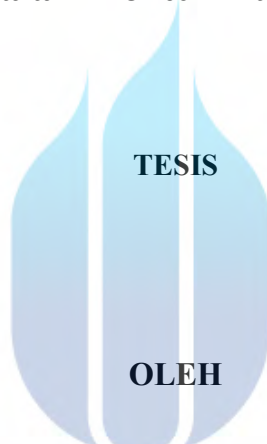




**Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas
dalam Bentuk Padatan**



TESIS

OLEH

KURNIAWAN

55823010005

**UNIVERSITAS
MERCU BUANA**

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

PROGRAM PASCA SARJANA

UNIVERSITAS MERCU BUANA

2025



**Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas
dalam Bentuk Padatan**

TESIS

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan Program Magister

Teknik Mesin

OLEH

KURNIAWAN

55823010005

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN

PROGRAM PASCA SARJANA

UNIVERSITAS MERCU BUANA

2025

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Tesis ini diajukan oleh :

Nama : Kurniawan
NIM : 55823010005
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Judul Skripsi / Tesis : Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas dalam Bentuk Padatan

Magister Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan pada sidang di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar **Sarjana Strata S2** pada Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Disahkan Oleh :

Pembimbing : Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini
NIDN : 8812480018
Ketua Penguji : Nurato, Ir. ST, MT, Ph.D
NIDN : 0313047302
Anggota Penguji : Dianta Ginting, S.Si, M.Si, Ph.D
NIDN : 0324118202

()

()

()

Jakarta, 7 Juli 2025

Mengetahui,

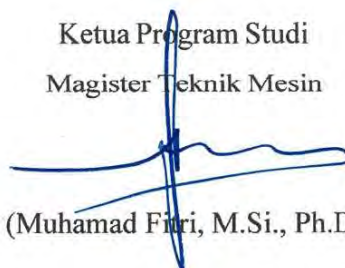
Dekan Fakultas Teknik



(Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T.)

Ketua Program Studi

Magister Teknik Mesin



(Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D)

SURAT KETERANGAN HASIL *SIMILARITY*

Menerangkan bahwa Karya Ilmiah/Laporan Tugas Akhir/Skripsi pada BAB I, BAB II, BAB III, BAB IV dan BAB V atas nama:

Nama : KURNIAWAN
NIM : 55823010005
Program Studi : Magister Teknik Mesin
Judul Tugas Akhir / Tesis
/ Praktek Keinsinyuran : Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas dalam Bentuk Padatan

Telah dilakukan pengecekan *Similarity* menggunakan aplikasi/sistem *Turnitin* pada **Senin, 21 Juli 2025** dengan hasil presentase sebesar **16 %** dan dinyatakan memenuhi standar sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.

Demikian surat keterangan ini dibuat dan digunakan sebagaimana mestinya.

MERCU BUANA

Jakarta, 21 Juli 2025

Administrator Turnitin,



Itmam Haidi Syarif

PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa semuapernyataan dalam Tesis ini :

Judul : Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas
dalam Bentuk Padatan
Nama : Kurniawan
N I M : 55823010005
Program Studi : Program Studi Magister Teknik Mesin
Tanggal : 20 Juli 2025

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian lapangan, dan karya saya sendiri dengan bimbingan Komisi Dosen Pembimbing yang ditetapkan dengan Surat Keputusan Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

Karya ilmiah ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, dan hasil pengolahannya yang digunakan, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

Jakarta, 20 Juli 2025



(Kurniawan)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Alloh SWT atas segala nikmat serta kelancaran yang telah diberikan dalam proses penyelesaian Tesis yang berjudul “Rancang Bangun Alat Uji Volumetrik Penyimpanan Gas dalam Bentuk Padatan” Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi Magister Teknik Mesin di Universitas Mercu Buana. Penulis menyadari bahwa Tesis ini masih jauh dari kata sempurna dan terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik serta saran yang konstruktif untuk penyempurnaan di masa mendatang. Harapan besar semoga Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi penulis, para akademisi khususnya di bidang Teknik Mesin, serta dunia industri manufaktur. Dalam proses penyusunan Tesis ini, penulis menerima banyak dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Dengan penuh kerendahan hati, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Andi Adriansyah, M. Eng., selaku Rektor Universitas Mercu Buana.
2. Dr. Zulfa Fitri Ikatrinasari, M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Mercu Buana.
3. Muhamad Fitri, M.Si., Ph.D., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.

