



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN METER GAS
MENGUNAKAN METER ORIFICE DAN
METER ULTRASONIK**

SKRIPSI

**YANUAR YUDHA ADI PUTRA
0606043332**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS KETIDAKPASTIAN PENGUKURAN METER GAS
MENGUNAKAN METER ORIFICE DAN
METER ULTRASONIK**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik

**YANUAR YUDHA ADI PUTRA
0606043332**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM EKSTENSI TEKNIK KIMIA
DEPOK
JANUARI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Yanuar Yudha Adi Putra

NPM : 0606043332

Tanda Tangan :


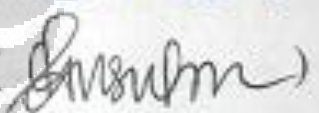

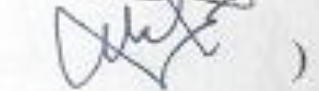
Tanggal : 2 Januari 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Yanuar Yudha Adi Putra
NPM : 0606043332
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Judul Skripsi : Analisis Ketidakpastian Pengukuran Meter Gas Menggunakan Meter Orifice Dan Meter Ultrasonik

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Ekstensi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Asep Handaya Saputra, MEng, ()
Penguji : Dr. Ir. Praswasti PDK Wulan, MT, ()
Penguji : Ir. Dijan Supramono, M.Sc, ()
Penguji : Dr. Ir. Sukirno, M.Eng, ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 17 Januari 2012

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim,

Alhamdulillah serta puji dan syukur tak hentinya penulis panjatkan kepada Allah SWT serta shalawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW atas segala rahmat dan Hidayah-Mu sehingga penulis dapat menyelesaikan makalah seminar ini dengan sebaik-baiknya.

Skripsi dengan judul "Analisis Ketidakpastian Pengukuran Meter Gas Menggunakan Meter Orifice dan Meter Ultrasonik" ini disusun sebagai salah satu prasyarat dalam menyelesaikan studi program sarjana pada Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

Dalam penulisan makalah ini, penulis sadar akan bantuan dan dukungan yang telah diberikan oleh berbagai pihak kepada penulis. Maka dari itu, penulis secara khusus ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada :

1. Bapak, Ibu, Mbak Hesti, Adik Adi, Istriku dan Putraku tersayang atas semua dukungan doa dan kasih sayang serta segala yang telah diberikan.
2. Bapak Dr. Asep Handaya Saputra atas bimbingan dan ilmu yang bermanfaat bagi penulis.
3. Bapak Bambang Heru, MT selaku Pembimbing Akademik penulis.
4. Serta berbagai pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu untuk segala kontribusinya.

Penulis berharap bahwa makalah ini dapat berguna suatu saat kelak bagi setiap orang yang membacanya. Kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan oleh penulis agar perbaikan demi perbaikan dapat terus dilakukan untuk mencapai hasil yang lebih baik lagi.

Depok, Januari 2012



Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yanuar Yudha Adi Putra
NPM : 0606043332
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Analisis Ketidakpastian Pengukuran Meter Gas Menggunakan
Meter Orifice Dan Meter Ultrasonik.**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok, Jawa Barat, Indonesia

Pada tanggal : 2 Januari 2012

Yang menyatakan



(Yanuar Yudha Adi Putra)

ABSTRAK/ABSTRACT

Nama : Yanuar Yudha Adi Putra
Program Studi : Ekstensi Teknik Kimia
Judul : **Analisis Ketidakpastian Pengukuran Meter Gas Menggunakan Meter Orifice dan Meter Ultrasonik.**

Pada salah satu fasilitas pipa transmisi terjadi perbedaan pengukuran antara *metering system* ultrasonik dan orifice, dimana perbedaan nilainya yang semakin besar. Hal ini terjadi ketika pasokan gas alam dari produsen yang jual beli gasnya menggunakan meter ultrasonik dan penyaluran gas ke pelanggan yang jual belinya menggunakan meter orifice. Oleh karena itu sangat perlu dilakukan penelitian guna mencari penyebab dari adanya kecenderungan kenaikan perbedaan pengukuran tersebut. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah melakukan analisis terhadap ketidakpastian pengukuran *metering system*, dimana terpasang dua jenis *metering system* yang dipasang secara seri yaitu *ultrasonic metering system* dan *orifice metering system*.

Hasil analisis ketidakpastian pengukuran untuk periode pengamatan setelah recalibrasi menunjukkan bahwa profil perbedaan pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik semakin besar dengan semakin besar kapasitas operasinya, dimana meter ultrasonik membaca laju alir fluida lebih besar dibandingkan meter orifice, dengan deviasi pengukuran maksimum sebesar -1,6% pada kapasitas maksimumnya. Sehingga perlu dilakukan penyesuaian jenis *metering system* yang digunakan.

Kata kunci : Meter Orifice, Meter Ultrasonik, Gas Alam, Stasiun

Uncertainty Measurement Analysis of Gas Meter Using Orifice Meter and Ultrasonic Meter

At one of the transmission pipe facility happened difference of measurement between ultrasonic metering system and orifice metering system, where difference of this ever greater value. This matter happened when natural gas supply form producer which is gas sales use ultrasonic metering system and delivery of gas to cutomer which is sales use orifice metering system. Therefore very require to do the research to look for cause for existence of tendency of increase of difference of measurement.

Method which is used in this research is to analyse the uncertainty measurement of metering system, where installed two type of metering system which ultrasonic metering system in line with orifice metering system. Result of the analysis for the period of observation after recalibration indicate that profile difference of measurement between orifice metering system ever greater and ever greaterly its operation capacities increase, where ultrasonic metering system read flow rate bigger than orifice metering system, with maximum measurement difference equal to - 1,6% at maximum capacities. So that require to be done adjustment of type of metering system used.

Key word : Orifice Meter, Ultrasonic Meter, Natural Gas, Station

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	v
ABSTRAK/ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR SIMBOL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Penulisan	2
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Alat Ukur Laju Alir Gas Alam.....	4
2.1.1 Meter Orifice.....	4
2.1.1.1 Prinsip Kerja.....	5
2.1.1.2 Persamaan Laju Alir.....	5
2.1.1.2.1 Persamaan Laju Alir Teoritis	5
2.1.1.2.1 Persamaan Laju Alir Praktis.....	9
2.1.1.3 Kapasitas Minimum dan Maksimum	15
2.1.1.4 Komponen Utama	16
2.1.1.5 <i>Uncertainty</i>	19
2.1.1.6 Faktor – Faktor Penyebab Ketidak-akurasian	22
2.1.2 Meter Ultrasonik.....	23
2.1.2.1 Prinsip Kerja.....	23
2.1.2.2 Persamaan Laju Alir.....	24
2.1.2.3 Kapasitas Minimum dan Maksimum	26
2.1.2.4 <i>Uncertainty</i>	27
2.1.2.5 Faktor – Faktor Penyebab Ketidak-akurasian	28
2.1.3 Perbandingan Meter Orifice dengan Meter Ultrasonik.....	31
2.1.3.1 Kelebihan dan Kekurangan	32
2.1.3.2 Perbandingan Karakteristik Meter.....	34
2.2 Analisa Statistik	36
2.2.1 Pengolahan Data.....	36
2.2.2 Persamaan Regresi	38
2.2.2.1 Persamaan Regresi Satu Variabel.....	38
2.2.2.2 Persamaan Regresi Multi Variabel	38
2.2.2.3 Batas – batas Prediksi	38
2.2.3 Korelasi	39
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	40
3.1 Tahapan Penelitian	40

3.2	Tahapan Analisis Teknik.....	40
3.2.1	Perhitungan Kapasitas Minimum & Maksimum Meter Orifice	41
3.2.2	Perhitungan Kapasitas Minimum & Maksimum Meter Ultrasonik.....	44
3.2.3	Perhitungan <i>Uncertainty</i> Meter Orifice	45
3.3	Tahapan Analisis Statistik.....	47
3.3	Tahapan Analisis Operasi	48
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		50
4.1	Spesifikasi Teknis Meter Orifice dan Ultrasonik.....	50
4.1.1	Spesifikasi Teknis Meter Orifice	51
4.1.2	Spesifikasi Teknis Meter Ultrasonik.....	51
4.2	Data Operasional.....	52
4.3	Analisis Teknik	58
4.3.1	Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Terpasang	59
4.3.2	Perhitungan <i>Uncertainty</i> Meter Orifice	64
4.4	Analisis Statistik	80
4.4.1	Pengolahan Data.....	81
4.4.2	Penyajian Data	81
4.4.3	Perhitungan Deviasi Pengukuran	83
4.4.4	Perhitungan Koefisien Korelasi	85
4.4.5	Persamaan Regresi	86
4.5	Analisis Operasi	90
BAB 5 KESIMPULAN		94
DAFTAR REFERENSI.....		96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Profil Aliran Dan <i>Vena Contracta</i> Pada Meter Orifice.....	5
Gambar 2.2.	<i>Senior Orifice Fitting</i>	16
Gambar 2.3.	Bagian Dalam <i>Senior Orifice Fitting</i>	17
Gambar 2.4.	Meter Tube dan <i>Senior Orifice Fitting</i>	18
Gambar 2.5.	Pressure dan DP Transmitter.....	18
Gambar 2.6.	<i>Chart Recorder</i>	19
Gambar 2.7.	Profil Data Penelitian Murdock dan Chrisholm.....	22
Gambar 2.8.	Geometri Sederhana Meter Ultrasonik.....	24
Gambar 2.9.	<i>Multipath Ultrasonic Meter</i>	26
Gambar 2.10.	Alur pengolahan Data Pada Meter Orifice.....	31
Gambar 2.11.	Alur pengolahan Data Pada Meter Ultrasonik	32
Gambar 2.12.	Profil <i>Uncertainty</i> Meter Orifice terhadap Beta Rasio	33
Gambar 2.13.	Profil Perubahan Relatif <i>Uncertainty</i> terhadap Bilangan Reynold	33
Gambar 2.14.	Profil Persen Error Dikarenakan Pembacaan DP Transmiiter....	34
Gambar 2.15.	Hasil Kalibrasi Meter Ultrasonik 20 inchi.....	34
Gambar 2.16.	Hasil Kalibrasi Meter Ultrasonik 24 inchi.....	35
Gambar 2.17.	Spesifikasi Unjuk Kerja Meter Ultrasonik Dalam AGA 9	35
Gambar 2.18.	Profil Deviasi Pengukuran Meter Orifice, Turbin dan Ultrasonik	36
Gambar 3.1.	Diagram Alir Prosedur Kerja Penelitian	40
Gambar 3.2.	Diagram Alir Perhitungan Faktor Kompresibilitas Natural Gas.....	42
Gambar 3.3.	Diagram Alir Perhitungan Laju Alir <i>Natural Gas</i> Melalui Meter Orifice	43
Gambar 3.4.	Diagram Alir Perhitungan Laju Alir <i>Natural Gas</i> Melalui Meter Ultrasonik	45
Gambar 3.5.	Profil Aliran Perhitungan <i>Uncertainty</i> Pada Meter Orifice	46
Gambar 3.6.	Diagram Alir Perhitungan Analisis Statistik.....	47
Gambar 3.7.	Diagram Alir Perhitungan Analisis Operasi	48
Gambar 4.1.	Process Flow Diagram Stasiun Bojonegara	50
Gambar 4.2.	Profil Tekanan Operasi Periode 15 Jan – 30 April 2010	55
Gambar 4.3.	Profil Temperatur Operasi Periode 15 Jan – 30 April 2010	56
Gambar 4.4.	Profil <i>Differensial Pressure</i> Operasi Periode 15 Jan – 30 April 2010.....	57
Gambar 4.5.	Profil Fraksi C1(<i>Methane</i>) Periode 15 Jan – 30 April 2010	57
Gambar 4.6.	Profil Fraksi Gas Komposisi Periode 15 Januari – 30 April 2010... 58	
Gambar 4.7.	Profil Laju Alir Periode 15 Januari – 30 April 2010.....	58
Gambar 4.8.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter Orifice 1320 Sebelum dan Setelah Rekalibrasi	69
Gambar 4.9.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1320 Sebelum Rekalibrasi.....	70
Gambar 4.10.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1320 Setelah Rekalibrasi	72

