

PENGEMBANGAN MESIN PENDETEKSI KEBOCORAN

PRODUK TUBE SISTEM PENDINGIN MOBIL

BERDASARKAN VDI 2221 DAN DFMA



**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

RYAN SINGGIH NUGROHO

NIM : 41321120008

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MERCU BUANA

JAKARTA 2025

LAPORAN TUGAS AKHIR

**PENGEMBANGAN MESIN PENDETEKSI KEBOCORAN
PRODUK TUBE SISTEM PENDINGIN MOBIL
BERDASARKAN VDI 2221 DAN DFMA**



Disusun Oleh :

Nama	: Ryan Singgih Nugroho
NIM	: 41321120008
Program Studi	: Teknik Mesin

**DIAJUKAN UNTUK MEMENUHI SYARAT KELULUSAN MATA KULIAH
TUGAS AKHIR PADA PROGRAM SARJANA STRATA SATU (S1)
DESEMBER 2025**

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Ryan Singgih Nugroho

NIM : 41321120008

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengembangan Mesin Pendeteksi Kebocoran Produk Tube Sistem Pendingin Mobil Berdasarkan VDI 2221 dan DFMA

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan oleh:

Pembimbing : Subekti, ST, MT, IPM

NIDN : 0323117307

Penguji 1 : Dafit Feriyanto, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIDN : 0310029004

Penguji 2 : Nurato, ST., MT., Ph.D

NIDN : 0313047302

Jakarta, 07 Agustus 2025

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Zulfa Fitri Ikatrianasari, M.T.

NIP/NIDN : 0307037202

Ketua Program Studi



Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T, M.T.

NIP/NIDN : 0005087502

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Ryan Singgih Nugroho

NIM : 41321120008

Jurusan : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Pengembangan Mesin Pendeteksi Kebocoran Produk Tube
Sistem Pendingin Mobil Berdasarkan VDI 2221 dan DFMA

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tugas Akhir ini saya laksanakan dengan sebenarnya, dan seluruh isi Tugas Akhir ini merupakan hasil karya saya sendiri serta dijamin keasliannya. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa laporan ini merupakan hasil plagiarisme atau penjiplakan terhadap karya orang lain, saya bersedia menerima segala bentuk sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Mercu Buana.

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

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 11 Juli 2025



Ryan Singgih Nugroho

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Pengembangan Mesin Pendeteksi Kebocoran Produk Tube Sistem Pendingin Mobil Berdasarkan VDI 2221 dan DFMA”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi syarat dalam memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapatkan bimbingan, bantuan, dan dukungan yang sangat berarti dari berbagai pihak. Secara khusus, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Subekti, ST, MT, IPM selaku dosen pembimbing, atas waktu, arahan, pengetahuan, serta dukungan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.

Penulis juga menyampaikan apresiasi dan penghargaan kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan dan kontribusi, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam penyusunan skripsi ini.

1. Prof. Dr. Ir. Andi Ardiansyah, M. Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfia Fitri Ikatrianasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik.
3. Dr. Eng. Imam Hidayat, S.T., M.T., selaku Kepala Program Studi sekaligus koordinator Tugas Akhir Teknik Mesin.
4. Wagiman dan Almh. Ibu Partini sebagai orang tua yang telah memberikan dukungan dan doanya dalam menyusun laporan Tugas Akhir.
5. Subekti, ST, MT, IPM., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
6. Dafit Feriyanto, S.T., M.Eng., Ph.D. dan Nurato, ST., MT., Ph.D selaku dosen penguji sidang Tugas Akhir.
7. Seluruh dosen dan staff program studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mercubuana yang telah memberikan segenap ilmunya.
8. Lilis Setyowati dan Vina Kuswati sebagai saudara kandung penulis yang sudah menjadi kakak yang selalu memberikan dukungan dan didikan yang baik bagi penulis.
9. Nadia Risky Wulandari sebagai partner spesial bagi penulis. Terimakasih atas segala hal baik yang sudah diberikan pada penulis.

