

**TESIS**  
**PENGEMBANGAN FAKTOR KOREKSI ORIFICE**  
**FLOWMETER ALIRAN GAS BUMI DALAM PIPA**

**Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Teknik**



**BUNYAMIN**  
**NIM. 03032611822001**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS SRIWIJAYA**  
**2019**

## HALAMAN PENGESAHAN

# PENGEMBANGAN FAKTOR KOREKSI ORIFICE FLOWMETER ALIRAN GAS BUMI DALAM PIPA

### TESIS

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Master Teknik

Oleh:

**BUNYAMIN**  
**NIM. 03032611822001**

Pembimbing I,

Palembang, Desember 2019  
Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004

Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.  
NIP. 197001151994122001

Mengetahui,  
Dekan Fakultas Teknik

Prof. Ir. Subriyer Nasir, M.S., Ph.D.  
NIP.196009091987031004

## HALAMAN PENGESAHAN

### PENGEMBANGAN FAKTOR KOREKSI ORIFICE FLOWMETER ALIRAN GAS BUMI DALAM PIPA

#### TESIS

Diajukan Untuk Melengkapi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Master Teknik

Oleh:

**BUNYAMIN**  
**NIM. 03032611822001**

Palembang, Nopember 2019

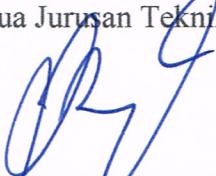
Pembimbing I,

Pembimbing II,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004

Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.  
NIP. 197001151994122001

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

  
Irsyadi Yani, S.T., M. Eng., Ph.D.  
NIP. 197112251997021001

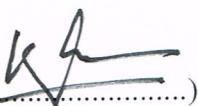
## HALAMAN PERSETUJUAN

Karya tulis ilmiah berupa Tesis ini dengan judul “Pengembangan Faktor Koreksi *Orifice Flowmeter* Aliran Gas bumi dalam Pipa” telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Tulis Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 02 Desember 2019 dan dinyatakan sah.

Palembang, 02 Desember 2019

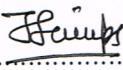
Pembimbing:

1. Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004



(.....)

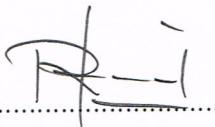
2. Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.  
NIP. 197001151994122001



(.....)

Tim Penguji Sidang Tesis:

1. Prof. Ir. Riman Sipahutar, M.Sc., Ph.D.  
NIP. 195606041986021001



(.....)

2. Dr. Ir. Darmawi Bayin, M.T., M.T.  
NIP. 195806151987031002



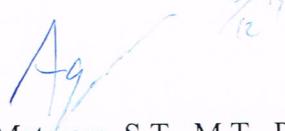
(.....)

3. Irsyadi Yani, S.T., M. Eng., Ph.D.  
NIP. 197112251997021001



(.....)

Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin



Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

## **HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS**

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Bunyamin, S.T.

Nim : 03032611822001

Judul : Pengembangan Faktor Koreksi Orifice Flowmeter Aliran Gas Bumi  
Dalam Pipa

Menyatakan bahwa Tesis saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tesis ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian, pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



Palembang, Desember 2019



(Bunyamin, S.T.)

## KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala kebesaran-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan tesis yang berjudul “Pengembangan Faktor Koreksi *Orifice Flowmeter* Aliran Gas bumi dalam Pipa”.

Tesis ini ditulis dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Sriwijaya. Penulis menyadari bahwa tesis ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung memberikan kontribusi dalam penyelesaian tesis ini.

Secara khusus penulis juga mengucapkan terima kasih atas bimbingan, arahan, dan masukan dalam pembuatan tesis ini, kepada:

1. Irsyadi Yani, S.T., M. Eng., Ph.D. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Agung Mataram, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Koordinator Program Studi Magister Teknik Mesin.
3. Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA, sebagai pembimbing I.
4. Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T., sebagai pembimbing II.
5. Dosen, Staf, Mahasiswa dan Alumni Fakultas Teknik khususnya Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Sriwijaya.
6. Manajemen dan karyawan PT Perusahaan Gas Negara (Persero) Tbk dan PT PGAS Solution khususnya di Area Operasi Sumatera Selatan.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah, mama, Aba dan ibu mertua, KHM Husni KA Rahman serta istriku tercinta Nyayu Latifah Husni, S.T., M.T., Cacak chika, Acik Tahsin, dan adek Kayla serta keluarga besar Temon 83 atas do'a dan dukungan semangatnya.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan pada penulisan tesis ini. Untuk itu, penulis mengharapkan saran, kritik, dan masukan yang membangun dari semua pihak. Semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya bidang Teknik Mesin.

Palembang, 02 Desember 2019

Penulis

## RINGKASAN

PENGEMBANGAN FAKTOR KOREKSI *ORIFICE FLOWMETER* ALIRAN GAS BUMI DALAM PIPA

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 02 Desember 2019

Bunyamin, S.T., IPM; dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA dan Dr. Dewi Puspitasari, S.T., M.T.

Program Studi Magister Teknik Mesin, Fakultas teknik, Universitas Sriwijaya

xxi+ 147 Halaman, 6 Tabel, 50 Gambar

*Orifice flowmeter* (OFM) banyak digunakan dalam proses pengukuran aliran dikarenakan OFM memiliki beberapa kelebihan, diantaranya: konstruksi yang sederhana, instalasi yang mudah, dan dapat diterapkan untuk fluida mampu mampat (*compressible*) dan fluida tidak mampu mampat (*incompressible*). Keakuratan pengukuran OFM dipengaruhi oleh geometri lubang OFM dan perubahan fasa pada fluida.