Gambar 4.11.	Profil <i>Uncertainty</i> Meter orifice 1320 Sebelum dan Setelah Rekalibrasi.....	73
Gambar 4.12.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter orifice 1330 Sebelum dan Setelah.....	76
Gambar 4.13.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1330 Sebelum Rekalibrasi.....	78
Gambar 4.14.	Profil <i>Uncertainty</i> Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1330 Setelah Rekalibrasi.....	79
Gambar 4.15.	Profil <i>Uncertainty</i> Meter orifice 1330 Sebelum dan Setelah Rekalibrasi.....	80
Gambar 4.16.	Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Periode Pengamatan.....	82
Gambar 4.17.	Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Sebelum Rekalibrasi.....	84
Gambar 4.18.	Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Setelah Rekalibrasi.....	85
Gambar 4.19.	Profil Sebaran Data Operasi Terhadap Persamaan Regresi Satu Variabel.....	89
Gambar 4.20.	Profil Deviasi Pengukuran Berdasarkan Persamaan 4.5.....	89
Gambar 4.21.	Profil Deviasi Pengukuran Pada Meter Orifice Akibat <i>Mist</i>	90
Gambar 4.22.	Distribusi Data Operasi Meter Orifece Terhadap Kurva <i>Envelope</i>	91

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Range Data Untuk AGA NX19	11
Tabel 2.2.	Range Data Untuk Untuk Koefisien E Dalam AGA NX19.....	13
Tabel 2.3.	Koefisien Sensitivitas Untuk Perhitungan <i>Uncertainty</i> Meter Orifice.....	20
Tabel 2.4.	Perbandingan Meter <i>Performance</i>	34
Tabel 4.1.	Spesifikasi Teknis Meter Orifice 1320 A/B dan 1330 A/B	51
Tabel 4.2.	Spesifikasi Teknis Meter Ultrasonik 1310 A/B	51
Tabel 4.3.	Data Operasi Perjam Meter Ultrasonik 1310 A/B 15 Januari 2010	53
Tabel 4.4.	Data Operasi Perjam Meter Orifice 1320 A/B 15 Januari 2010	53
Tabel 4.5.	Data Operasi Perjam Meter Orifice 1330 A/B 15 Januari 2010	54
Tabel 4.6.	Data Operasi Perhari Gas Komposisi <i>Metering Systems</i> 15 Januari 2010	55
Tabel 4.7.	Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Ultrasonik	60
Tabel 4.8.	Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Orifice 1320	63
Tabel 4.9.	Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Orifice 1330	64
Tabel 4.10.	Error Transmitter Meter Orifice 1320 Hasil Rekalibrasi 11 – 14 Maret 2010	65
Tabel 4.11.	Error Transmitter Meter Orifice 1330 Hasil Rekalibrasi 11 – 14 Maret 2010	65
Tabel 4.12.	Spesifikasi Teknis Meter Orifice 1320 dan 1330.....	66
Tabel 4.13.	<i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter Orifice 1320 Sebelum Rekalibrasi	67
Tabel 4.14.	<i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter Orifice 1320 Setelah Rekalibrasi.....	68
Tabel 4.15.	<i>Uncertainty</i> Tipe 2 Meter Orifice 1320 Sebelum Rekalibrasi	70
Tabel 4.16.	<i>Uncertainty</i> Tipe 2 Meter Orifice 1320 Setelah Rekalibrasi.....	71
Tabel 4.17.	<i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter Orifice 1330 Sebelum Rekalibrasi	74
Tabel 4.18.	<i>Uncertainty</i> Tipe 1 Meter Orifice 1330 Setelah Rekalibrasi.....	75
Tabel 4.19.	<i>Uncertainty</i> Tipe 2 Meter Orifice 1330 Sebelum Rekalibrasi	77
Tabel 4.20.	<i>Uncertainty</i> Tipe 2 Meter Orifice 1320 Setelah Rekalibrasi.....	80
Tabel 4.21.	Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Periode Pengamatan	82
Tabel 4.22.	Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Sebelum Rekalibrasi	83
Tabel 4.23.	Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Setelah Rekalibrasi	84
Tabel 4.24.	Lima Parameter Dengan Koefisien Korelasi Terkuat Sebelum Rekalibrasi	86
Tabel 4.25.	Lima Parameter Dengan Koefisien Korelasi Terkuat Setelah Rekalibrasi	86
Tabel 4.26.	Deviasi Pengukuran Akibat <i>Mist</i> Pada Meter Orifice 1320 Dan 1330	90

DAFTAR SIMBOL

Simbol	Keterangan	Satuan
α	Koefisien Ekspansi Material	in/in- ^o F
β	Beta Rasio	
b_i	Faktor <i>Summation</i>	
BK	Batas Kelas	
BP	Batas Prediksi	
BM	Berat Molekul	
C_D	Koefisien Discharge	
D	Diameter Dalam Tube pada kondisi Mengalir	cm, inchi
D_r	Diameter Dalam Tube Pada Kondisi Reference	cm, inchi
d	Diameter Bore Pada Kondisi Mengalir	cm, inchi
d_r	Diameter Bore Pada Kondisi Reference	cm, inchi
E_v	Pendekatan Velositas	
GHV	Gross Heating Value	BTU/sft ³
I	Interval Kelas	
K	Koefisien Isentropik	
m_g	Massa Gas	Kg, Lb
m_l	Massa Cair	Kg, Lb
Nt	Nilai Tengah	
q_b	Laju Alir Pada Kondisi standar	MMscfd
q_{cfs}	Laju Alir Pada Kondisi Mengalir	ft ³ /s
q_{scfs}	Laju Alir Pada Kondisi Standar	Sft ³ /s
q_{pps}	Laju Air Massa	lb/s
% Dev	Persen Beda Pengukuran	Persen
R_e	Bilangan Reynold	
ρ_f	Densitas Fluida Pada Kondisi Mengalir	lb/ft ³
ρ_b	Densitas Fluida Pada Kondisi Standar	lb/sft ³
R	Konstanta Universal	
r	Koefisien Korelasi	
S_{YX}	<i>Standart Error of Estimate</i>	
T_D	Waktu tempuh dari TX2 ke TX1	s
T_U	Waktu tempuh dari TX1 ke TX2	s
TK	Tepi Kelas	
V	Kecepatan	ft/s
x_i	Fraksi Mole Komponen i	
X	Fraksi Vapour (Uap)	
Y_1	Faktor Ekspansi Hulu	
Z_b	Faktor Kompresibilitas Pada Kondisi Standar	
Z_f	Faktor Kompresibilitas Pada Kondisi Mengalir (Operasi)	

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gas alam merupakan salah satu sumber energi yang tak tergantikan, dimana proses eksplorasi, pengolahan dan distribusi membutuhkan investasi yang sangat besar. Oleh karena itu setiap potensi kerugian harus diminimalisir guna menurunkan resiko atas kerugian yang mungkin ditanggung dan untuk meningkatkan kelayakan investasinya.

Oleh karena itu keakurasian dalam pengukuran gas alam yang di salurkan oleh *shipper* ke konsumen merupakan hal yang sangat penting. Deviasi pengukuran sebesar $\pm 2\%$ pada penyaluran ± 500 MMscfd, dengan asumsi harga natural gas \$4,9/MMBtu, akan menghasilkan potensi kerugian sebesar \$ 18,25 Juta per tahun (Rp 182 Milyar pertahun @ 1 \$ = 10.000) bagi *shipper* ataupun konsumen.

Pada akhir tahun 2009, terjadi deviasi pengukuran antara pasokan dan penjualan gas yang nilainya cukup mengawatirkan. Deviasi pengukuran semakin besar ketika pasokan gas alam dari Produsen PT B, yang jual beli gasnya menggunakan meter ultrasonik, dan penyaluran gas ke konsumen *Power Plant*, yang jual belinya menggunakan meter orifice, mengalami kenaikan.

Pasokan gas alam PT A bersumber dari : PT B sebesar 57 % menggunakan meter ultrasonik, PT C sebesar 31 % menggunakan meter orifice, PT D sebesar 9 % menggunakan meter orifice, PT E sebesar 3 % menggunakan meter ultrasonik, PT F sebesar 1 % menggunakan meter orifice atau 60 % pasokan gas menggunakan meter ultrasonik sebagai alat jual belinya (*custody transfer*). Distribusi penjualan gas alam sebagai berikut : Power Plant sebesar 54 % menggunakan meter orifice, dan sisanya sebesar 46 % menggunakan meter turbin.

Berdasarkan hal tersebut di atas dapat diketahui bahwa 60 % pasokan PT A *custody transfer* menggunakan meter ultrasonik dan sebaliknya 54 % penyaluran gas PT A menggunakan meter orifice. Oleh karena itu perlu dilakukan

penelitian untuk mengetahui penyebab terjadinya kenaikan deviasi pengukuran tersebut, dan untuk mengetahui kecenderungan deviasi pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik jika kapasitas operasinya semakin besar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, maka rumusan masalah yang diajukan dalam penelitian ini yaitu perhitungan deviasi pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik, profile deviasi pengukuran terhadap laju alir dan melakukan analisis penyebab terjadinya deviasi pengukuran tersebut.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendapatkan profile uncertainty meter orifice
2. Mendapatkan persamaan regresi deviasi pengukuran meter orifice terhadap laju alir
3. Mendapatkan profile deviasi pengukuran meter orifice terhadap laju alir
4. Mengetahui faktor – faktor penyebab terjadinya deviasi pengukuran pada meter orifice

1.4 Batasan Masalah

Batasan dari permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan pada meter orifice (meter 1320 & 1330) dan meter ultrasonik (meter 1310) yang ada di stasiun Bojonegara Cilegon
2. Penelitian dilakukan pada data operasi *metering system* stasiun Bojonegara tanggal 15 Januari s.d 30 April 2010

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam makalah ini adalah sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

berisi pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

bab ini berisi tentang informasi dan teori yang mendukung penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

berisi tentang diagram alir penelitian secara umum, alur perhitungan dan persamaan yang akan digunakan dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

berisi tentang hasil penelitian dan analisis terhadap penelitian tersebut.

BAB 5 KESIMPULAN

berisi tentang kesimpulan penelitian.



BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

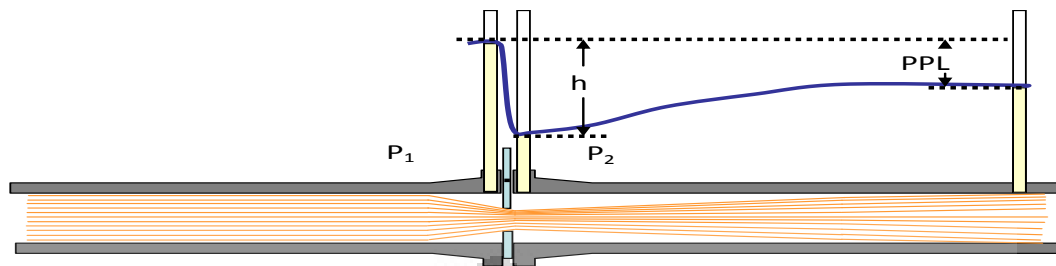
2.1 Alat Ukur Laju Alir Gas Alam

Dalam industri minyak dan gas bumi penentuan jenis alat ukur yang akan digunakan menjadi hal yang sangat penting. Karena alat ukur tersebut digunakan sebagai peralatan untuk memonitor, mengendalikan parameter proses dan jual beli. Apalagi alat ukur tersebut digunakan untuk transaksi jual – beli sehingga dibutuhkan alat ukur yang memiliki keakurasian yang baik untuk menghindari kerugian dikedua belah pihak. Ada dua jenis meter yang banyak digunakan oleh industri minyak dan gas bumi yaitu meter orifice dan meter ultrasonik. Kedua jenis meter ini baik digunakan dalam proses produksi atau *noncustody* maupun jual beli atau *custody*.

2.1.1 Meter Orifice

Meter orifice adalah satu set peralatan yang diletakkan di suatu pipa untuk menghambat aliran fluida dan menimbulkan *pressure drop*. Pengukuran laju alir (*flow rate*) didapat dari perbedaan tekanan karena adanya *pressure drop* tersebut. Metode pengukuran ini disebut *inferential flow rate meter* dimana meter orifice tidak langsung mengukur jumlah fluida. Namun mengukur parameter – parameter yang ada, kemudian dikonversi menjadi laju alir fluida.