10. Kirmanto, Pandu Permana dan Adna Safira sebagai atasan saya yang sudah berbaik hati telah memberikan izin waktu dalam penyusunan Tugas Akhir.
11. Rekan-rekan mahasiswa Universitas Mercu Buana yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam penyusunan laporan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan, hal ini tidak terlepas dari keterbatasan pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan masukan, saran, serta kritik yang bersifat membangun dari berbagai pihak untuk perbaikan di masa mendatang.

Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya bagi penulis dan secara umum bagi para pembaca. Akhir kata, dengan penuh ketulusan dan kerendahan hati, penulis menyampaikan permohonan maaf atas segala kekurangan maupun kesalahan yang terdapat dalam penulisan skripsi ini.

Jakarta, 11 Juli 2025



Ryan Singgih Nugroho



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

ABSTRACT

The vehicle cooling system (HVAC) plays a crucial role in maintaining cabin temperature and engine performance. One of its main components is the tube, which must be leak-free to ensure optimal system efficiency. The problem addressed in this study is the limitation of the water bubble leak test method, which relies on visual inspection and is prone to human error.

This research aims to redesign the leak test machine using a more efficient and systematic approach. The methodology includes direct observation at PT XXX's production line, analysis of the existing machine design, and redesign using the VDI 2221 method, covering task clarification, functional structure, and modular structuring. The redesigned system was then evaluated using DFMA principles, involving component count analysis, manufacturing cost (DFM), and assembly efficiency (DFA). CAD software was used to model the design, and a prototype was built for functional validation. The results show improvements in design efficiency, including a 19% reduction in manufacturing costs, an increase in design efficiency from 6.55% to 7.25%, and a 23.56% improvement in cycle time efficiency. In conclusion, the application of VDI 2221 and DFMA successfully led to a more effective and efficient leak test machine design that meets automotive industry standards.

Key word : VDI 2221, DFMA, leak test, differential pressure, HVAC

ABSTRAK

Sistem pendingin kendaraan (HVAC) berperan penting dalam menjaga suhu kabin dan performa mesin. Salah satu komponen utama dalam sistem ini adalah tube, yang harus bebas kebocoran agar efisiensi sistem tetap optimal. Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah keterbatasan metode water bubble leak test yang masih bergantung pada visual operator dan rawan kesalahan. Penelitian ini bertujuan merancang ulang mesin leak test dengan pendekatan yang lebih efisien dan sistematis. Metode yang digunakan meliputi observasi langsung di lini produksi PT XXX, analisis desain lama, dan perancangan ulang menggunakan metode VDI 2221 yang mencakup klarifikasi tugas, struktur fungsi, dan struktur modul. Setelah itu, dilakukan evaluasi desain dengan pendekatan DFMA melalui analisis jumlah komponen, biaya manufaktur (DFM), dan efisiensi perakitan (DFA). Perancangan dilakukan dengan bantuan perangkat lunak CAD dan simulasi prototipe juga dijalankan untuk validasi. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan efisiensi desain, seperti penurunan biaya manufaktur sebesar 19%, peningkatan efisiensi desain dari 6,55% menjadi 7,25%, dan efisiensi waktu siklus sebesar 23,56%. Kesimpulannya, penerapan metode VDI 2221 dan prinsip DFMA berhasil menghasilkan desain mesin leak test yang lebih efektif, efisien, dan sesuai standar industri otomotif.

