

**ANALISA KERUSAKAN CRANK PIN NOMOR 4 MESIN
SULZER 12 ZAV 40 S PLTD AMPENAN UNIT 7**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi dan Melengkapi Persyaratan Akademik
Mata Kuliah Tugas Akhir pada Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

Oleh:

**AHMAD FAIZUN
2115227008**



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP

BANDUNG

2024

	UNIVERSITAS SANGGA BUANA	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. PH.H. Mustofa No 68, Cikutra, Cibeunying kidul, Bandung 40124	No. Revisi	00
		Berlaku efektif	11 Februari 2019

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

ANALISA KERUSAKAN CRANK PIN NOMOR 4 MESIN SULZER 12

ZAV 40 S PLTD AMPENAN UNIT 7

Disusun oleh:

AHMAD FAIZUN

2115227028

Telah disetujui dan disahkan sebagai Tugas Akhir Program S1 Teknik Mesin

Fakultas Teknik-Universitas Sangga Buana YPKP

Bandung, 9 Maret 2024

Disahkan oleh:

Dosen Pembimbing Tugas Akhir Universitas Sangga Buana YPKP

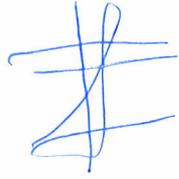


Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T., IPM

NIDN. 0018026802

Penguji 1

Penguji 2



Mohamad Agus Fhaizal, S.T., M.T

NIDN. 428.079.601



Wisnu Wijaya, S.T.,M.T

NIDN. 420.117.101



	UNIVERSITAS SANGGA BUANA	FORMULIR LEMBAR PENGESAHAN	
	Jl. PH.H. Mustofa No 68, Cikutra, Cibeunying kidul, Bandung 40124	No. Revisi	00
		Berlaku efektif	11 Februari 2019

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NPM : 2115227008

Nama : Ahmad Faizun

Program Studi : Teknik Mesin

Alamat : Limus Pratam Regency Jl Semarang 3 Blok i3/2 Cileungsi
Kabupaten Bogor, Jawa Barat

No. Telp : 081328194936

E-mail : faizoen.ahmad@gmail.com

Menyatakan bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya orisinal saya sendiri,
dengan judul:

**ANALISA KERUSAKAN CRANK PIN NOMOR 4 MESIN SULZER 12
ZAV 40 S PLTD AMPENAN UNIT 7"**

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung resiko/sanksi yang dijatuhkan kepada saya apabila di kemudian ditemukan adanya pelanggaran terhadap kejujuran akademik atau etika keilmuan dalam karya ini, atau ditemukan bukti yang menunjukkan ketidak aslian karya ini.

Bandung, 9 Maret 2024



Ahmad Faizun

NPM : 2115227008

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT, atas rahmat dan hidayahNya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa Kerusakan *Crank Pin* Nomor 4 Mesin Sulzer 12 ZAV 40 S PLTD Ampenan Unit 7”. Penulis menyusun Tugas Akhir ini sebagai syarat dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada pada program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih atas dukungan, bimbingan, serta bantuan selama menyelesaikan Tugas Akhir sehingga aktivitasnya dapat berjalan dengan baik.

Selama menyelesaikan Tugas Akhir penulis mendapatkan banyak bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Karena itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih sedalam dalamnya kepada :

1. Bapak Dr. H. Asep Effendi, SE., M.Si., PIA., CFA., CRBC, selaku rector Universitas Sangga Buana YPKP.
2. Bapak Dr. Ir. Bakhtiar Abu Bakar, selaku dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP.
3. Bapak Wisnu Wijaya, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Mesin Universitas Sangga Buana YPKP.
4. Bapak Dr. Ir. Agus Solehudin, S.T., M.T., IPM. Selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penulisan tugas akhir.
5. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung yang telah memberikan ilmu serta motivasi dalam pelaksanaan tugas akhir.
6. Ibu, Istri, kedua putri saya (Hasna dan Almeera) dan seluruh keluarga yang selalu memberikan dukungan, semangat, bantuan, doa, cinta dan kasih sayang. Sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
7. Teman-teman seperjuangan kelas K1 dan K2 yang telah memberikan bantuan informasi dan dukungannya.
8. Untuk semua pihak yang terlibat yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah membantu menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis sadari masih banyak kekurangan dan kesalahan dalam menyelesaikan program studi maupun loparan tugas akhir. Dalam kesempatan ini penulis meminta maaf atas kesalahan yang dilakukan baik disengaja maupun tidak disengaja.

Bogor, 9 Maret 2024

Ahmad Faizun



ABSTRAK

Crank Pin adalah bagian dari *Crank Shaft* yang berfungsi sebagai tempat melekatnya atau tempat terpasangnya *Connecting Rod*. *Crank Pin* bersama dengan *Crank Shaft* berfungsi untuk merubah gerak Naik turun (Translasi) *Piston* menjadi gerakan rotasi atau gerakan putar. *Crankshaft* merupakan komponen utama pada mesin diesel yang digunakan PLTD. Adanya retakan pada permukaan *crankshaft* dapat menjadi potensi risiko kerusakan atau kegagalan mesin. Retak pada permukaan *crankshaft* dapat disebabkan oleh kegagalan operasi seperti gagal pelumasan, *bearing jammed* dan *overspeed*. Ciri retak akibat kegagalan operasi yaitu arah rambatan retak yang sejajar sumbu poros dan nilai kekerasan permukaan yang tinggi. Selain akibat dari kegagalan operasi, retak pada *crankshaft* dapat disebabkan oleh kelelahan material akibat pembebanan siklik. Terjadi gangguan *Crank Pin* nomor 4 PLTD Ampenan Unit 7 yang menyebabkan unit tidak bisa beroperasi. Dalam hal ini penulis melakukan serangkaian pengamatan dan pengujian untuk mengetahui tingkat kerusakan *crank pin*. Dari hasil pengujian akan dilakukan analisa penyebab gangguan dan juga rekomendasi tindakan yang harus dilakukan.

Kata kunci : PLTD, *Crank Pin*, *Under size*, *Protection*.

ABSTRACT

The Crank Pin is a part of the Crank Shaft which functions as a place where the Connecting Rod is attached or attached. The Crank Pin together with the Crank Shaft functions to change the up and down (translational) movement of the piston into rotational or rotary movement. The crankshaft is the main component in the diesel engine used by PLTD. The presence of cracks on the crankshaft surface can be a potential risk of engine damage or failure. Cracks on the crankshaft surface can be caused by operational failures such as lubrication failure, jammed bearings and overspeed. The characteristics of cracks resulting from operational failure are the direction of crack propagation parallel to the axis of the shaft and a high surface hardness value. Apart from being a result of operational failure, cracks in the crankshaft can be caused by material fatigue due to cyclic loading. There was a problem with Crank Pin number 4 of PLTD Ampenan Unit 7 which caused the unit to not operate. In this case the author carried out a series of observations and tests to determine the level of crank pin damage. From the test results, an analysis of the causes of the disturbance will be carried out and recommendations for actions that must be taken will be carried out.

Keywords: PLTD, Crank Pin, Under size, Protection.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA TULIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Identifikasi Masalah	1
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
1.6 Sistematika Penulisan	3
BAB II LANDASAN TEORI	4
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)	4
2.2 Proses Kerja Mesin Diesel	5
2.3 Bagian - Bagian Utama Mesin Diesel	9
2.3.1 <i>Cylinder Head</i>	9
2.3.2 <i>Piston</i>	11
2.3.3 <i>Connecting Rod</i>	11
2.3.4 <i>Cylinder Liner</i>	12
2.3.5 <i>Engine Block</i>	12
2.3.6 <i>Crank Shaft</i>	13
2.3.7 <i>Cam Shaft</i>	13
2.4 Diagram P-V Mesin 4 Langkah	14

BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Ruang Lingkup Penelitian.....	17
3.2 Tahap Awal.....	17
3.3 Pengambilan Data.....	18
 BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....	 25
4.1 Hasil Pengujian.....	25
4.2 Analisa Data dan Pembahasan.....	30
4.3 <i>Fishbone Diagram Analysis</i>	32
BAB V PENUTUP.....	34
5.1 Kesimpulan.....	34
5.2 Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	36
LAMPIRAN.....	37



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ruang lingkup Peralatan Uji.....	18
Tabel 4.1 Hasil pengujian diameter <i>crank pin</i> no.4	26
Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan permukaan <i>crank pin</i> no.4	29
Tabel 4.3 Uraian <i>fishbone diagram analysis</i>	32



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 PLTD	4
Gambar 2.2 Proses kerja mesin diesel	7
Gambar 2.3 Proses kerja mesin 4 langkah	8
Gambar 2.4 Gambar potongan mesin diesel	9
Gambar 2.5 <i>Cylinder Head</i>	9
Gambar 2.6 Mekanisme Katup	9
Gambar 2.7 Injektor	10
Gambar 2.8 <i>Manifold</i>	10
Gambar 2.9 <i>Piston</i> dan kelengkapannya	11
Gambar 2.10 <i>Connecting Rod</i>	11
Gambar 2.11 <i>Cylinder Liner</i>	12
Gambar 2.12 <i>Cylinder Block</i>	12
Gambar 2.13 <i>Crank Shaft</i>	13
Gambar 2.14 <i>cam shaft</i>	13
Gambar 2.15 Diagram P-V Ideal (Teoritis)	14
Gambar 2.16 Diagram P-V Indikator (Aktual)	16
Gambar 3.1 <i>Outside Micrometer</i>	20
Gambar 3.2 <i>Magnetic Particle Yoke YI</i>	23
Gambar 3.3 <i>CRACK DEPTH RMS Q</i>	24
Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan MIC 20 / GE	24
Gambar 4.1 Temuan retak pada <i>crankpin</i> dan area <i>web</i>	25
Gambar 4.2 Arah rambatan retak membentuk sudut $\pm 45^{\circ}$	25
Gambar 4.3 <i>Scartch</i> pada <i>bearing 4B</i>	25
Gambar 4.4 Titik pengujian diameter	26
Gambar 4.5 Hasil pengujian <i>penetrant</i> pada <i>crankpin 4</i>	27
Gambar 4.6 Pengujian <i>Magnetic Particle</i>	27
Gambar 4.7 Hasil pengujian kedalaman retak	28
Gambar 4.8 Titik pengukuran kekerasan <i>crankpin</i>	28
Gambar 4.9 <i>Mapping</i> nilai kekerasan tinggi area retak	29
Gambar 4.10 Retak pada <i>crankpin</i> No. 4 Unit 7 PLTD Ampenan	31

Gambar 4.11 representasi skematis dari tanda permukaan patah akibat *fatigue* [4]31
Gambar 4.1228. Diagram *fishbone analysis*32



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Instruksi Kerja Pengujian Visual	37
Lampiran 2 Instruksi Kerja Pengujian <i>Outside</i> Diameter	38
Lampiran 3 Instruksi Kerja Pengujian <i>Penetrant</i>	39
Lampiran 4 Instruksi Kerja Pengujian <i>Magnetic</i> Partikel	41
Lampiran 5 Instruksi Kerja Pengujian Kedalaman Retak	43
Lampiran 6 Instruksi Kerja Pengujian <i>Hardness Magnetic</i>	44



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) merupakan jenis pembangkit yang masih banyak digunakan di Indonesia terutama diluar Pulau Jawa. Salah satu bagian utama dalam mesin Diesel adalah *Crank Shaft*. *Crank Shaft* berfungsi untuk merubah gerak naik turun (Translasi) *Piston* menjadi gerakan rotasi atau gerakan putar. Salah satu bagian dari *Crank Shaft* adalah crank pin yang berfungsi sebagai tempat melekatnya *Connecting Rod* (1).

Permasalahan yang terjadi, ditemukan *Crank Pin* no 4 mengalami keretakan dan keausan. Adanya retakan pada permukaan *crankshaft* dapat menjadi potensi risiko kerusakan atau kegagalan mesin. Retak pada permukaan *crankshaft* dapat disebabkan oleh kegagalan operasi seperti gagal pelumasan, *bearing jammed* dan *overspeed*. Ciri retak akibat kegagalan operasi yaitu arah rambatan retak yang sejajar sumbu poros dan nilai kekerasan permukaan yang tinggi.

Dilihat dari fungsi utama dan peranan penting dari *Crank Shaft* pada operasi PLTD serta untuk mengetahui penyebab kerusakan pada Crank Pin maka atas dasar itu penulis mengangkat tema untuk penulisan Tugas Akhir adalah “Analisa Kerusakan *Crank Pin* Nomor 4 Mesin Sulzer 12 ZAV 40 S PLTD Ampenan Unit 7”.