Jenis meter orifice yang banyak dipakai dan sudah ada standardnya adalah meter orifice tipe *flange tap* dengan plate orifice tipe *square edge concentric*. Selain orifice plate, *flow nozzle* dan venturi tube juga masuk kedalam jenis meter ini. Agar dapat dipakai untuk pengukuran, alat ini perlu di kalibrasi secara empiris. Yaitu dengan mengalirkan sejumlah volume tertentu fluida dan mencatat pembacaannya untuk mendapatkan jumlah volume dalam keadaan standar bagi pengukuran fluida lainnya. Dengan mengikuti konstruksi mekanis yang standar, tidak diperlukan kalibrasi kembali. Sebuah orifice plate yang terpasang di line, seperti yang ditunjukkan **Gambar 2.1.** dibawah ini. Area jet yang mengecil sesaat fluida melalui lubang orifice (*orifice bore*) disebut “*vena contracta*”.



Gambar 2. 1. Profil Aliran dan *Vena Contracta* Pada Meter orifice

2.1.1.1 Prinsip Kerja

Ketika aliran fluida mendekati orifice, tekanan fluida naik sedikit dan kemudian turun mendadak ketika melewati lubang di plate orifice. Tekanan ini terus turun sampai *vena contracta* tercapai, lalu perlahan naik kembali sampai mendekati 5 sampai 8 diameter, tekanan tertinggi dicapai namun masih lebih rendah dari tekanan sebelum fluida masuk ke orifice. Penurunan tekanan ketika fluida melewati orifice sebagai akibat dari kenaikan kecepatan fluida sesudah melalui lubang plate orifice. Setelah kecepatan turun, tekanan cenderung naik kembali menuju tekanan semula. Semua rugi tekanan (*pressure loss*) tidak dapat kembali karena adanya rugi - rugi friksi dan *turbulence* di pipa. Tekanan jatuh di orifice akan naik sejalan dengan kenaikan laju aliran (*flow rate*) fluida. Bila tidak ada aliran, maka tidak ada beda tekanan. Beda tekanan proportional dengan kwadrat kecepatan, dengan demikian, bila semua faktor tetap, maka beda tekanan proportional dengan kwadrat laju aliran.

2.1.1.2 Persamaan Laju Alir

Persamaan laju alir untuk pengukuran fluida yang mengalir dalam pipa menggunakan meter orifice terdiri dari dua yaitu persamaan teoritis dan praktis atau sering dikenal dengan *industrial praktis*.

2.1.1.2.1 Persamaan Laju Alir Teoritis

Persamaan laju alir teoritis diperoleh melalui beberapa tahapan, dimana dimulai dengan persamaan kesetimbangan energi – mekanik sebagai berikut :

$$\frac{1}{2\alpha} [v_{2av}^2 - v_{1av}^2] + g[z_2 - z_1] + \int_{P_1}^{P_2} \frac{dP}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (2.1)$$

Jika fluida yang diukur adalah fluida incompressible maka hasil dari integral menjadi sebagai berikut :

$$\frac{1}{2\alpha} [v_{2av}^2 - v_{1av}^2] + g[z_2 - z_1] + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad (2.2)$$

Jika pada proses pengukuran diasumsikan tidak ada energi mekanik dan gesekan yang bekerja maka persamaan menjadi persamaan Bernoulli sebagai berikut :

$$z_1 g + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = z_2 g + \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (2.3)$$

Kemudian persamaan tersebut digabungkan dengan persamaan kesetimbangan massa untuk kondisi steady state sebagai berikut :

$$m = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2.4)$$

$$z_1 g + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = z_2 g + \frac{v_1^2 A_1^2 / A_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho} \quad (2.5)$$

Untuk proses pengukuran dalam pipa horizontal di peroleh $z_1 = z_2 = 0$, diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_1^2 [(A_1/A_2)^2 - 1]}{2} \quad (2.6)$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho [(A_1/A_2)^2 - 1]}} \quad (2.7)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho [1 - (A_2/A_1)^2]}} \quad (SI) \quad (2.8)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho [1 - (A_2/A_1)^2]}} \quad (English) \quad (2.9)$$

(Geankoplis, 1993)

Jika pengukuran menggunakan meter orifice, dimana point 1 adalah titik sebelum plate orifice dan point 2 adalah titik di plate orifice. Maka persamaan tersebut menjadi : (Miller, 1996)

$$\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{d}{D}\right)^2 \quad (2.10)$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho [1 - (d/D)^4]}} \quad (2.11)$$

Dimana v_2 adalah kecepatan fluida pada point 2 dalam ft/s, d adalah diameter bore orifice dalam ft dan D adalah diameter dalam tube orifice dalam ft. Maka laju alir fluida melalui meter orifice menjadi sebagai berikut :

$$q_{cfs} = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2g_c(P_1 - P_2)}{\rho [1 - (d/D)^4]}} \quad (2.12)$$

Dimana q_{cfs} adalah laju alir aktual fluida dalam ft^3/s . Kemudian diperoleh laju alir massa fluida sebagai berikut :

$$q_{pps} = \rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 \quad (2.13)$$

$$q_{pps} = \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{\frac{2g_c \rho (P_1 - P_2)}{[1 - (d/D)^4]}} \quad (2.14)$$

Dimana q_{pps} adalah laju alir massa fluida dalam lb/s . Jika fluida yang diukur merupakan fluida *compressible*, untuk mengoreksi persamaan di atas dikarenakan fluida berekspansi maka faktor ekspansi gas dibuat, berdasarkan persamaan kesetimbangan energy mekanik di atas untuk fluida gas, dengan asumsi ekspansi adiabatik dari titik 1 ke titik 2 diperoleh hasil integral (Miller, 1996) :

$$P \left(\frac{1}{\rho} \right)^k = \text{konstan} \quad (2.15)$$

$$\frac{1}{2\alpha} [v_{2av}^2 - v_{1av}^2] + g[z_2 - z_1] + \frac{P_1}{\rho_1} \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} \right] + \sum F + W_s = 0 \quad (2.16)$$

Sehingga diperoleh persamaan laju alir massa sebagai berikut :

$$q_{pps} = \frac{\pi}{4} d^2 Y_1 \sqrt{\frac{2g_c \rho (P_1 - P_2)}{[1 - (d/D)^4]}} \quad (2.17)$$

Dimana Y_1 adalah faktor ekspansi gas adiabatik dengan persamaan :

$$Y_1 = \left\{ \frac{[1 - (d_f/D_f)^4] [k/k-1] (P_2/P_1)^{2/k} [1 - (P_2/P_1)^{k-1/k}]}{[1 - (d_f/D_f)^4] (P_2/P_1)^{2/k} (1 - (P_2/P_1))} \right\}^{1/2} \quad (2.18)$$

Berdasarkan hukum kontinuitas massa, maka laju alir massa dititik 1 dan titik 2 adalah sama sehingga diperoleh persamaan rasio faktor ekspansi adiabatik pada titik 1 dan 2 sebagai berikut :

$$Y_2 = Y_1 \left(\frac{P_1 Z_2 T_2}{P_2 Z_1 T_1} \right)^{1/2} \quad (2.19)$$

Sehingga persamaan laju alir massa untuk tap pengukuran tekanan di downstream sebagai berikut :

$$q_{pps} = \frac{\pi}{4} d^2 Y_2 \sqrt{\frac{2g_c \rho (P_1 - P_2)}{[1 - (d/D)^4]}} \quad (2.20)$$

Dimana Y_2 adalah faktor ekspansi gas jika pengambilan data tekanan setelah plate orifice. Jika pengambilan data tekanan sebelum plate orifice faktor ekspansi gas menjadi Y_1 , sehingga persamaannya menjadi sebagai berikut :

$$q_{pps} = \frac{\pi}{4} d^2 Y_1 \sqrt{\frac{2g_c \rho (P_1 - P_2)}{[1 - (d/D)^4]}} \quad (2.21)$$

Persamaan laju alir di atas merupakan persamaan laju alir dengan pendekatan teoritis, dimana digunakan asumsi – asumsi dalam pembuatannya. Oleh karena hasil perhitungan teoritis tidak sama dengan pengukuran secara aktual. Untuk pengukuran dengan plate orifice tipe *square edge* pengukuran aktual sebesar 60% pengukuran teoritis, hal ini dikarenakan hal – hal sebagai berikut :

- Penyempitan tiba – tiba yang membentuk vena kontrakta dengan luas area minimum yang tidak dapat dihitung, dimana luas area minimum vena kontrakta lebih kecil dibandingkan luas *area bore orifice*.
- Penyempitan tiba – tiba juga meningkatkan turbulensi setelah plate orifice yang mengakibatkan adanya kehilangan energi yang tidak diakomodir oleh hukum Bernoulli.
- Profil kecepatan aliran aktual lebih lancip dibandingkan asumsi awal, ketika kecepatan aliran menurun atau menurunnya bilangan Reynold.
- Terjadinya ekspansi *radial* dan *axial*, dimana asumsi menggunakan ekspansi adiabatik. (Miller, 1996)

Oleh karena itu diperlukan faktor koreksi yang kita kenal dengan *Discharge Coefficient*, dimana untuk Orifice dengan flange tap dan $Re > 4000$ persamaan *Discharge Coefficient* sebagai berikut: (Miller, 1996)

$$C_D = C_\infty + \frac{b}{Re^n} \quad (2.22)$$

Untuk $D \geq 2.3''$

$$C_\infty = 0,5959 + 0,0312\beta^{2.1} - 0,184\beta^8 + 0,09 \frac{\beta^4}{D(1-\beta^4)} - 0,0337 \frac{\beta^3}{D} \quad (2.23)$$

Untuk $2'' \leq D \leq 2.3''$

$$C_\infty = 0,5959 + 0,0312\beta^{2.1} - 0,184\beta^8 + 0,09 \frac{\beta^4}{(1-\beta^4)} - 0,0337 \frac{\beta^3}{D} \quad (2.24)$$

Untuk $2'' \leq D \leq 2,3''$ dan $D \geq 2,3''$

$$b = 91,706\beta^{2.5} \quad (2.25)$$

$$n = 0,75$$

Sehingga persamaan laju alir melalui plate orifice *square edge* sebagai berikut :

$$q_{pps} = C_D \frac{\pi}{4} d^2 Y_1 \sqrt{\frac{2g_c \rho (P_1 - P_2)}{[1 - (d/D)^4]}} \quad (2.26)$$

2.1.1.2.2 Persamaan Laju Alir Praktis

Persamaan laju alir untuk meter orifice yang banyak digunakan di industri khususnya industri minyak dan gas bumi adalah perhitungan yang mengacu pada standar yang dikeluarkan oleh *American Gas Association (AGA)*. Dimana standar yang digunakan adalah *AGA Report No.3 Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbon Fluids* dan *AGA Report No. 8 Compressibility Factor of Natural Gas*.

