

RANCANG BANGUN SISTEM PENGUKURAN DEFLEKSI *CRANKSHAFT* DENGAN PERANGKAT APLIKASI PENAMPIL POLA DEFLEKSI

Raka Maulana Putera¹, Susilo Adi Widyanto², Paryanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rakamp.maulanaputera@gmail.com

Abstrak

Ketidak sempurna dimensi dari *crankshaft* dapat mempengaruhi kinerja dari mesin diesel secara langsung. Bila defleksi terus berlanjut, kesejajaran *crankshaft* akan ikut terdeviasi yang pada akhirnya akan memicu kegagalan yang bersifat katastrofik. Untuk mencegah hal tersebut, pengukuran defleksi *crankshaft* dapat dijadikan sebagai pola *preventive maintenance (time-based maintenance)*. Metode pengukuran defleksi *crankshaft* yang sudah ada ialah menggunakan alat ukur *dial indicator* mekanis, dimana metode ini memiliki keterbatasan yaitu pembacaan akurat yang sulit diperoleh karena *crankshaft* tidak dilepas dari engine serta lingkungan kerja kotor dan sempit yang dapat menyebabkan kecelakaan kerja. Penelitian ini membahas tentang pembuatan *wireless measurement* dari *digital dial indicator* yang dimodifikasi agar hasil pengukuran dapat diambil dan dikirim secara nirkabel. Data pengukuran yang diperoleh dari *digital dial indicator* dikirim secara nirkabel menggunakan Wi-Fi pada mikrokontroler ESP8266 secara *real-time* dapat disimpan menggunakan perangkat *control panel* maupun menggunakan *web browser*. Data pengukuran dapat diexport dalam bentuk tabel dengan format file excel. Selanjutnya data tersebut dapat langsung dianalisa menggunakan perangkat aplikasi penampil pola defleksi *crankshaft* yang menampilkan data pengukuran, hasil perhitungan, validitas pengukuran serta grafik pola defleksi vertikal dan horizontal dari *crankshaft* yang diukur. Kalibrasi yang dilakukan pada *wireless measurement* menghasilkan nilai ketidakpastian sebesar 0,0046 mm pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan $k = 1,97$. Nilai ketidakpastian dapat mempengaruhi hasil pengukuran defleksi *crankshaft* ketika dibandingkan antara alat ukur standar *dial indicator* mekanis dengan *wireless measurement*.

Kata kunci: crankshaft; defleksi; kalibrasi; mikrokontroler; nirkabel

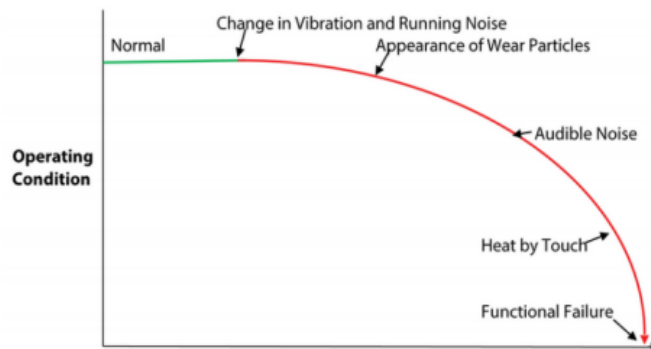
Abstract

Dimensional imperfections of the crankshaft can affect the performance of the diesel engine directly. If the deflection continues, the alignment of the crankshaft will be devalued which will eventually trigger catastrophic failures. To prevent this, crankshaft deflection measurements can be used as a preventive maintenance pattern (time-based maintenance). The existing crankshaft deflection measurement method is to use a mechanical dial indicator measuring instrument, where this method has limitations, namely accurate readings that are difficult to obtain because the crankshaft is not removed from the engine and the work environment is dirty and narrow which can cause work accidents. This study discusses the manufacture of wireless measurement from a modified digital dial indicator so that measurement results can be taken and sent wirelessly. Measurement data obtained from the digital dial indicator is sent wirelessly using Wi-Fi on the ESP8266 microcontroller in real-time can be stored using a control panel device or using a web browser. Measurement data can be exported in the form of a table with excel file format. Furthermore, the data can be directly analyzed using the crankshaft deflection pattern viewer application device which displays measurement data, calculation results, measurement validity and graphs of vertical and horizontal deflection patterns of the measured crankshaft. Calibration performed on wireless measurement resulted in an uncertainty value of 0.0046 mm at a confidence level of 95% with a coverage factor $k = 1.97$. The uncertainty value can affect the results of crankshaft deflection measurements when compared between standard mechanical dial indicator measuring instruments and wireless measurement.

Keywords: calibration; crankshaft; deflection; microcontroller; wireless

1. Pendahuluan

Ketidaksempurnaan dalam aspek dimensional *crankshaft* secara langsung berpengaruh pada kinerja operasional mesin diesel. Seiring dengan waktu dan kondisi penggunaan mesin, komponen *crankshaft* dapat mengalami defleksi. Dalam batas yang diperbolehkanpun, defleksi pada *crankshaft* akan mempengaruhi performa sistem engkol – piston yang juga mempengaruhi keseluruhan kerja mesin[1]. Awalnya, terjadi perubahan pada vibrasi dan suara *noise* yang timbul saat beroperasi. Berikutnya, muncul partikel aus yang bila berlanjut dapat menimbulkan suara bising serta panas ketika disentuh. Bila defleksi ini terus berlanjut, kesejajaran *crankshaft* dapat ikut terdeviasi. Ketika kesejajaran ini terdeviasi melebihi nilai limit dari pabrikan, *crankshaft* dapat rusak akibat kelelahan ataupun dapat memicu kegagalan lain yang bersifat katastrofik[2]. Kegagalan yang terjadi pada mesin diesel yang disebabkan oleh defleksi *crankshaft* dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam upaya mencegah kegagalan mesin secara total, pengukuran defleksi *crankshaft* dapat dijadikan sebagai pola *preventive maintenance (time based maintenance)*[9]. Mempertimbangkan kondisi tersebut, pengembangan sistem monitoring defleksi *crankshaft* merupakan aspek penting yang perlu dilakukan untuk mendukung kehandalan operasional sistem pembangkit listrik tenaga diesel yang ada.