Dalam penelitian ini, kajian pengukuran OFM C pada pipa penyaluran gas bumi dipertanyakan akurasinya setelah membandingkan hasil pengukuran *flowmeter* lainnya dalam satu sistem aliran pipa penyalur yang sama, yakni *Turbine Flowmeter* (TFM) dan *Ultrasonic Flowmeter* (USM) dimana OFM C mengalami penyimpangan yang cukup besar dalam kisaran 5,77% sampai 18,19%. Hal ini mengindikasikan adanya *error* pengukuran yang melebihi toleransi ( $\pm 0,53\%$ ). Pengembangan *discharge coefficient* (selanjutnya disebut faktor koreksi) pada OFM C sangat diperlukan guna meminimalkan kerugian dari proses komersialisasi gas bumi ataupun menjaga tingkat akurasi OFM sebagai sistem kendali proses di laboratorium maupun industri minyak dan gas bumi.

Pemodelan faktor koreksi menggunakan rekaman data historis yang diambil dengan kondisi tertentu diseleksi menggunakan beberapa metode uji statistik diantaranya uji homogenitas, uji normalitas, uji korelasi untuk mendapatkan data yang valid yang akan digunakan sebagai input dalam pengembangan model faktor koreksi OFM C dan ditampilkan visualisasi aliran dengan simulasi numerik CFD (*computational fluid dynamic*) menggunakan perangkat lunak komersil *Ansys Fluent*.

Untuk mempermudah proses koreksi data, maka dikembangkan faktor koreksi berdasarkan koreksi lokal dan nilai rata-rata data terukur. Dengan proses koreksi lokal, penyimpangan menurun dalam rentang 0,44% sampai 0,84% dan dengan koreksi rata-rata penyimpangan menurun dalam rentang 1,22% sampai 4,76% sehingga dapat disimpulkan bahwa faktor koreksi sangat berhasil meningkatkan kualitas hasil pengukuran menggunakan OFM-C.

Berdasarkan hasil perbandingan nilai faktor koreksi dengan mempertimbangkan potensi terjadinya varian nilai dari Q dapat diakomodir oleh bilangan *Reynolds*, maka persamaan Benedict dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai model faktor koreksi dengan modifikasi.

**Kata kunci** : Laju aliran, Faktor Koreksi, *Orifice*, OFM, TFM, dan, USM  
**Kepustakaan** : 22 (1984- 2019)

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN .....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PERNYATAAN INTEGRITAS .....	iv
KATA PENGANTAR .....	v
RINGKASAN.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xix
NOMENKLATUR.....	xxi
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Batasan Masalah .....	5
1.4. Tujuan Penelitian .....	5
1.5. Manfaat Penelitian .....	5
1.6. Sistematika Penulisan .....	6
BAB 2 .....	7
TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1. International Standard: ISO 5167-1&2:2003 and AGA Report 3-1&2:2003 .....	7
2.2. Simulasi Numerik Pengaruh Deformasi OFM pada Nilai Koefisien Laju Aliran .....	9
2.3. Simulasi Numerik Pengaruh jumlah Lubang OFM pada Koefisien Laju Aliran .....	11
2.4. Simulasi Numerik Pengaruh Rasio Tekanan pada Koefisien Laju Aliran.	13
2.5. Fluida .....	14
2.5.1. Tekanan.....	14
2.5.2. Massa Jenis .....	16

2.5.3. Kecepatan .....	16
2.5.4. Bilangan Reynolds .....	17
2.5.5. Gas Ideal.....	17
2.5.6. Persamaan Konservasi.....	18
2.6. Solusi Numerik.....	19
2.6.1. Diskretisasi .....	19
2.7. Teori Statistik .....	21
2.7.1. Teknik Sampling .....	22
2.7.2. Kriteria Kegagalan Data.....	22
2.7.3. Evaluasi Kuantitatif.....	23
2.7.3. Plot Probabilitas .....	24
2.7.4. Korelasi Pearson.....	25
2.7.5. Estimasi Parameter.....	26
2.7.6. Fungsi Kepadatan Peluang (probability density function (PDF (f(t))))	
.....	28
2.7.7. Uji Kolmogorov Smirnov.....	31
BAB 3.....	33
METODOLOGI PENELITIAN .....	33
3.1. Kerangka Kerja .....	33
3.2. Parameter Penelitian.....	35
3.2.1. Populasi dan Sampel .....	35
3.2.2. Variabel Penelitian .....	36
3.2.3. Bahan Penelitian.....	36
3.3. Instrumen Pengambil Data.....	37
3.3.1. Perangkat OFM Pertamina .....	37
3.3.2. Perangkat OFM Stasiun Gas PGN .....	37
3.3.3. Perangkat Pengukur Flow tipe turbine meter.....	39
3.3.4. Perangkat Pengukur Flow tipe Ultrasonic.....	40
3.4. Prosedur Pengambilan Data .....	41
3.5. Analisis Data .....	41
3.5.1. Pemilihan dan Pengkonversian Data OFM/USM .....	41
3.5.2. Analisis Pengolahan Data Statistik .....	44

