

## Analisa Kegagalan Engine Studi Kasus Connecting Rod pada Engine Bulldozer Komatsu D85ESS-2

Gazali Djafri<sup>1\*</sup>, Muhammad Halim Asiri<sup>2</sup>, Mardin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Pasca Sarjana, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar 90231 Indonesia

<sup>2,3</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muslim Indonesia, Makassar 90231 Indonesia

\* email\_gazali.st@yahoo.com

**Abstract:** This study aims to explore the material of the Connecting Rod D85ESS-2, focusing on failure analysis and the evaluation of its mechanical properties. Data were collected from an Engine system with a High Priority Risk (RPN). The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method was used to identify the causes of failure. The analysis continued with the Fish Bone method to detail the causal factors, including operator, supervision, mechanic, machine condition (damage to the Engine Rubber Mounting), procedures (lack of Periodic Maintenance, absence of Overhaul Schedule), and material aspects (fatigue on the Connecting Rod, wear on the Connecting Rod and Bearing). The Vickers method was applied in the hardness test of the Connecting Rod. The average hardness value from the six test points was 290 N/mm<sup>2</sup>. There was a decrease in hardness from the Beam part (points 1-3) to the Big End and Rod Cap parts (points 4-6). The highest hardness value was at point 2 with a value of 328 N/mm<sup>2</sup>, while the lowest hardness value was at point 4 with a value of 245.5 N/mm<sup>2</sup>. The results of the Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) test showed that the material was dominated by Iron (Fe) with a mass percentage of 96.42%, an atomic percentage of 89.40%, and a mole percentage of 98.97% based on the compositional analysis. Oxygen (O) accounted for about 2.85% of the mass and 9.22% of the atoms. Aluminum (Al) contributed a mass percentage of 0.46%, an atomic percentage of 0.89%, and a mole percentage of 0.49%, while Silicon (Si) was present with a mass percentage of 0.27%, an atomic percentage of 0.49%, and a mole percentage of 0.54%. The microstructure showed the presence of  $\alpha$  (Fe) and  $\beta$  (Si) phases, with the  $\alpha$  phase dominating. There was also agglomeration in the microstructure, which could affect the mechanical properties, potentially leading to the formation of cracks due to excessive internal stress.

**Keywords:** Connecting rod; Komatsu D85ESS-2; Failure analysis

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mendalami material Connecting Rod D85ESS-2 dengan fokus pada analisis kegagalan dan evaluasi sifat mekanisnya. Data dikumpulkan pada sistem Engine yang memiliki nilai Risiko Prioritas Tinggi (RPN). Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan. Analisis dilanjutkan dengan metode Fish Bone untuk mendetailkan faktor penyebab, operator, supervisi, mekanik, kondisi mesin (kerusakan pada Rubber Mounting Mesin), prosedur (kurangnya Layanan Periodik, absennya Jadwal Overhaul), dan aspek material (fatigue pada Connecting Rod, keausan Connecting Rod dan Bearing). Metode Vickers pada pengujian kekerasan Connecting Rod, Nilai rata-rata kekerasan dari keenam titik pengujian adalah 290 N/mm<sup>2</sup>. Terjadi penurunan kekerasan pada bagian Beam (titik 1-3) ke bagian Big End dan Rod Cap (titik 4-6). Nilai dengan kekerasan tertinggi adalah pada titik 2 dengan nilai 328 N/mm<sup>2</sup>, sedangkan nilai kekerasan terendah adalah pada titik 4 dengan nilai 245,5 N/mm<sup>2</sup>. Hasil Uji Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) didominasi oleh unsur Besi (Fe) dengan persentase massa 96,42%, persentase atom 89,40%, dan persentase mol 98,97% berdasarkan hasil analisis komposisi. Oksigen (O) menyumbang sekitar 2,85% dari massa, 9,22% dari atom. Aluminium (Al) memiliki kontribusi massa 0,46%, atom 0,89%, dan mol 0,49%, sementara Silikon (Si) hadir dengan massa 0,27%, atom 0,49%, dan mol 0,54%. Struktur mikro menunjukkan adanya fasa  $\alpha$  (Fe) dan fasa  $\beta$  (Si), dengan fasa  $\alpha$  yang mendominasi. Ditemukan juga adanya aglomerasi dalam struktur mikro, yang berpotensi mempengaruhi sifat mekanis yang menjadi titik awal terbentuknya retakan akibat tegangan internal yang berlebihan.

