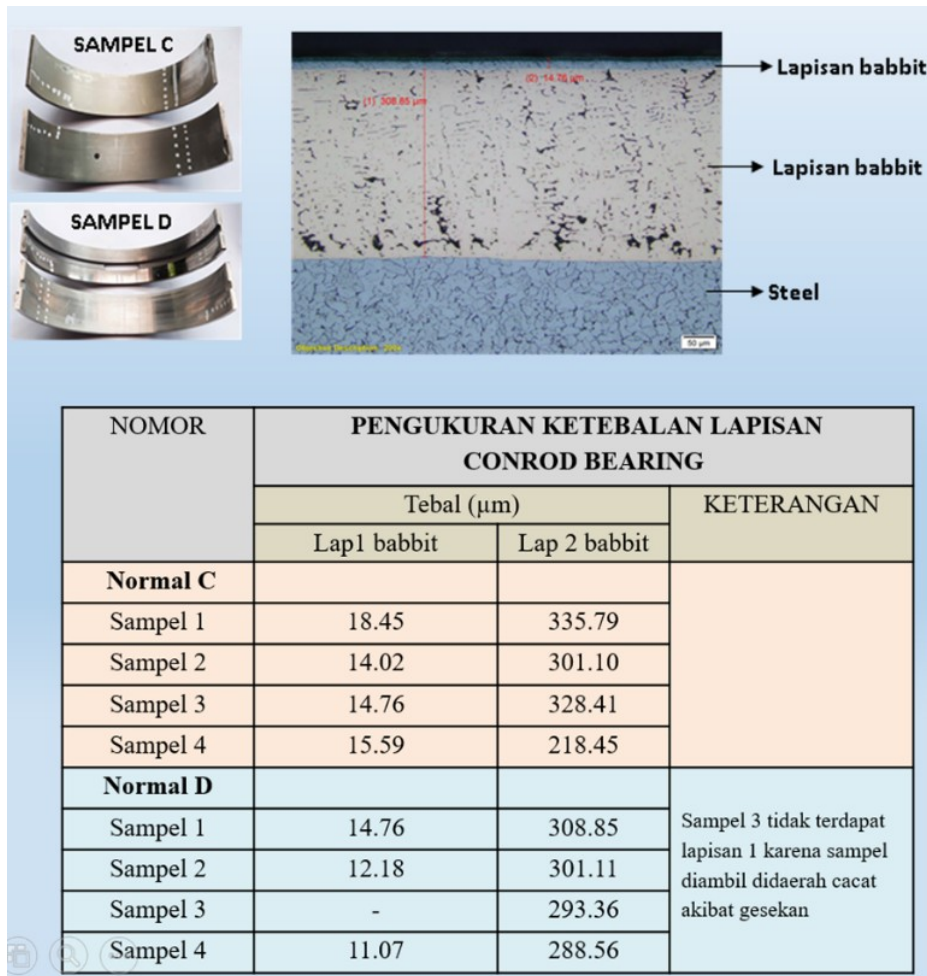


Gambar 4. Pemeriksaan *conrod bearing* secara visual

Pengukuran ketebalan *conrod bearing*

Pengukuran ketebalan conrod bearing dengan metoda mikroskop optik dilakukan berdasarkan foto yang telah diambil, berikut Tabel hasil pengukuran ketebalan *conrod bearing*.

