

**ANALISIS INJEKSI PADA KENDARAAN TOYOTA CALYA DENGAN
MENGUNAKAN METODE *HILBERT TRANSFORM***



Muhammad Hadi Saputra
NIM: 41318010014

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA 2023

LAPORAN TUGAS AKHIR

ANALISIS INJEKSI PADA KENDARAAN TOYOTA CALYA DENGAN
MENGUNAKAN METODE *HILBERT TRANSFORM*



Disusun oleh:

Nama : Muhammad Hadi Saputra
NIM : 41318010014
Program Studi : Teknik Mesin

DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
FEBRUARI 2023

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS INJEKSI PADA KENDARAAN TOYOTA CALYA DENGAN MENGUNAKAN METODE *HILBERT TRANSFORM*

Disusun oleh:

Nama : Muhammad Hadi Saputra
NIM : 41318010014
Program Studi : Teknik Mesin

Telah diperiksa dan disetujui pada tanggal 09 Februari 2023

Telah dipertahankan di depan penguji,

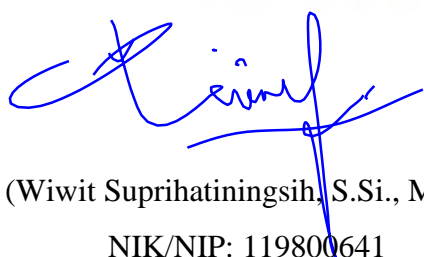
Pembimbing TA



(Subekti, ST., MT)

NIK/NIP. 118730612

Penguji Sidang II



(Wiwit Suprihatiningsih, S.Si., M.Si.)

NIK/NIP: 119800641

Kaprodi Teknik Mesin



(Muhammad Fitri, M.Si., P.hD)

NIK/NIP. 118690617

Penguji Sidang I



(Dedik Romahadi, ST., M.Sc.)

NIK/NIP. 116910542

Penguji Sidang III



(Gian Villany Golwa, ST., M.Si)

NIK/NIP: 1975801149

Koordinator TA



(Gilang Awan Yudhistira, ST., M.T)

NIK/NIP. 221900211

Mengetahui,

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Hadi Saputra

NIM : 41318010014

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : ANALISIS INJEKSI PADA KENDARAAN CALYA
DENGAN MENGGUNAKAN METODE HILBERT
TRANSFORM

Dengan ini menyatakan bahwa saya melakukan Tugas Akhir dengan sesungguhnya dan hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata di kemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 05 Februari 2023



Muhammad Hadi Saputra

PENGHARGAAN

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat dan anugerah sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul Identifikasi Kerusakan Injeksi Pada Kendaraan Carya dengan menggunakan Metode *Hilbert Transform*. Ucapan terima kasih ini dipersembahkan untuk orang-orang yang telah berjasa dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, yaitu:

1. Bapak Prof. Dr. Andi Adriansyah, M.Eng selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Bapak Dr. Mawardi Amin, M. TI selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Bapak Muhamad Fitri, ST., M.Si., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
4. Alief Avicenna Luthfie, ST., M.Eng, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
5. Gilang Awan Yudhistira, ST., M.T selaku koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
6. Orang tua yang selalu memberikan doa dan dukungan di segala aspek terhadap penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
7. Bapak Subekti, ST., MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
8. Team Tugas Akhir, Fatimah Azzahro, Danang Prasetyo, Firizki Fahdilah.
9. Teman-teman Teknik mesin angkatan 2018 Universitas Mercu Buana yang selalu memberikan pengalaman dan masukan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.

Masih banyak lagi pihak-pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini yang tidak tersebut. Melalui lembar penghargaan ini saya menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan dalam penyusunan laporan ini.