1.2. Identifikasi Masalah

Adapun rumusan masalah yang penulis kemukakan yaitu:

1. Pengujian apa saja yang akan dilakukan untuk mengetahui penyebab kerusakan *Crank Pin*?
2. Bagaimana tahapan - tahapan pengujian material *Crank Pin*?
3. Bagaimana rekomendasi perbaikan dari hasil analisa pengujian *Crank Pin*?

1.3. Batasan Masalah

Penulisan tugas akhir ini, penulis membatasi masalah pembahasannya. Hal ini dilakukan agar pembahasan ataupun penganalisisan yang dilaksanakan tidak meluas, dimana penulis hanya melakukan beberapa metode pengujian Crank Pin dan rekomendasi perbaikan dari hasil analisa pengujian material *Crank Pin* PLTD.

1.4. Tujuan

Penulis melakukan penelitian dengan tema “ ANALISA KERUSAKAN CRANK PIN NOMOR 4 MESIN SULZER 12 ZAV 40 S PLTD AMPENAN UNIT 7”, bertujuan:

1. Memahami metode apa saja yang dilakukan dalam pengujian material *Crank Shaft* PLTD.
2. Mengetahui faktor penyebab kerusakan pada *Crank Shaft* PLTD dan Memberikan rekomendasi perbaikan permasalahan tersebut.
3. Memahami pengaruh pola operasi terhadap kinerja mesin

1.5. Manfaat

Ada beberapa manfaat dari pelaksanaan praktek tugas akhir ini, baik manfaat untuk mahasiswa yang melaksanakannya maupun bagi universitas/ perguruan tinggi yang bersangkutan.

1. Manfaat bagi mahasiswa tersebut adalah:
 - a. Mengetahui metode pengujian material apa saja yang dilakukan dalam pengujian material *Crank Shaft* PLTD.
 - b. Mengetahui prosedur pengujian material *Crank Shaft* PLTD.
 - c. Mengetahui penyebab kerusakan pada *Crank Shaft* PLTD.
 - d. Mengetahui rekomendasi perbaikan *Crank Shaft* PLTD dari hasil pengujian material.

2. Manfaat bagi pimpinan program study S1 Teknik Mesin:
 - a. Adanya sumber referensi mengenai informasi pengujian material *Crank Shaft* PLTD.
 - b. Memperbanyak informasi dalam bidang teknik mesin khususnya tentang pengujian material *Crank Shaft* PLTD.

1.6. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari empat bab, dimana masing-masing bab menguraikan hal-hal yang dipelajari dan dituangkan dalam bentuk laporan tertulis yang dimana antara bab pertama dengan bab lainnya saling berkaitan.

BAB I berisikan tentang pendahuluan yang membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan yang ingin dicapai, manfaat yang diharapkan dari penulisan, langkah-langkah metode penulisan, dan sistematika penulisan Tugas Akhir.

BAB II berisikan tentang tinjauan umum tentang Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD), komponen-komponen utama, dan siklus mesin Diesel

BAB III berisikan uraian tentang pembahasan metode pengujian pada *Crank Shaft* PLTD.

BAB IV berisikan analisis dan data pengujian *Crank Shaft* dan juga analisis menggunakan metode *Fishbone Diagram Analysis*

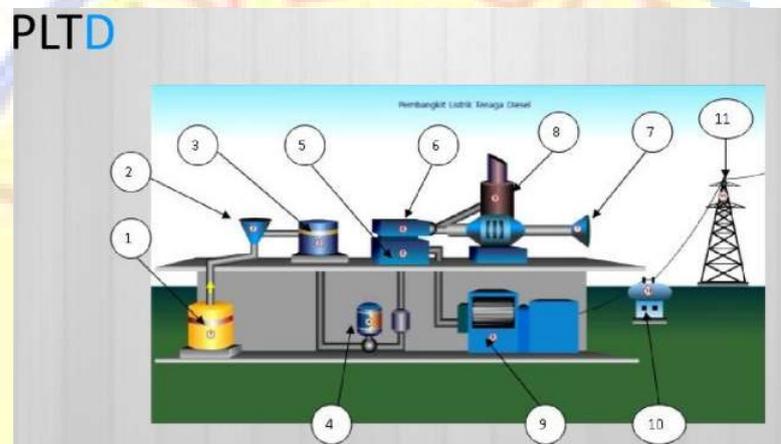
BAB V berisikan tentang kesimpulan dan saran dari hasil penulisan serta kegiatan praktek tugas akhir tentang pengujian material *Crank Shaft* PLTD.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD)

Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) ialah Pembangkit listrik yang menggunakan mesin diesel sebagai penggerak mula (*prime mover*). *Prime mover* merupakan peralatan yang mempunyai fungsi menghasilkan energi mekanis yang diperlukan untuk memutar rotor generator, Mesin Diesel juga dikenal sebagai mesin dengan kompresi tinggi(1).



Gambar 2.1 PLTD

Dari gambar diatas dapat kita lihat bagian - bagian dari PLTD antara lain ;

1. *Storage Tank*

Disebut juga tangki curah, berfungsi menampung dan menyimpan bahan bakar yang baru di terima dari Pertamina. Biasanya *storage tank* di pasang di dalam tanah agar memudahkan dalam membongkar bahan bakar dari truk karena tidak memerlukan pompa, hanya mengandalkan gravitasi(1).

2. *Fuel Separator*

Fuel separator berfungsi menyaring bahan bakar di *storage tank*. Bahan bakar ini setelah di saring akan di masukkan ke dalam *Daily Tank*, pada *fuel separator* ini, bahan bakar di bersihkan dari kotoran, karbon dan juga air(1).

3. *Daily Tank*

Disebut juga tangki harian, berfungsi menyimpan bahan bakar yang sudah bersih setelah dibersihkan oleh *fuel separator*(1).

4. *Fuel Pump*

Berfungsi untuk mengalirkan bahan bakar dari *daily tank* ke mesin. *Fuel pump* ini juga berfungsi mempertahankan tekanan bahan bakar di sistem bahan bakar mesin kurang lebih sekitar 2-4 bar(1).

5. Mesin Diesel

Mesin diesel adalah motor pembakaran dalam yang menggunakan panas kompresi untuk menciptakan penyalaan dan membakar bahan bakar yang telah diinjeksikan ke dalam ruang bakar, mesin diesel ini sebagai penggerak dari generator(1).

6. *Exhaust Manifold*

Berfungsi mengalirkan gas buang sisa pembakaran yang akan dialirkan ke udara luar melalui *Exhaust* yang sebelumnya gas buang ini dimanfaatkan sebagai penggerak *turbocharger*(1).

7. *Air Filter*

Berfungsi menyaring udara yang akan masuk ke mesin. Pada *filter* ini akan di saring kotoran dan juga partikel kecil yang berbahaya apabila masuk ke ruang bakar(1).

8. *Exhaust/ Knalpot*

Berfungsi meredam suara dari mesin dan juga mengalirkan sisa pembakaran ke udara bebas(1).

9. *Generator*

Berfungsi merubah putaran yang dihasilkan oleh mesin diesel menjadi energi listrik(1).

10. *Step Up Transformer*

Adalah alat yang berfungsi untuk menaikkan tegangan yang dihasilkan oleh generator yang akan di salurkan ke transmisi(1).

11. *Transmission Line*

Berfungsi menyalurkan energi listrik dari *Step Up Transformer* ke pelanggan, dari transmisi line ini akan di alirkan ke Gardu induk, kemudian diturunkan lagi tegangannya sampai nanti ke pelanggan dengan tegangan 220 V s/d 380 V(1).

2.2 Proses Kerja Mesin Diesel

Mesin Diesel merupakan mesin yang proses penyalaan bahan bakarnya terbakar sendiri tanpa bantuan alat untuk penyalaan. Proses ini terjadi akibat tekanan kompresi yang tinggi, sehingga temperatur dalam ruang bakar naik, kemudian bahan bakar dikabutkan, dan bahan bakar mudah menyala dengan sendirinya(1).

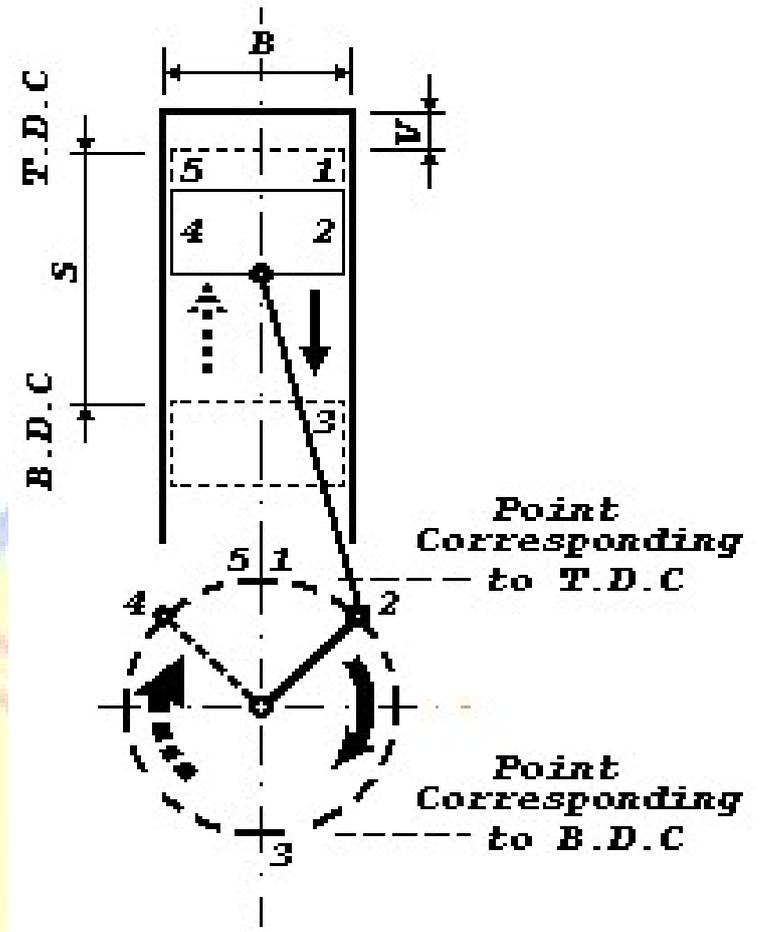
Proses kerja Mesin Diesel 4 langkah, mempunyai proses kerja yang merupakan 1 (satu) siklus kerja Mesin Diesel yaitu :

- ◆ Langkah Pengisian.
- ◆ Langkah Kompresi.
- ◆ Proses Pengabutan Bahan Bakar.
- ◆ Langkah Usaha.
- ◆ Proses Pembilasan.
- ◆ Langkah Pembuangan.

Pada mesin 4 langkah, kerja Pengisian, Kompresi, Usaha dan Pembuangan masing-masing mempunyai langkah. Kemudian proses Injeksi bahan bakar terjadi saat piston sebelum mencapai TMA pada langkah Kompresi dan proses Pembilasan terjadi saat piston sebelum mencapai TMA pada langkah Pembuangan(1).

Pada Mesin Diesel 4 langkah dengan lebih dari 1 (satu) silinder, proses kerja dalam silinder nomor 1 (satu) dan silinder lainnya memiliki urutan proses yang sama. Namun, urutan waktu proses kerja tersebut berbeda sesuai dengan yang telah ditetapkan oleh pabrik pembuat mesin(1).

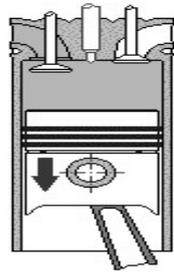
Proses kerja mesin Diesel 4 tak adalah langkah-langkah yang dilakukan oleh mesin untuk menghasilkan satu pembakaran di mana torak bergerak sebanyak empat kali. Langkah dalam mesin yang melibatkan torak disebut sebagai langkah torak, yang memiliki titik berhenti di bagian bawah torak dan titik berhenti di bagian atas torak. Secara umum, titik berhenti di bagian bawah disebut sebagai Titik Mati Bawah (TMB), sedangkan titik berhenti di bagian atas disebut sebagai Titik Mati Atas (TMA)(1).



Gambar 2.2 Proses kerja mesin diesel

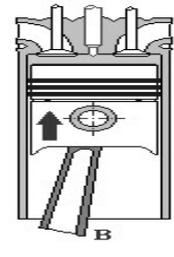
Siklus adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan kegiatan yang berurutan dan berkelanjutan dalam menghasilkan Kerja atau Usaha(1).