**Kata kunci :** Connecting rod; Komatsu D85ESS-2; Analisis kegagalan

### I. PENDAHULUAN

Komatsu D85ESS-2 merupakan *crawler dozer* bertipe *angle blade dozer* dan memiliki berat operasi 21-ton yang mampu digunakan hampir di berbagai sektor seperti sektor konstruksi, sektor pertambangan, dan sektor kehutanan [1], yang dilengkapi mesin S6D125E-2 diesel turbo charged dengan daya 161 kW dan 215 HP, unit ini juga bisa dipasangkan dengan *towing winch* untuk *extracting* dan *logging*. Proses pembakaran dalam mesin menghasilkan ledakan dan tekanan tinggi

yang mendorong piston, mengakibatkan risiko piston pecah atau connecting rod bengkok jika material tidak kuat. Oleh karena itu, kualitas dan kekuatan connecting rod sangat penting. Kegagalan pada connecting rod mesin diesel Komatsu D85ESS-2 yang disebabkan kelelahan material atau kegagalan komponen lain [2]. Pengujian yang dilakukan meliputi *Failure Analysis Method* [3], pengujian komposisi kimia, SEM, dan uji kekerasan. yang akan memberikan nilai kekerasan, unsur penyusun, dan struktur mikro material, untuk mengetahui penyebab kegagalan connecting rod. Connecting rod merupakan komponen yang berperan penting terhadap kinerja engine diesel. Apabila terjadi kerusakan pada kedua komponen tersebut maka mengakibatkan mesin diesel tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya [4].

Jenis kegagalan seperti ini sebelumnya juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti yang menganalisis kegagalan connecting rod mesin diesel kerja berat EMD645 yang mengalami buckling samping. Hasil analisis menyimpulkan bahwa kegagalan terjadi karena fenomena hydrolock yaitu akibat cairan yang masuk ke ruang bakar dan diikuti dengan rasio kompresi yang tinggi. Penelitian lain juga melakukan analisis pada connecting rod yang mengalami buckling depan dan buckling belakang menggunakan metode elemen hingga. Setelah dilakukan analisis, disimpulkan bahwa connecting rod mengalami kegagalan karena penurunan ketebalan bagian leher yang tidak tepat, sensitivitas buckling yang lebih tinggi dibandingkan dengan sifat luluh dan kelelahannya [5]. Peneliti yang lainnya juga melakukan analisis kekuatan buckling dari kegagalan connecting rod mesin diesel dengan material paduan aluminium [6]. Kegagalan terjadi karena faktor keamanan buckling (*Buckling Safety Factor*) yang rendah dan rasio kompresi yang lebih tinggi akibat fenomena hydrolock, yaitu karena jumlah campuran bahan bakar dan udara yang berlebihan masuk ke dalam ruang bakar atau karena kebocoran air atau pelumas ke dalam ruang bakar.

Kualitas dan kehandalan *connecting rod* sangatlah penting dalam menjaga performa mesin tetap stabil, karena jika *connecting rod* tidak mampu menahan beban atau mengalami kegagalan, menyebabkan kerusakan pada mesin atau bahkan kecelakaan, karena itu perawatan dan pergantian *connecting rod* tepat waktu sangatlah penting untuk menjaga kinerja dan keamanan mesin [7]. Karena faktor-faktor ini, *connecting rod* yang akan saya angkat menjadi bahan penelitian untuk berbagai aspek seperti sifat kekerasan, struktur material dan komposisi struktur kimianya [8] Oleh karena itu, penelitian ini akan sangat bermanfaat untuk menghindari berbagai kasus kegagalan yang terjadi pada komponen-komponen mesin.