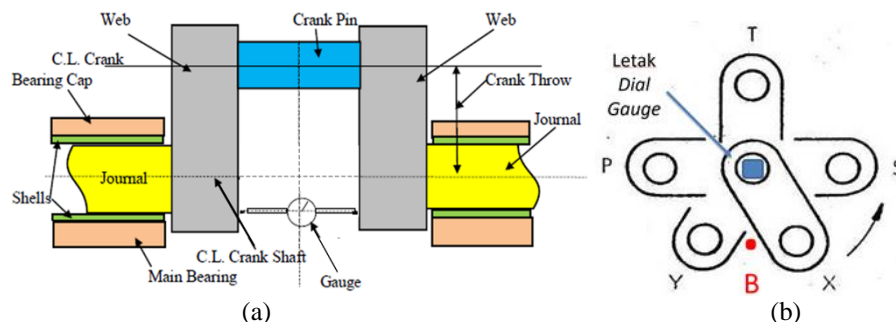


Gambar 1. Kegagalan mesin diesel dikarenakan defleksi *crankshaft*[8]

Salah satu cara untuk menyederhanakan pengukuran dapat dilakukan dengan kondisi *crankshaft* yang masih terpasang pada mesin meskipun metode ini memiliki kekurangan dimana dalam pelaksanaan pengukurannya, operator harus masuk kedalam *bed plate* dan mengukur defleksi menggunakan *dial gauge* pada *crankshaft* yang diputar secara manual dimana kondisi ini dapat menyebabkan situasi yang berbahaya terhadap operator, kondisi kerja yang kotor, serta tidak nyaman[3].

Pengukuran defleksi *crankshaft* dilakukan dengan metode pengukuran komparatif dimana metode ini hasil ukurnya tidak menunjukkan nilai pengukuran secara langsung tetapi hanya hasil perbandingan dengan nilai yang diketahui sehingga pada metode ini, hanya deviasi pada alat ukur yang dapat ditentukan[4].

Defleksi diukur dari empat posisi pengukuran, tetapi titik B tidak dapat dilakukan pengukuran karena akan berbenturan dengan *crankpin* jika pengukuran dilakukan ketika mesin sedang beroperasi. Maka, nilai pengukuran pada titik B digantikan dengan pengukuran pada dua titik terdekat yaitu X dan Y. Lebih jelasnya digambarkan pada Gambar 2.



Gambar 2. a. Set-up pengukuran defleksi *crankshaft*[5], b. Posisi pengukuran defleksi *crankshaft*[6]

Berdasarkan data pengukuran yang diperoleh, defleksi arah vertikal dan horisontal *crankshaft* dapat ditentukan dengan Persamaan 1 dan 2. Plotting dari seluruh data pengukuran dari suatu mesin yang terdiri dari beberapa silinder akan diperoleh pola defleksi *crankshaft* dalam arah vertikal dan horisontalnya. Orientasi absolut *crankshaft* pada saat pengukuran dilakukan juga dapat dilihat dari kurva pola defleksi tersebut yang ditunjukkan oleh sudut antara garis singgung kurva defleksi terhadap sumbu horisontalnya. Contoh interpretasi defleksi dan orientasi absolut ditunjukkan dalam Gambar 3[6].

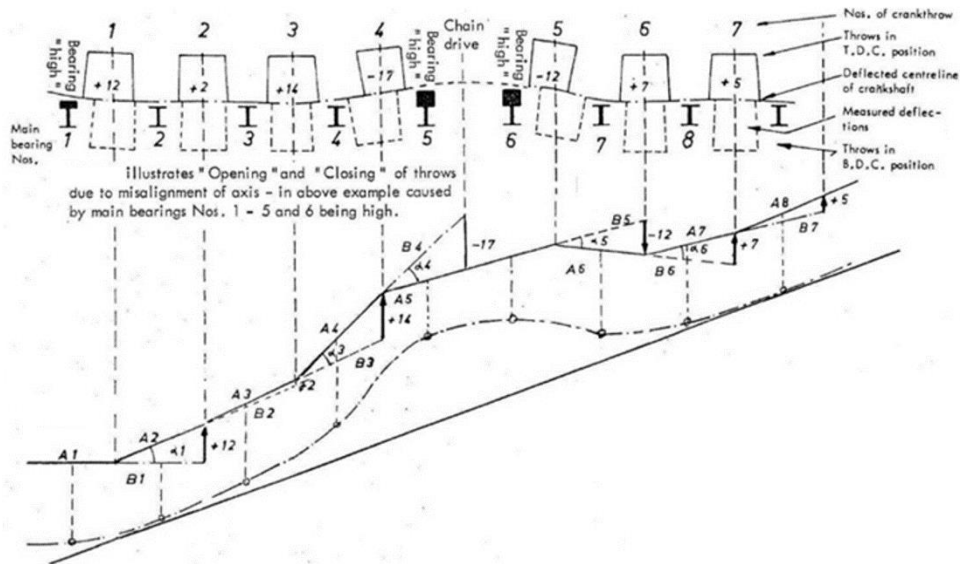
$$\begin{aligned} \text{Defleksi horisontal} &= P - S \dots\dots\dots(1) \\ \text{Defleksi vertikal} &= T - B \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