Proses kerja mesin 4 langkah



Langkah Pengisian

Katup Isap *membuka*
Katup Buang menutup
Torak bergerak dari *TMA* – *TMB*



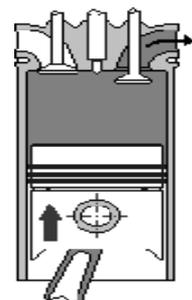
Langkah Kompresi

Katup Isap menutup
Katup Buang menutup
Torak bergerak dari *TMB* – *TMA*



Langkah Usaha

Katup Isap menutup
Katup Buang menutup
Torak bergerak dari *TMA* – *TMB*



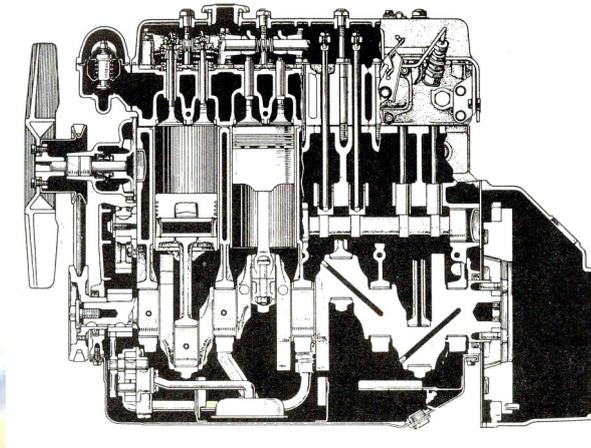
langkah Pembuangan

Katup Isap menutup
Katup Buang *membuka*
Torak bergerak dari *TMB*– *TMA*

Gambar 2.3 Proses kerja mesin 4 langkah

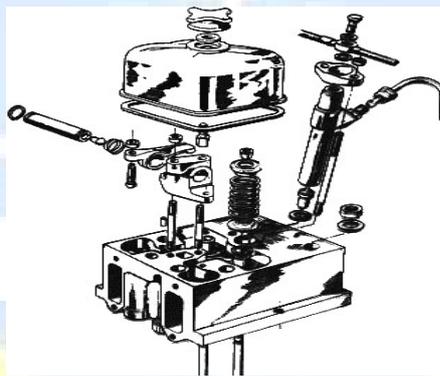
Semakin banyak jumlah silinder sebuah Mesin Diesel proses yang terjadi tetap sama untuk masing-masing silinder, tetapi waktu prosesnya dibagi secara merata untuk setiap 2 (dua) kali putaran poros engkol atau poros engkol berputar 720° (1).

2.3 Bagian – Bagian Utama Mesin Diesel



Gambar 2.4 Gambar potongan mesin diesel

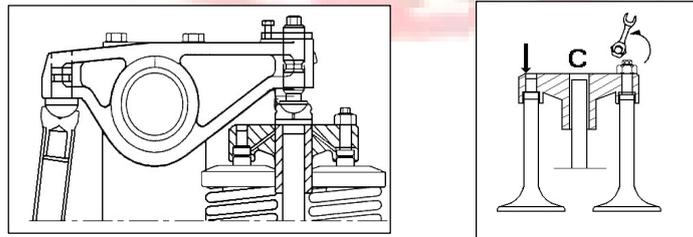
2.3.1. Cylinder Head



Gambar 2.5 *Cylinder Head*

Fungsi Kepala Silinder adalah bersama dengan *cylinder liner* dan piston membentuk ruang bakar. Selain itu pada *Cylinder head* terdapat beberapa *part* yang terpasang antara lain :

1. Mekanisme Katup/*Valve*



Gambar 2.6 Mekanisme Katup

Katup berfungsi membuka dan menutup saluran baik *Intake* maupun *exhaust*. Mekanisme katup dilengkapi dengan batang katup, pegas, *push rod*, *rocker arm* dan juga seal untuk menghindari oli masuk ke dalam ruang bakar(1).

2. *Injector*



Gambar 2.7 Injektor

Berfungsi menginjeksikan bahan bakar ke dalam ruang bakar. *Injector* bersama dengan pompa injeksi mengabutkan bahan bakar agar mudah terbakar dan pembakaran di dalam ruang bakar menjadi rata. Injektor di setting untuk membuka dan menutup berdasarkan tekanan tertentu yang diberikan oleh pompa injeksi(1).

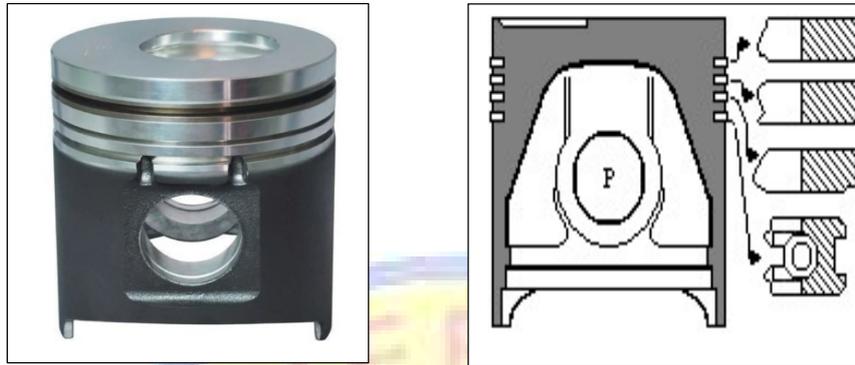
3. *Intake dan Exhaust manifold*



Gambar 2.8 *Manifold*

Intake manifold berfungsi mengalirkan udara bersih masuk ke ruang bakar. Udara masuk sebelumnya di saring terlebih dahulu dari kotoran/debu kemudian dinaikkan tekanannya oleh *turbocharger* untuk mendapatkan pembakaran yang optimal. Sedangkan *exhaust manifold* berfungsi mengalirkan udara sisa pembakaran keluar. Gas pembakaran ini biasanya dimanfaatkan untuk memutar *turbocharger*(1).

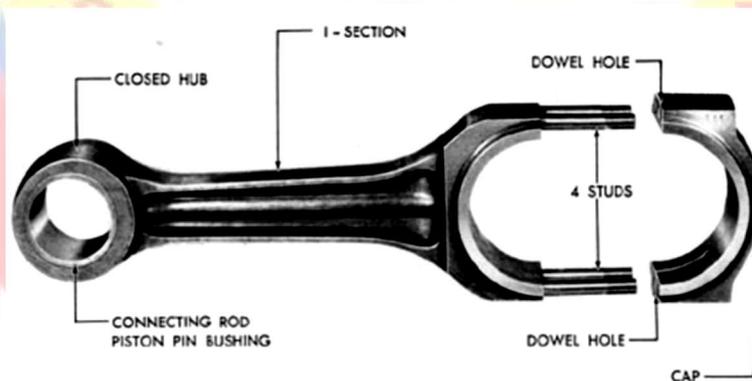
2.3.2. Piston



Gambar 2.9 Piston dan kelengkapannya

Piston berfungsi membentuk ruang bakar bersama dengan *cylinder head* dan *cylinder liner*. Piston bergerak naik turun dari TMA - TMB mengkompresikan campuran udara dan bahan bakar. Piston merubah energi *thermal* dari bahan bakar menjadi energi mekanik/gerak. Pada piston terpasang ring piston yaitu ringpiston kompresi dan juga ring piston untuk oli/pelumas di *cylinder* dan ruang bakar(1).

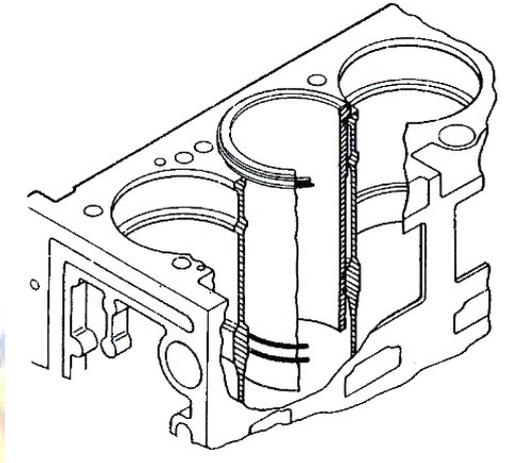
2.3.3. Connecting Rod



Gambar 2.10 *Connecting Rod*

Berfungsi menghubungkan piston dengan *crankshaft*. *Connecting rod* berperan penting dalam memindahkan energi yang dihasilkan oleh piston menuju ke *crankshaft*, yang kemudian akan diubah menjadi gerakan putaran. Pada *Connecting rod* terdapat *bearing* yang terpasang yaitu *big end bearing* dan *small end bearing*(1).

2.3.4. Cylinder Liner

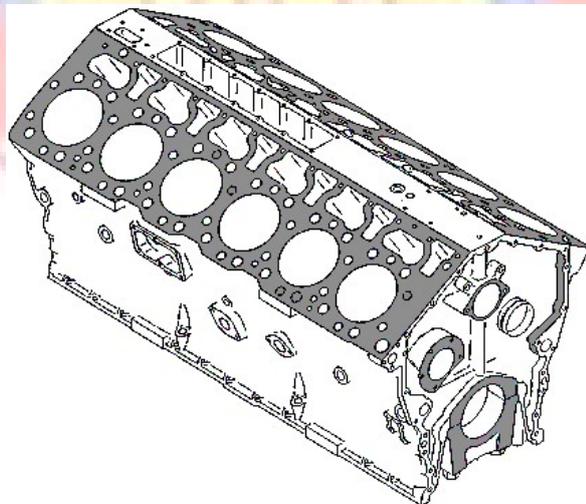


Gambar 2.11 Cylinder Liner

Cylinder liner merupakan salah satu komponen yang ada di dalam blok silinder mesin yang memiliki fungsi utama sebagaiudukan *piston* agar bisa bergerak. *Cylinder liner* terbuat dari bahan khusus yang mampu bertahan saat terjadi gesekan sewaktu piston bekerja(1).

Kendati demikian, dalam waktu yang panjang mungkin saja *cylinder liner* mengalami kerusakan atau baret. Dampak yang akan terjadi saat *cylinder liner* baret adalah terjadinya kebocoran pada sistem kompresi, piston goyang, hingga oli mesin masuk ke dalam ruang pembakaran dan menyebabkan asap mobil menjadi berwarna putih(1).

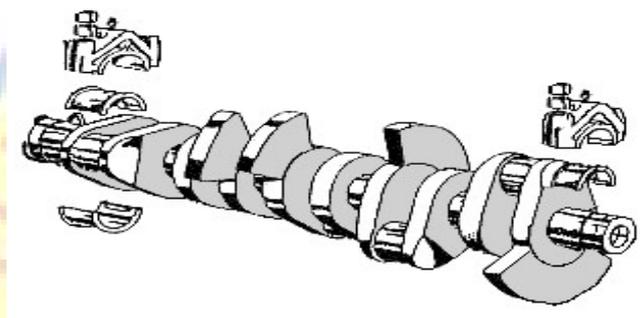
2.3.5. Engine Block.



Gambar 2.12 Cylinder Block

Fungsi utama blok silinder adalah sebagai tempat atau kedudukan untuk naik dan turunnya piston pada mesin. Bentuk lubang silinder akan menyesuaikan dengan bentuk piston sehingga komponen tersebut bisa naik dan turun. Selain itu *Block cylinder* adalah tempat dimana komponen utama mesin lainnya dipasang/disatukan(1).

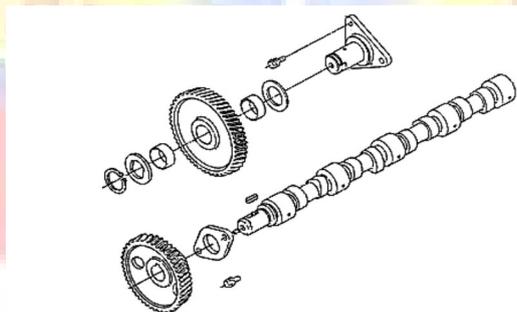
2.3.6. Crank Shaft



Gambar 2.13 *Crank Shaft*

Crank Shaft berfungsi merubah gerak naik turun piston menjadi gerak putar/rotasi. Bagian dari *crank shaft* antara lain *crank pin*, *big end bearing*, *counter weight* selain itu di *crank shaft* ini juga terpasang *fly wheel*(1).

2.3.7. Cam Shaft



Gambar 2.14 *cam shaft*

Cam Shaft berfungsi untuk mengatur kapan waktu membuka dan menutupnya Katup/*valve*. *Cam shaft* terhubung dengan crankshaft melalui roda gigi dan juga *timing chain* atau *timing belt*. *Cam shaft* berputar sekali (360°) *crank shaft* berputar 2 dua kali putaran (720°)(1).