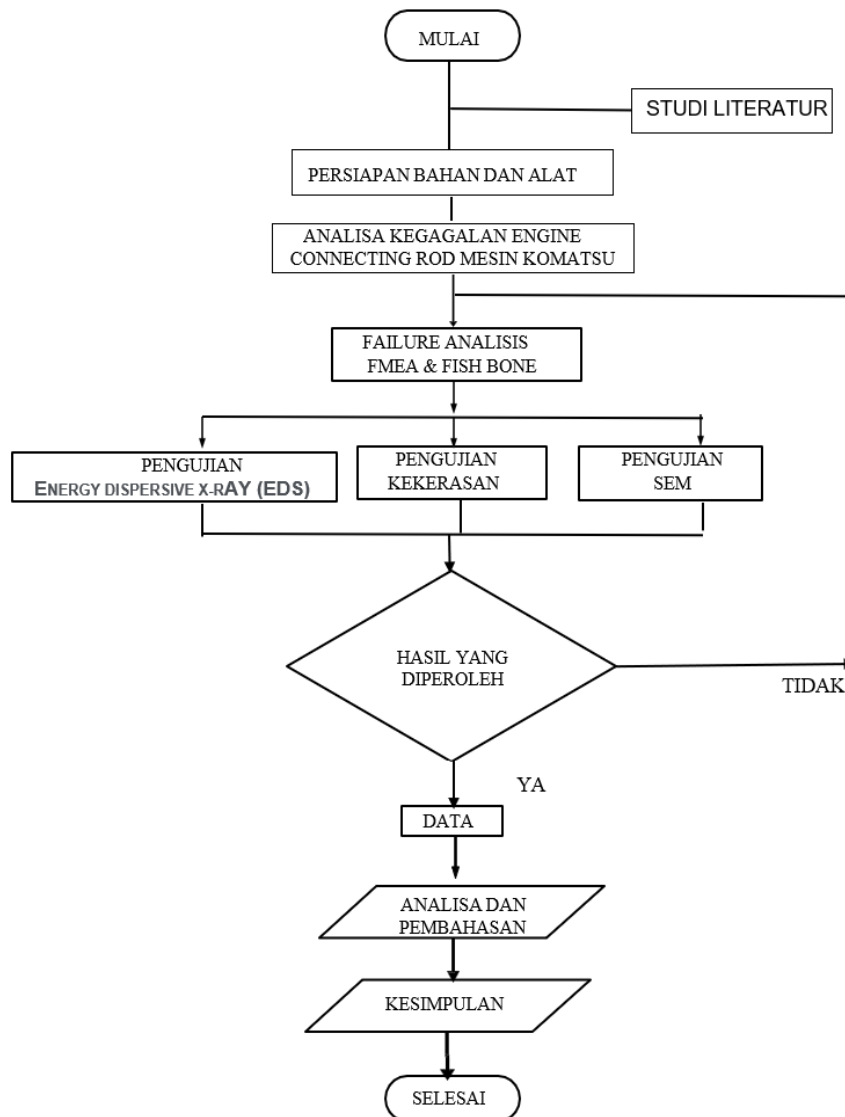
## II. METODE PENELITIAN

### A. Teknik Analisis Data

Kegiatan Penelitian tentang Kegagalan *Connecting Rod* Engine Bulldozer Komatsu D85ESS-2 yang dilakukan dari bulan Januari sampai Bulan Juni 2024, Di PT.RMK Energy Palembang dengan Metode Failure Mode & Effect Analysis dan Fish Bone dengan cara mengumpulkan data-data jenis kerusakan Mesin tersebut dari berbagai unsur sehingga dapat mengetahui penyebab dasar kegagalan dari *Connecting Rod*, Dan untuk menguatkan hasil Analisa kegagalan Penelitian kami lakukan dengan melakukan test uji kekerasan, Uji Struktur Mikro dan unsur-unsur kimia pada *Connectong Rod* sehingga hasil dari penelitian dapat tercapai.

### B. Prosedur Penelitian

Diagram alir dapat dilihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Data dan Hasil Penelitian

Data Penelitian menggunakan metode Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) melibatkan Pengembalian pengambilan sampel alat Dozer D85ESS-2 dengan nomor lambung DZ003-1186616, dipilih karena mengalami Breakdown. Tujuan Penelitian adalah untuk mengidentifikasi kegagalan sistem atau grup komponen dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi pada tahun 2023. Penelitian ini mencatat jumlah kegagalan pada sistem atau grup komponen yang teridentifikasi dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1. Tabel Data dan Jumlah Kegagalan

No	Sistim dari Dozer D85ESS-2 unit DZ-003(Group komponen)	Jumlah Kerusakan tahun 2023
1	Steering system	2
2	Brake system	2
3	Frame & undercarriage	4
4	Power Train	4
5	Operator station	2
6	Hydraulic system	3
7	Engine	8
	Jumlah	25

Setelah menganalisa dengan metode *Failure Mode and Effect Analisis (FMEA)* terhadap sistem-sistem Dozer D85ESS-2 dengan nomor lambung DZ003-118616 yang berkaitan dengan data kegagalan pada sistem atau *group component* maka didapatkan nilai *RPN (Risk Priority Number)* yang dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. RPN 6D125-118616

No.	Sistem dari Doser D85ESS-2 unit DZ003 -118616 (Group Componen)	SEV	OCC	DET	RPN	% RPN
1	Steering system	4	2	4	32	9,14%
2	Brake system	6	2	3	36	10,29%
3	Frame & under carriage	4	2	5	40	11,43%
4	Power Train	3	2	6	36	10,29%
5	Operator station	2	3	3	18	5,14%
6	Electrical system	4	2	6	48	13,71%
7	Engine	7	5	4	140	40%
TOTAL					350	100%

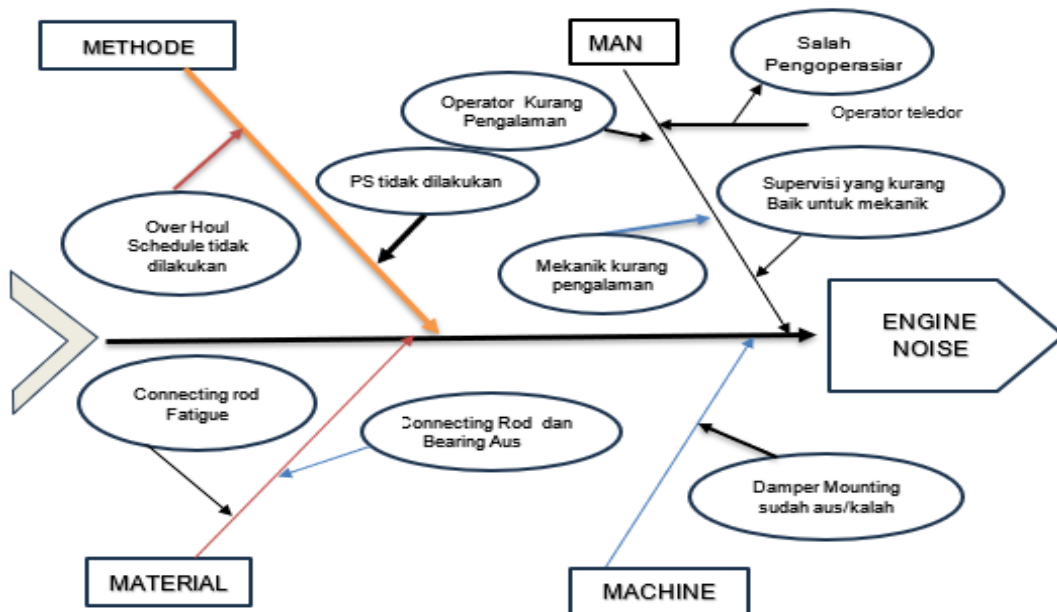
Sesuai hasil dari tabel 2, maka didapatkan hasil dari 1 unit Dozer D85ESS-2 dengan nomor lambung DZ003 -118616 yang dianalisa menggunakan *metode Failure Mode and Effect Analisis (FMEA)* menunjukkan bahwa sistem atau *group component* yang memiliki kegagalan terbesar adalah *Engine group* dengan persentasi nilai *RPN* 40%.