Dasar persamaan aliran massa meter orifice dalam AGA 3 sebagai berikut :

$$q_{pps} = C_D E_v Y \left(\frac{\pi}{4}\right) d^2 \sqrt{2g_c \rho \Delta P} \quad (2.27)$$

Jika persamaan tersebut disederhanakan kembali, maka persamaan menjadi :

$$q_{pps} = N_1 C_D E_v Y d^2 \sqrt{\rho h_w} \quad (2.28)$$

Dengan N_1 merupakan faktor konversi satuan. E_v adalah faktor pendekatan velositas yang dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \quad (2.29)$$

Dengan β adalah rasio antara diameter bore dan diameter dalam pipa pada kondisi mengalir.

$$\beta = \frac{d}{D} \quad (2.30)$$

Dimana d adalah diameter lubang pelat orifice pada kondisi mengalir dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$d = d_r (1 + \alpha_1 (T_f - T_r)) \quad (2.31)$$

Dimana D adalah diameter dalam pipa meter orifice pada kondisi mengalir dan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut dengan suhu referensinya 68 °F atau 20 °C:

$$D = D_r (1 + \alpha_2 (T_f - T_r)) \quad (2.32)$$

Dimana Y_1 adalah Faktor ekspansi hulu dimana tekanan statis absolut diambil pada tap tekanan difensial hulu dan dapat dihitung menggunakan persamaan :

$$Y_1 = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4)x_1/k \quad (2.33)$$

Dengan x_1 , bila tekanan statis hulu diukur, maka menggunakan persamaan :

$$x_1 = \frac{\Delta P}{N_3 P_{f1}} \quad (2.34)$$

Dimana N_3 adalah faktor koreksi, jika ΔP dalam inH₂O dan P_f dalam Psi maka N_3 adalah 27,707. Dengan x_1 , bila tekanan statis hilir diukur maka menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$x_1 = \frac{\Delta P}{\Delta P + N_3 P_{f1}} \quad (2.35)$$

Untuk mencari nilai faktor ekspansi hilir Y_2 dapat menggunakan persamaan :

$$Y_2 = Y_1 \sqrt{\frac{P_{f1} Z_{f2}}{P_{f2} Z_{f1}}} \quad (2.36)$$

Atau

$$Y_2 = (1 - (0,41 + 0,35\beta^4) \frac{x_1}{k}) \sqrt{\frac{P_{f1} Z_{f2}}{P_{f2} Z_{f1}}} \quad (2.37)$$

C_D adalah koefisien discharge meter orifice tap flensa, tepi persegi, konsentris. Persamaan dikembangkan oleh *Reader – Harris/Gallagher (RG)*, disusun kedalam rumus keterkaitan yang jelas dan dianggap sebagai basis data regresi yang terbaik saat ini. Persamaan ini dapat digunakan untuk ukuran pipa nominal 2 inchi dan yang lebih besar, beta rasio (β) 0,1 – 0,75, diameter lubang orifice yang diberikan, d_r adalah lebih besar dari 0,45 inchi (11,4 mm) dan bilangan Reynold pipa dalam range 4.000 s.d 35.000.000. Koefisien RG dari persamaan meter orifice yang dilengkapi dengan tap flensa didefinisikan sebagai berikut :

$$C_D = C_i(FT) + 0,000511 \left[\frac{10^6 \beta}{R_e} \right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049A)\beta^4 C \quad (2.38)$$

$$C_i(FT) = C_i(CT) + Terminal Tap \quad (2.39)$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1 - \beta)M_1 \quad (2.40)$$

$$Terminal Tap = Hulu + Hilir \quad (2.41)$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14A)B \quad (2.42)$$

$$Hilir = -0,0116[M_2 - 0,52M_2]\beta^{1,1}(1 - 0,14A) \quad (2.43)$$

$$B = \frac{\beta^4}{1 - \beta^4} \quad (2.44)$$

$$M_1 = \max\left(2,8 - \frac{D}{N_4}, 0,0\right) \quad (2.45)$$

$$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta} \quad (2.46)$$

$$A = \frac{19,000\beta}{R_e} \quad (2.47)$$

$$C = \left(\frac{10^6}{R_e}\right)^{0,35} \quad (2.48)$$

Dimana bilangan reynold pipa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$R_e = \frac{4q_{pps}}{\pi\mu D} \quad (2.49)$$

Laju alir volumetris pada kondisi mengalir (aktual) dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan berikut :

$$q_{cfs} = \frac{q_{pps}}{\rho_f} \quad (2.50)$$

Dimana q_{cfs} dalam ft^3/s . Laju alir volumetris pada kondisi dasar (standar) dapat dikalkulasikan menggunakan persamaan berikut :

$$q_{scfs} = \frac{q_{pps}}{\rho_b} \quad (2.51)$$

Dimana q_{scfs} dalam sft^3/s , dimana s merupakan tanda bahwa laju alir tersebut dalam keadaan standar. Secara umum kondisi standar yang umum dipakai adalah pada tekanan 14,696 Psia dan suhu 60 °F. Laju alir massa (q_{pps}) dapat dikonversi ke laju alir volumetris pada kondisi standar (q_{scfs}) apabila densitas fluida pada kondisi standar (ρ_b) dapat diketahui. Untuk perhitungan ρ_b dapat menggunakan persamaan pada *AGA no 8* atau *AGA NX19*.

Perhitungan faktor kompresibilitas untuk *custody transfer* banyak yang menggunakan standar perhitungan *AGA NX19*. Hasil perhitungan *AGA NX19* berbeda $\pm 0,2\%$ dari standar terbaru *AGA no 8*. Namun *AGA NX19* memiliki kelebihan dimana tidak ada proses *iterative* pada perhitungannya. *AGA NX19* digunakan pada range data tertentu, seperti terlihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1. Range Data Untuk *AGA NX19*

<i>Item</i>	<i>Range</i>
Pressure (P_g)	S.d 5.000 Psig (10,34 MPag)
Temperatur (T_f)	-40 s.d 240 °F (-40 to 116 °C)
Spesific Gravity (SG)	0.554 to 1.0
CO₂ dan N₂	0 s.d 15%

(Miller, 1996)

Metode Perhitungan faktor kompresibilitas menggunakan metode 4 atau dikenal dengan *Gross Heating Value (GHV) Method* dari *AGA NX19*, dimana tahapan perhitungannya dimulai dengan perhitungan GHV dimana perhitungannya menggunakan standar perhitungan GPA 2172. Dimana persamaan perhitungan GHV sebagai berikut :

$$GHV(dry) = x_1Hv_1^{id} + x_2Hv_2^{id} + \dots + x_NHv_N^{id} \quad (2.52)$$

$$GHV(sat) = (1 - x_w)GHV(dry) \quad (2.53)$$

Jika komposisi gas tidak mengandung air maka GHV yang digunakan adalah $GHV(dry)$, namun jika mengandung air maka $GHV(sat)$ yang digunakan. Kemudian dilakukan tahapan – tahapan perhitungan sebagai berikut :

$$P_{adj} = \frac{671P_g}{693 - 0,0209GHV + 379x_{CO_2} - 201x_{N_2}} \quad (2.54)$$

$$T_{adj} = \frac{359,46(T_f + 460)}{124,7 + 0,2203HV + 384,99x_{CO_2} + 91,11x_{N_2}} \quad (2.55)$$

$$P = \frac{P_{adj} + 14,7}{1000} \quad (2.56)$$

$$T = \frac{T_{adj}}{500} \quad (2.57)$$

$$m = 0,0330378T^{-2} - 0,0221323T^{-3} + 0,0161353T^{-5} \quad (2.58)$$

$$n = (0,265827T^{-2} + 0,0457697T^{-4} - 0,133185T^{-1})m^{-1} \quad (2.59)$$

$$B = \frac{3 - mn^2}{9mP^2} \quad (2.60)$$

$$b = \frac{9n - 2mn^3}{54mP^3} - \frac{E}{2mP^2} \quad (2.61)$$

Dimana nilai E dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan E1 atau E2 dst. Penentuan persamaan yang digunakan dengan melihat pada P dan T, yang diperoleh dari perhitungan, masuk pada range E beberapa. Range untuk penentuan persamaan E yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Range Data Untuk Penentuan Koefisien E Dalam AGA NX19

<i>P</i>	<i>T</i>	<i>E</i>
0 s.d 2	1,09 s.d 1,4	E1
0 s.d 1,3	0,84 s.d 1,09	E2
1,3 s.d 2,0	0,84 s.d 1,09	E3
1,3 s.d 2,0	0,84 s.d 0,88	E4
2,0 s.d 5,0	0,84 s.d 0,88	E5
2,0 s.d 5,0	0,88 s.d 1,09	E6
2,0 s.d 5,0	1,09 s.d 1,32	E7
2,0 s.d 5,0	1,32 s.d 1,40	E8

(Miller, 1996)

Dan untuk persamaan masing – masing E adalah sebagai berikut :

$$T_a = T - 1,09 \quad (2.62)$$

$$T_b = 1,09 - T \quad (2.63)$$

$$E_1 = 1 - 0,0075P^{2,3} \exp(-20T_a) - 0,0011T_a^{0,5}P^2[2,17 + 1,4T_a^{0,5} - P]^2 \quad (2.64)$$

$$E_2 = 1 - 0,0075P^{2,3}[2 - \exp(-20T_b)] - 1,317T_b^4P(1,69 - P^2) \quad (2.65)$$

$$E_3 = 1 - 0,0075P^{2,3}[2 - \exp(-20T_b)] + 0,455(200T_b^6 - 0,03249T_b + 2,0167T_b^2 - 18,028T_b^3 + 42,844T_b^4)(P - 1,3)[1,69(2)^{1,25} - P^2] \quad (2.66)$$

$$E_4 = 1 - 0,0075P^{2,3}[2 - \exp(-20T_b)] + 0,455(200T_b^6 - 0,03249T_b + 2,0167T_b^2 - 18,028T_b^3 + 42,844T_b^4)(P - 1,3)[1,69(2)^{1,25+80(0,88-T)^2} - P^2] \quad (2.66)$$

$$E_5 = E_4 - x \quad (2.67)$$

$$E_6 = E_3 - x \quad (2.68)$$

$$E_7 = E_1 - x \quad (2.69)$$

$$E_8 = E_7 - x_1^+ \quad (2.70)$$

$$x = A(T - 2) + A_1(P - 2)^2 + A_2(P - 2)^3 + A_3(P - 2)^4 \quad (2.71)$$

$$x_1 = (P - 1,32)^2(P - 2)[3 - 1,483(P - 2) - 0,1(P - 2)^2 + 0,0833(P - 2)^3] \quad (2.72)$$

$$A = 1,7172 - 2,33123T - 1,56796T^2 + 3,47644T^3 - 1,28603T^4 \quad (2.73)$$

$$A_1 = 0,016299 - 0,028094T + 0,48782T^2 - 0,78221T^3 + 0,27839T^4 \quad (2.74)$$

$$A_2 = -0,35978 + 0,51419T + 0,16453T^2 - 0,52216T^3 + 0,19687T^4 \quad (2.75)$$

$$A_3 = 0,075255 - 0,10573T - 0,058598T^2 + 0,14416T^3 - 0,054533T^4 \quad (2.76)$$

(Miller, 1996)

Setelah memperoleh E maka langkah selanjutnya dalam perhitungan Z_f adalah sebagai berikut :

$$D = [b + (b^2 + B^3)^{0,5}]^{1/3} \quad (2.77)$$

$$Z_f = \frac{1}{B/D - D + n/3P} \quad (2.78)$$

Dimana Z_f adalah faktor kompresibilitas fluida pada kondisi operasi. Kemudian dilakukan perhitungan densitas fluida pada kondisi operasi (ρ_f) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_f = \frac{P_f \times BM}{Z_f \times R \times T_f} \quad (2.79)$$

Dimana R adalah konstanta universal dan BM adalah berat molekul. Kemudian untuk menghitung densitas fluida pada kondisi standar (ρ_b), maka harus diketahui dahulu faktor kompresibilitas pada kondisi standar (Z_b), yang perhitungannya menggunakan standar GPA 2172 dengan persamaan sebagai berikut :

$$Z_b = 1 - P_b \left[\sum_{i=j}^N x_i b_i \right]^2 \quad (2.80)$$

Dimana b_i adalah *summation factor* yang ada dalam GPA 2172 dan P_b adalah tekanan standar yang digunakan atau disepakati, umumnya 14,696 Psia. Kemudian dilakukan perhitungan densitas fluida pada kondisi standar (ρ_b) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_b = \frac{P_b \times BM}{Z_b \times R \times T_b} \quad (2.81)$$

Dimana T_b adalah suhu standar yang digunakan atau disepakati, secara umum dipakai suhu standar sebesar 60 °F.