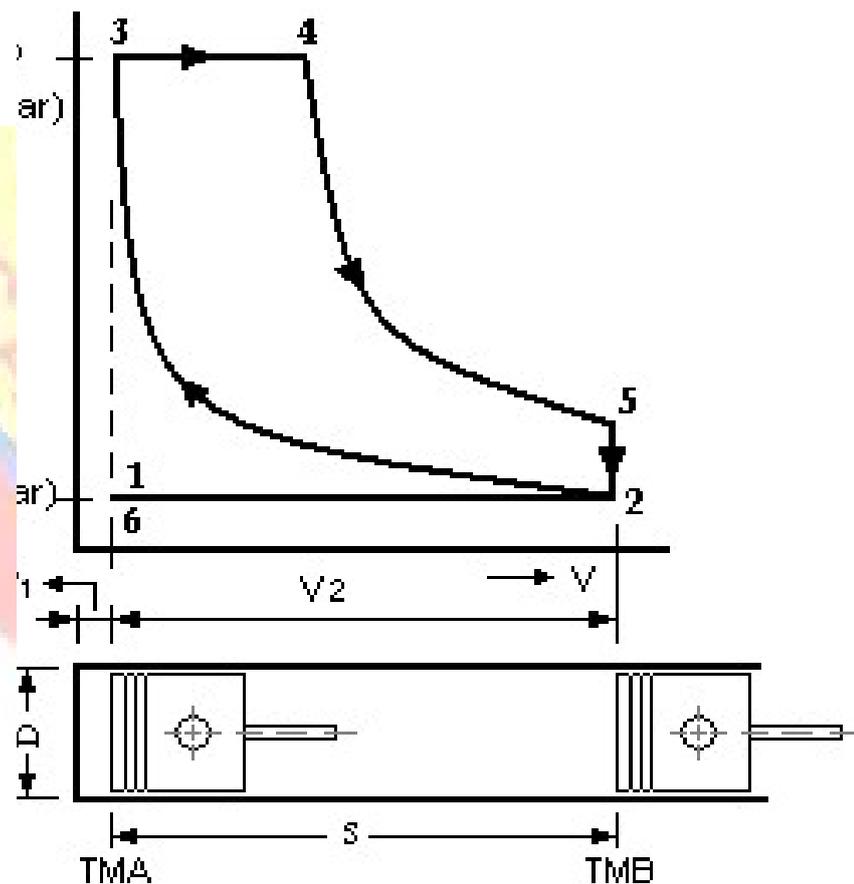
2.4 Diagram P-V Mesin 4 Langkah

Perubahan tekanan dan volume dalam silinder pada Mesin Diesel 4 langkah, dijelaskan pada 2 (dua) diagram P-V dibawah ini.(1)

- Diagram P-V - Ideal (Teoritis).**
- Diagram P-V - Indikator (Aktual).**

a. Diagram P-V - Ideal (Teoritis).

Diagram P-V Ideal (Teoritis) menggambarkan secara teoretis bagaimana mesin diesel 4 langkah bekerja. Diagram ini juga digunakan oleh perencana mesin Pada penghitungan Thermodinamika untuk mengukur kekuatan mesin(1).



Gambar 2.15 Diagram Tekanan(P) - Volume (V) Ideal (Teoritis)

Penjelasan di bawah ini akan menjelaskan proses kerja Mesin Diesel 4 langkah(1).

Langkah 1 - 2 Pengisian.

Dalam situasi ini, silinder mengalami masukan udara luar saat torak bergerak dari posisi TMA ke TMB, sehingga menyebabkan ruang di dalam silinder menjadi kosong atau vakum.

Langkah 2 - 3 Kompresi.

Tekanan udara dan suhunya meningkat karena udara di dalam silinder dikompresi.

Proses 3 - 4 Penyalaan Bahan Bakar.

Saat proses kompresi mencapai akhirnya, sejumlah bahan bakar dialirkan ke dalam silinder melalui injektor dalam bentuk kabut agar lebih mudah terbakar. Akibatnya, terjadilah pembakaran di dalam silinder yang memiliki tekanan dan temperatur yang tinggi.

Langkah 4 - 5 Usaha.

Gas yang terbakar pada suhu dan tekanan yang tinggi akan menyebabkan torak bergerak ke bawah dan menghasilkan tenaga rotasi pada poros engkol.

Langkah 5 - 6 Pembuangan.

Gas yang belum terbakar atau dikenal sebagai gas buang, didorong keluar dari silinder oleh torak.

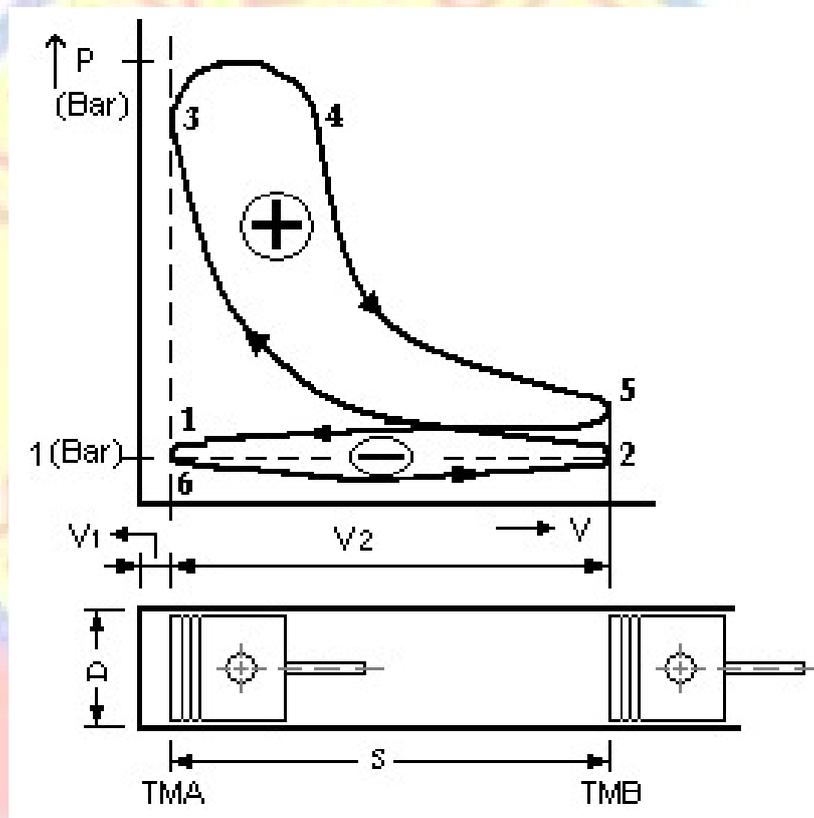
Proses 6 – 1 Pembilasan.

ini terjadi ketika katup masuk mulai terbuka dan katup keluar masih terbuka, aliran udara masuk ke dalam ruang pembakaran karena adanya tekanan udara yang tinggi.

b. Diagram P-V - Indikator (Aktual).

Diagram P-V Indikator (Aktual) merupakan diagram yang didapat dari pengukuran dengan alat pengukur kondisi kerja dalam ruang bakar dan pengukurannya dilakukan pada saat mesin Diesel beroperasi(1).

Alat ini dapat mengetahui besarnya tekanan udara masuk, tekanan kompresi, tekanan pembakaran di dalam ruang bakar, dan besarnya daya indikator dapat dihitung melalui besaran yang ada pada diagram tersebut(1).

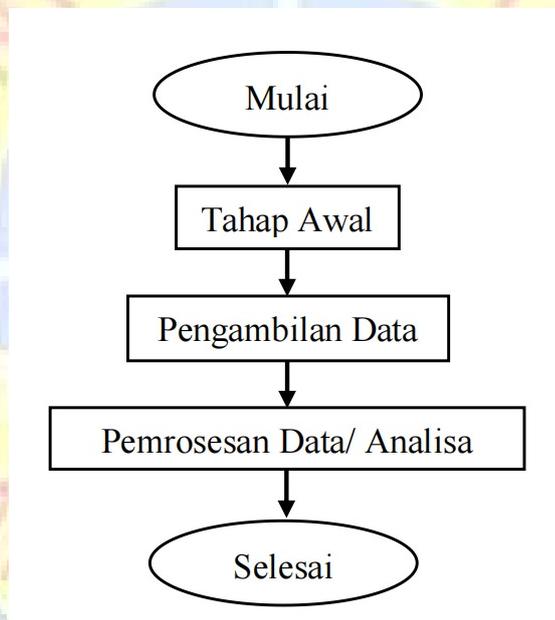


Gambar 2.16 Diagram P-V Indikator (Aktual)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Diagram Alir Penelitian

Sub Bab ini akan menguraikan tentang diagram aliran penelitian yang akan dilaksanakan. Diagram alir ini menggambarkan langkah-langkah yang harus diikuti dalam rangkaian penelitian dari awal hingga akhir. Proses penelitian akan terbagi dalam beberapa tahap yaitu meliputi tahap awal, pengumpulan data, pemrosesan data, dan penarikan kesimpulan. Berikut adalah rencana penelitian yang diilustrasikan dalam diagram alur sebagai berikut :



3.2. Tahap Awal

a. Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini mulai dilakukan pada bulan Februari 2023, tempat penelitian dilaksanakan di PT. PLN (Persero) ULPL Ampenan, Jl. Arya Banjar Getas No.1, Tj. Karang, Kec. Sekarbela, Kota Mataram, Nusa Tenggara Barat. Analisis data dilakukan di PT PLN (Persero) Pusat Sertifikasi Jl. Laboratorium Duren Tiga Jakarta Selatan.

b. Ruang Lingkup Penelitian

Pengujian crank pin no 4 yang mengalami kerusakan menggunakan metode tidak merusak / *Non Destructive Test* (NDT) dengan ruang lingkup dan peralatan uji sebagai berikut :

Tabel 31. Ruang Lingkup dan Peralatan Uji

Sampel Uji	Metode Pengujian	Peralatan Uji
Crank Pin No.4	Visual	Kamera Digital
	<i>Outside Diamater</i>	<i>Outside Micrometer</i>
	Permukaan	<i>Dye Penetrant</i>
	Cacat Permukaan	<i>Magnetic Particle Ink dan Yoke</i>
	Retak/ <i>Crack</i>	<i>Crack Depth Micro Gauge</i>
	Kekerasan	<i>Microdure Hardness Tester</i>

c. Data Teknik

Berikut adalah data teknik PLTD Ampena Unit 7 :

- *Manufacture* : SULZER
- *Type* : 12 ZAV 40S
- *Rated speed* : 500 rpm
- *Output (kW)* : 7920 kW
- *Diameter of crankpin* : 350.00 mm
- *Undersize maximal of crankpin* : 5 mm (diameter 345.00 mm)(2).
-

3.3. Pengambilan Data

a. Waktu dan Tempat Pelaksanaan

Pelaksanaan pengujian di PT PLN (Persero) ULPL Ampenan pada 21 s.d 24 Februari 2023. Analisis data dilakukan di PT PLN (Persero) Pusat Sertifikasi Jl. Laboratorium Duren Tiga Jakarta Selatan pada tanggal 27 Februari 2023 s.d 3 Maret 2023

b. Pengambilan Data

Pengambilan data dilaksanakan dengan cara melakukan pengujian material menggunakan metode Uji tidak merusak / *Non Destructive Test* (NDT). Adapun pengujian yang dilakukan antara lain

1. Pengujian Visual

Bertujuan untuk mengetahui keadaan atau kondisi visual benda. Hasil pengamatan di rekam menggunakan kamera sebagai lampiran hasil pemeriksaan visual

Langkah pengujian :

- ◆ Permukaan benda uji dikondisikan bersih dan terdapat akses
- ◆ Hidupkan alat uji
- ◆ Posisikan benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- ◆ Amati layar dan kemudian ambil gambar.
- ◆ Catat nilai hasil pengujian pada Blanko Uji

2. Pengujian *Outside* Diameter

Bertujuan untuk mengukur diameter luar benda yang berbentuk lingkaran dalam hal ini *crank pin* no.4.

Langkah pengujian :

- ◆ Pilih ukuran *outside diameter* yang akan digunakan
- ◆ Kalibrasi *outside diameter* sesuai dengan ukuran yang diinginkan
- ◆ Bersihkan benda uji dari kotoran agar hasil pengukuran akurat
- ◆ Amati pembacaan nilai pada alat *outside diameter*
- ◆ Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji
- ◆ Bersihkan alat dan simpan alat dengan baik dan benar.