Kata kunci : VDI 2221, DFMA, leak test, differential pressure, HVAC

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRACT	v
ABSTRAK	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. LATAR BELAKANG	1
1.2. RUMUSAN MASALAH	2
1.3. TUJUAN	3
1.4. MANFAAT	3
1.5. RUANG LINGKUP DAN BATASAN MASALAH	3
1.6. SISTEMATIKA PENULISAN	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. PENELITIAN TERDAHULU	6
2.2. SISTEM PENDINGIN MOBIL	10
2.3. PRODUK TUBE DALAM SISTEM PENDINGIN MOBIL	11
2.4. METODE PENGUJIAN KEBOCORAN	11
2.4.1. Water Bubble Leak Test	12
2.4.2. Vacuum Chamber Leak Test	12
2.4.3. Pressure Decay Test	13
2.4.4. Differential Pressure Test	14
2.5. DESAIN PRODUK	15
2.6. PERANCANGAN PRODUK	15
2.7. METODE VDI 2221	16
2.8. DESIGN FOR MANUFACTURING AND ASSEMBLY (DFMA)	18

2.8.1. Design For Manufacture (DFM)	19
2.8.2. Design For Assembly (DFA)	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1. DIAGRAM ALIR	23
3.2. ALAT DAN BAHAN	25
3.3. PERANCANGAN	27
3.3.1. Perancangan Meja Kerja	27
3.3.2. Perancangan Cover Mesin	28
3.3.3. Perancangan Panel Kontrol – HMI	29
3.3.4. Perancangan Panel Kontrol – PLC	29
3.3.5. Perancangan Driver Mesin Leakttest	30
3.3.6. Perancangan Tower Lamp	31
3.3.7. Perancangan Quick Coupler	31
3.3.8. Perancangan Blind Coupler	32
3.4. PEMBUATAN PROGRAM PLC	33
3.5 METODE ANALISIS VDI 2221	33
3.5.1. Daftar Kehendak	33
3.5.2. Abstraksi	34
3.5.3. Struktur Fungsi	35
3.5.4. Struktur Modul	36
3.5.5. Kesimpulan Solusi dan Evaluasi	37
3.7. METODE ANALISIS DFMA	38
3.7.1. Analisis DFM (Design For Manufacture)	38
3.7.2. Analisis DFA (Design For Assembly)	39
3.7.3 Analisis Efisiensi Proses	43
3.8. METODE LEAK TEST YANG DIGUNAKAN	44
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	45
4.1. HASIL ANALISIS VDI 2221	45
4.1.1. Daftar Kehendak	45
4.1.2. Abstraksi	46