Tabel 1. Pengukuran ketebalan conrod bearing



Komposisi kimia *conrod bearing*

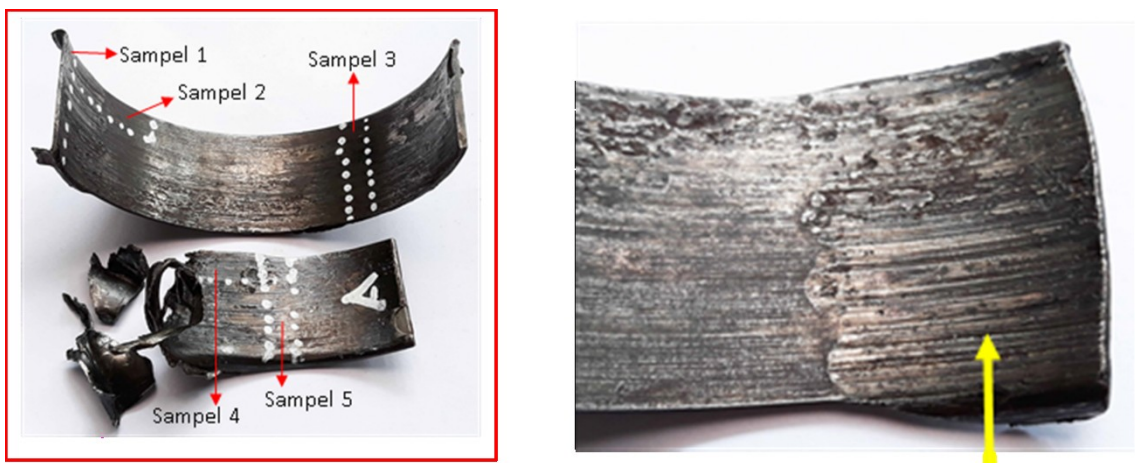
Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan standar ASTM A751 pada conrod bearing dengan menggunakan alat *spectrometer* dengan tujuan untuk mengetahui jenis kandungan unsur kimia dan prosentasenya.

Tabel 2. Komposisi kimia conrod bearing

No.	Unsur	Kandungan unsur (% berat) steel back up conrod bearing				ASTM A534 Grade 9310H
		A	B	C	D	
1	Fe	99.3	99.5	99.3	99.2	
2	C	0.0963	0.0533	0.0971	0.0969	0,07-0,13
3	Si	0.0245	< 0.0050	0.0267	0.0182	0,15-0,35
4	P	0.0072	0.0082	0.0073	0.0178	0,02
5	S	0.0071	0.0089	< 0.0040	0.0157	0,01
6	Mn	0.358	0.230	0.353	0.377	0,4-0,7
7	Cr	0.0246	0.0270	0.0203	0.0281	1-1,45
8	Ni	0.0293	0.0209	0.0294	0.0341	2,95-3,55
9	Mo	0.0082	< 0.0040	0.0050	< 0.0040	0,08-0,15
10	Cu	0.0278	0.0598	0.0220	0.0322	≤ 0,30
11	Al	0.0406	0.0454	0.0441	0.0350	≤ 0,05
12	V	0.0024	0.0012	< 0.0010	0.0028	
13	W	< 0.0250	< 0.0250	< 0.0250	< 0.0250	
14	Ti	0.0046	< 0.0010	< 0.0010	0.0029	
15	Nb	0.0040	< 0.0020	< 0.0020	< 0.0020	
16	Co	0.0052	0.0038	0.0074	0.0047	
17	Pb	< 0.0010	< 0.0150	< 0.0150	< 0.0150	

Pengujian metalografi

Pengujian metalografi terhadap sampel *conrod bearing* sampel A dan B (rusak) serta sampel C dan D (tidak rusak) sebagai berikut:



Gambar 5 Foto *conrod bearing* sampel A

Foto makro *conrod bearing* kondisi Rusak-A, mengalami kegagalan/rusak overheating akibat bergesekan dengan *connecting rod*, terlihat pada daerah tepi mengalami alur gesekan (tanda panah). Pengambilan sampel metalografi / struktur mikro dilakukan di 5 lokasi.

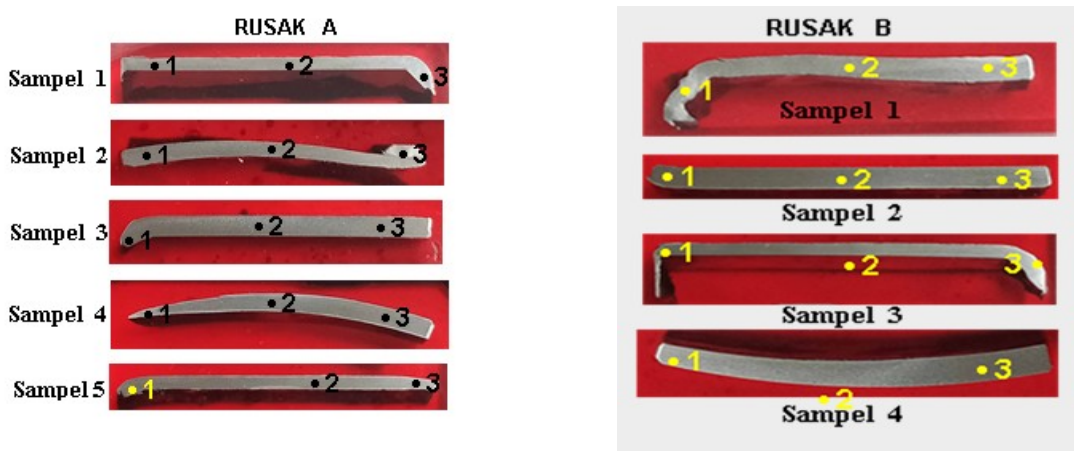
Pemeriksaan *conrod bearing* kondisi rusak sampel A, material *steel* karbon rendah (0.096% C). Struktur mikro berupa matriks feritik sedikit perlit dan ferit. Daerah yang mengalami *overheating* struktur mikro ferit lebih kasar (lokasi 2) dibandingkan dengan lokasi 4. Nilai kekerasan 143 HV sedangkan daerah yang mengalami deformasi 204 HV. Etsa: nital 2%