Jakarta, 05 Februari 2023



Muhammad Hadi Saputra

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| HALAMAN PENGESAHAN | i |
| HALAMAN PERNYATAAN | ii |
| PENGHARGAAN | iii |
| ABSTRAK | iv |
| ABSTRACT | v |
| DAFTAR ISI | vi |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL | x |
| DAFTAR SINGKATAN | xi |
| | |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1. LATAR BELAKANG | 1 |
| 1.2. RUMUSAN MASALAH | 3 |
| 1.3. TUJUAN PENELITIAN | 3 |
| 1.4. MANFAAT PENELITIAN | 3 |
| 1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH | 4 |
| 1.6. SISTEMATIKA PENULISAN | 4 |
| | |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA | 6 |
| 2.1. PENELITIAN TERDAHULU | 6 |
| 2.2. PENGERTIAN INJEKTOR | 13 |
| 2.2.1 Alasan Penggunaan Sistem Efi | 13 |
| 2.2.2 Fungsi Dan Komponen-Komponen Injektor | 13 |
| 2.2.3. Jenis-Jenis Kerusakan Injeksi | 15 |
| 2.2.4. Karakteristik Kerusakan Injektor Akibat Getaran | 16 |
| 2.2.5. Pengaruh Getaran Pada Injeksi | 21 |
| 2.3. INJEKSI LANGSUNG DAN TAK LANGSUNG | 21 |
| 2.3.1. Sistem Injeksi Tak Langsung (Indirect Injection System) | 21 |
| 2.3.2. Sistem Injeksi Langsung (<i>Direct Injection System</i>) | 22 |
| 2.4. PENGERTIAN MOTOR TORAK | 23 |
| 2.4.1. Prinsip Kerja Motor Torak | 23 |
| 2.4.2. Komponen-Komponen Motor Bensin | 26 |
| 2.5. GETARAN | 28 |

| | | |
|------------------------------------|--|-----------|
| 2.5.1. | Tipe Data Getaran | 29 |
| 2.5.2. | Amplitudo (<i>Amplitude</i>) | 30 |
| 2.5.3. | Fase (<i>Phase</i>) | 30 |
| 2.6. | <i>HILBERT TRANSFORM (HT)</i> | 31 |
| BAB III METODOLOGI | | 33 |
| 3.1. | DIAGRAM ALIR | 33 |
| 3.2. | ALAT DAN BAHAN | 41 |
| 3.2.1. | Objek Penelitian | 41 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 45 |
| 4.1. | HASIL PENELITIAN | 45 |
| 4.2. | HASIL PENGUKURAN <i>FAST FOURIER TRANSFORM (FFT)</i> | 46 |
| 4.2.1. | Hasil Pengukuran <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> 900rpm | 46 |
| 4.2.2. | Hasil Pengukuran <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> 2000rpm | 49 |
| 4.2.3. | Hasil Pengukuran <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> 4000rpm | 52 |
| 4.2.4. | Hasil Pengukuran <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> 6000rpm | 56 |
| 4.3. | ANALISIS <i>HILBERT TRANSFORM</i> UNTUK MENDETEKSI KERUSAKAN PADA INJEKTOR | 59 |
| BAB V PENUTUP | | 62 |
| 5.1. | KESIMPULAN | 62 |
| 5.2. | SARAN | 63 |
| DAFTAR PUSTAKA | | 64 |
| LAMPIRAN | | 66 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2.1. Komponen-Komponen Pada Injektor | 14 |
| Gambar 2.2. Skema Injektor dan Nosel Yang Dikontrol Katup Solenoid | 17 |
| Gambar 2.3. Model Dinamika Gerakan Jarum | 20 |
| Gambar 2.4. <i>Single Point Fuel Injection System</i> | 22 |
| Gambar 2.5. <i>Multi Point Fuel Injection System</i> | 22 |
| Gambar 2.6. Proses Langkah Hisap | 23 |
| Gambar 2.7. Proses Langkah Kompresi | 24 |
| Gambar 2. 8. Proses Langkah Usaha | 25 |
| Gambar 2.9. Proses Langkah Buang | 25 |
| Gambar 2.10. Elemen Vibrasi | 28 |
| Gambar 2.11. Ilustrasi Perbedaan Domain Waktu Dan Domain Frekuensi | 29 |
| Gambar 2. 12. Contoh Bentuk Domain Waktu | 29 |
| Gambar 2. 13. Contoh Bentuk Domain Frekuensi | 29 |
| Gambar 2.14. Fundamental Gelombang | 30 |
| Gambar 2.15. Hubungan Fase Dengan Dua Gelombang Yang Sama | 30 |
| Gambar 3.1. Diagram Alir | 33 |
| Gambar 3.2. Ono Sokki CF-3600 | 35 |
| Gambar 3.3. Proses Pengujian Getaran Dengan Variasi Putaran Mesin | 35 |
| Gambar 3.4. Skema Proses Pengambilan Data | 36 |
| Gambar 3. 5. Diagram Alir Pengolahan Data | 36 |
| Gambar 3. 6. Proses Memasukkan Data TXT Kedalam <i>Software</i> Matlab | 39 |
| Gambar 3.7. Hasil Data Grafik FFT <i>Analyzer</i> | 39 |
| Gambar 3.8. Data <i>Envelope</i> | 40 |
| Gambar 3.9. Grafik <i>Instantaneous Frequency</i> | 40 |
| Gambar 3.10. Grafik <i>Restoring Force</i> | 41 |
| Gambar 3.11. Injeksi | 42 |
| Gambar 3.12. <i>Fast Fourier Transform</i> | 42 |
| Gambar 3.13. <i>Accelerometer</i> | 42 |
| Gambar 3.14. Injeksi Kendaraan | 42 |
| Gambar 3.15. Sensor <i>Accelerometer</i> | 43 |
| Gambar 3.16. Keramik Isolator | 43 |