Dimana $B = (X + Y)/2$

Selain ketidaksejajaran dari bearing utama, hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh ovalitas (eksentrisitas) bantalan luncur (*journal bearing*) dan atau akibat ketidak-sesumbuan bantalan luncur terhadap bantalan utama. Eksentrisitas bantalan luncur menyebabkan terjadinya celah pada salah satu sisi antara bantalan luncur terhadap dudukannya. Untuk menghilangkan pengaruh tersebut, penentuan pola defleksi *crankshaft* dilakukan dengan memberikan nilai kompensasi terhadap posisi sumbu aktual *crankshaft*. Nilai C dan D (Persamaan 3 dan 4) perlu diperhitungkan, dimana bila selisih antara nilai C dan D terlalu besar, maka pengukuran direkomendasikan untuk diulang[6].

$$C = T + B \dots\dots\dots(3)$$

$$D = S + P \dots\dots\dots(4)$$



Gambar 3. Contoh grafik pola defleksi dan orientasi absolutnya.[6]

Dengan metode pengukuran tersebut, pengukuran dapat dilakukan ketika *crankshaft* tidak dilepas dari badan mesin meskipun prosedur tersebut tidak menunjukkan kondisi operasional yang sesungguhnya, dimana pada pengukuran yang dilakukan, crankshaft hanya menerima beban statis dari piston sedangkan pada kondisi operasi terdapat beban kompresi yang relatif tinggi yaitu sekitar 15-30.[7]

2. Metode Penelitian

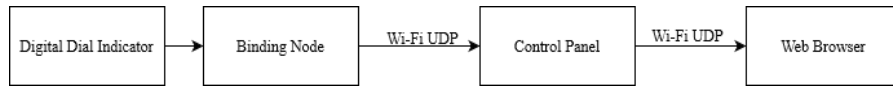
Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, akan dijelaskan sebagai berikut.

2.1 Desain Alat Ukur

Sistem pengukuran defleksi *crankshaft* yang telah dikerjakan mengacu pada cara kerja alat ukur konvensional yang telah digunakan. Penambahan fitur yang dilakukan ialah dari hasil pengukuran yang telah dilakukan, dapat menampilkan grafik pola defleksi *crankshaft*. Data pengukuran diperoleh dari *digital dial indicator*, yang kemudian dilalihkan ke *Transmitter* menggunakan kabel jumper yang selanjutnya ditransmisikan ke *Control Panel* menggunakan Wi-fi UDP untuk disimpan pada tabel pengukuran. Hasil pengukuran tersebut dapat diakses melalui *web browser* laptop atau *smartphone* yang terhubung dengan Wi-fi UDP dari *control panel*. Data pengukuran dapat diunduh melalui web browser dengan format file .xlsx. Perangkat aplikasi penampil pola defleksi membutuhkan data yang diunduh dari web browser untuk dilakukan proses perhitungan dan penampilan grafik pola defleksi vertikal dan horizontal. Pada perangkat aplikasi juga menampilkan validitas pengukuran dari tiap piston dimana apabila nilai C dan D selisihnya terlalu besar, maka pengukuran pada piston tersebut disarankan untuk diulangi. Tabel 1 merupakan komponen sistem pengukuran yang telah dibangun, Gambar 4 merupakan skema penyaluran data dari alat yang dibuat dan pada Gambar 5 merupakan desain sistem pengukuran yang dibangun.

Tabel 1. Spesifikasi Desain Alat Ukur yang Dibangun

Komponen Sistem Pengukuran	Keterangan dan Spesifikasi
Dial Indicator	Digital dial indicator Mitutoyo ID-C125XB, ketelitian 0,001 mm, range pengukuran 0-26 mm
Transmitter	Mikrokontroler ESP8266
Control Panel	Mikrokontroler ESP8266
Perangkat Aplikasi	Menampilkan hasil pengukuran, perhitungan, validasi pengukuran dan grafik pola defleksi. Dibangun menggunakan phyton sebagai back-end, dan qml sebagai front-end

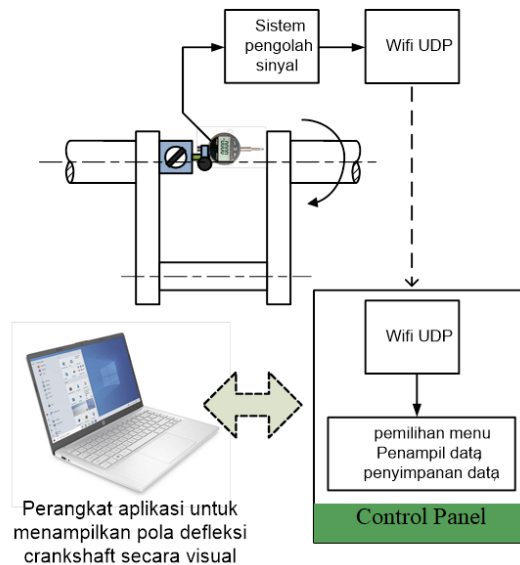


Gambar 4. Skema penyaluran data.