Gambar 3.1 *Outside Micrometer*

3. Pengujian *Penetrant*

Bertujuan untuk mendeteksi adanya cacat/discontinuitas terbuka pada permukaan material dengan menggunakan cairan *penetrant* yang mengandung warna kontras atau *flourescent*

Langkah pengujian :

- ◆ Bersihkan benda uji dari kotoran, oli, *grease*, karat, kerak, cat, kerak lasan dll yang bisa mengganggu dalam interpretasi cacat.
- ◆ Bersihkan kembali benda uji dengan cleaner dan tunggu hingga benda uji menjadi kering agar mendapatkan hasil pengujian yang maksimal.
- ◆ Aplikasikan cairan *penetrant* dengan menyemprot pada bagian yang akan di uji.
- ◆ Tunggu ± 5 menit agar cairan *penetrant* meresap pada area uji.
- ◆ Bersihkan benda uji dengan *cleaner* yang disemprotkan ke kain lap / majun bersih (jangan disemprotkan langsung ke benda uji).
- ◆ Pastikan benda uji benar – benar bersih dari sisa *penetrant* agar tidak salah dalam interpretasi cacat.

- ◆ Aplikasikan *developer* pada area yang sebelumnya telah disemprot cairan *penetrant* dengan jarak penyemprotan tidak terlalu dekat maupun terlalu jauh, sehingga mendapatkan lapisan *developer* yang tidak terlalu tipis atau tebal. (jika terlalu tipis *penetrant* yang terangkat hanya sedikit sedangkan jika terlalu tebal *penetrant* tidak akan terangkat)
- ◆ Amati dengan cermat dan hati – hati area uji apakah terdapat indikasi cacat atau tidak. (pengamatan ≤ 10 menit)
- ◆ Jika tidak terdapat indikasi cacat, dokumentasikan dengan kamera untuk memudahkan dalam pembuatan laporan
- ◆ Bersihkan benda uji dari sisa *developer* dan *penetrant* dengan kain lap / majun dan *cleaner* (sisa *penetrant* dan *developer* akan memicu benda uji mudah terserang korosi)
- ◆ Jika terdapat indikasi cacat cairan *penetrant (fluorescent)* akan berpendar dengan lampu UV.
- ◆ Pastikan kembali indikasi dengan menggosok indikasi dengan kain lap / majun hingga lapisan *developer* hilang.
- ◆ Lakukan langkah (g) dan (h).
- ◆ Jika indikasi kembali terlihat, beri tanda pada indikasi dan dokumentasikan dengan kamera untuk memudahkan dalam pembuatan laporan.
- ◆ Lakukan langkah (j).

4. Pengujian *Magnetic Particle*

Untuk mendeteksi adanya cacat/discontinuitas pada permukaan dan bawah permukaan benda ferromagnetik dengan menggunakan medan magnet (*yoke*).

Langkah pengujian :

- ◆ Sambungkan kabel yoke dengan sumber listrik.
- ◆ Kalibrasi yoke dengan menggunakan kalibrator (10 kg).
- ◆ Bersihkan benda uji dari kotoran, oli, *grease*, karat, cat, kerak lasan dll yang bisa mengganggu dalam interpretasi cacat.
- ◆ Induksi benda uji dengan menggunakan *yoke*.
- ◆ Aplikasikan magnetik partikel (MPI Ink 14 HF) pada area yang akan di uji dan induksikan kembali medan magnet.
- ◆ Lakukan pengujian dengan menggunakan minimal 2 arah pengujian.
- ◆ Amati dengan cermat dan hati-hati pada area uji apakah terdapat indikasi cacat atau tidak.
- ◆ Lakukan kembali langkah (e, f dan g) hingga yakin bahwa benda uji ada/tidak ada indikasi cacat.
- ◆ Jika terdapat indikasi cacat, magnetik partikel akan berkumpul/bergerak kearah indikasi cacat dan berpendar menggunakan lampu UV.
- ◆ Pastikan kembali indikasi tersebut dengan menggosok indikasi menggunakan jari tangan dan lakukan langkah (h) dan (i).
- ◆ Beri tanda pada indikasi dan dokumentasikan dengan kamera agar memudahkan dalam pembuatan laporan.

- ◆ Bersihkan benda uji dan pastikan tidak ada medan magnet yang tersisa pada benda uji dengan menggunakan gauss meter.
- ◆ Jika terdapat medan magnet sisa pada benda uji hilangkan dengan metode membalikkan arah medan magnet.
- ◆ Cabut kabel dari sumber listrik.
- ◆ Bersihkan alat dan simpan alat dengan baik dan benar.



Gambar 3.2 *Magnetic Particle Yoke YI*

5. Pengujian kedalaman retak

Untuk mengetahui nilai kedalaman cacat retak suatu material

Langkah pengujian :

- ◆ Permukaan benda uji dikondisikan bersih, rata dan halus.
- ◆ Pastikan alat telah terkalibrasi dan lakukan kalibrasi ulang jika ragu.
- ◆ Hidupkan alat uji .
- ◆ Posisikan probe pada benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- ◆ Amati pembacaan nilai yang tampil pada layar.
- ◆ Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji



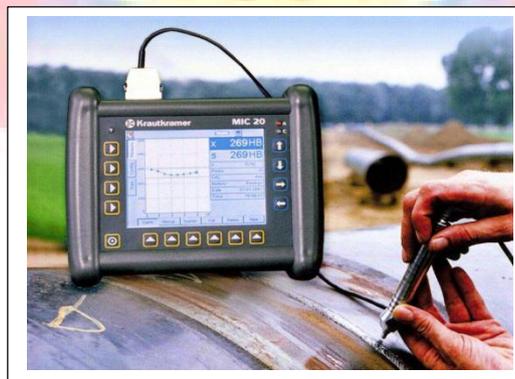
Gambar 3.3 CRACK DEPTH RMS Q

6. Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui nilai kekerasan material.

Langkah pengujian :

- ◆ Permukaan benda uji dikondisikan bersih, rata dan halus.
- ◆ Pastikan alat telah terkalibrasi dan lakukan kalibrasi ulang jika ragu.
- ◆ Hidupkan alat uji .
- ◆ Posisikan *probe* pada benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- ◆ Amati pembacaan nilai yang tampil pada layar.
- ◆ Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji



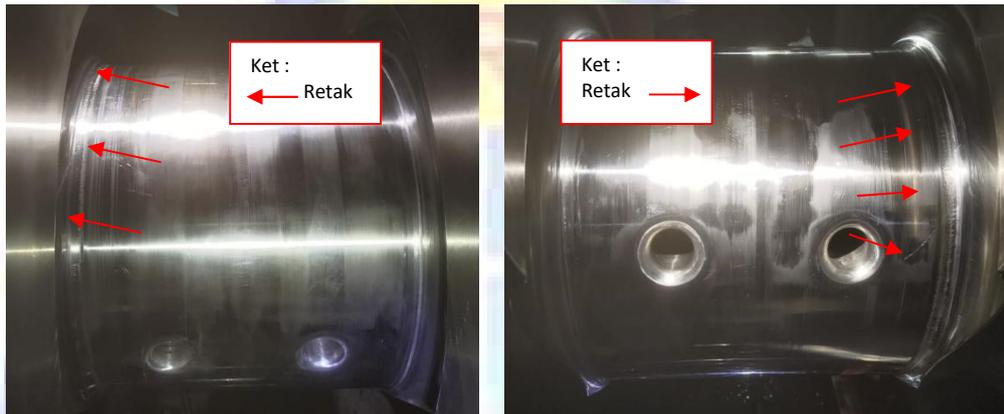
Gambar 3.4 Alat Uji Kekerasan MIC 20 / GE

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian

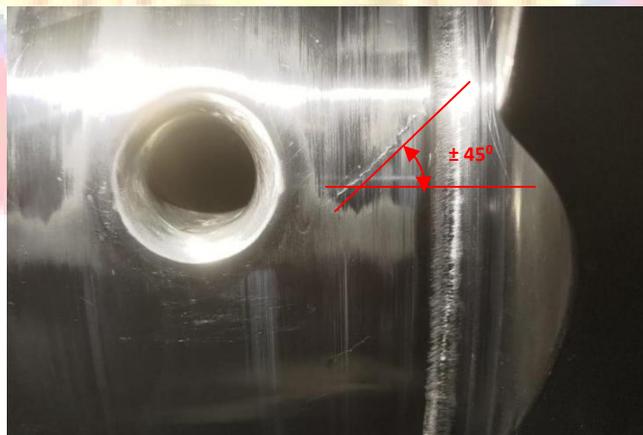
1. Pengujian Visual

- a. Ditemukan retak pada *crankpin* dan radius *web* hingga lebih dari setengah lingkaran/keliling *crankpin* dengan panjang ± 56 cm.



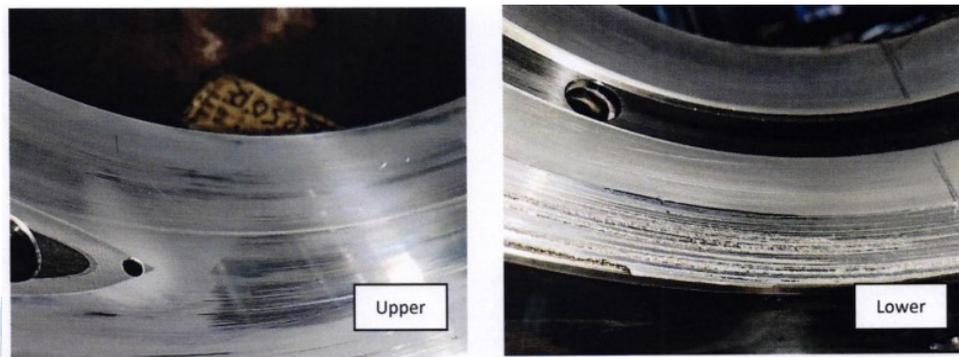
Gambar 4.1 Temuan retak pada *crankpin* dan area *web*

- b. Hasil pengujian visual ditemukan retak dengan rambatan retak membentuk sudut sekitar 45° terhadap sumbu poros yang mengindikasikan adanya pembebanan torsi berlebih pada *crankpin* sesuai referensi *ASM Handbook volume 12 "fractography"*.



Gambar 4.2 Arah rambatan retak membentuk sudut $\pm 45^\circ$

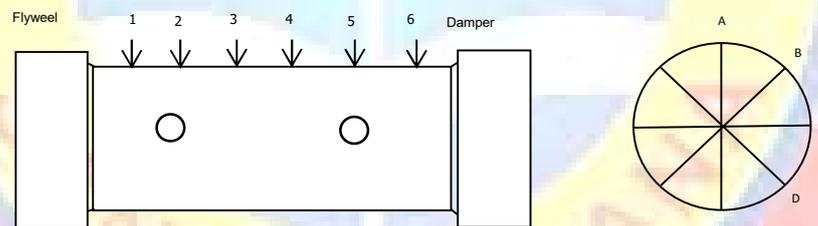
- c. Ditemukan *scratch* pada permukaan *bearing* 4B tetapi tidak ditemukan adanya indikasi *jammed* pada *bearing crankpin*. *Scratch* pada *bearing* tersebut adalah akibat material *crankpin* yang mengalami retak disisi *flywheel* menonjol keatas sehingga terjadi kontak antara *crankpin* dan *bearing*.



Gambar 4.3. *Scratch* pada *bearing* 4B

2. Pengujian *Outside Diameter*

Hasil pengukuran diameter *Crank Pin* no. 4 sebagai berikut :



Gambar 4.4. Titik pengujian diameter

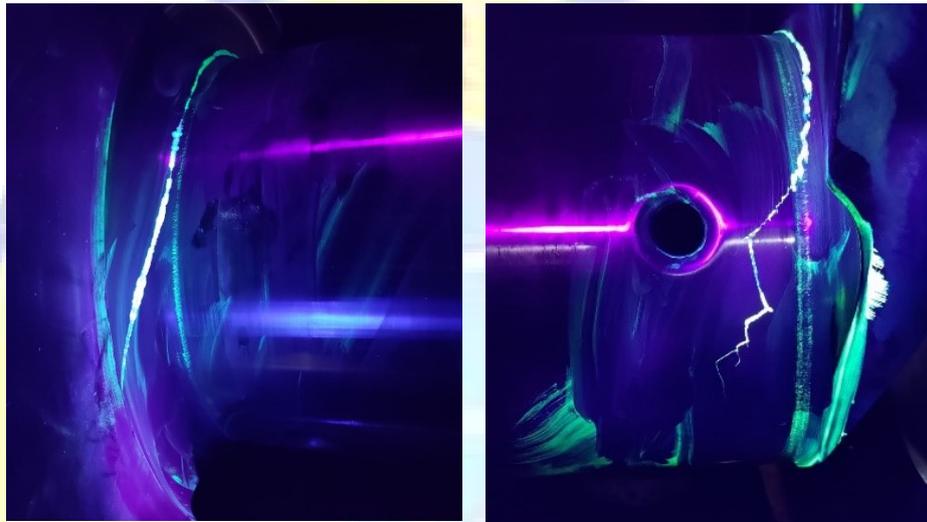
Tabel 4.1. Hasil pengujian diameter *crankpin journal* no. 4

<i>Crank Pin</i> No	Posisi Ukur No	A	C	<i>Ovality</i>	B	D	<i>Ovality</i>	Keterangan
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	
4	1	349,35	349,44	0,09	349,49	349,37	0,12	- Diameter Standard 350,00 mm - Telah di <i>undersize</i> 0,4mm sehingga diameter menjadi 349,60 mm
	2	349,35	349,49	0,14	349,52	349,45	0,07	
	3	349,42	349,51	0,09	349,37	349,46	0,09	
	4	349,47	349,52	0,05	349,51	349,48	0,03	
	5	349,52	349,52	0,00	349,52	349,47	0,05	
	6	349,51	349,51	0,00	349,52	349,47	0,05	

Hasil pengujian diameter pada *crankpin journal* no. 4 terukur antara 349,35 s.d 349,52 mm, diameter standar 350,0 mm. Sudah dilakukan *undersize* 0,4 mm sehingga diameter menjadi 349,60mm.