3.6. Visualisasi Aliran Gas .....	46
3.6.1. Struktur Simulasi Numerik Aliran Gas Melalui Model OFM .....	48
3.6.2. Pembuatan Geometri OFM dan Meshing Wilayah Komputasi .....	49
3.6.3. Sifat Gas bumi sebagai Fluida Kerja .....	52
3.6.4. Iterasi .....	52
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS.....	55
4.1. Hasil Olah Data.....	55
4.1.1. Kurva Hubungan Variabel TPQ .....	55
4.1.2. Uji Normalitas Data TPQ Menggunakan Probabilitas Plot (P-Plot) ...	59
4.1.3. Uji Kolmogorov Smirnov .....	60
4.1.4. Uji Sebaran Data Weibull, Uji Sebaran Data Normal, dan Uji Sebaran Data Lognormal .....	62
4.1.5. Hasil Uji Korelasi Pearson.....	66
4.2. Pengembangan Faktor Koreksi.....	70
4.4. Pengujian Faktor Koreksi .....	76
4.5. Pengembangan Model Faktor Koreksi .....	81
4.6. Visualisasi Aliran Gas melalui OFM-C .....	87
BAB 5 .....	99
KESIMPULAN DAN SARAN .....	99
5.1. Kesimpulan .....	99
5.2. Saran .....	100
DAFTAR PUSTAKA .....	101
LAMPIRAN 1.....	103
DATA PENGUKURAN FLOWMETER A (OFM).....	103
LAMPIRAN 2.....	112
DATA PENGUKURAN FLOWMETER B (TFM) .....	112
LAMPIRAN 3.....	121
DATA PENGUKURAN FLOWMETER C (OFM).....	121
LAMPIRAN 4.....	130
DATA PENGUKURAN FLOWMETER D (TFM) .....	130
LAMPIRAN 5.....	139
DATA PENGUKURAN FLOWMETER E (USM) .....	139

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1.	Skematik jaringan pipa penyalur gas bumi.....	3
Gambar 2. 1.	Geometri plat orifice dari OFM .....	7
Gambar 2. 2.	Deformasi pada OFM dalam mm .....	10
Gambar 2. 3.	Perbandingan tekanan pada OFM tanpa dan dengan deformasi pada OFM dalam mm .....	10
Gambar 2. 4.	Konfigurasi OFM lubang banyak pada <i>orifice plate</i> .....	11
Gambar 2. 5.	Pengaruh jumlah lubang OFM pada <i>profile</i> tekanan sepanjang sumbu poros OFM .....	11
Gambar 2. 6.	Pengaruh jumlah lubang OFM pada beda tekanan terhadap laju aliran .....	12
Gambar 2. 7.	Pengaruh jumlah lubang OFM pada koefisien laju aliran terhadap bilangan <i>Reynolds</i> .....	12
Gambar 2. 8.	Pengaruh rasio tekanan pada tekanan statik lokal sepanjang sumbu poros OFM .....	13
Gambar 2. 9.	Pengaruh rasio tekanan pada koefisien laju aliran pada tekanan <i>upstream</i> tertentu .....	14
Gambar 2. 10.	Definisi tekanan .....	15
Gambar 2. 11.	Terminologi tekanan gas (kiri) secara umum (kanan) definisi oleh <i>Fluent</i> .....	15
Gambar 2. 12.	Definisi massa jenis .....	16
Gambar 2. 13.	Kecepatan alir dan lintasan alir.....	17
Gambar 2. 14.	Ilustrasi control volume menggunakan cell segitiga utnuk diskretisasi .....	20
Gambar 2. 15.	Kontrol volume menggunakan <i>quadrilateral grid</i> .....	21
Gambar 2.16.	Fungsi PDF terhadap fungsi waktu ( $f(t)$ ) distribusi <i>Weibull</i> .....	29
Gambar 2.17.	Fungsi PDF terhadap fungsi waktu ( $f(t)$ ) distribusi normal.....	29
Gambar 2.18.	Fungsi PDF terhadap fungsi waktu ( $f(t)$ ) distribusi <i>lognormal</i> ...	30
Gambar 2.19.	Fungsi PDF terhadap fungsi waktu ( $f(t)$ ) distribusi exponential .	30

Gambar 3. 1.	Kerangka Kerja .....	34
Gambar 3.2.	Perangkat OFM-A .....	37
Gambar 3.3.	Perangkat OFM-C .....	39
Gambar 3.4.	<i>Turbine flowmeter</i> untuk bahan bakar turbin gas.....	39
Gambar 3.5.	<i>Turbine flowmeter</i> untuk bahan bakar <i>gas engine generator</i> .....	40
Gambar 3.6.	<i>Turbine flowmeter</i> untuk bahan bakar <i>gas engine generator</i> .....	40
Gambar 3.7.	Tampilan HMI dari DCS (a) Stasiun Kompresor dan (b) & (c) SCADA metering Pagardewa PGN.....	41
Gambar 3.8.	Diagram alir pengolahan data OFM-C.....	42
Gambar 3.9.	Diagram alir Pengolahan data USM.....	43
Gambar 3.10.	Diagram alir proses pengolahan data statistik laju aliran hasil pengukuran OFM posisi A .....	45
Gambar 3.11.	Diagram alir proses visualisasi aliran menggunakan simulasi numerik aliran melalui OFM.....	47
Gambar 3.12.	Struktur simulasi numerik .....	48
Gambar 3.13.	Struktur simulasi numerik menggunakan <i>Fluent</i> .....	49
Gambar 3.14.	Geometri OFM .....	49
Gambar 3.15.	Geometri OFM dan meshing panjang pipa diameter 28 in .....	50
Gambar 3.16.	<i>Meshing</i> pada geometri OFM.....	51
Gambar 3.17.	<i>Meshing</i> pada lubang geometri OFM.....	51
Gambar 3.18.	Kualitas <i>meshing</i> pada lubang <i>vena kontrakta</i> OFM .....	51
Gambar 3.19.	Diagram alir proses iterasi dengan skema <i>SIMPLE</i> .....	53
Gambar 4. 1.	Sebaran tekanan [P] POP1 - POP9 pada bidang Laju aliran gas Q dalam ruang koordinat kartesian TPQ.....	56
Gambar 4. 2.	Sebaran Laju Aliran [Q] POP1 - POP9 pada bidang Laju aliran gas Q dalam ruang koordinat kartesian TPQ.....	57
Gambar 4. 3.	Sebaran Temperatur [T] POP1 - POP9 pada bidang Laju aliran gas Q dalam ruang koordinat kartesian TPQ.....	58
Gambar 4. 4.	Kurva P-Plot variabel Q [mmscfd] dari semua populasi.....	60
Gambar 4. 5.	Kurva Sebaran Normal masing-masing Q dari masing-masing POP	
	63	