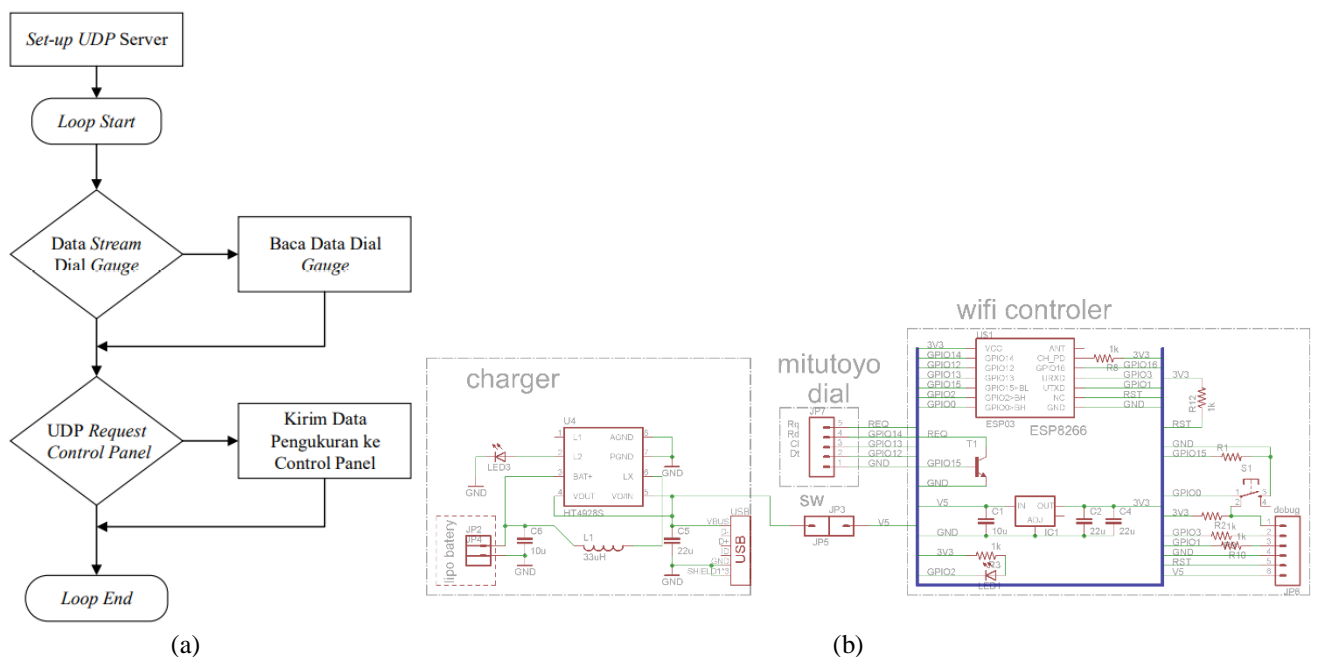
2.2 Rangkaian Perangkat Elektronik

a. Transmitter

Transmitter berfungsi untuk membaca data hasil pengukuran dalam sistem memori *digital dial indicator* dan selanjutnya data tersebut dikirimkan ke sistem *control panel* menggunakan koneksi wifi UDP. Perangkat ini dirancang menggunakan mikrokontroler ESP8266 dimana akan mengalirkan data hasil pengukuran menuju *control panel*, dengan syarat *control panel* harus terhubung dengan wi-fi UDP dari *transmitter*. Pada mikrokontroler ini juga terdapat *embedded program* yang aloritmanya dapat dilihat pada Gambar 6.a, dan rangkaian elektroniknya dilihat pada Gambar 6.b.



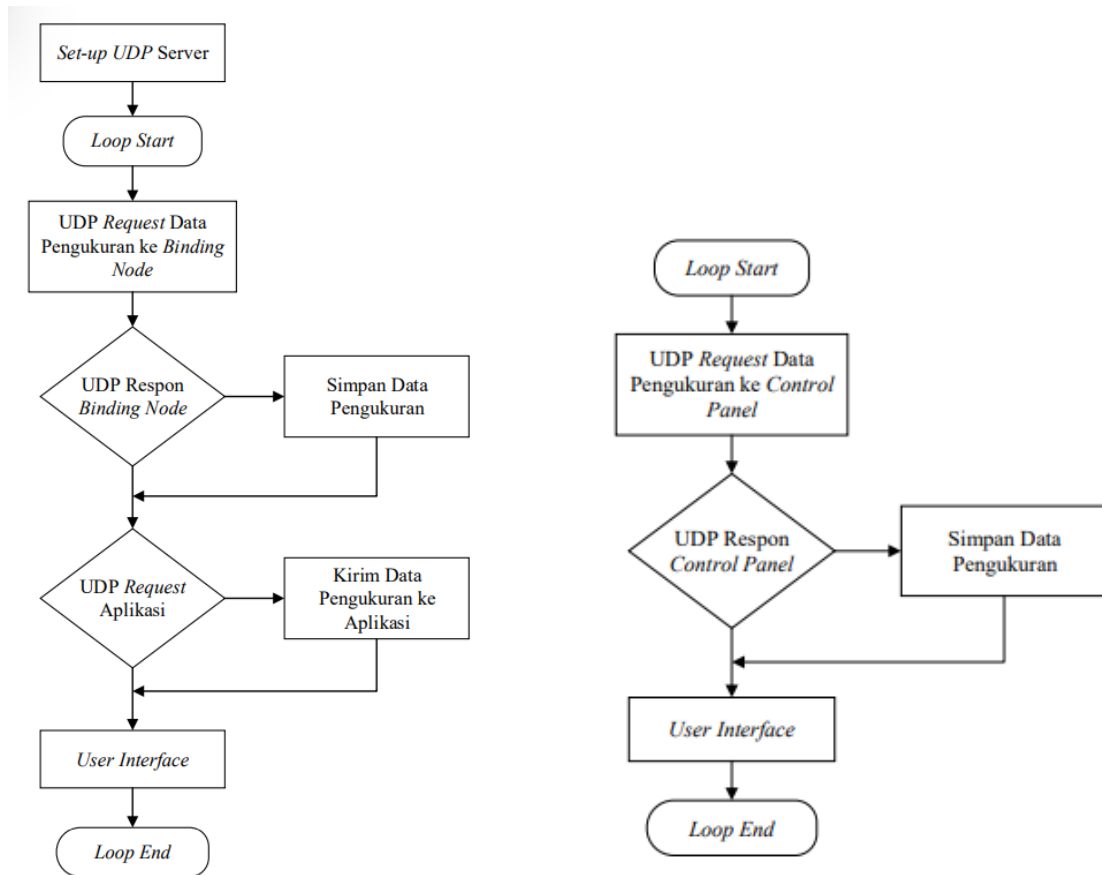
Gambar 5. Desain sistem pengukuran defleksi *crankshaft* dengan perangkat aplikasi.