Tabel 3. Kerusakan dari Engine Group DZ003 -118616

No.	Kerusakan dari Engine	n
1	Engine Low Power	1
2	Engine Over Heating	1
3	Oil Engine Leaking	1
4	Engine Noise	3
5	Engine Cannot Running	2
	Jumlah	8

1. Metode *Fish Bone* Mengurai Penyebab Masalah

Berdasarkan data dari tabel 3, didapatkan beberapa kerusakan yang terjadi pada engine Group, dari beberapa kerusakan Masalah *Engine Noise* yang paling banyak terjadi. Dan untuk menganalisa penyebab terjadinya masalah *Engine Noise* maka saya akan menggunakan diagram Fishbone pada unit Dozer D85ESS-2.



Gambar 1. Diagram *Fish Bone*

Berdasarkan analisa dengan menggunakan metode *fishbone* diagram sebelumnya, diketahui ada beberapa faktor penyebab yaitu faktor *Man*, *Machine*, *Method*, *Material* yang bisa membuat seringnya terjadi kegagalan pada *Engine group* pada unit DZ003-118616, yaitu masalah *engine noise*. Dari beberapa faktor tersebut dapat dijabarkan apa saja akar masalah dari pada *engine noise*. Ada beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi kegagalan alat Dozer D85ESS-2 meliputi:

- Man (Manusia): Operator teledor, supervisi yang kurang baik, dan rubber mounting mesin yang aus/rusak.
- Method (Metode): Servis periodik (PS) yang tidak dilakukan dan jadwal overhaul yang tidak dipatuhi.
- Material Fatigue pada *connecting rod* dan ausnya *connecting rod* serta bearing.

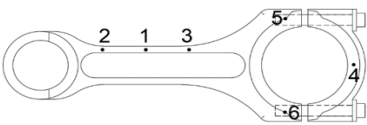


Gambar 2. Hasil pengukuran *Clearance oil connecting Rod* = 0.50 mm (standart 0.63 – 0.75 mm)

## 2. Data Hasil Uji kekerasan dengan Metode *Vickers*

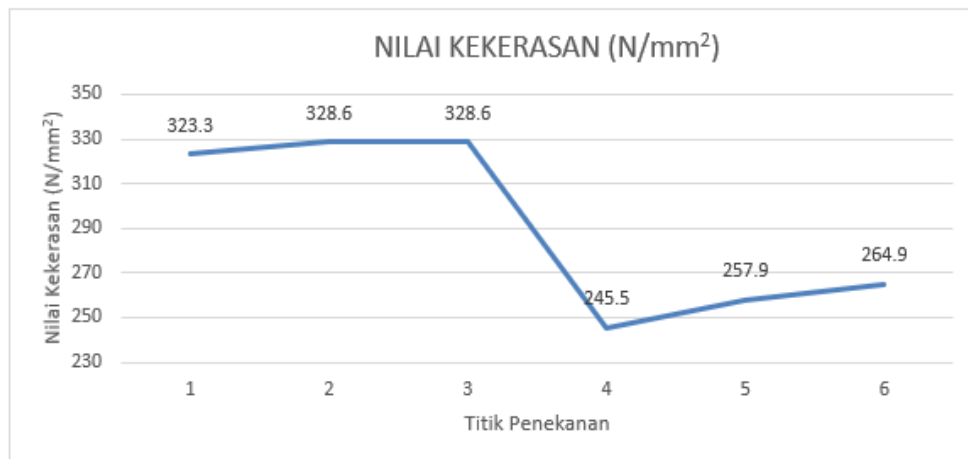
Dalam penelitian ini didapatkan hasil dari pengujian kekerasan dengan menggunakan Metode *Vickers Test*, dengan melakukan pengujian pada 6 titik yang berbeda, didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil pengujian kekerasan Vickers