Gambar 4. 6.	Kurva Sebaran <i>Lognormal</i> masing-masing Q dari masing-masing POP .....	64
Gambar 4. 7.	Kurva Sebaran <i>Weibull</i> masing-masing Q dari masing-masing POP .....	65
Gambar 4. 8.	Matriks Korelasi <i>Pearson</i> pada data masing- masing Q-T dari masing-masing POP1-POP3 .....	67
Gambar 4. 9.	Matriks Korelasi <i>Pearson</i> pada data masing- masing Q-T dari masing-masing POP4-POP6 .....	68
Gambar 4. 10.	Matriks Korelasi <i>Pearson</i> pada data masing- masing Q-T dari masing-masing POP7-POP9 .....	69
Gambar 4. 11.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>1</sub> (8,19%) dan C <sub>1'</sub> (0,53%) POP1 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	72
Gambar 4. 12.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>2</sub> (6,59%) dan C <sub>2'</sub> (0,44%) POP2 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	72
Gambar 4. 13.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>3</sub> (5,77%) dan C <sub>3'</sub> (0,72%) POP3 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	73
Gambar 4. 14.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>5</sub> (13,17%) dan C <sub>5'</sub> (0,84%) POP5 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	73
Gambar 4. 15.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>6</sub> (8,29%) dan C <sub>6'</sub> (0,71%) POP6 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	74
Gambar 4. 16.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>9</sub> (8,35%) dan C <sub>9'</sub> (0,67%) POP9 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	74
Gambar 4. 17.	Sebaran laju aliran rata-rata (nilai penyimpangan rata-rata) C <sub>9</sub> (8,35%) dan C <sub>9'</sub> (0,67%) dari 9 populasi pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	75
Gambar 4. 18.	Sebaran penyimpangan dari rata-rata nilai 6 populasi pada koordinat OFM-C' vs Δ .....	76
Gambar 4. 19.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>1</sub> test (7,45%) dan C <sub>1'</sub> test (2,60%) POPt1 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	77
Gambar 4. 20.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>2</sub> test (8,53%) dan C <sub>2'</sub> test (1,45%) POPt2 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	77

Gambar 4. 21.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>3</sub> test (8,41%) dan C <sub>3</sub> ' test (1,22%) POPt3 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	78
Gambar 4. 22.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>4</sub> test (10,58%) dan C <sub>4</sub> ' test (3,40%) POPt4 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	78
Gambar 4. 23.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>5</sub> test (11,18%) dan C <sub>5</sub> ' test (3,74%) POPt5 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	79
Gambar 4. 24.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>6</sub> test (9,24%) dan C <sub>6</sub> ' test (2,73%) POPt6 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	79
Gambar 4. 25.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>7</sub> test (3,38%) dan C <sub>7</sub> ' test (4,76%) POPt7 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	80
Gambar 4. 26.	Sebaran laju aliran (nilai penyimpangan) C <sub>8</sub> test (6,59%) dan C <sub>8</sub> ' test (1,36%) POPt8 pada koordinat OFM-C' vs USM-E' .....	80
Gambar 4. 27.	Perbandingan nilai/model faktor koreksi (C <sub>d</sub> ) OFM-C .....	83
Gambar 4. 28.	Perbandingan nilai/model faktor koreksi (C <sub>d</sub> ) OFM-C pada kelompokpopulasi test.....	83
Gambar 4. 29.	Perbandingan laju aliran melalui OFM-C menggunakan nilai/model faktor koreksi (C <sub>d</sub> ) pada kelompok populasi test.....	84
Gambar 4. 30.	Perbandingan laju aliran melalui OFM-C menggunakan nilai/model faktor koreksi (C <sub>d</sub> ) pada kelompok populasi test.....	85
Gambar 4. 31.	Bidang kurva dari sebaran faktor koreksi (C <sub>d</sub> ) di dalam koordinat ruang C <sub>d</sub> terhadap d/D dan R <sub>eD</sub> .....	85
Gambar 4. 32.	Tampak atas bidang kurva sebaran faktor koreksi (Cd) pada ruang 3 dimensi .....	86
Gambar 4. 33.	Grafik Hubungan Cd vs ReD.....	86
Gambar 4. 34.	Grafik Hubungan Cd vs $\beta$ .....	87
Gambar 4. 35.	Sebaran kecepatan aliran gas pada tekanan 393,65 psig, laju aliran 124,52 [mmscfd] serta temperature 80,7 degF.....	88
Gambar 4. 36.	Sebaran kecepatan aliran gas pada tekanan 404,67 psig, laju aliran 133,44 [mmscfd] serta temperature 80,7 degF.....	88
Gambar 4. 37.	Sebaran kecepatan aliran gas pada tekanan 413,37 psig, laju aliran 138,64 [mmscfd] serta temperature 80,7 degF.....	89