Pemeriksaan *conrod bearing* Sampel B. Struktur mikro lokasi 1 mengalami deformasi/*overheating* berupa butir halus ferit dan perlit, nilai kekerasannya 243 HV, lokasi 2 cacat lipatan berupa bainit (ferit-perlit) kekerasan 178 HV dan lokasi 3 berupa ferit- perlit butir kasar nilai kekerasan 137 HV. Etsa: nital 2%.

Pemeriksaan *conrod bearing* sampel C. Struktur mikro berupa *ferit – perlit*. Tebal lapisan pertama babbitt dipermukaan dalam 335.79 μm dan tebal lapisan kedua 18.79 μm . Nilai kekerasan lapisan babbitt antara 153 - 156 HV dan material *back steel* antara 168-179 HV. Etsa: nital 2%. Pemeriksaan *conrod bearing* sampel D .Struktur mikro berupa ferit – perlit. Tebal lapisan pertama *babbitt* dipermukaan dalam 308.85 μm dan tebal lapisan kedua 14.76 μm . Nilai kekerasan material *babbitt* antara 87 - 88 HV dan material *back steel* antara 175-179 HV. Etsa: nital 2

Pengujian kekerasan *conrod bearing*

Pengujian kekerasan *conrod bearing* menggunakan alat Frang Finotest, metode hardess Vickers, beban 5 Kgf, diameter indentor 136° selama 15 detik dengan standar uji SNI19-0409-1989. Sampel uji kekerasan *conrod bearing* yang rusak sesuai Gambar di bawah ini.



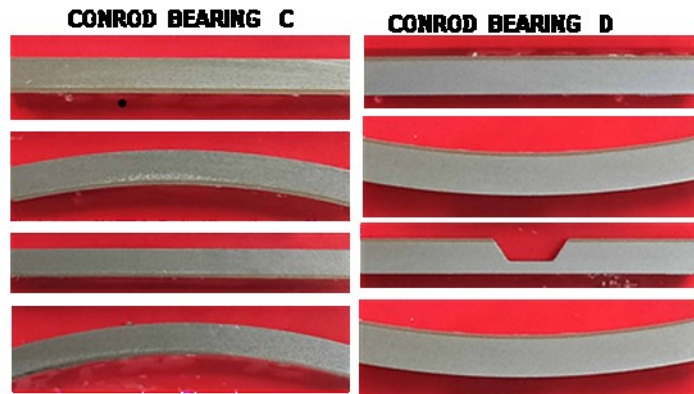
Gambar 6. Sampel Uji kekerasan *conrod bearing* yang rusak

Nilai hasil uji kekerasan terhadap *conrod bearing* yang rusak seperti pada Tabel berikut ini:

Tabel 3. Nilai kekerasan *conrod bearing* yang rusak

No.	NILAI KEKERASAN, HV									Keterangan
	Conrod Bearing A					Conrod Bearing B				
	No.1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 1	No. 2	No.3	No. 4	
1	145	148	203	257	161	243	183	232	172	
2	143	192	174	145	147	178	132	158	123	
3	204	227	174	169	165	137	165	172	135	

Sedangkan sampel uji kekerasan *conrod bearing* yang tidak rusak sesuai Gambar di bawah ini



Gambar 7. Sampel Uji kekerasan *conrod bearing* yang tidak rusak

Nilai hasil uji kekerasan terhadap *conrod bearing* yang tidak rusak seperti pada Tabel berikut ini :