Beban (N)	Titik Penekanan	NILAI KEKERASAN (N/mm <sup>2</sup> )	KET:
500	1	323,3	
	2	328,6	
	3	328,6	
	4	245,5	
	5	257,9	
	6	264,9	
Nilai Rata-rata	291,46		

Dapat dianalisa perbedaan ke enam titik hasil pengukuran nilai kekerasan ada pada titik 1,2,dan 3 mempunyai kekerasan yang lebih besar dikarena pada bagian shank(Beam) yang mendapat tekanan atau beban yang besar saat terjadi proses langkah Kerja atau power akibat adanya ledakan dari hasil pembakaran,dibanding bagian Big end dan Cap pada titik 4, 5 dan 6 yang hanya menopang dudukan *Connecting Rod* pada Crank shaft.

Dari data hasil penelitian uji kekerasan pada *Connecting Rod D85ESS-2* diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 3. Grafik pengujian kekerasan Vickers

Dari Hasil tabel 3 dan Grafik 3 uji kekerasan Metode Vicker pada *Connecting Rod D85ESS-2* dengan melakukan pada 6 titik yang berbeda,yaitu pada titik 1,2 dan 3 Pada bagian Beam dengan beban 500 N didapatkan Nilai kekerasan titik 1 = 323 N/mm<sup>2</sup>,titik 2 = 328,6 N/mm<sup>2</sup> dan titik 3 = 328,6 N/mm<sup>2</sup> sedangkan untuk titik 4,5 dan 6 dilakukan pengujian kekerasan pada bagian Big End dan Rod Cap *Connecting Rod* dengan beban yang sama 500 N,maka didapatkan hasil uji kekerasan yaitu pada titik 4 = 245,5 N/mm<sup>2</sup> titik 5 = 257,9 dan titik 6 = 265,9 N/mm<sup>2</sup> , jadi dari 6 titik pengujian yang berbeda didapatkan nilai rata-rata sebesar = 291,46, kemudian nilai kekerasan yang tertinggi yang itu pada titik 2 dan 3 dengan Nilai yang sama yaitu 328 N/mm<sup>2</sup> dan nilai kekerasan mengalami penurunan pada titik 1 yg berada pada bagian tengah *Connecting Rod D85ESS-2* dengan nilai kekerasan = 323,3 N/mm<sup>2</sup>

sedangkan pada titik 4, 5 dan 6 kembali mengalami penurunan kekerasan dengan titik 6 sebesar 264,9 N/mm<sup>2</sup>, titik 5 sebesar 257,9 N/mm<sup>2</sup> dan titik 4 sebesar 245,5 N/mm<sup>2</sup>

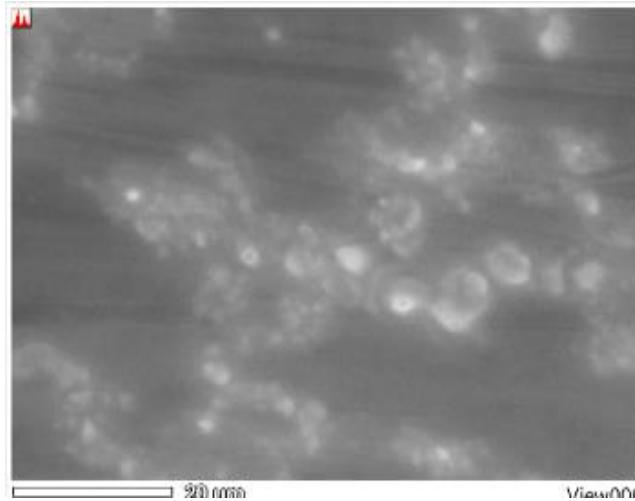
### 3. Hasil Uji Energy Dispersive X-Ray (EDS)

Pengujian EDS dilakukan untuk mengetahui unsur-unsur kimia yang ada pada *Connecting Rod D85ESS-2*. Langkah pertama dalam pengujian EDS adalah memotong sebagian kecil spesimen yang digunakan Potongan bahan yang digunakan dalam uji komposisi pada gambar di bawah ini.



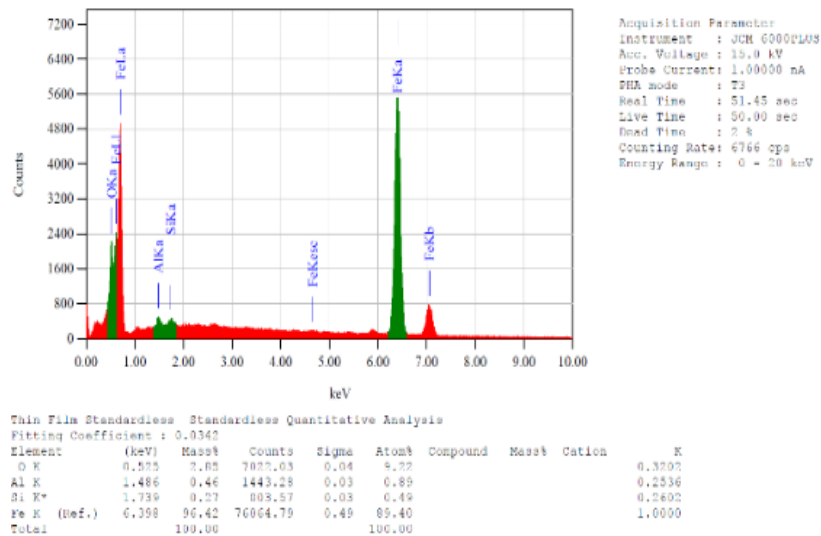
Gambar 4. Potongan Bahan Pengujian Komposisi Pada *Connecting Rod D85ESS-2*