- Gambar 4. 38. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 393,65 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] ..... 90
- Gambar 4. 39. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 404,67 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] ..... 90
- Gambar 4. 40. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 413.37 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] ..... 91
- Gambar 4. 41. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 393,65 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] serta temperature 80.7 degF .. 92
- Gambar 4. 42. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 404,67 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] serta temperature 80.7 degF .. 93
- Gambar 4. 43. *Profile* kecepatan [ft/s] sepanjang aliran gas pada tekanan 413,37 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd] serta temperature 80.7 degF .. 94
- Gambar 4. 44. Sebaran tekanan absolut [psi] aliran gas pada tekanan 393.65 psig, laju aliran 124.52 [mmscfd]..... 94
- Gambar 4. 45. Sebaran tekanan absolut [psi] aliran gas pada tekanan 404.67 psig, laju aliran 133.44 [mmscfd]..... 95
- Gambar 4. 46. Sebaran tekanan absolut [psi] aliran gas pada tekanan 413.37 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd]..... 95
- Gambar 4. 47. Kurva penurunan tekanan aliran gas saat melalui OFM-C pada tekanan 393.65 psig, laju aliran 124.52 [mmscfd]..... 96
- Gambar 4. 48. Kurva penurunan tekanan aliran gas saat melalui OFM-C pada tekanan 404.67 psig, laju aliran 133.44 [mmscfd]..... 96
- Gambar 4. 49. Kurva penurunan tekanan aliran gas saat melalui OFM-C pada tekanan 413.37 psig, laju aliran 138.64 [mmscfd]..... 97
- Gambar 4. 50. Kurva penurunan tekanan aliran gas saat melalui OFM-C pada tekanan 393,65 psi, 404,67 psi dan 413,37 psi. .... 97

## **DAFTAR TABEL**

Tabel 3. 1. Datasheet Plat <i>Orifice</i> .....	38
Tabel 3. 2. Dimensi dari geometri OFM pada Tag No 20-FE-1001 .....	50
Tabel 3. 3. Sifat fluida kerja gas bumi yang melalui OFM .....	52
Tabel 4. 1. Hasil Uji <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	61
Tabel 4. 2. Nilai p Pada Uji sebaran (berdasarkan Gambar 4.3 – Gambar 4.5) ...	62
Tabel 4. 3. Nilai r pada uji Korelasi <i>Pearson</i> .....	66

## NOMENKLATUR

OFM	Orifice Flowmeter
TFM	Turbine Flowmeter
USM	Ultrasonic Flowmeter
CFD	Computational Fluid Dynamic
Qi	Laju Alir ke-i ( i=1,2,...9)
C	Faktor Koreksi
Cd	Discharge Coefficient
d	Diameter lubang orifice
D	Diameter pipa
$\beta$	Rasio d/D
Re	Bilangan Reynold
MMSCFD	million standard cubic feet per day
MMSBTUD	million standard british thermal unit per day
POPi	Populasi ke-i ( i=1,2,...9)
POPti	Populasi test ke-i ( i=1,2,...8)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
HMI	Human Machine Interface

## ABSTRAK

Bunyamin. 03032611822001. Pengembangan Faktor Koreksi *Orifice Flowmeter* Aliran Gas Bumi dalam Pipa. Tesis, Palembang: Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Desember 2019.

Berdasarkan pengamatan hasil pengukuran seluruh *flowmeter* yang terdapat pada Stasiun Gas PT.PGN di Pagardewa, dapat diketahui adanya anomali pada hasil pengukuran flowmeter C (OFM C) yang tidak memenuhi proses aliran secara normal. OFM C mengalami penyimpangan yang cukup besar dalam kisaran 5,77% sampai 18,19%. Hal ini mengindikasikan adanya *error* pengukuran yang melebihi toleransi ( $\pm 0,53\%$ ).

Pada umumnya, permasalahan tersebut dapat diatasi dengan cara melakukan kalibrasi ulang OFM C. Namun, kalibrasi pada kondisi tidak beroperasi (*off-line*) tidak dapat dilakukan pada OFM C. Hal ini dikarenakan kebutuhan penyaluran gas bumi yang kontinyu (*non-stop*) memaksa *flowmeter* C untuk dapat bekerja secara kontinyu pula. Oleh karena itu dibutuhkan suatu Pengembangan *discharge coefficient* (faktor koreksi) pada OFM C.

Guna mendapatkan data yang valid dalam pengembangan model faktor koreksi, pemodelan faktor koreksi pada penelitian ini dilakukan dengan metode uji statistik terhadap rekaman data historis yang dipilih,. Model faktor koreksi ini mampu menurunkan penyimpangan rentang 0,44% sampai 4,76%. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa faktor koreksi sangat berhasil meningkatkan kualitas hasil pengukuran pada OFM-C. Disamping itu, didapatkan pula kesimpulan bahwa persamaan Benedict dengan modifikasi dapat dipertimbangkan untuk digunakan sebagai model faktor koreksi.



Palembang, 02 Desember 2019

Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004

## ABSTRACT

Bunyamin. 03032611822001. Development of Correction Factors for Orifice Flowmeter in in-pipe Natural Gas Flow. Thesis, Palembang: Engineering Faculty, Sriwijaya University, December 2019.

Based on the observations of the measurements results for all of flowmeters at PT.PGN Gas Station in Pagardewa, it can be seen that there are anomalies on flowmeter C (OFM C) measurements results that do not meet the normal flow process. OFM C experiences significant deviations in the range of 5.77% to 18.19%. This condition indicates a measurement error that exceeds the permitted tolerance ( $\pm 0.53\%$ ).

In general, to overcome the above problems, it can be done by re-calibration the OFM C. However, calibration in off-line condition cannot be done for OFM C. This is due to the need for continuous distribution of natural gas (non-stop) forces the flowmeter C to work continuously as well. Therefore, a development of discharge coefficient (correction factor) for OFM C is needed.

In order to obtain valid data in the development of the correction factor model, the correction factor modeling in this study was carried out by using the statistical test method for selected recording historical data. This correction factor model can reduce the range of deviations from 0.44% to 4.76%. From the test results, it can be concluded that the correction factor is very successful in improving the quality of measurement results for OFM-C. Besides that, it can also be concluded that Benedict's equation with modification can be considered to be used as a correction factor model.