4.1.3. Struktur Fungsi	46
4.1.4. Struktur Modul	47
4.1.5. Evaluasi	52
4.2. ANALISAN STRUKTUR KERANGKA	53
4.3. DESAIN TERPILIH	60
4.4. DATA KOMPONEN DESAIN LAMA	62
4.5. DATA KOMPONEN DESAIN BARU	63
4.6. PERHITUNGAN	64
4.6.1. Analisis DFM Model Lama	64
4.6.2. Analisis DFM Model Baru	65
4.6.3. Analisis DFA Model Lama	66
4.6.4. Analisis DFA Model Baru	68
4.6.5. Efisiensi Waktu Siklus (Cycle Time)	69
BAB V PENUTUP	72
5.1. KESIMPULAN	72
5.2. SARAN	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	76
A. HASIL PENGECEKAN SIMILARITY	76
B. MESIN WATER BUBBLE LEAK TEST	77
C. MESIN DIFFERENTIAL PRESSURE LEAK TEST	78
D. PROSES Pengerjaan Driver Mesin Leak Test	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Penelitian Terdahulu	6
Tabel 2.2. Contoh Lembar Kerja Boothroyd dan Dewhurst DFA	22
Tabel 3.1. Bentuk Tabel Estimasi Biaya Manufaktur	39
Tabel 3.2. Bentuk Tabel Analisis DFA	39
Tabel 4.1. Hasil Daftar Kehendak	45
Tabel 4.2. Hasil Abstraksi	46
Tabel 4.3. Hasil Pemetaan Fungsi	47
Tabel 4.4. Hasil Struktur Modul	48
Tabel 4.5. Kelebihan dan Kelemahan Masing-masing Alternatif	48
Tabel 4.6. Hasil Analisa Varian Sesain	52
Tabel 4.7. Kesimpulan Hasil Evaluasi	53
Tabel 4.8. Rangkuman Hasil Simulasi Ansys	60
Tabel 4.9. Keterangan Komponen Mesin Leak Test Lama	62
Tabel 4.10. Keterangan Komponen Mesin Leak Test Baru	63
Tabel 4.11. Analisis Biaya (DFM) Model Lama	64
Tabel 4.12. Analisis Biaya (DFM) Model Baru	66
Tabel 4.13 Analisis DFA Model Lama	67
Tabel 4.14. Analisis DFA Model Baru	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Sistem Pendingin Mobil (HVAC)	10
Gambar 2.2. Tube Pada Sistem Pendingin Mobil (HVAC)	11
Gambar 2.3. Water Bubble Leak Test	12
Gambar 2.4. Vacuum Chamber Leak Test	13
Gambar 2.5. Pressure Decay Test	14
Gambar 2.6. Differential Pressure Leak Test	14
Gambar 2.7. Alur Proses VDI 2221	17
Gambar 2.8. Tahapan Metode DFMA	18
Gambar 2.9. Implementasi DFMA	19
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian	23
Gambar 3.2. Komputer dan Laptop	25
Gambar 3.3. Tampilan Autodesk Inventor 2019	26
Gambar 3.4. Tampilan CX-Programmer	26
Gambar 3.5. PLC (Programmable Logic Controller)	27
Gambar 3.6. Meja Kerja	28
Gambar 3.7. Cover Mesin	29
Gambar 3.8. Panel HMI (Human Machine Interface)	29
Gambar 3.9. Panel PLC (Programmable Logic Controller)	30
Gambar 3.10. Driver Mesin Leaktest	30
Gambar 3.11. Tower Lamp	31
Gambar 3.12. Quick Coupler	32
Gambar 3.13. Blind Coupler	32
Gambar 3.14. Proses Pemrograman PLC	33
Gambar 3.15. Contoh Daftar Kehendak	34
Gambar 3.16. Functional analysis process	36
Gambar 3.17. Analisa Struktur Modul	37
Gambar 3.18. Diagram Evaluasi	38
Gambar 3.19. Orientasi Komponen	40
Gambar 3.20. Manual Handling Estimated Times	41
Gambar 3.21. Manual Insertion Estimated Times	42
Gambar 3.22. Proses Differential Pressure Leak Test	44

Gambar 4.1. Desain Varian 1	51
Gambar 4.2. Desain Varian 2	51
Gambar 4.3. Desain Varian 3	51
Gambar 4.4. Desain Kerangka Pertama	54
Gambar 4.5. Desain Kerangka Kedua	54
Gambar 4.6. Desain Kerangka Ketiga	54
Gambar 4.7. Simulasi Total Deformation Kerangka Pertama	55
Gambar 4.8. Simulasi Safety Factor Kerangka Pertama	55
Gambar 4.9. Simulasi Von Mises Kerangka Pertama	56
Gambar 4.10. Simulasi Total Deformation Kerangka Kedua	56
Gambar 4.11. Simulasi Safety Factor Kerangka Kedua	57
Gambar 4.12. Simulasi Von Mises Kerangka Kedua	57
Gambar 4.13. Simulasi Total Deformation Kerangka Ketiga	58
Gambar 4.14. Simulasi Safety Factor Kerangka Ketiga	58
Gambar 4.15. Simulasi Von Mises Kerangka Ketiga	59
Gambar 4.16. Desain Terpilih	61
Gambar 4.17. Gambar Komponen Mesin Leak Test Lama	62
Gambar 4.18. Gambar Komponen Mesin Leak Test Baru	63
Gambar 4.19. Flow Process Chart Mesin Leak Test Desain Lama dan Baru	70