Langkah selanjutnya adalah pengujian komposisi pada *Connecting Rod D85ESS-2* yang diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar3.5. hasil Uji EDS

Dari Data hasil Uji EDS diperoleh Grafik data Sebagai Berikut :



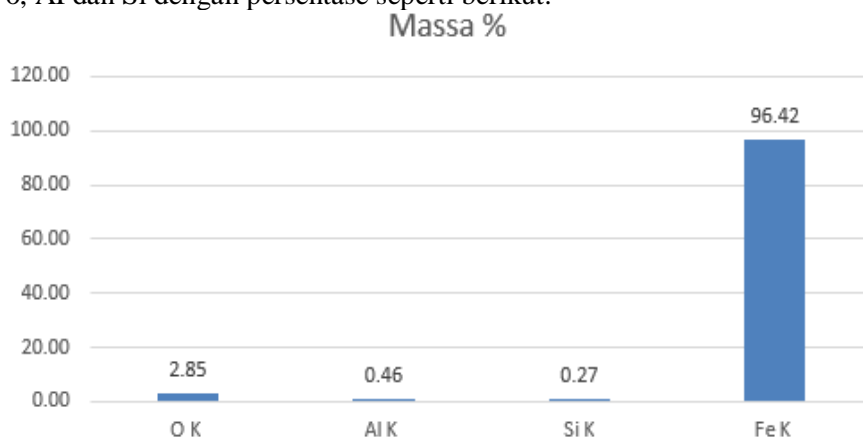
Gambar 6. Grafik Hasil data pengujian Unsur kimia Connecting Rod

Dari Grafik Hasil Pengujian EDS diatas dapat dihitung Persentase tiap-tiap unsur,berikut Tabelnya

Tabel 5. Deskripsi Energy ( $E_C$ ) Tegangan Emisi Minimum

No	Element	Ec Tegangan Emisi Minimum (keV)	Massa %	Atom %	Mol %
1	O K	0,525	2,85	9,22	-
2	Al K	1,486	0,46	0,89	0,49
3	Si K	1,739	0,27	0,49	0,54
4	Fe K	6,398	96,42	89,40	98,97
	Total	10,148	100	100	100

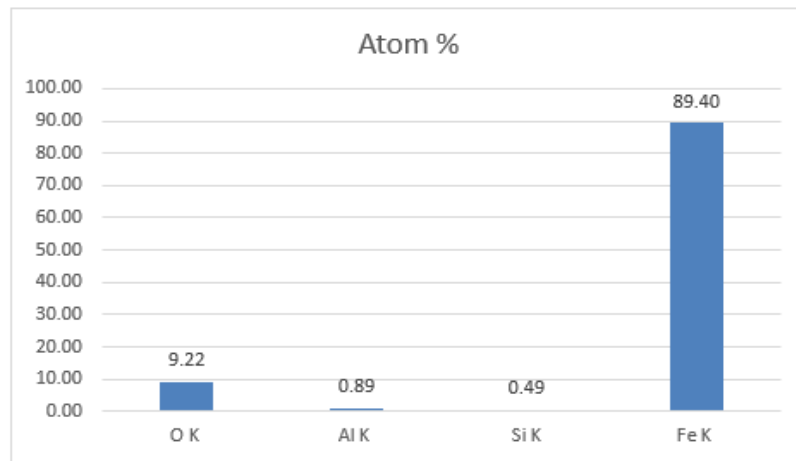
Data pada tabel 5, diperoleh dari hasil uji komposisi yang dilakukan di Laboratorium SEM Mikrostruktur. Berdasarkan data di atas terlihat bahwa unsur Fe merupakan unsur yang paling dominan dengan persentase massa, atom dan mol. Connecting Rod D85ESS-2 memiliki massa (96,42%), memiliki atom sebesar (89,40%) dan memiliki mol (98,97%), Selain unsur Fe juga terdapat unsur-unsur lainnya seperti o, Al dan Si dengan persentase seperti berikut:



Gambar 7. Grafik hubungan element dengan massa (%) pada connecting rod D85ESS-2  
 Keterangan : Ogen (O), Aluminium (Al), Silikon (Si), Iron (Fe).