Mengetahui,  
Koordinator Program Studi  
Magister Teknik Mesin

Aging Mataram, S.T., M.T., Ph.D.  
NIP. 197901052003121002

Palembang, 02 Desember 2019

Pembimbing,

Prof. Dr. Ir. H. Kaprawi, DEA  
NIP. 195701181985031004

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pengukuran aliran fluida merupakan salah satu kegiatan yang banyak dilakukan pada industri transportasi fluida atau kegiatan penelitian di laboratorium. Salah satu alat ukur yang banyak digunakan untuk mengukur aliran fluida tersebut adalah *Orifice Flowmeter* (OFM). OFM banyak digunakan dalam proses pengukuran aliran dikarenakan OFM memiliki beberapa kelebihan, diantaranya: (i) memiliki konstruksi yang sederhana, (ii) Instalasi OFM sangat mudah dilakukan, dan (iii) dapat diterapkan bukan hanya untuk aliran fluida yang dapat dimampatkan (*compressible*) tetapi juga untuk aliran fluida yang tidak dapat dimampatkan (*incompressible*).

Kebanyakan permasalah yang sering muncul di industri berhubungan dengan perbedaan nilai aliran yang ditampilkan pada alat ukur. Ketika 2 instrumen alat ukur, seperti *Orifice Flowmeter* (OFM) dan *Ultrasonic Meter* (USM), digunakan secara bersamaan untuk mengukur aliran gas alam, maka akan muncul perbedaan hasil pengukuran sekitar 3% hingga 6%. Pada umumnya, hasil pengukuran USM selalu diasumsikan benar. Hal ini dikarenakan, USM selalu dikalibrasi secara berkala. Berdasarkan hal tersebut, kesalahan pengukuran yang terjadi selalu diindikasikan sebagai ketidakakuratan hasil pengukuran OFM. Ketidakakuratan pengukuran aliran tersebut dapat disebabkan oleh geometri lubang OFM yang mengalami perubahan dikarenakan adanya deformasi sebagai akibat dari tekanan aliran gas pada permukaan bagian dalam lubang logam OFM. Kis (Kiš *et al.*, 2013) menyatakan deformasi lubang OFM akan mengubah kondisi (sifat) aliran gas alam yang mengalir melalui lubang OFM. Menurut Campos (Campos *et al.*, 2014), penyebab lain yang mempengaruhi kesalahan adalah adanya fraksi cair dalam pengukuran aliran gas yang dapat menyebabkan pembacaan kesalahan pengukuran hingga 35%.

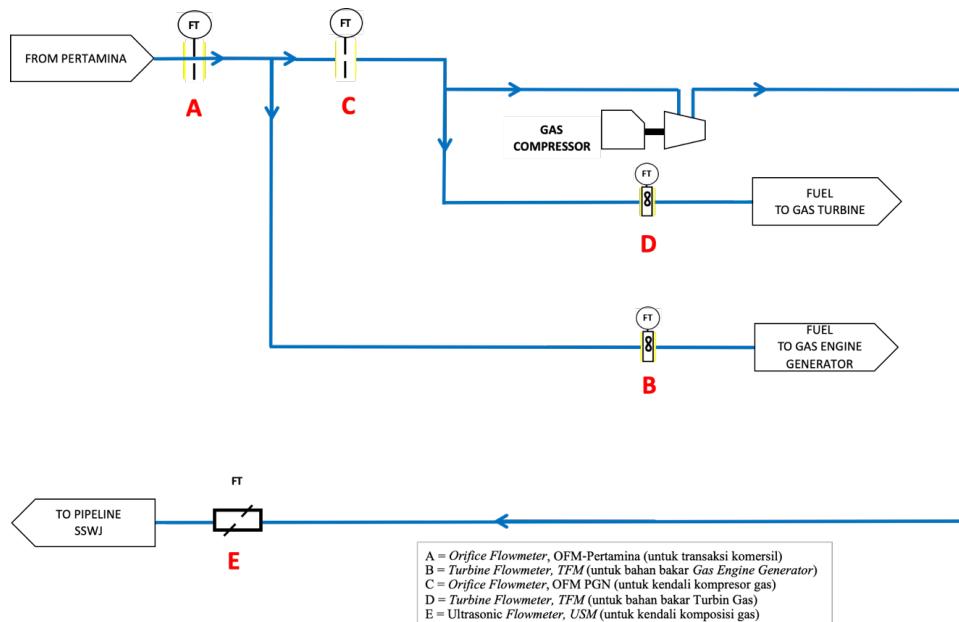
Untuk menampilkan nilai aliran yang lebih dekat dengan hasil pengukuran USM, faktor konversi sinyal listrik ke nilai aliran oleh pembaca data OFM (*DP Transmitter*) perlu diprogram ulang. Proses pemrograman ulang membutuhkan faktor koreksi yang berasal dari koefisien aliran, dimana data tersebut dapat diperoleh dari pengamatan atau analisis kondisi aliran gas alam melalui OFM. Berdasarkan latar belakang yang diuraikan ini, maka untuk memperbaiki nilai pembacaan kedua instrumen alat ukur tersebut, diperlukan suatu proses simulasi numerik dari aliran gas alam yang melewati OFM.