Tabel 4. Nilai kekerasan conrod bearing yang tidak rusak

No.	NILAI KEKERASAN, HV								Keterangan
	Conrod Bearing C				Conrod Bearing D				
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 1	No 2	No 3	No 4	
1	153	153	148	158	88	89	92	96	Lapisan Babbit
2	156	162	165	159	87	92	88	102	
3	156	162	148	156	87	89	89	100	
4	168	172	170	166	175	185	179	186	Steel
5	179	178	171	170	178	183	174	186	
6	171	173	172	167	179	188	179	186	

Pada Tabel diatas lapisan *babbit* pada No. 1 s.d 3 sedangkan lapisan *back-up steel* pada No. 4 s.d 6

Analisa dan pembahasan

Berdasarkan *fishbone* diagram, pengumpulan data lapangan dan hasil pengujian dapat disampaikan bahwa penyebab kegagalan conrod bearing pada main engine kapal cepat adalah

- Faktor Lingkungan, yang mempengaruhi adalah adanya kotoran di sistem pipa engine cooling yang akan mendinginkan air tawar di cooler, karena kapal cepat beroperasi di perairan yang kotor.
- Faktor Operator, ABK yang kurang disiplin dalam membersihkan kotoran yang berpotensi menyumbat aliran seawater cooling dari *seachest*, *strainer*, *manifold*, piping dan *cooler*
- Sistem *main engine (design conrod bearing)*, komposisi kimia *conrod bearing* yang tidak sesuai standar ASTM B23 grade 2 dan ASTM A 534 dan sesuai hasil pengujian material ditunjukkan adanya overheating dan deform.
- Faktor maintenance, *maintenance* selama ini dilaksanakan pada komponen-komponen seperti *injektor*, filter bahan bakar dan oli, sementara inspeksi tentang sirkulasi sistem

pipa pendingin air laut dan air tawar *engine* dan *cooler* belum dilaksanakan (*flushing*) secara rutin.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pengujian *conrod bearing* yang rusak dan tidak rusak dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian makrografi dan metalografi dan analisis material sampel uji telah terjadi *overheating* pada *conrod bearing* akibat bergesekan dengan *connecting rod* dan terlihat pada daerah tepi ada alur gesekan. Struktur *mikro conrod bearing* berupa *matriks feritik* sedikit *perlit* dan *ferit* dan daerah yang mengalami *overheating* struktur mikro *ferit* lebih kasar, sedangkan daerah yang mengalami deformasi ditunjukkan adanya lipatan material *back-up steel* akibat *overheating*, Berdasarkan hasil uji ketebalan lapisan *conrod bearing* yang rusak sampel A dan B tidak ditemukan lapisan *babbitt* dikarenakan lapisan tersebut sudah lebur (fase *liquid*) pada temperature 354°C sesuai dengan standar logam *babbitt* ASTM B23 *grade 2* akibat *overheating* dan juga sesuai dengan data di lapangan bahwa tekanan diatas normal di *expantion tank* dan pendingin air tawar masuk ke *carter/oil pan*", sedangkan pada *conrod bearing* yang tidak rusak sampel C dan D ditemukan lapisan *babbitt* dengan tebal lapisan pertama *babbitt* untuk sampel C 301,10 s.d. 335.79 μm dan tebal lapisan kedua 14,02 s.d 18.79 μm . Untuk sampel D tebal lapisan pertama *babbitt* 288,56 s.d 308,85 μm dan tebal lapisan kedua 11,07 s.d 14,76 μm dan ini menunjukkan temperature sampel C dan D dalam keadaan normal < 95°C.
2. Berdasarkan hasil uji komposisi kimia *back-up steel conrod bearing* termasuk dalam golongan baja karbon rendah (*low steel carbon*) dengan standar komposisi carbon pada baja karbon rendah 0,02%<C<0,35%. Berdasarkan standard ASTM A534 *grade 9310H* bahwa kandungan Cr, Ni dan Mo dari *back-up steel conrod bearing* jauh dari standard yang mengakibatkan material *back-up steel conrod bearing* kurang tahan terhadap korosi, kurang tangguh terhadap beban bentur serta kurang tahan terhadap *creep* pada suhu tinggi.
3. Dari hasil uji kekerasan terhadap sampel A, B, C dan D bahwa nilai kekerasan lapisan *back-up steel conrod bearing* tidak rusak (Sampel C dan D) sebesar 176,5 HV sedangkan *conrod bearing* yang rusak (Sampel A dan B) sebesar 175,5 HV ini menunjukkan bahwa *conrod bearing* tidak rusak nilai kekerasan lapisan *back-up steel* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kekerasan lapisan *back-up steel conrod bearing* yang rusak sesuai dengan *kurva* hubungan temperature dengan nilai kekerasan.
4. Metoda pemeliharaan *preventive* belum dilaksanakan secara maksimal dalam bentuk metoda pengendalian yang meliputi : pengecekan sistem pipa *cooling engine* kapal cepat dari kotoran dan serbuk besi yang bisa mengurangi *debit* fluida pendingin *cooler* dan menyumbat sirkulasi pendingin.
5. Berdasarkan *fishbone* diagram, pengumpulan data lapangan dan hasil pengujian dapat disampaikan bahwa penyebab kegagalan *conrod bearing* pada *main engine* kapal cepat adalah
 - a. Faktor Lingkungan, yang mempengaruhi adalah adanya kotoran di sistem pipa *engine cooling* yang akan mendinginkan air tawar di *cooler*, karena kapal cepat beroperasi di perairan yang kotor.