Gambar 6. a. Algoritma pemrograman transmitter, b. Rangkaian elektronik transmitter.

b. Control Panel

Control panel berfungsi untuk menerima data pengukuran dari transmitter lalu menyimpan data tersebut dalam bentuk tabel. Sistem control panel didesain menggunakan mikrokontroler ESP8266 yang dilengkapi dengan layar penampil menu dan data pengukuran yang disimpan. Rangkaian elektronik dari control panel dapat dilihat pada Gambar

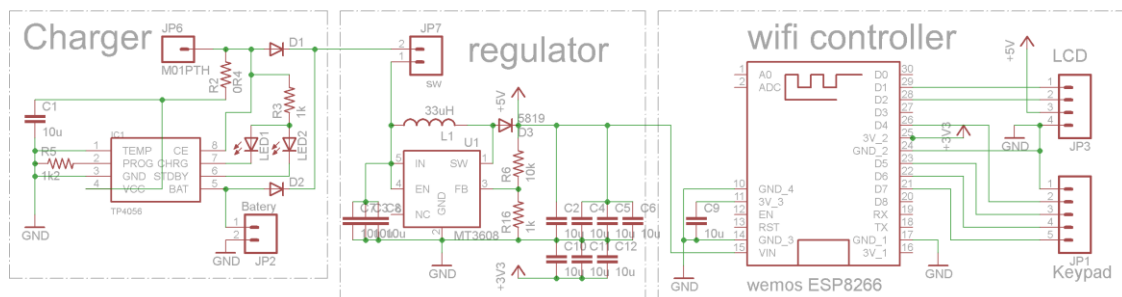


8. Control panel juga memiliki wi-fi udp tersendiri yang dapat dihubungkan dengan laptop ataupun *smartphone* pengguna. Wi-fi UDP *control panel* berfungsi untuk mengakses data hasil pengukuran tersimpan dengan cara mengakses ip 192.168.1.1 pada *web browser*. Pada *control panel*, terdapat dua pemrograman yang ditanamkan pada mikrokontroler, yang pertama ialah algoritma pemrograman *control panel* (ditunjukkan oleh Gambar 7.a) dan algoritma pemrograman *interface browser* (ditunjukkan oleh Gambar 7.b).

(a)

(b)

Gambar 7. a. Algoritma pemrograman *control panel*, **b.** Algoritma pemrograman *interface browser*.



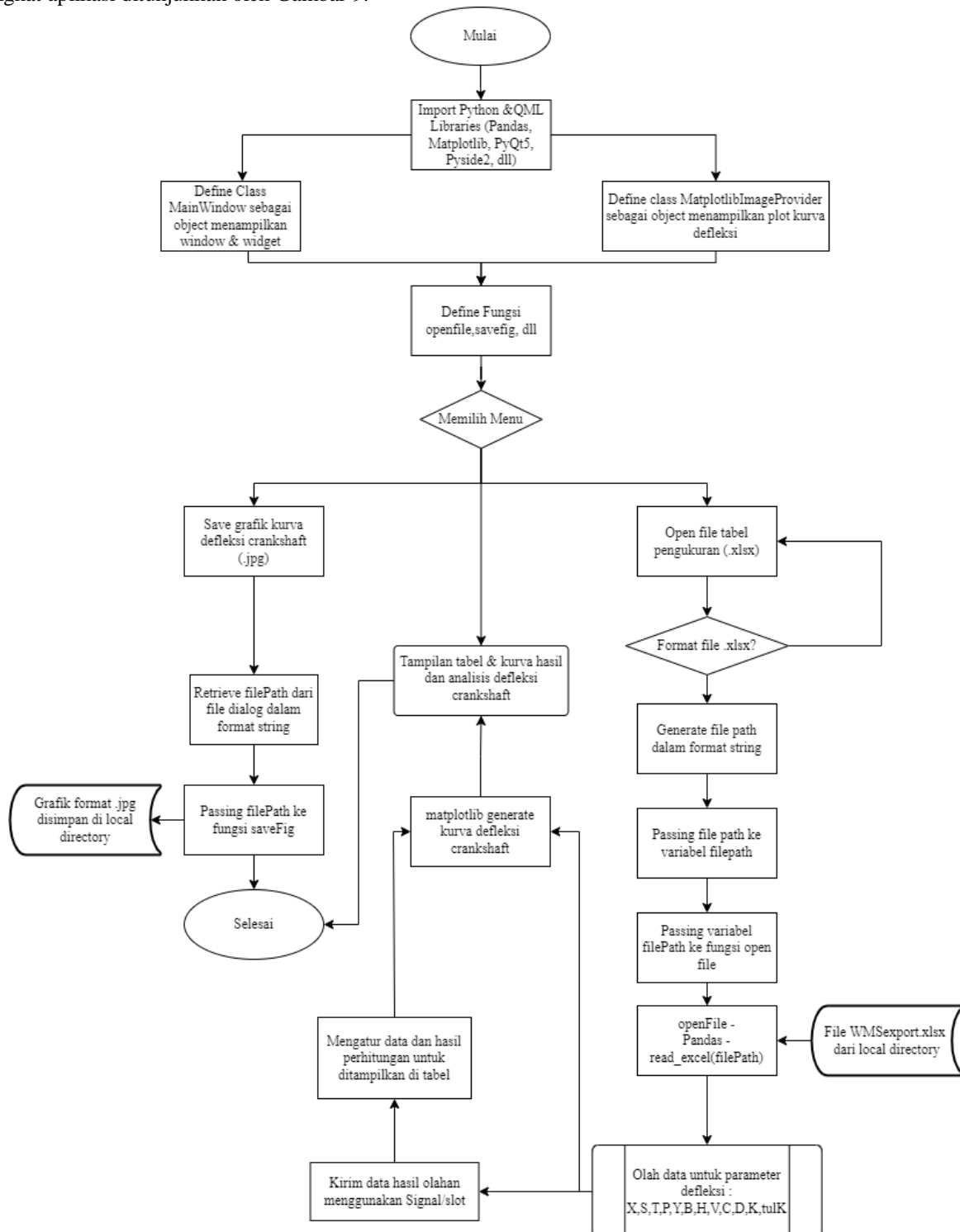
Gambar 8. Rangkaian elektronik *control panel*