2.1.1.3 Kapasitas Minimum dan Maksimum

Suatu meter orifice memiliki suatu besaran kapasitas baik itu minimum atau maksimum. Besaran tersebut didasarkan pada beberapa hal antara lain kecepatan alir fluida yang diukur, kemampuan plate orifice dan seal dalam menerima tekanan (beda tekanan) dan batasan dari persamaan empirik yang telah dibangun.

a) Kecepatan alir fluida

Untuk meter orifice kecepatan alir maksimum adalah batasan kecepatan maksimum dikarenakan adanya kecepatan erosi dan noise. Dimana untuk kecepatan erosi dari fluida V_e dalam ft/s menggunakan **persamaan 2.82** :

$$V_e = \frac{C}{\sqrt{\rho_f}} \quad (2.82)$$

Dimana C merupakan konstanta empiris, untuk fluida yang bebas padatan dan laju alir yang terus menerus maka $C = 100$, sedangkan untuk laju alir yang tidak terus menerus maka $C = 125$. Jika fluida yang bebas padatan yang korosi dikontrol dengan *corrosion inhibitor* atau dengan menggunakan bahan tahan karat dan laju alir yang terus menerus maka $C = 150 - 200$, sedangkan untuk laju alir yang tidak terus menerus maka nilai C sampai dengan 250. Untuk batasan maksimum kecepatan gas agar *noise* tidak menjadi masalah adalah 60 ft/s. (API RP 14E,1991)

Jika kondisi operasi kecepatan alir kurang dari 7 ft/s, maka isolasi pada meter mungkin dibutuhkan untuk menjamin kehomogenan suhu pada koordinat radial dan axial dari pengukur suhu. Jika kecepatan alir kurang dari 5 ft/s maka *nonhomogeneous* fluida terjadi dikarenakan adanya gradient suhu pada fluida. (Gallagher, 2006)

b) Kemampuan dalam menerima beda tekanan

Untuk meter orifice beda tekanan maksimum yang diijinkan pada plate orifice adalah 250 in H₂O 60 °F karena kemampuan dari seal ring dan *deferensial pressure* minimum adalah 20 in H₂O 60 °F. (Gallagher, 2006)

c) Batasan persamaan empirik

Dalam pembuatan persamaan empirik dari C_D batasan bilangan reynold dari pipa adalah 4.000 – 35.000.000 (AGA3, 2003). Namun batasan minimum bilangan reynold sebesar 4.000 yang sering membatasi pengoperasian meter

orifice dan untuk batasan maksimum 35 juta jarang sekali membatasi pengoperasian meter orifice.

d) Keakurasian yang diharapkan

Untuk meter orifice dikenal istilah *turn – down ratio* yang menunjukkan perbandingan antara kapasitas maksimum dan kapasitas minimum suatu meter dimana tingkat keakurasian dari tersebut masih dapat dipertahankan. Untuk meter orifice *turn – down ratio* adalah 3 : 1. (Upp, 2002)

2.1.1.4 Komponen Utama

Meter orifice terdiri dari dua komponen utama yaitu primary element dan secondary element. Dimana primary element terdiri dari *orifice flanges* dan tube meter dan secondary element terdiri dari DP, PT, TT, *Flow Computer* dan *Chart Recorder*.

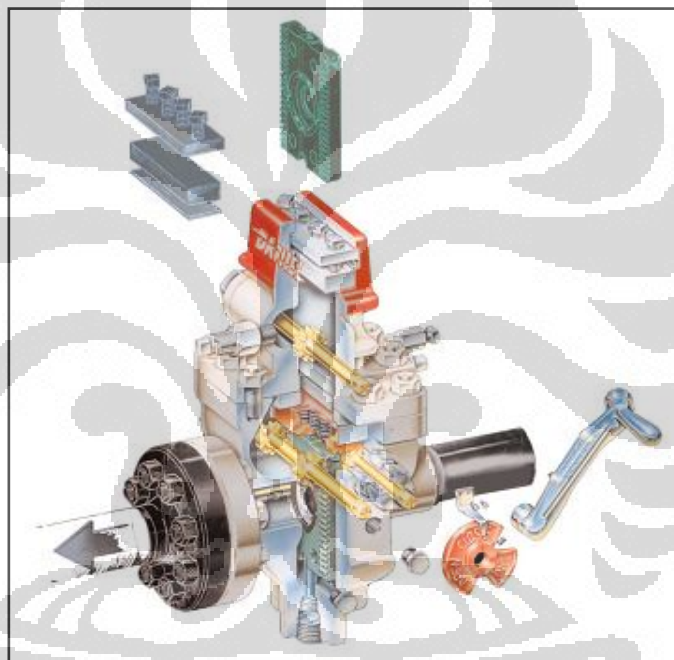
a) *Orifice Flanges*

Peralatan elementer yang dipakai untuk menempatkan plate orifice ditempatnya adalah orifice flange. Oleh karena itu, sering diperlukan mem-*bypass flow* agar orifice plate dapat diperiksa atau diganti bila kondisi meminta. Mengganti plate di orifice flange makan waktu dan mahal. Oleh karena itu, diciptakan *orifice fitting* yang dikenal sebagai tipe *senior* yang mempunyai rancangan yang memungkinkan pengangkatan *plate* pada kondisi bertekanan.



Gambar 2. 2 *Senior Orifice Fitting*

Pada **Gambar 2.3** menunjukkan kelebihan *senior orifice fitting* yang dapat melakukan penggantian plate orifice pada kondisi bertekanan, hal ini disebabkan karena *senior orifice fitting* adalah *dual chamber fitting* yang memungkinkan pengangkatan plate orifice pada kondisi operasi. *Lower chamber* yang mewadahi plate orifice dimana fluida mengalir didalamnya dan *upper chamber* adalah ruang yang disiapkan untuk menempatkan plate orifice ketika proses pengangkatan. Kedua *chamber* dapat dipisahkan satu dengan yang lainnya dengan *slide valve* yang membuka dan menutup dengan *gear shaft*. Pada proses pengangkatan *slide valve* dibuka, plate orifice diangkat ke *upper chamber*, *slide valve* ditutup, tekanan dibuang dari *upper chamber*, dan plate orifice dapat diangkat keluar.



Gambar 2.3. Bagian Dalam Senior Orifice Fitting

b) Meter Tube

Meter tubes di manufaktur untuk memenuhi rekomendasi AGA dan API. Pipa dipilih di pabrik yang memenuhi spesifikasi *uniform roundness*, *wall thickness* dan kekuatan. Panjang meter tube ditentukan dari konfigurasi piping di inlet dan fungsi dari beta ratio. Piping dikerjakan dengan *automatic welding* dan metoda *special internal alignment* dipakai. Semua lokasi las yang kritikal di gerinda didalamnya. X ray dan *hydrostatic testing* harus dilaksanakan.



Gambar 2. 4. Meter Tube dan *Senior Orifice Fitting*

c) PT, TT dan DP Transmitter

DP Transmitter mengukur beda tekanan, temperatur transmitter mengukur suhu downstream orifice flange, dan pressure transmitter mengukur tekanan *upstream orifice flange*. Data – data tersebut kemudian dikirimkan ke *flow comp* untuk dikonversi ke data digital yang kemudian digunakan untuk menghitung laju alir fluida.

Pemasangan DP transmitter untuk fluida gas harus di atas atau tepat pada level dari tapping point di *orifice flange* atau *fittings*, agar supaya cairan terkondensasi tidak terjebak di *sensing chamber* yang dapat mempengaruhi *differential pressure* karena adanya *liquid hidrostatis*. Sedangkan untuk fluida cair, transmitter dipasang dibawah dari *tapping point* agar supaya tidak ada *gas pocket*.



Gambar 2. 5. Pressure dan Differential Pressure Transmitter

d) *Chart Recorder*

Kebanyakan *Chart Recorder* yang dipakai pada meter orifice adalah *circular* dan berputar satu putaran setiap 24 jam atau satu minggu. *Chart recorder* dilengkapi dengan satu, dua atau tiga pen. Untuk pengukuran gas dua pen minimal diperlukan untuk menghitung perubahan pada *static pressure* dan *defferensial pressure*. Jika perubahan temperatur sangat signifikan, tiga pen recorder digunakan untuk mengkompensasi perubahan temperatur. Biasanya tinta merah untuk DP, biru untuk tekanan dan hijau untuk suhu. Untuk memfasilitasi perkiraan laju alir disuatu titik, scale untuk DP ada dibuat dalam *square root scale*.



Gambar 2. 6. *Chart Recorder*

Untuk menghitung total luas dari *chart recorder*, dipakai alat yang disebut Planimeter. Penghitungan dengan Planimeter banyak kesalahan karena kesalahan paralaks (penglihatan).

2.1.1.5 *Uncertainty*

Uncertainty adalah ketaktentuan dari hasil perhitungan laju alir terhadap laju alir yang sebenarnya. Ketaktentuan ini disebabkan hal – hal sebagai berikut :

- a. Representasi kondisi aktual dalam persamaan alir massa
- b. Ketaktentuan sifat fisik aktual dari fluida yang diukur
- c. Keakuratan dalam pengukuran parameter instalasi yang penting (seperti diameter orifice dan beta rasio)

Dalam menentukan besaran kuantitatif dari suatu meter orifice dalam mengukur aliran menggunakan metode koefisien empiris discharge menggunakan

meter orifice tap flensa dimana persamaannya diambil dari AGA Report No.3 sebagai berikut :

$$\left(\frac{\delta q_{pps}}{q_{pps}}\right) = \left\{ SC_d^2 \left(\frac{\delta C_d}{C_d}\right)^2 + SY^2 \left(\frac{\delta Y}{Y}\right)^2 + Sd^2 \left(\frac{\delta d}{d}\right)^2 + SD^2 \left(\frac{\delta D}{D}\right)^2 + S\rho_{t,p}^2 \left(\frac{\delta \rho_{t,p}}{\rho_{t,p}}\right)^2 + S\Delta P^2 \left(\frac{\delta \Delta P}{\Delta P}\right)^2 \right\}^{0.5} \quad (2.83)$$

Dimana persamaan tersebut menggambarkan seberapa besar dampak dari ketaktentuan dari masing – masing komponen terhadap laju alir massa yang dihasilkan dari perhitungan. Dimana S merupakan koefisien sensitivitas variabel – variabel penyebab dari ketaktentuan dari meter orifice dengan nilai dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3. Koefisien Sensitivitas Untuk Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice

SC_d	SY	SD	Sd	$S\rho_{t,p}$	$S\Delta P$
1	1	$\left[\frac{-2\beta^4}{1-\beta^4}\right]$	$\left[\frac{2}{1-\beta^4}\right]$	1/2	1/2

(AGA3 No.1, 2003)

Dimana $\left(\frac{\delta C_d}{C_d}\right)$ adalah ketaktentuan tipikal dari koefisien empiris discharge, untuk meter orifice tap flensa konsentris, tepi persegi merupakan fungsi dari bilangan reynold dan beta rasio. Untuk bilangan reynold yang sangat tinggi ketaktentuan hanya merupakan fungsi rasio diameter (β). Dimana pendekatan persamaannya sebagai berikut :

Untuk $\beta > 0.175$

$$100[\delta C_i(FT)/C_d(FT)] = 0,5600 - 0,2550\beta + 1,9316\beta^8 \quad (2.84)$$

Untuk $\beta \leq 0.175$

$$100[\delta C_i(FT)/C_d(FT)] = 0,7000 - 1,055\beta \quad (2.85)$$

Jika bilangan reynold semakin kecil maka ketaktentuan akan semakin besar, dimana pendekatan persamaannya sebagai berikut :

$$[\delta C_d(FT)/\delta C_i(FT)] = 1 + 0,7895 \left(\frac{4000}{Re}\right)^{0,8} \quad (2.86)$$

Dimana $\left(\frac{\delta Y}{Y}\right)$ adalah ketaktentuan tipikal dari faktor ekspansi. Suatu pendekatan persamaan ketaktentuan untuk faktor ekspansi dengan β , ΔP , dan k diasumsikan tanpa ada *error* adalah sebagai berikut :

Untuk $\beta \leq 0,750$

$$\pm 4 \left[\frac{\Delta P}{N_3 P_f} \right] \quad (2.87)$$

Dimana $\left(\frac{\delta d}{d}\right)$ adalah ketaktentuan tipikal dari diameter bore plate orifice meter. Besaran ketaktentuan dari diameter bore dapat diperoleh dengan dua cara yaitu spesifikasi kebulatan dari plate orifice yang dikeluarkan oleh AGA Report No.3 part 2 dan menghitung ketaktentuan yang datanya berdasarkan pengukuran langsung dari bore orifice menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\delta d = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\delta d)^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad (2.88)$$

Dimana $\left(\frac{\delta D}{D}\right)$ ketaktentuan tipikal dari diameter dalam tube meter orifice. Besaran ketaktentuan dari diameter dalam tube meter orifice dapat diperoleh dengan dua cara yaitu spesifikasi kebulatan dari plate orifice yang dikeluarkan oleh AGA Report No.3 part 2 dan menghitung ketaktentuan yang datanya berdasarkan pengukuran langsung dari bore orifice menggunakan persamaan berikut :

$$\delta D = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (\delta D)^2}{n-1} \right]^{0.5} \quad (2.89)$$

Dimana $\left(\frac{\delta \Delta P}{\Delta P}\right)$ ketaktentuan tipikal dari alat ukur deferensial pressure dan besarnya dapat diperoleh dari *manufacturer* atau hasil kalibrasi alat ukur tersebut. Dalam melakukan pemilihan alat ukur tersebut harus dipertimbangkan efek temperatur ambien, humiditas, tekanan statis, mekanisme penggerak dan respon waktu dari alat ukur untuk meminimalisir ketaktentuan.