4. Dr. Eng. Deni Shidqi Khaerudini. S.Si., M. Eng, selaku pembimbing pertama yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.
5. Dr. Nono Darsono M.Sc.Eng, selaku pembimbing kedua yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini
6. Para dosen penelaah dan penguji yang telah memberikan masukan dalam tesis menyelesaikan ini.
7. Seluruh Dosen dan Staf Program Magister Teknik Mesin Universitas Mercu Buana.
8. Ayahanda Bpk H. Dasuki (alm) dan Ibunda Hj. Sumiyati dan keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan moral maupun materi yang sangat berarti bagi penulis.
9. Ade Hamidah dan anak-anak tercinta yang senantiasa memberikan dukungan dan kasih sayang dalam proses penyelesaian Tesis ini.
10. Teman-teman Mahasiswa Program Magister Teknik Mesin angkatan 2021 Universitas Mercu Buana.
11. Seluruh rekan dan sahabat di Laboratorium fuel cell PRKKE-BRIN, Bpk Abdul Hamid Budiman, dan Bpk Oka Arjasa atas bimbingan dan bantuannya.

ABSTRAK

Transisi global menuju sistem energi rendah karbon menuntut solusi inovatif dalam penyimpanan hidrogen, yang merupakan elemen kunci dalam pengembangan teknologi energi bersih. Meskipun potensi hidrogen sebagai sumber energi berkelanjutan sangat besar, keterbatasan infrastruktur pengujian eksperimental khususnya alat uji adsorpsi tipe *Sieverts* menjadi penghambat signifikan bagi riset material penyimpan hidrogen di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk menjawab kesenjangan tersebut melalui pengembangan prototipe alat uji adsorpsi gas berbasis metode volumetrik yang dirancang secara sistematis, ekonomis, dan sesuai dengan kebutuhan lokal. Tujuan utama dari penelitian ini adalah merancang, membuat, dan menguji alat uji volumetrik tipe *Sieverts* untuk analisis kapasitas adsorpsi hidrogen pada material padatan. Metodologi yang digunakan menggabungkan pendekatan perancangan teknik berdasarkan standar Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2222 dan optimasi konfigurasi sistem menggunakan metode Taguchi. Prototipe yang dikembangkan terdiri dari subsistem vakum, sensor tekanan, pengendali temperatur, dan sistem aktuasi katup otomatis, yang sebagian besar komponennya berasal dari dalam negeri atau TKDN tinggi. Validasi fungsional dilakukan dengan menggunakan material soda lime sebagai adsorben uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu memberikan data kapasitas adsorpsi yang baik dan konsisten dalam berbagai kondisi tekanan dan temperatur. Integrasi sistem kendali otomatis lokal berbasis PLC Outseal yang disertai sistem pendinginan Thermoelectric Cooler (TEC) dan sistem katup otomastis untuk memudahkan pengoprasian serta mengurangi kesalahan dan variasi optimal dengan nilai 4.0 untuk aspek teknis dan finansial. Implikasi dari pengembangan alat ini tidak hanya memperkuat kapasitas riset hidrogen di lembaga riset domestik, tetapi juga membuka peluang pengurangan ketergantungan terhadap peralatan impor, mendukung kemandirian teknologi, dan mempercepat ekosistem energi hidrogen di Indonesia.