3. Pengujian *Penetrant*

Hasil pengujian *penetrant* menunjukkan retak pada *crankpin* dan radius *web* hingga lebih dari setengah keliling *crankpin* dengan panjang sekitar 56 cm



Gambar 4.5 Hasil pengujian *penetrant* pada *crankpin* 4

4. Pengujian *Magnetic Particle*

Hasil pengujian *magnetic particle* pada *crankpin journal* no. 4 ditemukan cacat retak dengan kedalaman 0,4 mm.



Gambar 4.6 Pengujian *Magnetic Particle*

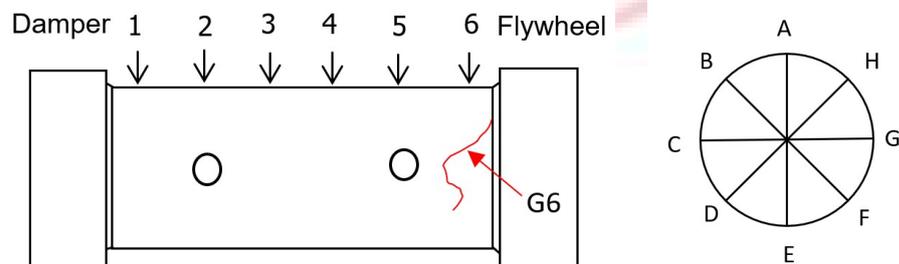
5. Pengujian Kedalaman Retak

Hasil pengujian kedalaman retak ditemukan bahwa kedalaman retak maksimum terukur sebesar 22,4 mm. Kedalaman retak pada area radius tidak dapat diukur karena kontur permukaan yang tidak rata sehingga alat *crack depth* tidak bisa mengukur kedalaman retak tersebut. Dengan kedalaman retak yang mencapai 22,4 mm dan adanya retak pada area *radius web* maka *crankpin* sudah tidak bisa dilakukan perbaikan maupun digunakan kembali karena batasan maksimal *undersize* diameter crankpin untuk mesin 12 ZAV – 40S adalah 5,00 mm dari diameter normal.



Gambar 4.7 Hasil pengujian kedalaman retak

6. Pengujian Kekerasan



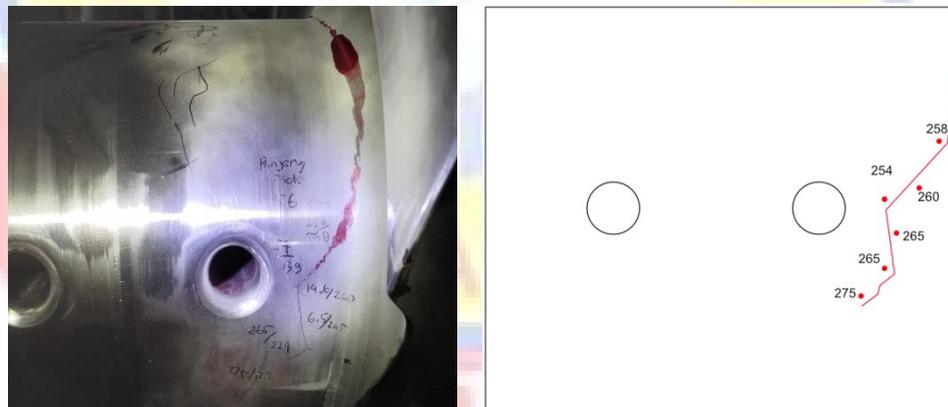
Gambar 4.8 Titik pengukuran kekerasan *crankpin*

Tabel 4.2 Hasil pengujian kekerasan permukaan *crankpin*

Titik Ukur	1	2	3	4	5	6
A	236	232	258	240	232	280
B	250	248	275	260	226	270
C	260	290	275	275	240	220
D	280	275	480	228	655	246
E	285	254	620	565	655	258
F	240	242	250	645	395	505
G	265	240	252	265	238	254*
H	275	285	290	275	258	240

Ket : *nilai kekerasan area retak

Hasil pengujian kekerasan tidak ditemukan adanya nilai kekerasan tinggi pada area retak dengan nilai rata-rata kekerasan area retak sebesar 263 HV. Hal ini menunjukkan bahwa material *crankpin* tidak mengalami *thermal shock* karena *jammed*.



Gambar 4.9 Mapping nilai kekerasan tinggi area retak

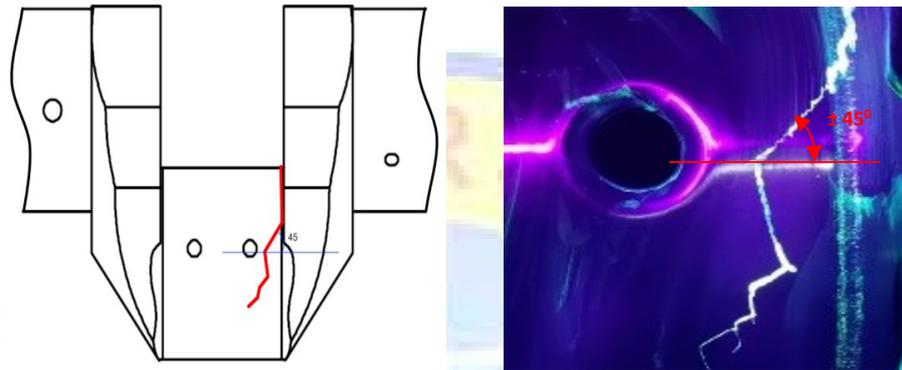
4.2 Analisis Data dan Pembahasan

Crankshaft merupakan komponen utama pada mesin diesel yang digunakan PLTD. Adanya retakan pada permukaan *crankshaft* dapat menjadi potensi risiko kerusakan atau kegagalan mesin. Retak pada permukaan *crankshaft* dapat disebabkan oleh kegagalan operasi seperti gagal pelumasan, *bearing jammed* dan *overspeed*. Ciri retak akibat kegagalan operasi yaitu arah rambatan retak yang sejajar sumbu poros dan nilai kekerasan permukaan yang tinggi. Selain akibat dari kegagalan operasi, retak pada *crankshaft* dapat disebabkan oleh kelelahan material akibat pembebanan siklik. Secara umum, tahapan kegagalan akibat kelelahan terjadi sebagai berikut: (4)

- Deformasi plastis siklik sebelum inisiasi retak
- Inisiasi *microcrack*
- Propagasi *microcrack* (Tahap I)
- Propagasi *macrocrack* (Tahap II)
- Pecah akhir (kelebihan beban)

Retak akibat lelah material pada mesin *reciprocating* umumnya sering terjadi di lokasi area *fillet web*, tepi lubang oli, permukaan *crankpin* dan *main journal* dengan arah rambatan retak membentuk sudut sekitar 45° terhadap sumbu poros. Meskipun *crankshaft* umumnya dirancang dengan batas keamanan yang tinggi agar tidak melebihi kekuatan lelah material, beban siklik yang tinggi dan konsentrasi tegangan lokal dapat menyebabkan tumbuhnya retak bahkan ketika kekuatan lelah tidak melebihi nilai rata-rata. Proses pembakaran pada mesin akan menghasilkan tegangan tekuk siklik pada *crankshaft* karena beban radial dari tekanan ruang bakar yang ditransmisikan dari *piston* dan *connecting rod* dan ditambah adanya momen inersia. Pada kondisi tersebut, area yang akan menerima tegangan paling besar adalah area *fillet web* dan besarnya tegangan di daerah *fillet web* akan meningkat sehingga dapat menyebabkan retak sampai ke bagian dalam *crankshaft*. Pada tanggal 17 februari 2023 Unit 7 PLTD Ampenan mengalami *shutdown* normal dan dilakukan pemeriksaan visual pada *crankpin* no. 4. Hasil pemeriksaan visual ditemukan adanya retak pada *crankpin* dan area

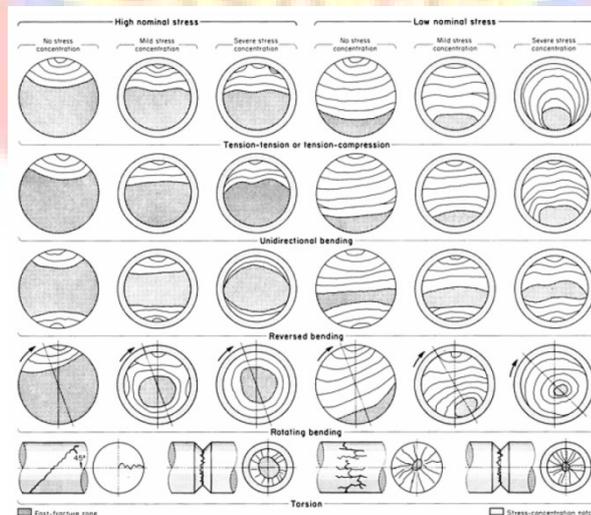
web. Hasil pengujian *penetrant* menunjukkan retak pada *crankpin* dan *web* sudah menjalar cukup panjang hingga lebih dari setengah lingkaran/keliling *crankpin* dengan panjang sekitar 56 cm. Kedalaman retak maksimum yang terukur sebesar 22,4 mm dengan arah rambatan retak membentuk sudut sekitar 45° terhadap sumbu poros.



Gambar 4.10 Retak pada *crankpin* No. 4 Unit 7 PLTD Ampenan

Merujuk pada *ASM Handbook volume 12 "fractography"*, karakteristik retak pada *crank pin* mesin 7 PLTD Ampenan identik dengan kerusakan akibat adanya momen torsi berlebih. Pada PLTD, momen torsi berlebih dapat disebabkan oleh beban yang ditopang mesin bertambah secara mendadak akibat adanya gangguan jaringan seperti EF dan OC. Pada gambar 27. dapat dilihat representasi skematis dari tanda permukaan patah dan retak akibat kelelahan dengan penampang melingkar pada berbagai kondisi pembebanan.

(4)



Gambar 4.11 representasi skematis dari tanda permukaan patah akibat *fatigue* [4]

Pada unit 7 PLTD ampenan, retak pada *crankpin* sudah masuk ke tahapan Propagasi *macrocrack* (Tahap II). Jika mesin terus dioperasikan dan dengan siklus yang terus berlanjut, retakan akan bertambah panjang dengan arah rambatan retak mengikuti arah putar atau melingkar. Setelah retakan mencapai jarak tertentu, penampang yang tersisa tidak dapat lagi menopang beban dan terjadilah kegagalan akhir atau patah.