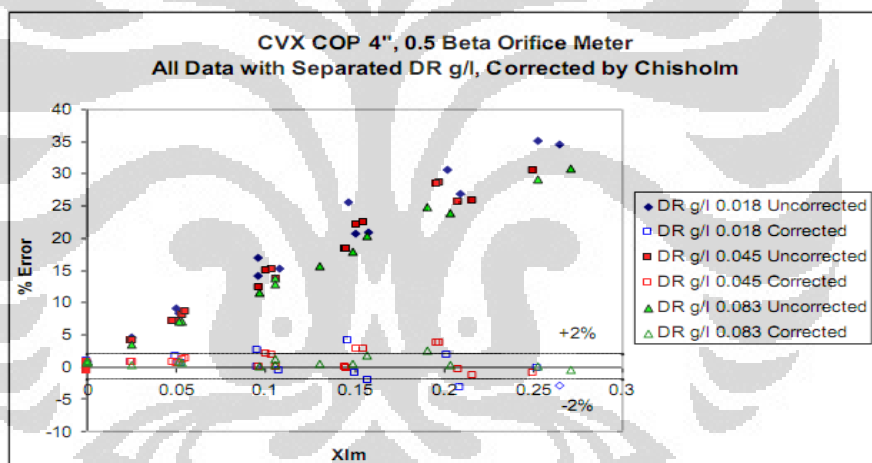
Dimana $\left(\frac{\delta \rho_f}{\rho_f}\right)$ ketaktentuan tipikal dari densitas fluida yang besarnya dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\delta \rho_f / \rho_f = \left\{ (\delta \rho_f / \rho_f)^2 + \left[\frac{\partial \rho_f}{\partial T_f} \right]_{P_f}^2 (\delta T_f / \rho_f)^2 + \left[\frac{\partial \rho_f}{\partial P_f} \right]_{T_f}^2 (\delta T_f / \rho_f)^2 \right\}^{0.5} \quad (2.90)$$

2.1.1.6 Faktor Penyebab Ketidak-akurasian

Penurunan keakurasian pengukuran dari suatu meter orifice dapat disebabkan oleh pengoperasian meter orifice dan kondisi fluida yang diukur. Faktor penyebab ketidak-akurasian meter orifice salah satunya adalah adanya fraksi liquid dalam Fluida gas yang diukur.

Persamaan laju alir yang dikeluarkan oleh standar, mengasumsikan fluida yang diukur adalah fluida satu fasa, sehingga persamaan yang ada menjadi tidak akurat jika dalam fluida yang diukur terdapat fasa cair dalam fasa gas dan sebaliknya. Berdasarkan penelitian oleh Murdock dan Chisholm untuk pengukuran aliran massa gas dengan kondisi fluida $0,005 \leq X_{LM} \leq 0,3$ pada meter orifice dengan diameter 2,5" s.d 4" dan beta rasio 0,5 diperoleh bahwa dengan adanya kandungan cairan menyebabkan *over – reading* pengukuran s.d 35% , dimana hasil penelitian dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 7. Profil Data Penelitian Murdock dan Chrisholm

Hal ini disebabkan adanya liquid menyebabkan pembacaan DP transmitter lebih tinggi dibandingkan jika murni gas, kenaikan ini dimungkinkan karena DP transmitter mengalami kejenuhan. Untuk melakukan koreksi terhadap pengukuran yang ada Murdock dan Chisholm membuat persamaan dengan tingkat keakurasian +/- 2% dan persamaannya sebagai berikut :

$$C = \left[\frac{\rho_g}{\rho_l} \right]^{0.25} + \left[\frac{\rho_l}{\rho_g} \right]^{0.25} \quad (2.91)$$

$$m_{gcorrected} = \frac{m_{guncorrected}}{\sqrt{1 + C \left[\frac{m_l}{m_g} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \right] + \left[\frac{m_l}{m_g} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \right]^2}} \quad (2.92)$$

2.1.2 Meter Ultrasonik

Pengukuran laju alir dengan meter ultrasonik pada dasarnya mengukur kecepatan dari laju alir gas yang lewat diantara ultrasonik transduser. Dengan mengetahui kecepatan gas, maka laju alir dapat dihitung dengan mengalikan kecepatan gas dengan luas penampang.

Meter ultrasonik ada dua tipe, yaitu *single path* dan *multipath*. Untuk ukuran kecil, *single path* memadai karena penampang yang kecil, akan tetapi untuk ukuran yang besar, *single path* tidak lagi memadai, sehingga dipakai *multipath* agar supaya pengukuran kecepatan tidak hanya disatu bidang, tetapi dibanyak bidang dan diambil rata ratanya. Baik *single path* maupun *multipath* sangat akurat dan handal. Didorong oleh perbaikan di teknologi transduser dan *signal processing* dan meningkatnya permintaan dari pengguna, menjadikan meter ultrasonik menjadi primadona pengukuran laju alir gas. Meter ultrasonik diatur pemasangan dan operasinya oleh AGA Report no. 9.

Perkembangan meter ultrasonik sangat pesat dewasa ini, kemajuan teknologi transduser dan elektronik memberikan andil yang besar pada kemajuan pengukuran dengan meter ultrasonik. Meter ultrasonik adalah meter satu satunya yang dapat menggambarkan *flow profile* sehingga efek dari konfigurasi *piping* dan adanya hambatan dapat dilihat dari *flow profile* ini. Ini sangat berguna untuk alat diagnosa kondisi dari meter.

2.1.2.1 Prinsip Kerja

Prinsip dasar dari meter ultrasonik adalah gelombang suara merambat dengan kecepatan tertentu dalam suatu medium, dimana kecepatan rambat dari gelombang suara tergantung dengan komposisi media perambatan dan pengaruh dari tekanan dan suhu. Dimana persamaan kecepatan rambat suara dalam medium gas alam sebagai berikut :

$$C = \sqrt{\frac{kP_f}{Z\rho_f}} = \sqrt{\frac{kRT}{ZBM}} \quad (2.93)$$

Dimana k adalah *isentropic eksponen factor* (Nevers, 2005).

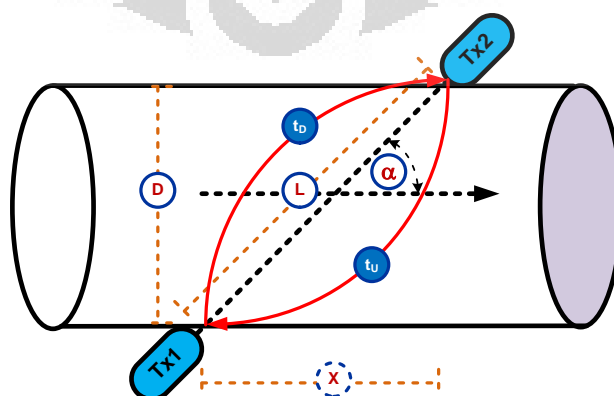
Prinsip dasar dari meter ultrasonik dengan metode *transit time differensial* adalah pengukuran perbedaan *travel time* antara gelombang suara yang searah dengan aliran dan yang berlawanan arah dengan aliran. Dengan mengetahui beda

travel time tersebut maka diketahui kecepatan aliran fluida yang mengalir. Dari kecepatan fluida yang mengalir bisa ditentukan jumlah laju alir fluida.

Proses membangkitkan signal ultrasonik yang dibutuhkan untuk pengukuran aliran dibangkitkan dan diterima oleh transduser. Transduser piezoelektrik menggunakan kristal atau keramik menjadi bergetar ketika tegangan bolak – balik diberikan. Element yang bergetar menghasilkan gelombang suara didalam fluida. Ketika transduser secara terus menerus mengirim sebuah frekuensi tunggal, tekanan suara berubah bentuk menjadi akustik beam (sinar) yang memiliki lebar yang tergantung dari ratio panjang gelombang akustik dengan diameter piston, semakin besar rasio semakin lebar beam yang dihasilkan. Karena akustik beam menyebar, level tekanan suara secara bertahap berkurang/ menurun sepanjang beam. Selanjutnya suara yang dihasilkan dilemahkan karena adanya absorpsi dalam fluida gas. Meskipun proses absorpsi pada beberapa gas harus diperhitungkan, contohnya carbon dioksida. Transduser dapat dibangkitkan secara simultan ataupun bolak – balik untuk satu atau lebih pengiriman untuk setiap arah atau jurusan.

2.1.2.2 Persamaan Laju Alir

Meter ultrasonik adalah alat ukur yang terdiri dari transduser ultrasonik yang diletakkan disepanjang dinding pipa. Transduser ini kontak langsung dengan aliran gas. Dimana pulsa akustik ultrasonik dikirimkan oleh salah satu transduser dan diterima oleh transduser yang lain dan kebalikannya. Gambar dibawah ini menggambarkan geometri sederhana dari dua transduser Tx1 dan Tx2 pada sudut α yang merupakan sudut antara axis dari pipa dan diameter D.



Gambar 2. 8. Geometri Sederhana Meter Ultrasonik

Pulsa akustik menyebrangi pipa seperti perahu menyebrangi sungai. Jika tidak ada aliran maka kecepatan kedua arah tersebut akan sama. Namun jika ada aliran gas maka pulsa yang menyebrang kebawah akan lebih cepat dibandingkan dengan yang menyebrang keatas melawan aliran gas. Oleh karena itu t_D akan lebih pendek dibandingkan t_u karena searah dengan aliran gas. Waktu tempuh pulsa dihitung secara elektronik. Dari waktu tempuh *transit time* kecepatan laju alir gas dihitung dengan persamaan berikut :

$$v = \frac{L^2 (t_u - t_D)}{2X t_u t_D} \quad (2.94)$$

Dan kecepatan suara dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$c = \frac{L (t_u + t_D)}{2 t_u t_D} \quad (2.95)$$

Kecepatan laju alir dapat digambarkan dengan *vector* kecepatan tiga dimensi, dimana secara umum tergantung pada dua besaran jarak (X) dan waktu (t); $v = v(x,t)$. pada kondisi tunak dan aliran pada pipa panjang yang bebas swirl dengan jari – jari R, satu – satunya komponen kecepatan rata- rata pada $t \neq 0$ adalah di arah axial pipa dan ini merupakan fungsi dari “r” saja. Persamaan untuk profile kecepatan aliran *fully developed* dapat diprediksi menggunakan hukum semi emperik berikut :

$$v(r) = v_{max} \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (2.96)$$

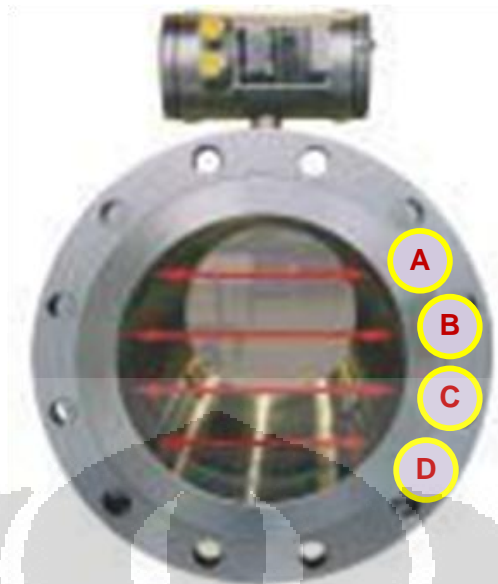
Dimana n merupakan fungsi dari reynolds number “ R_e ” dan kekasaran pipa. Untuk pipa halus, persamaan Prandtl’s dapat digunakan (O&EAGA9,2003) :

$$n = 2 \log_{10} \left(\frac{R_e}{n}\right) - 0,8 \quad (2.97)$$

Namun dalam prakteknya perhitungan kecepatan rata – rata untuk meter ultrasonik dengan multipath (4 path) yang digunakan untuk jual – beli menggunakan persamaan berikut :

$$v_{avg} = \sum_{n=1}^4 W_n v_n \quad (2.98)$$

Dimana W_n adalah faktor bobot geometrik, dimana parameter ini diperoleh pada proses manufaktur dan kalibrasi. Faktor bobot yang lazim digunakan adalah untuk konfigurasi 4 path adalah W_A sebesar 0,1382, W_B sebesar 0,3618, W_C sebesar 0,3618 dan W_D sebesar 0,1382.