ABSTRACT

The global transition to a low-carbon energy system demands innovative solutions in hydrogen storage, which is a key element in the development of clean energy technologies. Although the potential of hydrogen as a sustainable energy source is enormous, the limited experimental testing infrastructure, especially the Sieverts-type adsorption tester, is a significant obstacle to hydrogen storage material research in Indonesia. This study aims to address this gap by developing a prototype of a gas adsorption tester based on a volumetric method that is designed systematically, economically, and in accordance with local needs. The main objective of this study is to design, manufacture, and test a Sieverts-type volumetric tester for the analysis of hydrogen adsorption capacity on solid materials. The methodology used combines an engineering design approach based on the Verein Deutscher Ingenieure (VDI) 2222 standard and system configuration optimization using the Taguchi method. The prototype developed consists of a vacuum subsystem, pressure sensor, temperature controller, and automatic valve actuation system, most of which are domestically sourced high TKDN. Functional validation was carried out using soda lime as the test adsorbent. The test results show that the device is able to provide good and consistent adsorption capacity data under various pressure and temperature conditions. Integration of a local automatic control system based on Outseal PLC accompanied by a Thermoelectric Cooler (TEC) cooling system and an automatic valve system to facilitate operation and reduce errors and optimal variations with a value of 4.0 for technical and financial aspects. The implications of the development of this device not only strengthen the capacity of hydrogen research in domestic research institutions, but also open up opportunities to reduce dependence on imported equipment, support technological independence, and accelerate the hydrogen energy ecosystem in Indonesia.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
SURAT KETERANGAN HASIL SIMILARITY	iii
PERNYATAAN KARYA SENDIRI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan Penelitian.....	9
1.4 Ruang lingkup	9
1.5 Manfaat Penelitian	10
1.6 <i>State of the art</i>	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1 Studi Pustaka.....	14
2.2 Penyimpanan dan Adsorpsi	15
2.3 Alat Uji <i>Sieverts</i>	16
2.3.1 Sejarah dan Perkembangan	17

2.3.2	Komponen Penting.....	17
2.4	Metode Taguchi.....	18
2.5	VDI 2222.....	19
2.6	Kajian Penelitian Terkait.....	22
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		25
3.1	Tempat Penelitian.....	25
3.2	Metode Pengembangan Alat	25
3.2.1	Penentuan Rancangan Alat.....	25
3.2.2	Komponen Utama	26
3.2.3	Peralatan dan Bahan.....	27
3.2.4	Persiapan Material Adsorben	31
3.2.5	Prosedur Pengujian	31
3.3	Pengumpulan Data.....	32
3.3.1	Data Primer	32
3.3.2	Data Sekunder	32
3.5	Analisis Data	32
3.6	Evaluasi	33
3.7	Flowchart Penelitian.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1	Hasil Penentuan Rancangan dan Pemilihan Komponen	36

4.1.1	Subsistem <i>relay</i> dan sensor	41
4.1.2	Subsistem sensor kebocoran	42
4.1.3	Subsistem pengontrol temperatur.....	42
4.1.4	Subsistem pengumpulan data (<i>data acquisition</i>)	43
4.2	Hasil Desain dan Rancangan Alat	44
4.3	Hasil Penentuan Komponen Utama	54
4.4	Hasil desain dan pembuatan tabung sampel dan referensi.....	57
4.5	Spesifikasi alat uji	75
4.6	Hasil Pengujian dan validasi	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran.....	84
Daftar Pustaka		86