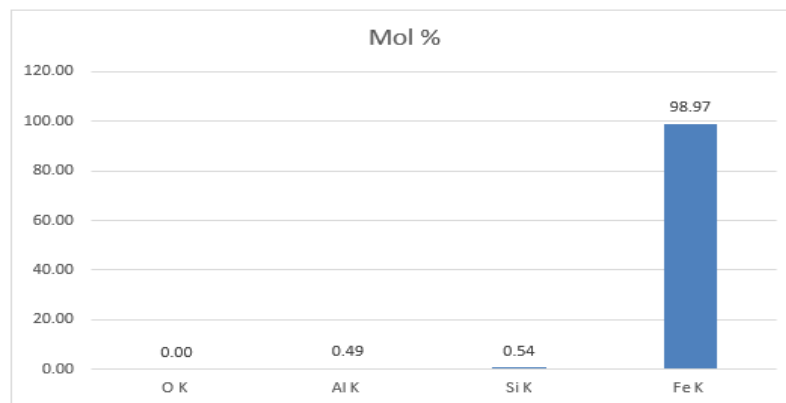


Berdasarkan data pada gambar 7, terlihat bahwa unsur Fe merupakan unsur yang paling dominan dengan presentase massa sebesar (96,42%), oksigen sebesar (2,85%), aluminium sebesar (0,46%), silikon sebesar (0,27%). Jika dilihat dari hasil grafik diatas unsur Fe yang paling dominan pada Connecting Rod D85ESS-2 .



Gambar 8 Grafik hubungan element dengan atom (%) pada connecting rod D85ESS-2  
Keterangan : Oksigen (O), Aluminium (Al), Silikon (Si), Iron (Fe).

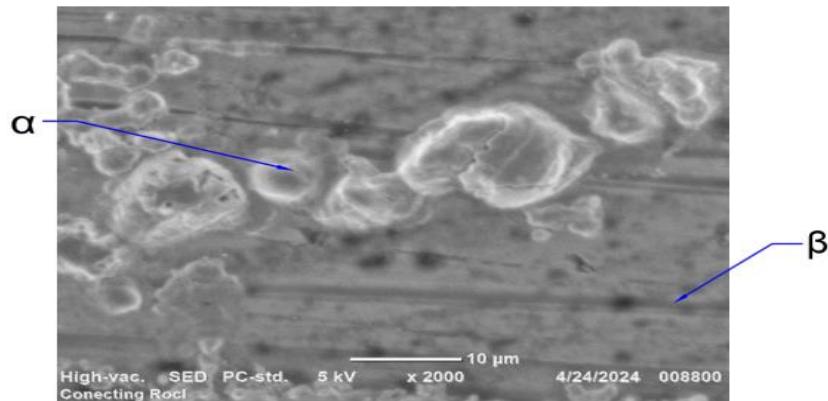
Berdasarkan data pada gambar 8, terlihat bahwa unsur Fe merupakan unsur yang paling dominan namun terjadi penurunan dengan presentase atom sebesar (89,40%), sedangkan unsur yang lain terjadi kenaikan persentase dengan oksigen sebesar (9,22%), aluminium sebesar (0,89%), silikon sebesar (0,49%). Jika dilihat dari hasil grafik diatas unsur Fe yang paling dominan pada Connecting Rod D85ESS-2.



Gambar 9. Grafik Hubungan Element dengan mol (%) pada Connecting Rod D85ESS-2  
Keterangan : Oksigen (O), Aluminium (Al), Silikon (Si), Iron (Fe).

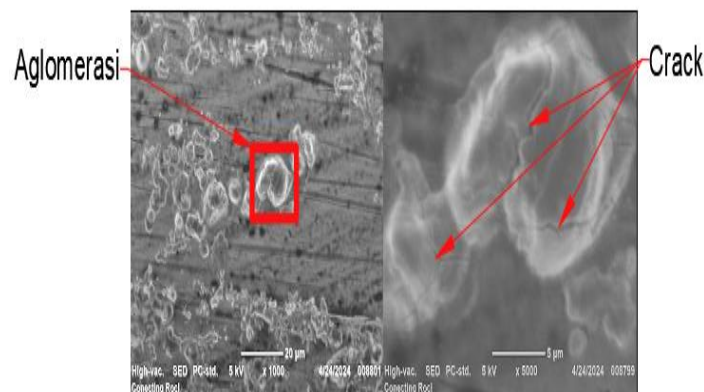
Berdasarkan data pada gambar 9, terlihat bahwa unsur Fe merupakan unsur yang paling dominan dan terjadi kenaikan persentase dengan presentase mol sebesar (98,97%), pada unsur oxigen dan aluminium terjadi penurunan persentase dengan oxigen sebesar (0,00%) dan aluminium sebesar (0,49%), sedangkan silikon mengalami kenaikan persentase dengan pesentase sebesar (0,54%). Jika dilihat dari hasil grafik diatas unsur Fe yang paling dominan pada Connecting Rod D85ESS-2

4. Hasil Uji SEM (Scanning Electron Microscopy)



Gambar 10. Hasil uji SEM pada Connecting Rod D85ESS-2  
Keterangan : α = Iron (Fe), β = Silikon (Si),

Berdasarkan gambar 10 hasil pengujian struktur mikro pada material uji Connecting Rod D85ESS-2 yaitu fasa α berwarna terang dan fase β yang berwarna gelap, Connecting Rod D85ESS-2 pada gambar diatas menunjukkan fasa α dan β yang jauh berbeda, pada Connecting Rod D85ESS-2, fasa β (Si) terlihat memiliki butir-butir kecil tidak merata sedangkan fasa α (Fe) terlihat memiliki perbedaan ukuran butir yang besar, dapat disimpulkan bahwa fasa α (Fe) lebih mendominasi dibandingkan fasa β (Si) sehingga dapat memiliki sifat-sifat dengan kekerasan yang relatif tinggi.