Gambar 2. 9. *Multipath Ultrasonic Meter*

Untuk perhitungan laju alir aktual digunakan persamaan sebagai berikut :

$$q_{cfs} = v_{avg} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) \quad (2.99)$$

Dan untuk jual beli laju alir yang diukur dikonversikan pada kondisi base atau standar. Kondisi standar berbagai macam yang umum dipakai adalah 60 °F dan 14,696 Psia. Persamaan untuk konversi ke kondisi standar sebagai berikut:

$$q_{scfs} = q_{cfs} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right) \quad (2.100)$$

2.1.2.3 Kapasitas Minimum dan Maksimum

Suatu meter ultrasonik memiliki suatu besaran kapasitas baik itu minimum atau maksimum. Besaran tersebut didasarkan pada beberapa hal antara lain kecepatan alir fluida yang diukur, kemampuan dari transduser, dan keakurasian yang diharapkan.

a) Kecepatan alir fluida

Batasan kecepatan alir maksimum dan minimum meter ultrasonik sama dengan batasan kecepatan alir pada meter orifice.

b) Keakurasian yang diharapkan :

Untuk meter ultrasonik dikenal istilah *turn – down ratio* yang menunjukkan perbandingan antara kapasitas maksimum dan kapasitas minimum suatu meter

dimana tingkat keakurasian dari tersebut masih dapat dipertahankan. Untuk meter ultrasonik *turn – down ratio* adalah 10 : 1. (Upp,2002)

c) Kemampuan transduser

Meter ultrasonik didesign untuk kecepatan aliran gas maksimum, yang digunakan untuk menghitung laju alir aktual maksimum. Laju alir maksimum meter secara umum di atasi oleh kemampuan untuk menerima pulsa ultrasonik yang merupakan fungsi dari design transduser dan metode pengolahan signal. Laju alir maksimum konstan untuk semua kondisi tekanan dan suhu dalam range operasi maksimum yang ditetapkan oleh manufaktur.

2.1.2.4 Uncertainty

Uncertainty meter ultrasonik adalah ketaktentuan hasil perhitungan laju alir terhadap laju alir sebenarnya, yang bersumber dari tiga faktor yaitu : a) faktor fisik yang berhubungan dengan profile kecepatan aliran, b) mekanik yang berhubungan dengan geometri dari *acoustic path*, dan c) elektronik yang berhubungan dengan perhitungan *transit time*. Umumnya *uncertainty* dibagi menjadi dua yaitu sistematis dan random. Dimana persamaan *uncertainty* sebagai berikut :

$$e = \sqrt{B^2 + \sigma^2} \quad (2.101)$$

Untuk meter ultrasonik besaran *uncertainty* jarang sekali dilakukan perhitungan. Istilah yang sering dipakai pada meter ultrasonik untuk menggambarkan ketidakakurasian meter ultrasonik adalah *error meter* (deviasi pengukuran). Deviasi pengukuran adalah perbedaan hasil pengukuran antara meter ultrasonik dengan meter master yang diperoleh ketika proses kalibrasi, dimana meter ultrasonik dilepas, dibawa ke laboratorium dan diperbandingkan menggunakan meter master.

Error meter digambarkan terhadap laju alir aktual atau kecepatan rata – rata, kurva performa meter pada berbagai tekanan dan suhu merupakan kurva yang khusus dibuat. Ketika *error meter* digambarkan terhadap bilangan reynold, kurva performa meter menggambarkan efek dari profil aliran. Metode ini digunakan untuk eksperimen khusus dan tidak digunakan untuk digunakan secara umum.

2.1.2.4 Faktor – Faktor Penyebab Ketidak-akurasion

Meter dari perusahaan yang berbeda akan memberikan rekomendasi dalam instalasi meter yang berbeda – beda pula. Perusahaan dapat merekomendasikan menggunakan instalasi berdasarkan pada AGA Report No.7 “*Measurement of Gas by Turbine Meter*”, atau memberikan prasyarat yang lebih ketat atau yang lebih lunak tergantung hasil dari hasil pengujian yang telah dilakukan oleh pabrik. Single – path meter akan memberikan prasyarat yang lebih ketat.

a) Kontaminasi, Strainer dan Filter.

Transduser kontaminan seperti debris yang menempel pada permukaan transduser (seperti grease atau oil atau kondensat), dapat melemahkan signal atau merubah hasil perhitungan kecepatan dan dapat menurunkan performa dari meter. Jika kontaminan menjadi permasalahan untuk aliran gas tertentu, persyaratan untuk melepas dan membersihkan transduser harus dibuat dan dilaksanakan.

b) *Noise* dan PCV atau regulator.

Gangguan terhadap meter signal menjadi salah satu masalah distasiun yang memiliki peralatan lain yang menghasilkan ultrasonik *noise* (seperti control valve). Permasalahannya adalah trim yang berfungsi melemahkan noise yang digunakan di *control valve* menghasilkan suara yang memiliki range sama dengan yang digunakan oleh meter ultrasonik dalam mengukur aliran gas. Untuk mengatasinya dapat dilakukan pengantian trim atau memisahkan antara *control valve* dengan meter pada jarak yang cukup. Karena adanya potensial kerusakan pada profil aliran dan atau dihasilkannya *noise* ultrasonik, instalasi peralatan *throttling*, seperti regulator atau valve yang terbuka sebagian, dekat dengan meter khususnya upstream meter tidak direkomendasikan. Secara umum noise diluar frekuensi meter ultrasonik bukan masalah yang serius, meskipun kebisingan yang tinggi atau frekuensi resonansi dapat mengganggu meter ultrasonik.

c) *Vibration* (getaran).

Getaran pada pipa harus di jaga dilevel minimum, karena peralatan elektronik yang dipasang di pipa dapat mengalami kerusakan jika getaran pada level yang tinggi. Batasan maksimum sangat tergantung dari jenis peralatan dan

pabrik. Dimana batasan maksimum adalah spesifikasi dari peralatan yang terpasang.

d) Komposisi gas

Dalam fase gas, komposisi seharusnya tidak memberikan efek yang besar terhadap hasil pengukuran. Persentase fase liquid yang besar (diluar mist) akan memberikan efek terhadap keakurasian. Informasi akan gas komposisi harus tersedia guna perhitungan kecepatan suara; meskipun hal ini bermanfaat untuk mengindikasikan adanya perubahan komposisi. Persentase CO₂ yang tinggi pada gas dapat menjadi masalah karena CO₂ dapat melemahkan signal. Persentase maksimum dari CO₂ adalah 10 persen.

2.1.3 Perbandingan antara Meter Orifice dengan Meter Ultrasonik

Alat ukur laju alir yang banyak digunakan di dunia khususnya di industri minyak dan gas bumi adalah meter orifice, namun dengan berjalannya waktu dan berkembang teknologi maka pemakaian meter ultrasonik semakin banyak digunakan khususnya untuk custody transfer dan kapasitas besar. Hal ini dikarenakan kemampuannya untuk memverifikasi pengukuran yang telah dilakukan. Hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis meter yang akan digunakan adalah keakurasian dari suatu meter. Jika digunakan untuk *control* ketidak-akurasian $\pm 2\%$ dapat diterima, untuk *operasional* $\pm 5\%$ dapat diterima dan untuk *costudy* $\pm 0.5 - 2.0\%$ dapat diterima. (E.L.Upp, 2001)

2.1.3.1 Kelebihan dan Kekurangan

Setiap jenis meter memiliki kelebihan dan kekurangannya masing – masing, berikut kelebihan dan kekurangan meter orifice dan meter ultrasonik.

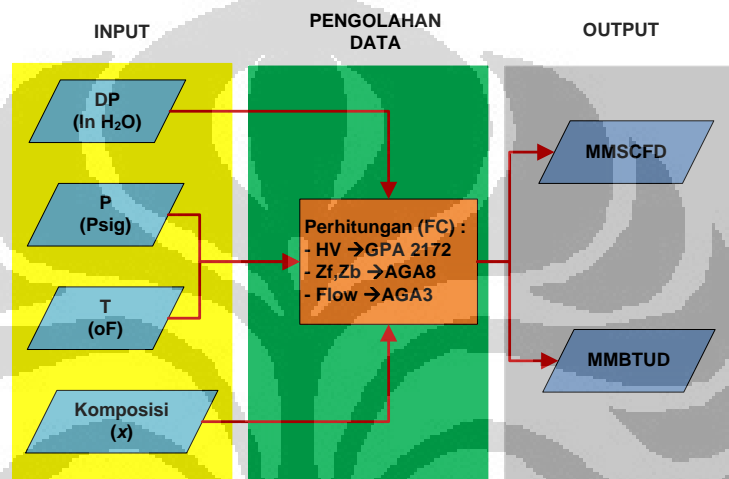
a) Meter Orifice :

Kelebihan meter orifice :

- 1) Simple, Murah
- 2) Kalibrasi berdasarkan konstruksi mekanik dan instrumentasi
- 3) Tersedia berbagai ukuran
- 4) Perawatan mudah
- 5) Telah banyak digunakan dan diterima oleh umum
- 6) Tidak membutuhkan sumber energy

- 7) Dapat dibuat dengan special material
- 8) Mudah dalam merubah kapasitasnya dengan merubah plate orifice

Kekurangan utama dari meter orifice adalah adanya *pressure loss* dari fluida yang diukur ketika melewati plate orifice. Kedua kalibrasi meter orifice hanya mendasarkan pada konstruksi mekanik dan instrumentasi tanpa ada *cross check* terhadap meter master atau meter prover sehingga jika ada ketidak-akurasian nya disebabkan oleh selain dua hal tersebut menjadi tidak dapat terdeteksi. Ketiga range operasi sempit hanya 3 : 1 dari kapasitas maksimum. (E.L.Upp,2001)



Gambar 2. 10. Alur Pengolahan Data Pada Meter Orifice

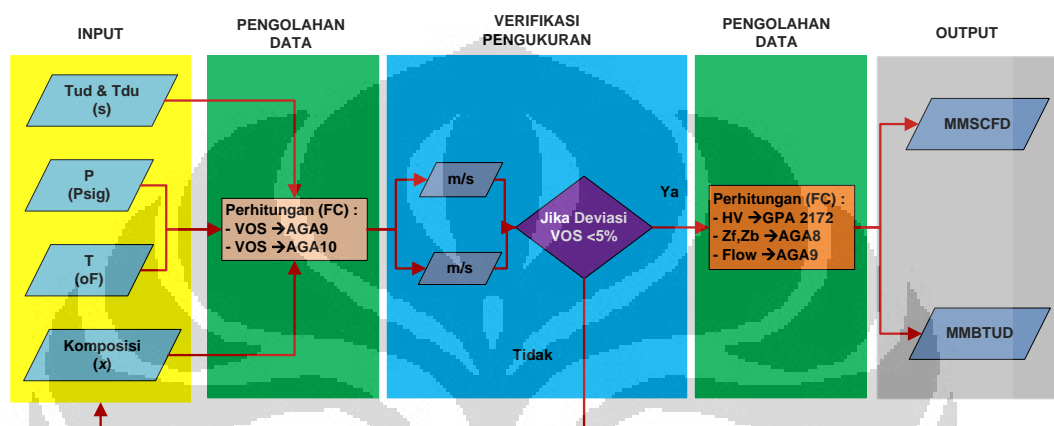
b) Meter Ultrasonik

Kelebihan meter ultrasonik :

- 1) Tidak ada *pressure loss*, dimana diameter meter sama dengan diameter pipa
- 2) Jika menggunakan pulsa dengan frekuensi tinggi, maka efek dari pulsasi dan pemakaian yang berfluktuasi dapat dikurangi
- 3) Relative murah dan simple dalam instalasinya
- 4) *High rangeability*
- 5) *No moving part* yang kontak dengan fluida
- 6) *Simple mechanical calibration easily checked* (Upp,2001)

Namun kelebihan utama meter ultrasonik adalah kemampuan meter ultrasonik untuk memverifikasi kinerja dari meter ultrasonik tersebut. Mekanisme verifikasi kinerja oleh meter ultrasonik dimulai dari hasil perhitungan kecepatan fluida dari masing – masing path akan divisualisasi menjadi profil aliran fluida dalam meter ultrasonik menggunakan software tertentu (Untuk Daniel

menggunakan *Meterlink Software*), software tersebut juga dapat melakukan identifikasi adanya halangan atau rintangan (*Blockage*), dan *Speed of Sound (SOS) deviation alert*. Untuk *SOS deviation alert* disetting berbeda – beda tiap meter, jika mengacu pada natural measurement handbook deviasi yang diijinkan maksimum 0.25% tiap path dan deviasi perhitungan SOS oleh meter ultrasonik menggunakan formulasi AGA9 dengan menggunakan AGA10 sebesar 5% (*Practical in Field*).