Banyak peneliti sebelumnya yang telah melakukan penelitian menggunakan proses simulasi numerik (*Computational Fluid Dynamics: CFD*) untuk aliran fluida yang melewati OFM, seperti pada penelitian (Singh, Singh and Seshadri, 2010);(Gohil Haikrishna V., 2014); (Karthik *et al.*, 2015); (Babu, M.K.J, Gowda G.C.J, 2017); (Dhairyashil Dhumal, Yashwant More and Ujwal Gawai, 2017); (Ebrahimi *et al.*, 2017). Babu (Babu, M.K.J, Gowda G.C.J, 2017) melakukan simulasi numerik dan tes untuk memprediksi koefisien aliran OFM dengan tingkat kesalahan koefisien aliran 0%, 4% hingga 2,6%. Ebrahimi et.al (Ebrahimi *et al.*, 2017) telah melakukan penelitian tentang koefisien aliran kavitas tekanan tinggi melalui OFM berdasarkan studi analitik, tes dan simulasi numerik. Gohil et.al (Gohil Haikrishna V., 2014) telah melakukan proses simulasi numerik pengurangan tekanan aliran dalam OFM menggunakan metode elemen hingga. Dhumal et.al (Dhairyashil Dhumal, Yashwant More and Ujwal Gawai, 2017) telah melakukan simulasi desain, pembuatan dan numerik OFM dengan variasi jumlah (1 hingga 5) lubang vena kontrakta. Singh et.al (Singh, Singh and Seshadri, 2010) dan Karthik et.al (Karthik *et al.*, 2015) telah melakukan penelitian kinerja OFM melalui proses simulasi numerik menggunakan 4 model turbulen, yaitu model  $\kappa-\epsilon$  yang dapat direalisasikan, model  $\kappa-\epsilon$  standar, model RNG  $\kappa-\epsilon$ , dan *Reynolds Stress Model* (deviasi terkecil 2,67%).

Penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh beberapa peneliti terkait dengan penyimpangan hasil pengukuran antara OFM dan USM yang hanya terbatas pada analisis besarnya dan penyimpangan profil secara eksperimental, dimana analisis data dilakukan hanya berdasarkan hasil pembacaan instrumen. Pada penelitian ini yang akan dilakukan adalah mengkaji kondisi aliran melalui OFM-C

dengan cara olah data statistik serta mengembangkan model faktor koreksi terhadap aliran yang terukur oleh OFM-C. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan faktor koreksi berdasarkan hasil pengukuran OFM dan USM sebagai referensi.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian kami sebelumnya (Bunyamin *et al.*, 2019), yang membahas tentang *turbine flowmeter*. Namun, pada penelitian sekarang ini, studi kasus difokuskan pada OFM dan USM di Stasiun Gas PT.PGN di Pagardewa. Diagram blok lengkap dari sistem pengukuran ditunjukkan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1. Skematik jaringan pipa penyalur gas bumi

Sistem ini terdiri dari 2 unit *Flowmeter* tipe turbin (*Flowmeter* B dan D), 2 unit *Flowmeter* tipe *orifice* (*Flowmeter* A dan C), dan 1 unit *Flowmeter* tipe *Ultrasonic Meter* (USM, *Flowmeter* E). *Flowmeter* A sebagai *Custody Meter* ditempatkan di Stasiun Gas milik Pertamina, sedangkan yang *flowmeter* lainnya di Stasiun Gas milik PGN. Secara umum nilai dari pengukuran *metering* harus memenuhi persamaan 1.1 berikut ini (Lihat Gambar 1.1 untuk detailnya).

$$C = A - B \text{ atau } C = D + E \quad (1.1)$$

dimana:

- A = *Orifice Flowmeter*, OFM-Pertamina (untuk transaksi komersil)
- B = *Turbine Flowmeter*, TFM (untuk bahan bakar *Gas Engine Generator*)
- C = *Orifice Flowmeter*, OFM PGN (untuk kendali kompresor gas)
- D = *Turbine Flowmeter*, TFM (untuk bahan bakar Turbin Gas)
- E = *Ultrasonic Flowmeter*, USM (untuk kendali komposisi gas)

Pada kenyataannya, hasil pengukuran di lapangan menunjukkan bahwa nilai E selalu lebih besar dari pembacaan nilai C. Hal ini mengindikasikan adanya *error* pengukuran yang melebihi toleransi dalam pembacaan laju aliran gas. Keadaan seperti ini memerlukan analisis lebih lanjut, dimana faktor koreksi pada *flowmeter* tersebut sangat diperlukan guna memperbaiki hasil pembacaan alat ukur.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan pengamatan hasil pengukuran pada semua *flowmeter* pada gambar 1.1 dapat diketahui adanya anomali pada hasil pengukuran *flowmeter* C (OFM) yang tidak memenuhi proses aliran secara normal. Hal ini dapat dipahami dimana dari semua *flowmeter*, hanya *flowmeter* C yang tidak dilakukan kalibrasi rutin, Hal ini dikarenakan kebutuhan penyaluran gas bumi yang kontinyu (*non-stop*) mengakibatkan penjadwalan kalibrasi pada kondisi tidak beroperasi (*off-line*) tidak dapat dilakukan. Metode yang paling mungkin dapat dilakukan pada kondisi ini adalah dengan melakukan evaluasi *discharge coefficient* atau disebut sebagai “faktor koreksi” dari perhitungan laju aliran pada pemrograman hasil pengukuran OFM dengan melakukan pemodelan korelasi laju aliran dari *flowmeter* lainnya dalam satu sistem perpipaan yang merujuk pada *flowmeter* A dan E sebagai referensi dan dianggap valid karena terkalibrasi rutin oleh instansi berwenang (direktorat metrologi). Selanjutnya dilakukan pengujian model faktor koreksi menggunakan populasi data lain dan visualisasi aliran menggunakan metode CFD (*computational fluid dynamic*).