Gambar 11 Aglomerasi dan crack hasil uji SEM

Berdasarkan gambar 11, pada material uji Connecting Rod D85ESS-2 terdapat aglomerasi di mana kondisi partikel atau butiran, seperti serbuk logam, serbuk polimer, atau bahan-bahan kimia lainnya menjadi bentuk yang lebih besar.

Pada bagian aglomerasi terlihat memiliki crack hal ini dikarenakan berbagai faktor seperti:

- a. stres yang melebihi kekuatan material dapat membentuk crack pada aglomerasi tersebut.
- b. perubahan suhu pada saat pengoperasian mesin dapat menyebabkan perubahan dimensi atau kontraksi yang tidak merata dalam material. Ini dapat menciptakan tegangan internal yang cukup untuk menyebabkan crack.

Aglomerasi dalam struktur mikro bisa memiliki efek signifikan terhadap sifat mekanis, kekerasan, ketangguhan, dan stabilitas dimensi dari baja tersebut. Oleh karena itu, cacat atau inklusi dalam material ini dapat bertindak sebagai titik awal bagi crack untuk berkembang.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah didapatkan diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Unit D85ESS-2 dengan nomor lambung DZ003 -118616 yang dianalisa menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis menunjukkan bahwa system yang memiliki kegagalan terbesar adalah pada komponen Engine yaitu Engine Noise sebesar 40 %.(Kerusakan pada Connecting Rod)
2. Dari hasil pengujian Vickert Test yang dilakukan pada keenam titik yang berbeda,dimana titik 1= 323 N/mm<sup>2</sup>,titik 2 = 328,6 N/mm<sup>2</sup> dan titik 3 = 328,6 N/mm<sup>2</sup> dan pengujian pada bagian Shank/Beam pada connectong rod dan titik 4 titik = 245,5 N/mm<sup>2</sup> titik 5 = 257,9 dan titik 6 = 265,9 N/mm<sup>2</sup> pada bagian Big End Connectong rod dan didapat hasil uji kekerasan yang berbeda dimana bagian Shank lebih kuat dibanding bagian pada Big End.
3. Berdasarkan hasil uji sifat Fisik yang meliputi Vickers test,Uji Eds dan Uji SEM pada komponen Connecting Rod didapatkan keretakan pada sisi Shank/Beam yang mengakibatkan kegagalan kerja pada Connecting Rod.
4. Berdasarkan hasil pengukuran Clearance dan pengamatan Visual Connetting Rod dan Bearing, didapatkan keausan dan Clearance yang besar yaitu 0.05 mm yang mengakibatkan engine Noise.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] United Tractors. Bulldozer D85ESS-2 Konstruksi, Pertambangan, Kehutanan [Internet]. Jakarta: United Tractors; 2024. Available from: <https://products.unitedtractors.com/id/product/komatsu/d85ess-2-2/>
- [2] Yang D, Yu Z, Cheng W, Zhang L. Fatigue Analysis of Engine Connecting Rod Based on Workbench. Proc 2017 7th Int Conf Mechatronics, Comput Educ Informationization (MCEI 2017). 2018;75(Mcei):192–6.
- [3] Putra CD, Syarief A, Isworo H. Analisa Kegagalan Menggunakan Metode Failure Mode and Effect Analysis (Fmea) Pada Unit Off-Highway Truck 777D. Sci J Mech Eng Kinemat. 2018;3(1):33–42.
- [4] Dagle JF. Piston, Piston Rings, and Connecting Rod Assembly, Diesel Engine Repair. 2001. 126–139 p.
- [5] Lee MK, Lee H, Lee TS, Jang H. Buckling sensitivity of a connecting rod to the shank sectional area reduction. Mater Des [Internet]. 2010;31(6):2796–803. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matdes.2010.01.010>
- [6] Pani AR, Patel RK, Ghosh GK. Buckling analysis and material selection of connecting rod to avoid hydro-lock failure. Mater Today Proc [Internet]. 2019;27(XXXX):2121–6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.079>
- [7] Witek L, Zelek P. Stress and failure analysis of the connecting rod of diesel engine. Eng Fail Anal. 2019;97(December 2018):374–82.
- [8] Febriyanti E. Analisa Kerusakan Connecting Rod Pada Mesin Diesel Kendaraan Bermotor. J Sains dan Teknol Indones. 2013;12(3):214–9.