4.3 Fishbone diagram analysis



Gambar 4.12 Diagram *fishbone analysis*

Tabel 4.3 Uraian *fishbone diagram analysis*

Faktor Penyebab		Hasil Temuan	Evaluasi
<i>Machine</i>	<i>Over speed</i>	1. Tidak ditemukan data indikasi <i>over speed</i> 2. <i>Shutdown</i> normal	<i>clear</i>
<i>Operation</i>	Gagal pelumasan	Tidak ditemukan adanya indikasi <i>bearing jamming</i>	<i>clear</i>
<i>System</i>	Gangguan penyulang	1. Selama mesin beroperasi pasca grinding, PLTD ampenan telah mengalami gangguan jaringan EF dan OC sebanyak 5 kali gangguan penyulang dengan kondisi mesin masih dapat beroperasi 2. Rincian penyulang yang berdampak pada unit 7 yaitu : 3 kali gangguan penyulang busbar 20 kV lombok 3 dan 2 kali gangguan busbar 20 kV lombok 1	indikasi penyebab

<i>Material</i>	Pembebanan torsi pada <i>crankpin</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ditemukan retak pada <i>crankpin</i> dan radius <i>web</i> hingga lebih dari setengah keliling <i>crankpin</i> dengan panjang ± 56 cm 2. Hasil pengujian visual ditemukan retak dengan arah rambatan retak membentuk sudut $\pm 45^{\circ}$ yang mengindikasikan adanya pembebanan torsi pada <i>crankpin</i> 3. Akumulasi gangguan penyulang menyebabkan pembebanan torsi berlebih pada <i>crankpin</i> 	indikasi penyebab
-----------------	---------------------------------------	---	-------------------

Berdasarkan diagram *fishbone diagram analysis* diatas, faktor penyebab kerusakan mesin mengerucut pada adanya indikasi pembebanan torsi berlebih di *crankpin*. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil temuan dilapangan seperti hasil pengujian visual ditemukan retak dengan arah rambatan retak membentuk sudut sekitar 45° yang mengindikasikan adanya pembebanan torsi pada *crankpin* sesuai *ASM Handbook volume 12*.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

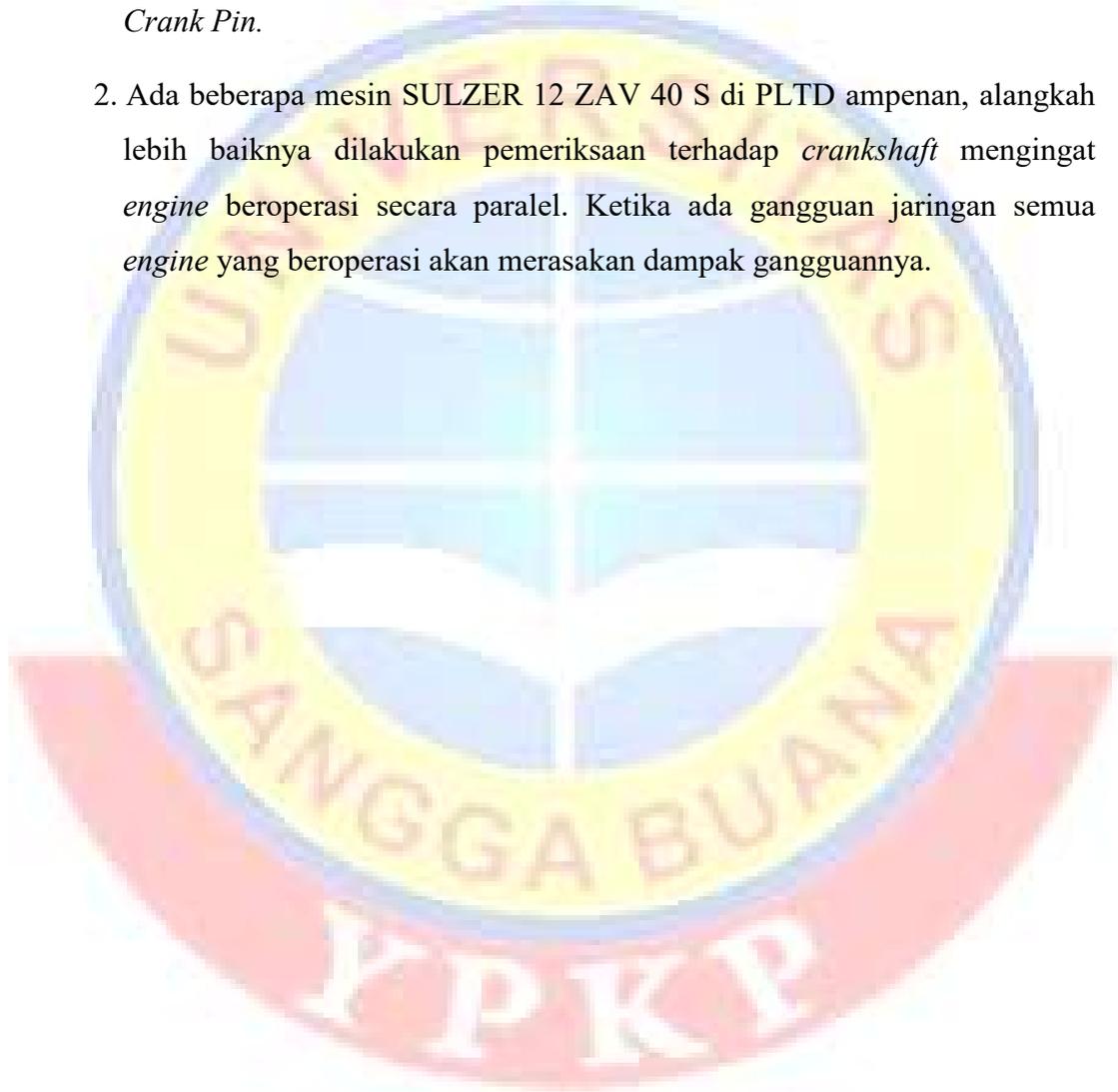
Berdasarkan hasil pengujian investigasi penyebab kerusakan mesin sulzer 12 ZAV 40S PLTD Ampenan unit 7, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Ditemukan retak pada *crankpin* dan radius *web* sisi *Flywheel* hingga lebih dari setengah lingkaran/keliling *crankpin* dengan panjang sekitar 56 cm membentuk sudut sekitar 45° terhadap sumbu poros yang mengindikasikan adanya pembebanan torsi berlebih pada *crankpin*
- b. Ditemukan *scratch* pada permukaan bearing 4B tetapi tidak ditemukan adanya indikasi *jammed* pada bearing *crankpin*
- c. Hasil pengujian kedalaman retak ditemukan bahwa kedalaman retak maksimum terukur sebesar 22,4 mm
- d. Hasil pengujian kekerasan tidak ditemukan adanya nilai kekerasan tinggi pada area retak dengan nilai rata-rata kekerasan area retak sebesar 263 HV
- e. Pada PLTD, momen torsi berlebih dapat disebabkan oleh beban yang ditopang mesin bertambah secara mendadak akibat adanya gangguan jaringan seperti EF dan OC
- f. Pada unit 7 PLTD ampenan, retak pada *crankpin* sudah masuk ke tahapan Propagasi *macrocrack* (Tahap II)
- g. Jika mesin terus dioperasikan dan dengan siklus yang terus berlanjut, retakan akan bertambah panjang dan setelah retakan mencapai jarak tertentu, penampang yang tersisa tidak dapat lagi menopang beban dan terjadilah kegagalan akhir atau patah
- h. Karena *Crankpin* no.4 mengalami keretakan mencapai 22,4 mm dan adanya retak pada area radius *web* maka *crank pin* membuat *crankpin* sudah tidak bisa dilakukan perbaikan maupun digunakan kembali karena batasan maksimal *undersize diameter crankpin* untuk mesin 12 ZAV – 40S adalah 5,00 mm dari diameter normal
- i. Pola operasi khususnya pembebanan yang tidak baik dan juga gangguan jaringan di sisi *feeder* (penyulang) bisa menyebabkan gangguan PLTD

5.2 Saran

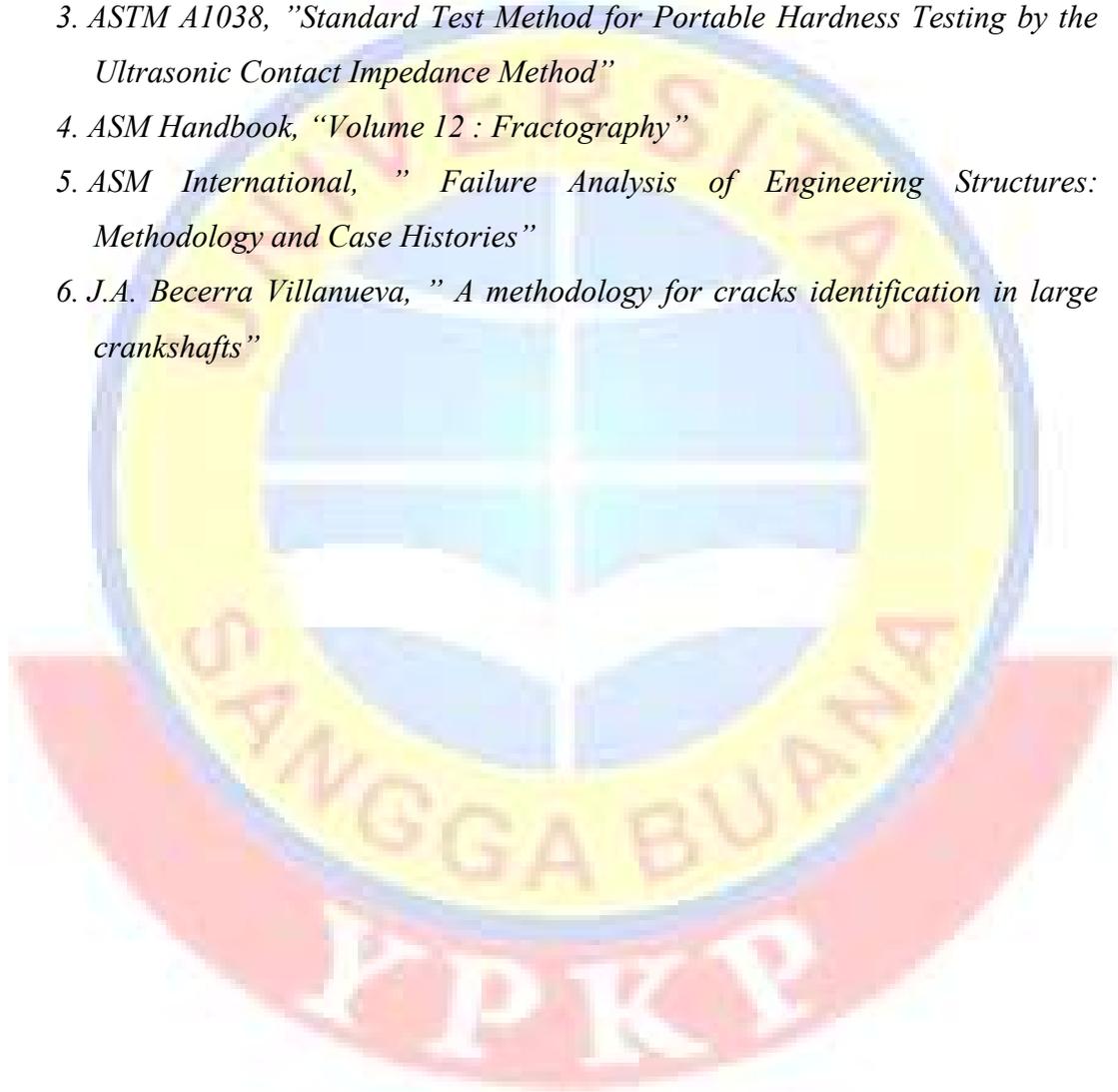
Analisa kerusakan *crank pin* nomor 4 mesin sulzer 12 ZAV 40 S PLTD Ampenan Unit 7 masih belum sempurna, beberapa saran yang dapat membangun dan menyempurnakan perancangan ini adalah sebagai berikut :

1. Agar melakukan pengujian NDT (*Non Destructive Test*) pada material *Crank Pin* untuk mengetahui lebih detail kondisi struktur mikro material *Crank Pin*.
2. Ada beberapa mesin SULZER 12 ZAV 40 S di PLTD ampenan, alangkah lebih baiknya dilakukan pemeriksaan terhadap *crankshaft* mengingat *engine* beroperasi secara paralel. Ketika ada gangguan jaringan semua *engine* yang beroperasi akan merasakan dampak gangguannya.



DAFTAR PUSTAKA

1. PT. PLN (Persero) Pusat Pendidikan dan Pelatihan 2013 "Pemeliharaan Mesin Diesel"
2. Service bulletin Technical Information to all the owners off Sulzer ZA 40S type diesel engine
3. ASTM A1038, "Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method"
4. ASM Handbook, "Volume 12 : Fractography"
5. ASM International, " Failure Analysis of Engineering Structures: Methodology and Case Histories"
6. J.A. Becerra Villanueva, " A methodology for cracks identification in large crankshafis"



Lampiran 1

INSTRUKSI KERJA PENGUJIAN VISUAL

1. TUJUAN

Untuk mengetahui kondisi visual suatu benda.