2.3 Perangkat Aplikasi Penampil Pola Defleksi

Perangkat aplikasi didesain agar dapat mengolah data pengukuran yang tersimpan dalam sistem *control panel* yang diunduh dalam bentuk file excel. Aplikasi ini memiliki beberapa fitur antara lain :

- a. Mengambil data pengukuran dalam format excel
- b. Perhitungan data
- c. Penampilan tabel data pengukuran dan data hasil perhitungan
- d. Penampilan grafik pola defleksi

Output yang dihasilkan oleh aplikasi ini adalah penampilan data hasil pengukuran, hasil perhitungan dan penampilan grafik pola defleksi horizontal dan vertikal. Pola defleksi *crankshaft* dapat divisualisasikan setelah akses data pengukuran dilakukan dengan mengklik fitur *open file* yang tersedia. Secara umum terdapat dua tahapan pengoperasian perangkat aplikasi, yaitu tahapan pengolahan data dan menampilkan pola defleksinya. Algoritma pemrograman dari perangkat aplikasi ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Algoritma pemrograman perangkat aplikasi penampil pola defleksi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Kalibrasi

Kalibrasi adalah serangkaian kegiatan yang membentuk hubungan antara nilai yang ditunjukkan oleh instrumen pengukur atau sistem pengukuran dengan nilai-nilai yang sudah diketahui yang berkaitan dari besaran-besaran yang

diukur dalam kondisi tertentu[10]. Kalibrasi alat ukur dilakukan di PT Anametri Metrologi Indonesia dengan menggunakan prosedur kalibrasi PK-K-07D yang menggunakan standar JIS B7533 dan JIS B7503-1997 sebagai acuannya. Kalibrasi dilakukan pada temperatur ruang ($20,4 \pm 1,5$)°C dengan kelembapan (52 ± 5)%RH.

Hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 2, proses kalibrasi yang dilakukan memperoleh nilai ketidakpastian sebesar $4,6 \mu\text{m}$ atau $0,0046 \text{ mm}$ pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan $k=1,97$.

Tabel 2. Hasil Proses Kalibrasi.

Nilai Nominal (mm)	Penyimpangan	
	Naik (μm)	Turun (μm)
0	0,0	0,0
2	-0,2	-0,2
4	-0,2	-0,4
6	0,2	0,2
8	0,6	0,6
10	0,0	0,0
12	-0,2	-0,2
14	0,6	0,6
16	0,2	0,2
18	0,6	0,6
20	0,0	0,0
Ketidakpastian (\pm)	$4,6 \mu\text{m}$	

3.2 Pengujian Alat Ukur

Hasil interpretasi defleksi *crankshaft* ditunjukkan dengan contoh data hasil pengukuran *crankshaft* pada Tabel 3. Dengan mengklik tombol *Export Tabel*, data akan tersimpan dalam file excel. File excel hasil pengukuran ini akan menjadi parameter input dari perangkat aplikasi untuk menampilkan grafik pola defleksi *crankshaft*.

Tabel 3. Contoh Hasil Pengukuran Defleksi *Crankshaft*.

Piston 1	Posisi dan Nilai Pengukuran (mm)				
	Y	P	T	S	X
Alat Standart	0	0	-0,1	0	0
Wireless Measurement	0	-0,054	-0,107	-0,017	-0,015
Piston 2	Posisi dan Nilai Pengukuran (mm)				
	Y	P	T	S	X
Alat Standart	0	0,01	0,005	0	-0,01
Wireless Measurement	0	0,006	0,03	0,074	0,076
Piston 3	Posisi dan Nilai Pengukuran (mm)				
	Y	P	T	S	X
Alat Standart	0	0,03	0,04	0,02	0
Wireless Measurement	0	0,019	0,021	0,063	0,061
Piston 4	Posisi dan Nilai Pengukuran (mm)				
	Y	P	T	S	X
Alat Standart	0	0,005	-0,01	-0,01	0
Wireless Measurement	0	0,001	0	0,005	0,012
Piston 5	Posisi dan Nilai Pengukuran (mm)				
	Y	P	T	S	X
Alat Standart	0	-0,04	-0,085	-0,04	-0,01
Wireless Measurement	0	-0,034	-0,086	-0,053	-0,049

3.3 Analisa Pengukuran dan Pengujian Aplikasi

Setelah data diperoleh, dilakukan analisa pengukuran untuk menentukan apakah pengukuran perlu diulang, menentukan nilai defleksi vertikal dan horizontal, serta membuat grafik pola defleksi vertikal dan horizontal. Analisa yang dilakukan menggunakan perangkat aplikasi yang telah dibuat. Rekomendasi terkait validitas data yang disebabkan oleh ovalitas *journal bearing* ditampilkan pada baris paling bawah. Kondisi yang dijadikan acuan rekomendasi ialah apabila perbedaan hasil perhitungan C dan D kurang dari 50%, apabila perbedaan melebihi 50% maka pengukuran yang telah dilakukan disarankan untuk diulangi.

Grafik pola defleksi *crankshaft* yang dihasilkan dari data ditunjukkan pada Gambar 11 dan 13 terdiri atas grafik pola defleksi dari arah vertikal dan horizontal. Sumbu X pada grafik, melambangkan jumlah piston yang dianalisa berdasarkan kelengkapan data pengukuran. Aplikasi ini tidak dapat berjalan apabila salah satu dari parameter pengukuran (X,S,T,P,Y) tidak terisi. Garis merah pada grafik menunjukkan kemiringan absolut *crankshaft* yang diperoleh dengan menghubungkan titik awal koordinat grafik (0,0) dengan titik koordinat akhir hasil plotting grafik pola defleksi.