- b. Faktor Operator, ABK yang kurang disiplin dalam membersihkan kotoran yang berpotensi menyumbat aliran *seawater cooling* dari *seachest*, *strainer*, *manifold*, *piping* dan *cooler*
- c. Sistem *main engine (design conrod bearing)*, komposisi kimia *conrod bearing* yang tidak sesuai standar ASTM B23 *grade 2* dan ASTM A 534 dan ditunjukkan dari hasil pengujian material yang mengalami *overheating* dan *deform*.
- d. Faktor *maintenance*, *maintenance* selama ini dilaksanakan pada komponen-komponen seperti *injektor*, filter bahan bakar dan oli, sementara inspeksi tentang sirkulasi sistem pipa pendingin air laut dan air tawar *engine* dan *cooler* belum dilaksanakan (*flushing*) secara rutin.

Hasil dari analisis kerusakan ini, diharapkan dapat mengatasi dan menentukan langkah-langkah upaya pencegahan ataupun koreksi terhadap kerusakan sehingga dapat mencapai sasaran dan keandalan yang diinginkan, maka direkomendasikan beberapa saran sebagai berikut :

1. Agar *manufacturing* dalam *mendesign* material *conrod bearing* sesuai dengan standard ASTM A534 *grade 9310H*
2. Pada kondisi *engine* tidak beroperasi agar dilaksanakan *flushing* sistem pipa *cooling engine* dari *seachest*, *strainer*, sistem pipa air laut *inlet*, sistem *cooler freshwater*, sistem menuju *overboard*, sistem *cooling* ke *gearbox*, *shaft* dan *exhaust engine* setiap 1 x sebulan.
3. Perlunya dilaksanakan pelatihan untuk Anak Buah kapal (ABK) dan yang terlibat langsung sebagai operator dan inspektor tentang upaya pengendalian *performance engine*.
4. Pemasangan material *protective* berupa *anode protective* atau *coating* yang sesuai dengan material sistem *sirkulasi* pendingin *engine* maupun material sistem pipa dan dilaksanakan inspeksi berkala setiap 6 bulan sekali.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ASTM A534-04 grade 9310H, Standard Specification for Carburizing Steels for Anti-Friction Bearings, 2004, www.astm.org.
- [2] ASTM B23 grade 2, Standard Specification for White Metal Bearing Alloys, 2014, www.astm.org.
- [3] Ardiansyahab, pendinginan-main-engine.2009.
- [4] I Mar E Review, November, 2009.
- [5] Suparwo Sp1, Pengetahuan Dasar Permesinan Kapal, Sekolah Tinggi Ilmu Pelayaran Jakarta, 2016.
- [6] Suryanto, H., Malau, V., Samsudin, Pengaruh Penambahan Barium Karbonat Pada Media Karburasi Terhadap Karakteristik Kekerasan Lapisan Karburasi Baja Karbon Rendah. Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin, Universitas Brawijaya.
- [7] Totok susanto, Analisa kerusakan sistem hidrolik pada cylinder hydraulic dan travel motor pada rubber crawler carrier Morooka MST 600 VD, 2017.