| | |
|---|----|
| Gambar 3.17. <i>Tool Box</i> | 43 |
| Gambar 4.1. Gambar Mesin Toyota Cayla Type G 1200cc | 45 |
| Gambar 4.2. Hasil FFT Injektor Pengujian Satu 900 rpm | 46 |
| Gambar 4.3. Hasil FFT Injektor Pengujian Dua 900rpm. | 46 |
| Gambar 4.4. Hasil FFT Injektor Gabungan 900rpm | 47 |
| Gambar 4.5. Hasil FFT Injektor Pengujian Satu 2000rpm | 49 |
| Gambar 4.6. Hasil FFT Injektor Pengujian Dua 2000rpm | 50 |
| Gambar 4.7. Hasil FFT Injektor Gabungan 2000rpm | 50 |
| Gambar 4.8. Hasil FFT Injektor Pengujian Satu 4000rpm | 53 |
| Gambar 4.9. Hasil FFT Injektor Pengujian Dua 4000rpm | 53 |
| Gambar 4.10. Hasil FFT Injektor Gabungan 4000rpm | 54 |
| Gambar 4.11. Hasil FFT Injektor Pengujian Satu 6000rpm | 56 |
| Gambar 4. 12. Hasil FFT Injektor Pengujian Dua 6000rpm | 57 |
| Gambar 4.13. Hasil FFT Injektor Gabungan 6000rpm | 57 |
| Gambar 4.14. <i>Envelope</i> Sinyal Getaran Pada Injektor 2000rpm | 60 |
| Gambar 4.15. <i>Instantaneous Frequency</i> | 60 |
| Gambar 4.16. Restoring Force Berdasarkan <i>Hilbert Transform</i> | 61 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu | 6 |
| Tabel 3.1. Data txt Pengujian 1 dan Pengujian 2 | 37 |
| Tabel 3.2. Alat Pengujian | 42 |
| Tabel 3.3. Spesifikasi Objek Pengujian | 44 |
| Tabel 4.1. Data Frekuensi <i>Injector</i> Gabungan 900rpm | 47 |
| Tabel 4.2. Data Frekuensi <i>Injector</i> Gabungan 2000rpm | 51 |
| Tabel 4.3. Data Frekuensi <i>Injector</i> Gabungan 4000rpm | 54 |
| Tabel 4.4. Data Frekuensi <i>Injector</i> Gabungan 6000rpm | 58 |
| Tabel 4.5. Data Variasi Putaran Mesin Tertinggi Pengujian 1 dan Pengujian 2 | 59 |



DAFTAR SINGKATAN

| Singkatan | Keterangan |
|-----------|----------------------------------|
| EFI | <i>Electronic Fuel Injection</i> |
| ECU | <i>Electronic Control Unit</i> |
| FO | <i>Fireing Order</i> |
| ECM | <i>Engine Control Module</i> |
| FFT | <i>Fast Fourier Transform</i> |
| RPM | <i>Revolution Per Minute</i> |
| CC | <i>cubical centimeter</i> |
| ISC | <i>Idle Speed Control</i> |
| BBM | Bahan Bakar Mesin |
| Kg | Kilogram |
| TMB | Titik Mati Bawah |
| TMA | Titik Mati Atas |



UNIVERSITAS
MERCU BUANA