3.3.1 Analisa Pengukuran *Wireless Measurement*

Dari hasil analisa yang dilakukan menggunakan perangkat aplikasi yang ditunjukkan Gambar 10, dapat dilihat pada pengukuran untuk piston 1 terjadi error pengukuran yang berarti perbedaan nilai C dan D melebihi 50%. Maka, untuk pengukuran pada piston 1 disarankan untuk diulang. Gambar 11 merupakan gambar grafik pola defleksi dari *crankshaft* yang diukur menggunakan *wireless measurement*.

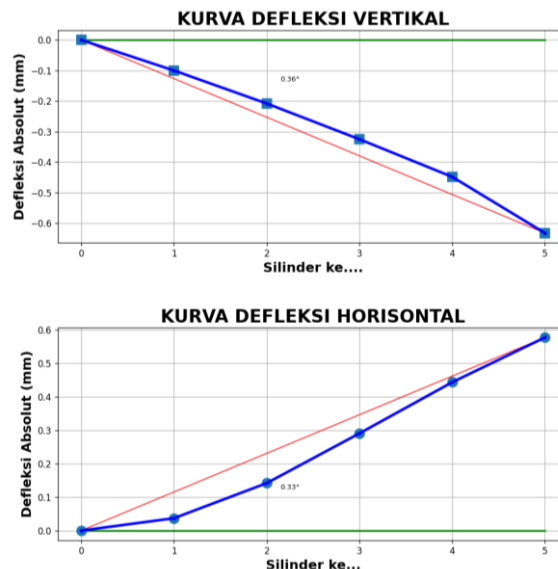
DATA PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DEFLEKSI

POSISI PISTON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	-0.015 mm	0.076 mm	0.061 mm	0.012 mm	-0.049 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
S	-0.017 mm	0.074 mm	0.063 mm	0.005 mm	-0.053 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
T	-0.107 mm	0.03 mm	0.021 mm	0 mm	-0.086 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
P	-0.054 mm	0.006 mm	0.019 mm	0.001 mm	-0.034 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Y	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
B [(X + Y)/2]	-0.007 mm	0.038 mm	0.03 mm	0.006 mm	-0.025 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
H [(S - P)]	0.037 mm	0.068 mm	0.044 mm	0.004 mm	-0.019 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
V [(T - B)]	-0.1 mm	-0.008 mm	-0.009 mm	-0.006 mm	-0.061 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
C [(T + B)]	-0.114 mm	0.068 mm	0.051 mm	0.006 mm	-0.111 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
D [(S + P)]	-0.071 mm	0.08 mm	0.082 mm	0.006 mm	-0.087 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Error Pengukuran	X	V	V	V	V					

Rekomendasi pengukuran berdasarkan aspek validitas data

Tanda X: error data terlalu besar sehingga pengukuran harus diulang
 Tanda V: error data masih dalam range yang diterima

Gambar 10. Hasil analisa pengukuran *wireless measurement*.



Gambar 11. Kurva defleksi pengukuran *wireless measurement*.

Dari kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 11, terlihat bahwa nilai defleksi vertikal membentuk suatu pola dimana terjadi defleksi pada *crankshaft* piston nomor 1, 2, 3, dan 4 sehingga dapat dilakukan penyesuaian dengan mengatur *main bearing* yang menyokong bagian *crankshaft* antara piston nomor 1, 2, 3, dan 4 karena posisinya cenderung lebih tinggi dibanding dengan *main bearing* terdepan dan terbelakang.

Pada defleksi horizontal, pola yang terlihat adalah terjadi defleksi pada *crankshaft* yang ditunjukkan nilai defleksi pada *crankshaft* nomor 1, 2, 3, dan 4 yang berada dibawah garis *baseline* defleksi. Dengan kurva ini, dapat dilakukan penyesuaian posisi *main bearing* yang menopang bagian *crankshaft* pada piston nomor 1, 2, 3, dan 4.

3.3.2 Analisa Pengukuran Alat Ukur Standart

Pada pengukuran menggunakan alat ukur standart, dilakukan analisa dengan langkah yang sama. Perbedaannya ialah data pengukuran diperoleh dari alat ukur standart. Dari hasil analisa yang ditunjukkan pada Gambar 12, dapat dilihat pada pengukuran untuk piston 2 terjadi error pengukuran yang berarti perbedaan nilai C dan D melebihi 50%. Maka, untuk pengukuran pada piston 2 disarankan untuk diulang.

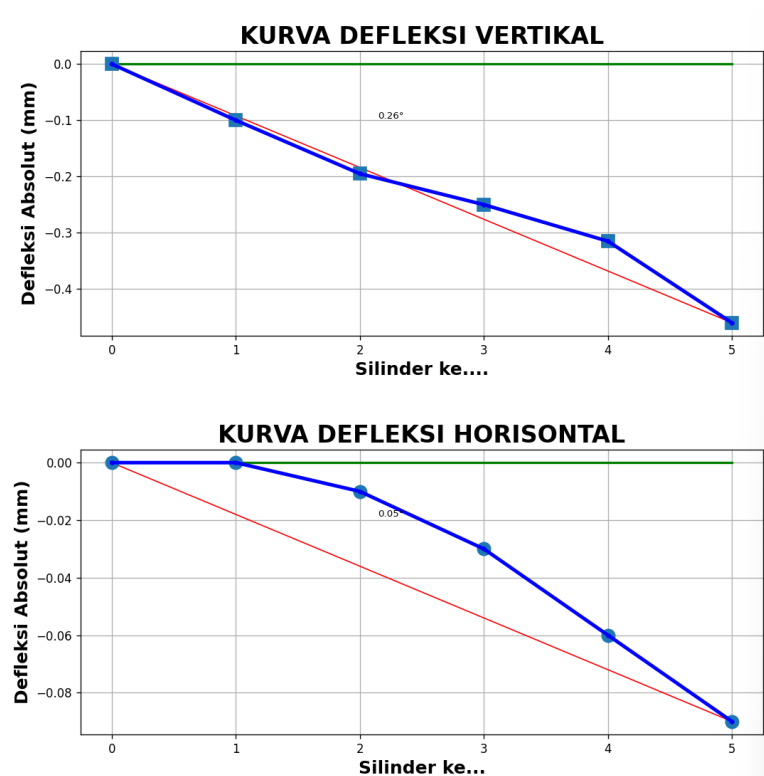
DATA PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN DEFLEKSI