### 1.3. Batasan Masalah

Pengembangan faktor koreksi OFM ini dibatasi pada asumsi:

1. Adanya perubahan geometri dimana persamaan faktor koreksi merupakan fungsi beta (rasio diameter lubang *orifice* terhadap diameter pipa) dan bilangan *Reynolds*.
2. Sifat fluida (gas bumi) adalah satu fasa.
3. Struktur material *orifice plate* adalah *rigid*.
4. Faktor koreksi OFM yang disimulasikan adalah koreksi pada perhitungan laju alir yang diukur oleh *flowmeter C* sedangkan data *flowmeter A, B, D* dan *E* dianggap valid karena telah dilakukan tera/kalibrasi secara rutin dan disahkan oleh Direktorat Metrologi.
5. *Pressure drop* dan *losses* akibat jarak antar *flowmeter* diabaikan

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model faktor koreksi dari data yang diolah menggunakan metode statistik sebagai evaluasi kuantitatif data input simulasi.
2. Menguji model faktor koreksi yang telah diperoleh menggunakan data dari kelompok populasi lainnya (selanjutnya disebut data penguji) dan membuat visualisasi aliran OFM terkoreksi menggunakan *software* simulasi numerik CFD (*computational fluid dynamic*).

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari model faktor koreksi perhitungan laju aliran hasil pengukuran OFM yang secara ekonomis dapat meminimalkan kerugian dari proses komersialisasi gas bumi dan secara teknis dapat meningkatkan kehandalan dan akurasi pada sistem pengendalian mesin atau peralatan yang menggunakan OFM

sebagai sistem kendali proses di laboratorium maupun industri minyak dan gas bumi.

### **1.6. Sistematika Penulisan**

Tesis ini terdiri dari lima (5) bab, seperti yang diuraikan berikut ini:

Bab 1 berisi latar belakang dilakukannya penelitian ini.

Bab 2 berisi tentang tinjauan pustaka yang berkaitan dengan tesis ini.

Bab 3 berisi tentang metodologi penelitian.

Bab 4 menyajikan data hasil dan pembahasan, dan

Bab 5 berisi kesimpulan dan saran.

## DAFTAR PUSTAKA

- 5167-1, E. N. ISO. (2003) ‘Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular-Cross Section Conduits Running Full-Part 1: General Principles and Requirements’. (ISO, 5167-1:2003).
- Anderson, J. D. J. (1995) ‘Computational Fluid Dynamics’, *Mc Graw Hill International Edition*. Mc Graw Hill International Edition.
- Babu, M.K.J, Gowda G.C.J, R. K. (2017) ‘Discharge Coefficient Prediction for Multi hole Orifice Plate in a Turbulent Flow through Pipe: Experimental and Numerical Investigation’, *International Journal of Engineering Research in Mechanical and Civil Engineering (IJERMCE)*, 2.
- Benedict, R. (1984) *Fundamental of Temperature, Pressure and Flow Measurement*. 3rd Editio. John Wiley and Sons.
- Bunyamin, Husni, N. L., Basri, H., & Yani, I. (2019). Challenges in Turbine Flow Metering System: An Overview. *Journal of Physics: Conference Series*, 1198(4). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1198/4/042010>
- Campos, S. R. V., Baliño, J. L., Slobodcicov, I., Filho, D. F., & Paz, E. F. (2014). Orifice plate meter field performance: Formulation and validation in multiphase flow conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 58, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2014.06.018>
- Dhairyashil Dhumal, Yashwant More and Ujwal Gawai (2017) ‘Design, Fabrication CFD Analysis of Multi-Hole Orifice Plate’, *International Journal of Engineering Research and*, V6(06), pp. 353–357. doi: 10.17577/ijertv6is060161.
- Ebrahimi, B., He, G., Tang, Y., Franchek, M., Liu, D., Pickett, J., ... Franklin, D. (2017). Characterization of high-pressure cavitating flow through a thick orifice plate in a pipe of constant cross section. *International Journal of Thermal Sciences*, 114, 229–240. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.01.001>
- EN, ISO, 5167-2 (2003) ‘Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices Inserted in Circular-Cross Section Conduits Running Full-Part 2: Orifice Plates, International Standard’.
- Fluent, Inc. (2006) ‘Guideline Document’, *Centerra Resource Park, 10 Cavendish Court, Lebanon, NH 03766*, 3766.
- Gohil Haikrishna V., A. M. A. (2014) ‘Finite Element Analysis of Pressure Drop in Orifice Meter’, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*.
- Harinaldi (2005), Prinsip-Prinsip Statistik Untuk Teknik Dan Sains, Jakarta: Erlangga
- Henk Kaarle Versteeg, W. M. (2007). an-Introduction-To-Computational-Fluid-Dynamics-Versteeg.Pdf. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, p. 507.
- Karthik, G., S, Y., Kumar, K. J., & Seshadri, V. (2015). Prediction of Performance Characteristics of Orifice Plate Assembly for Non-Standard Conditions Using

- CFD. *International Journal of Engineering and Technical Research*, 3(5), 2321–2869.
- Kiš, R., Janovcová, M., Malcho, M., & Jandačka, J. (2013). The impact of the orifice plate deformation on the differential pressure value. *EPJ Web of Conferences*, 45, 2–5. <https://doi.org/10.1051/epjconf/20134501049>
- Petra Petrovics (2012), SPSS Tutorial and Exercise Book, Miskolc Report 3, A. (2003) ‘Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids Part 1: General Equations and Uncertainty Guidelines, AGA and API 1990, 2003, Catalog No.XQ9017, June 2003’, *Catalog No.XQ9017*. Catalog No.XQ9017, (3).
- SAM IL Industry Co., L. (2019) ‘434-12, 44BL, 12LT’, *Non Hyun-Dong, Nam Dong-Gu, Incheon, Korea*.
- Singh, R. K., Singh, S. N. and Seshadri, V. (2010) ‘Performance evaluation of orifice plate assemblies under non-standard conditions using CFD’, *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 17(6), pp. 397–406.
- Sugianto (2011) *Simulasi Numerik Pemisahan Aliran Dua Phase Kerosene-water di dalam T-junction*.
- Sugiyono (2005), Statistika Untuk Penelitian, Bandung: Alfabeta
- Walpole (2011) *Probability and Statistic for Engineers and Scientists*, Prentice Hall.