2. STANDAR

-

3. PERALATAN UJI

- a. Kamera
- b. *Borescope* XL Go +
- c. *Borescope* Mentor Q

4. ALAT PELINDUNG DIRI

- a. Baju Kerja
- b. Sarung Tangan
- c. *Safety Shoes*

5. PELAKSANAAN

- a. Permukaan benda uji dikondisikan bersih dan terdapat akses.
- b. Pastikan alat telah terkalibrasi dan lakukan kalibrasi ulang jika ragu.
- c. Hidupkan alat uji.
- d. Posisikan benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- e. Amati layar dan kemudian ambil gambar.
- f. Catat nilai hasil pengujian pada Blanko Uji

Lampiran 2

INSTRUKSI KERJA

PENGUJIAN OUTSIDE DIAMETER

1. **TUJUAN**
Untuk mengukur diameter luar benda yang berbentuk lingkaran
2. **STANDAR**
-
3. **PERALATAN UJI**
 - a. *Outside Diamater*
4. **ALAT PELINDUNG DIRI**
 - a. Baju Kerja
 - b. Sarung Tangan
 - c. Masker
 - d. *Safety Helmet*
 - e. *Safety Shoes*
5. **PELAKSANAAN**
 - a. Pilih ukuran *outside diameter* yang akan digunakan
 - b. Kalibrasi *outside diameter* sesuai dengan ukuran yang diinginkan
 - c. Bersihkan benda uji dari kotoran agar hasil pengukuran akurat
 - d. Amati pembacaan nilai pada alat *outside diameter*
 - e. Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji
 - f. Bersihkan alat dan simpan alat dengan baik dan benar.

Lampiran 3

INSTRUKSI KERJA

PENGUJIAN PENETRANT - FLOURESCENT

1. TUJUAN

Untuk mendeteksi adanya cacat/discontinuitas terbuka pada permukaan material dengan menggunakan cairan *penetrant* yang mengandung warna kontras atau *flourescent*.

2. STANDAR

- a. ASTM E 1417
- b. ASME Sec 5
- c. SNT-TC-1A

3. PERALATAN UJI

- a. *Cleaner*
- b. *Penetrant (Flourescent)*
- c. *Developer*
- d. UV Lamp
- e. Kain Lap / Majun
- f. Kamera

4. ALAT PELINDUNG DIRI

- a. Baju Kerja
- b. Sarung Tangan
- c. Masker
- d. Kacamata *Safety*
- e. *Safety Helmet*
- f. *Body Hardness*
- g. *Safety Shoes*

5. PELAKSANAAN

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran, oli, grease, karat, kerak, cat, kerak lasan dll yang bisa mengganggu dalam interpretasi cacat.
- b. Bersihkan kembali benda uji dengan *cleaner* dan tunggu hingga benda uji menjadi kering agar mendapatkan hasil pengujian yang maksimal.

- c. Aplikasikan cairan *penetrant* dengan menyemprot pada bagian yang akan di uji.
- d. Tunggu ± 5 menit agar cairan *penetrant* meresap pada area uji.
- e. Bersihkan benda uji dengan *cleaner* yang disemprotkan ke kain lap / majun bersih (jangan disemprotkan langsung ke benda uji).
- f. Pastikan benda uji benar – benar bersih dari sisa *penetrant* agar tidak salah dalam interpretasi cacat.
- g. Aplikasikan *developer* pada area yang sebelumnya telah disemprot cairan *penetrant* dengan jarak penyemprotan tidak terlalu dekat maupun terlalu jauh, sehingga mendapatkan lapisan *developer* yang tidak terlalu tipis atau tebal. (jika terlalu tipis penetrant yang terangkat hanya sedikit sedangkan jika terlalu tebal *penetrant* tidak akan terangkat)
- h. Amati dengan cermat dan hati – hati area uji apakah terdapat indikasi cacat atau tidak. (pengamatan ≤ 10 menit)
- i. Jika tidak terdapat indikasi cacat, dokumentasikan dengan kamera untuk memudahkan dalam pembuatan laporan
- j. Bersihkan benda uji dari sisa *developer* dan *penetrant* dengan kain lap / majun dan *cleaner* (sisa *penetrant* dan *developer* akan memicu benda uji mudah terserang korosi)
- k. Jika terdapat indikasi cacat cairan *penetrant* (*fluorescent*) akan berpendar dengan lampu UV.
- l. Pastikan kembali indikasi dengan menggosok indikasi dengan kain lap / majun hingga lapisan *developer* hilang.
- m. Lakukan langkah (g) dan (h).
- n. Jika indikasi kembali terlihat, beri tanda pada indikasi dan dokumentasikan dengan kamera untuk memudahkan dalam pembuatan laporan.
- o. Lakukan langkah (j).

Lampiran 4

INSTRUKSI KERJA PENGUJIAN MAGNETIK PARTIKEL

1. TUJUAN

Untuk mendeteksi adanya cacat/discontinuitas pada permukaan dan bawah permukaan benda ferromagnetik dengan menggunakan medan magnet (*yoke*).

2. STANDAR

- a. ASTM E1444
- b. ASTM E709 – 08

3. PERALATAN UJI

- a. Yoke Y-1
- b. Magnetik partikel (MPI Ink 14 HF)
- c. *Black Light (UV Lamp)*
- d. *Gauss Meter*
- e. Kamera

4. ALAT PELINDUNG DIRI

- a. Baju Kerja
- b. Sarung Tangan
- c. Masker
- d. Kacamata *Safety*
- e. *Safety Helmet*
- f. *Body Hardness*
- g. *Safety Shoes*

5. PELAKSANAAN

- a. Sambungkan kabel *yoke* dengan sumber listrik.
- b. Kalibrasi *yoke* dengan menggunakan kalibrator (10 kg).
- c. Bersihkan benda uji dari kotoran, oli, *grease*, karat, cat, kerak lasan dll yang bisa mengganggu dalam interpretasi cacat.
- d. Induksi benda uji dengan menggunakan *yoke*.
- e. Aplikasikan magnetik partikel (MPI Ink 14 HF) pada area yang akan di uji dan induksikan kembali medan magnet.

- f. Lakukan pengujian dengan menggunakan minimal 2 arah pengujian.
- g. Amati dengan cermat dan hati-hati pada area uji apakah terdapat indikasi cacat atau tidak.
- h. Lakukan kembali langkah (e, f dan g) hingga yakin bahwa benda uji ada/tidak ada indikasi cacat.
- i. Jika terdapat indikasi cacat, magnetik partikel akan berkumpul/ bergerak kearah indikasi cacat dan berpendar menggunakan lampu UV.
- j. Pastikan kembali indikasi tersebut dengan menggosok indikasi menggunakan jari tangan dan lakukan langkah (h) dan (i).
- k. Beri tanda pada indikasi dan dokumentasikan dengan kamera agar memudahkan dalam pembuatan laporan.
- l. Bersihkan benda uji dan pastikan tidak ada medan magnet yang tersisa pada benda uji dengan menggunakan gauss meter.
- m. Jika terdapat medan magnet sisa pada benda uji hilangkan dengan metode membalikkan arah medan magnet.
- n. Cabut kabel dari sumber listrik.
- o. Bersihkan alat dan simpan alat dengan baik dan benar.

Lampiran 5

INSTRUKSI KERJA PENGUJIAN KEDALAMAN RETAK

1. TUJUAN

Untuk mengetahui nilai kedalaman cacat retak suatu material

2. STANDAR

3. PERALATAN UJI

a. *Crack Depth Gauge*

4. ALAT PELINDUNG DIRI

a. Baju Kerja

b. Sarung Tangan

c. *Safety Shoes*

5. PELAKSANAAN

a. Permukaan benda uji dikondisikan bersih, rata dan halus.

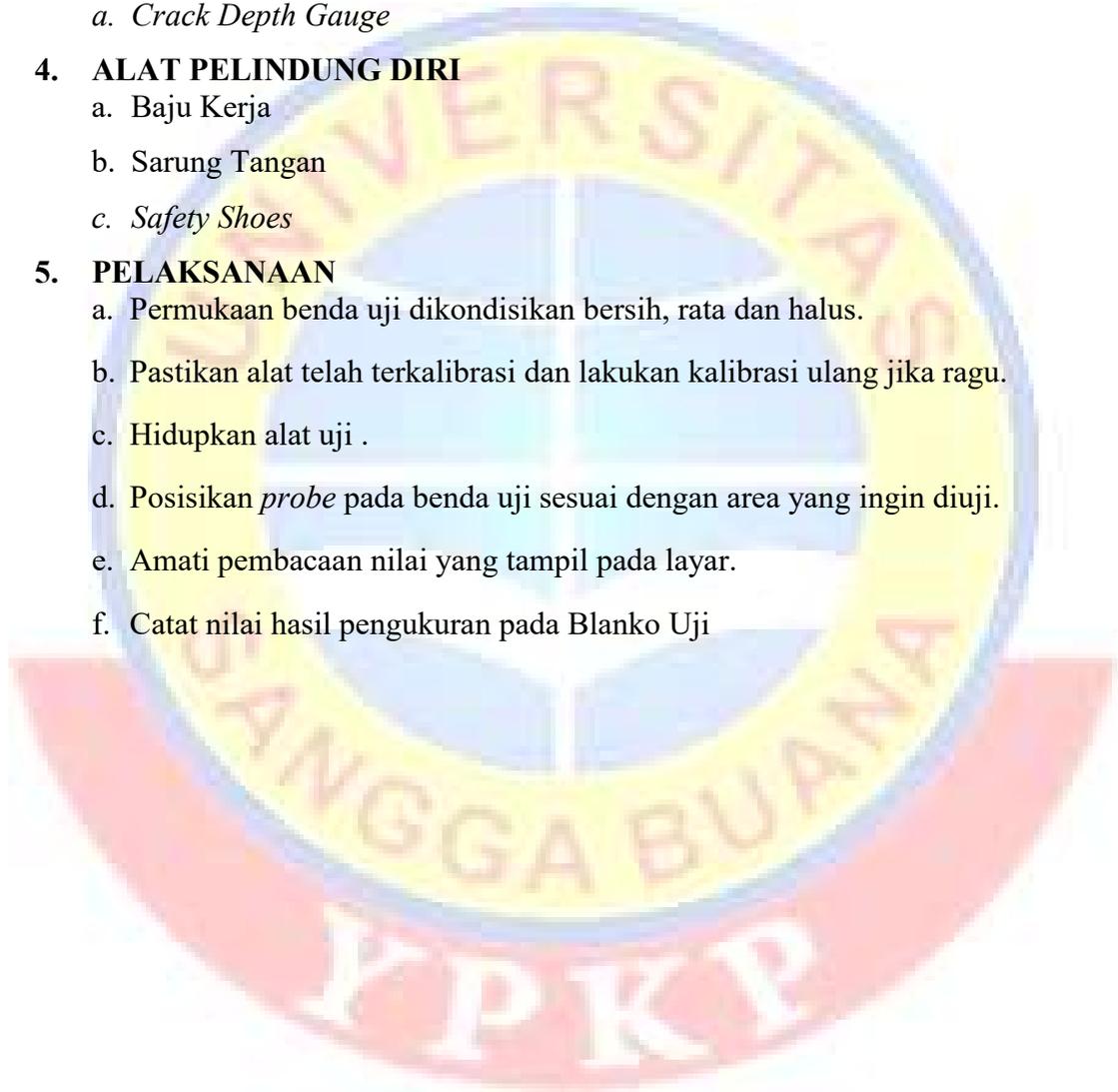
b. Pastikan alat telah terkalibrasi dan lakukan kalibrasi ulang jika ragu.

c. Hidupkan alat uji .

d. Posisikan *probe* pada benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.

e. Amati pembacaan nilai yang tampil pada layar.

f. Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji



Lampiran 6

INSTRUKSI KERJA PENGUJIAN HARDNESS (MIC 20)

1. TUJUAN

Untuk mengetahui nilai kekerasan material.

2. STANDAR

- a. ASTM E 384
- b. ASTM E 92

3. PERALATAN UJI

b. *Hardness Tester*

4. ALAT PELINDUNG DIRI

- a. Baju Kerja
- b. Sarung Tangan
- c. *Safety Shoes*

5. PELAKSANAAN

- a. Permukaan benda uji dikondisikan bersih, rata dan halus.
- b. Pastikan alat telah terkalibrasi dan lakukan kalibrasi ulang jika ragu.
- c. Hidupkan alat uji .
- d. Posisikan *probe* pada benda uji sesuai dengan area yang ingin diuji.
- e. Amati pembacaan nilai yang tampil pada layar.
- f. Catat nilai hasil pengukuran pada Blanko Uji