POSISI PISTON	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	0 mm	-0.01 mm	0 mm	0 mm	-0.01 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
S	0 mm	0 mm	0.02 mm	-0.01 mm	-0.04 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
T	-0.1 mm	0 mm	0.04 mm	-0.01 mm	-0.085 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
P	0 mm	0.01 mm	0.03 mm	0 mm	-0.04 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Y	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
B [(X + Y)/2]	0 mm	-0.005 mm	0 mm	0 mm	-0.005 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
H [(S - P)]	0 mm	-0.01 mm	-0.01 mm	-0.01 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
V [(T - B)]	-0.1 mm	0.005 mm	0.04 mm	-0.01 mm	-0.08 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
C [(T + B)]	-0.1 mm	-0.005 mm	0.04 mm	-0.01 mm	-0.09 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
D [(S + P)]	0 mm	0.01 mm	0.05 mm	-0.01 mm	-0.08 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Error Pengukuran	V	X	V	V	V					

Tanda X: error data terlalu besar sehingga pengukuran harus diulang
 Tanda V: error data masih dalam range yang diterima

Rekomendasi pengukuran berdasarkan aspek validitas data

Gambar 12. Hasil analisa pengukuran alat ukur standart.



Gambar 13. Kurva defleksi pengukuran alat ukur standart.

Dengan hasil nilai pengukuran yang berbeda, terlihat bahwa nilai defleksi vertikal juga berbeda. Pada pengukuran ini, terlihat bahwa *main bearing* disekitar piston 1 dan 2 lebih rendah dibandingkan dengan *baseline* yang dibuat serta pada piston 3 dan 4 terlihat lebih tinggi. Mengacu pada kurva yang dihasilkan, dapat dilakukan penyesuaian pada *main bearing* disekitar piston 1, 2, 3, dan 4.

Pada defleksi horizontal, terlihat bahwa *main bearing* pada piston 1, 2, 3 dan 4 lebih tinggi dibandingkan dengan *baseline* yang dibuat. Maka dapat dilakukan penyesuaian pada *main bearing* pada piston 1, 2, 3, dan 4.

4. Kesimpulan

Alat ukur defleksi crankshaft dengan perangkat aplikasi penampil pola defleksi telah berhasil untuk dibuat. Dari hasil kalibrasi yang telah dilakukan dengan ketelitian alat ukur sebesar 0,001 mm menunjukkan nilai yang sama dengan yang ditampilkan pada *control panel*. Hasil dari proses kalibrasi yang dilakukan memperoleh nilai ketidakpastian sebesar 4,6 μm atau 0,0046 mm pada tingkat kepercayaan 95% dengan faktor cakupan $k=1,97$. Grafik pola defleksi *crankshaft* dalam arah vertikal dan horizontal telah berhasil ditampilkan. Dengan menampilkan grafik pola defleksi ini, diharapkan dapat membantu proses analisa kondisi *crankshaft* sehingga dapat dilakukan proses perbaikan yang tepat untuk mendukung peningkatan kehandalan operasional dari mesin diesel pada sistem pembangkit.

5. Daftar Pustaka

- [1] Grządziel, Z., & Nozdrzykowski, K, 2015, "Simulation tests and measurements of crankshaft deformations by the symmetric method", *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 42(114), 33–37, <https://www.researchgate.net/publication/305949965>
- [2] Fonte, M., Duarte, P., Anes, V., Freitas, M., & Reis, L, (2015), "On the assessment of fatigue life of marine diesel engine crankshafts", *Engineering Failure Analysis*, 56, 51–57, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2015.04.014>
- [3] Kim, J. K., & Lee, M. C, 2009, "Development of Wireless Device for Inspecting Crankshaft Deflection Using Linear Encoder", <https://www.researchgate.net/publication/264192811>
- [4] Mahto, D., 2016, "Engineering Metrology and Measurements", Jaipur Institute of Engineering and Technology, <https://ssrn.com/abstract=3015752><https://ssrn.com/abstract=3015752>
- [5] Jeffrey N, Casciani W., "Engine Crankshaft Deflection Measurement - President Article of Diagnostic Engineering.", 2015;15–18.
- [6] Moghtaderi, M., 2015., "Diesel Engine Crankshaft Deflection Measurement"., <https://www.linkedin.com/pulse/diesel-engine-crankshaft-deflection-measurement-mahmoud-moghtaderi>, diakses: 15 Februari 2022.
- [7] Sulaeman, H., & Fardiansyah, 2010, "Pengaruh Penambahan Aditif Abd-01 Solar ke dalam Minyak Solar Terhadap Kinerja Mesin Diesel", *Sintek Jurnal*: 12-21.
- [8] Hound, N., 2016, "Engine crankshaft deflection measurement", <https://www.iims.org.uk/engine-crankshaft-deflection-measurement/>, diakses pada 19 Februari 2022
- [9] Novac, G., 2014, "Crank Web Deflections Of Marine Diesel Engines", *Academica Brâncuși*, 1.
- [10] Purba, F., & Yulizam, 2013, "ANALISIS KALIBRASI ELECTROSURGICAL DI RSUD H.KUMPULAN PANE TEBING TINGGI", *Jurnal Sainika Fisika*, 1(1).