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Teknologi penyimpanan hidrogen	3
Gambar 1. 2 Skema alat <i>Sieverts</i> sederhana.....	8
Gambar 2. 1 Beberapa konfigurasi <i>Sieverts</i> yang umum digunakan.....	18
Gambar 2. 2 Proses pengembangan produk menurut VDI 2222.....	20
Gambar 3. 1 <i>Flowchart</i> penelitian	35
Gambar 4. 1 Tampilan tangkapan layar aplikasi MATLAB daring	38
Gambar 4. 2 Grafik efisiensi hasil perhitungan Taguchi.....	39
Gambar 4. 3 Grafik hasil efisiensi rata-rata untuk semua faktor dan level.....	40
Gambar 4. 4 Ilustrasi skema alat uji.....	41
Gambar 4. 5 Ilustrasi sistem alat.....	43
Gambar 4. 6 Skema <i>black box</i> alat.....	45
Gambar 4. 7 Tampilan depan dan samping kanan desain alat	46
Gambar 4. 8 Desain silinder sampel dan silinder referensi.....	46
Gambar 4. 9 Flow untuk <i>purging</i> nitrogen.....	48
Gambar 4. 10 Flow vacuum.....	49
Gambar 4. 11 Flow pengujian berdasarkan prinsip kerja alat.....	50
Gambar 4. 12 SV2 buka katup gas masuk ke ruang tabung referensi.....	51
Gambar 4. 13 SV1 buka katup gas dari tabung referensi ke tabung sampel.....	52
Gambar 4. 14 Mekanisme pengujian	53
Gambar 4. 15 Tabung sampel dan tabung referensi (a), segel pada bagian tabung (b), segel pada bagian tutup tabung (c)	57

Gambar 4. 16 Pengukuran volume tabung.....	58
Gambar 4. 17 Tampilan input parameter material.....	59
Gambar 4. 18 Hasil simulasi menggunakan simscale.....	60
Gambar 4. 19 Tampilan hasil Paraview	61
Gambar 4. 20 Pengukuran sistem pemanas.....	63
Gambar 4. 21 Kode program kontroler Outseal Studio	63
Gambar 4. 22 Fungsi EQU, NEQ dan COPY	64
Gambar 4. 23 Fungsi TON	65
Gambar 4. 24 Diagram pengkabelan simulasi	66
Gambar 4. 25 Pembacaan nilai ADC	67
Gambar 4. 26 Fungsi SCALE dan ANALOG.....	68
Gambar 4. 27 Tampilan antar muka Easy Builder	70
Gambar 4. 28 Tampilan <i>setting</i> interpolasi	71
Gambar 4. 29 Fungsi CTU dan SPWM	72
Gambar 4. 30 Proses simulasi program	73
Gambar 4. 31 Rangka setelah pengelasan dilakukan pengecatan	74
Gambar 4. 32 Proses tata letak pemasangan komponen dan pemasangan kabel..	75
Gambar 4. 33 Gambar desain dan letak komponen	76
Gambar 4. 34 Gambar alat <i>sieverts</i>	77
Gambar 4. 35 Gambar soda lime.....	78
Gambar 4. 36 Kurva simulasi absorpsi penyerapan CO ₂ oleh soda lime.....	79
Gambar 4. 37 Kurva kontrol reaksi kimia CO ₂	80

Gambar 4. 38 Kurva tekanan CO ₂ dan panas reaksi	80
Gambar 4. 39 Grafik adsorpsi gas CO ₂	82



DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Komparasi pengukuran dari beberapa metode	5
Tabel 1. 2 Tabel <i>novelty</i>	13
Tabel 3. 1 Tabel komponen dan spesifikasinya	28
Tabel 3. 2 Daftar peralatan	29
Tabel 3. 3 Daftar perangkat lunak	29
Tabel 3. 4 Tabel komparasi material	30
Tabel 4. 1 Konfigurasi faktor dan level Taguchi	36
Tabel 4. 2 Tabel eksperimen untuk Taguchi.....	37
Tabel 4. 3 Target spesifikasi konsep alat.....	44
Tabel 4. 4 Tabel alternatif komponen.....	55
Tabel 4. 5 Tabel analisis aspek teknis	55
Tabel 4. 6 Tabel analisis aspek finansial	56
Tabel 4. 7 Waktu pemanasan.....	62
Tabel 4. 8 Nilai perhitungan tegangan dan ADC	69
Tabel 4. 9 Tabel komparasi alat rakit dan komersial.....	76
Tabel 4. 10 Parameter percobaan	79
Tabel 4. 10 Tabel hasil adsorpsi	81