Gambar 2. 11. Alur Pengolahan Data Pada Meter Ultrasonik

Kekurangan meter ultrasonik :

- 1) Membutuhkan sumber energy dalam pengoperasian
- 2) Untuk single path *flow profile* harus *fully developed*
- 3) Investasi awal tinggi (Upp,2001)

2.1.3.2 Perbandingan Karakteristik Meter

Dalam melakukan evaluasi kinerja dari meter harus diperhatikan karakteristik dari meter tersebut. Berikut disampaikan tabulasi perbandingan karakteristik berbagai jenis meter untuk *gas measurement* :

Tabel 2. 4. Perbandingan Meter *Perfomance*

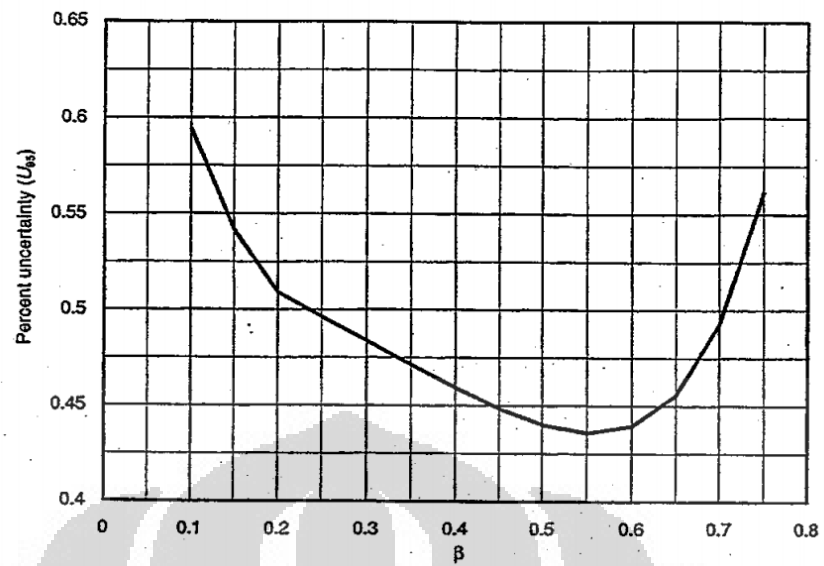
Jenis Meter	Unaccuracy Sensor	Rangeability	Re minimum	Pressure Limit	Temp Limit
	±			Psig	°F
Head Meter (Flow proportional $\Delta P^{0.5}$)					
Orifice	0.25	3 : 1	4,000	ML	ML
Flow Nozzle	0.5	3 : 1	10,000	ML	ML
Venturi	0.5	3 : 1	7,500	ML	ML
Elbows	0.5	3 : 1	10,000	ML	ML
Linear Meter (Flow proportional flow velocity)					
Non - intrusive					
Coriolis	0.5	5 : 1 to 25 : 1	3,000	ML	ML
Ultrasonic					
Doppler	2	10 : 1	5,000	2500	-300 s.d 200
Transit Time	0.5	10 : 1	3,000	2500	-300 s.d 200
Intrusive					
Turbin	0.25	10 : 1 s.d 140 : 1	4,000	1400	150
Vortex	0.5	10 : 1 s.d 50 : 1	4,000	2500	400

Note : ML = Material Limit

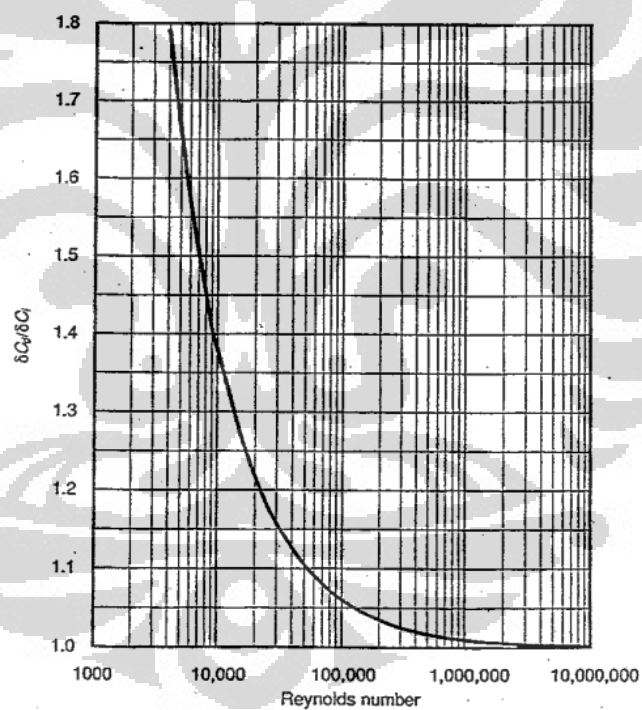
(Upp, 2001)

Berdasarkan tabel di atas perbandingan antara meter orifice dan meter ultrasonik untuk keakurasian dan *rangeability* dimana keakurasian dari meter orifice lebih tinggi dari meter ultrasonik dimana ketidak-akurasian meter orifice $\pm 0.25\%$ dan meter ultrasonik $\pm 0.5\%$. Namun *rangeability* dari meter orifice lebih kecil (3:1 dari 10:1).

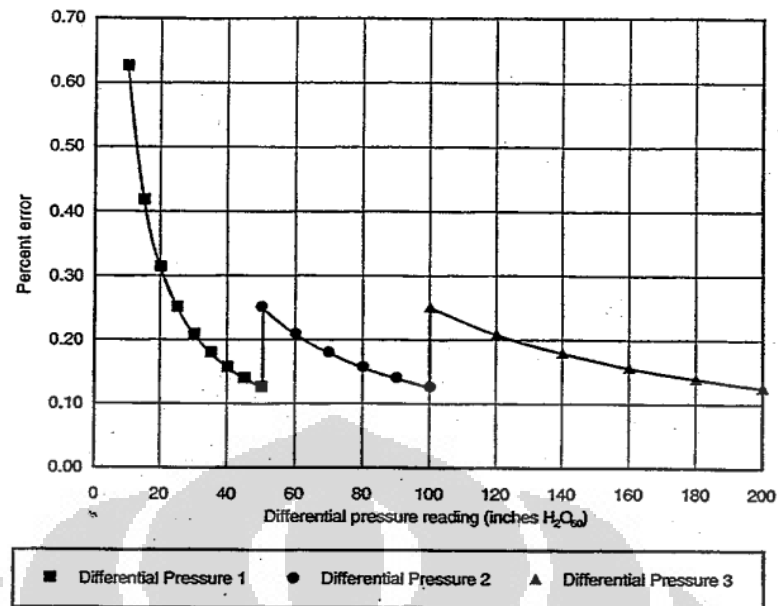
Range operasi meter orifice yang lebih sempit yaitu 3:1, dimana keakurasian dari meter orifice merupakan hasil perhitungan *uncertainty* dimana faktor yang paling mempengaruhi salah satunya adalah C_D (koefisien discharge) dimana merupakan fungsi dari bilangan reynold dan beta rasio. Berikut akan disampaikan profil *uncertainty* meter orifice terhadap beta rasio dan bilangan reynold sebagai berikut :



Gambar 2.12. Profil *Uncertainty* Meter Orifice terhadap Beta Rasio



Gambar 2.13. Profil Perubahan Relatif *Uncertainty* terhadap Bilangan Reynold

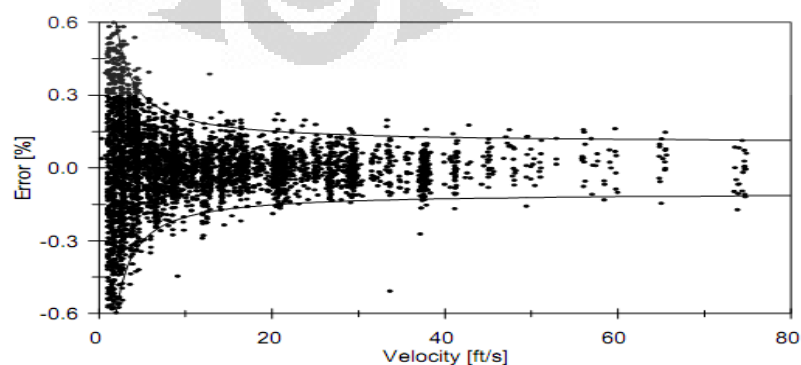


Gambar 2.14. Profil Persen Error Dikarenakan Pembacaan DP Transmitter

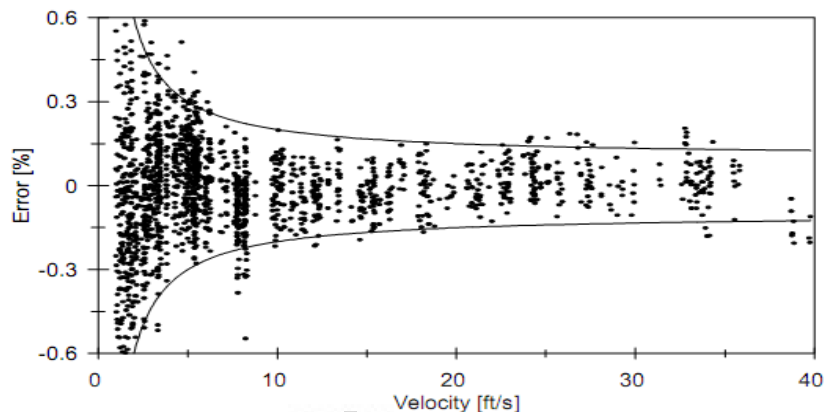
Note : dengan asumsi keakurasian DP Transmitter +/- 0,25% FS

Dari ketiga gambar di atas, terdapat dua gambar yang berhubungan dengan kapasitas dari meter orifice yaitu **Gambar 2.13** dan **Gambar 2.14**, dimana salah satu batasan kapasitas untuk meter orifice adalah *Differential Pressure* dan bilangan Reynold. Dari gambar di atas diperoleh bahwa keakurasian (*Uncertainty*) dari meter orifice tidak stabil diangka yang sama sepanjang range operasinya.

Range operasi meter ultrasonik yang cukup lebar yaitu 10:1, dimana keakurasian dari meter ultrasonik merupakan hasil perbandingan antara meter ultrasonik dengan meter pembanding (prover) pada proses kalibrasi sehingga diperoleh keakurasian sepanjang kapasitas operasinya. Berikut contoh hasil kalibrasi meter ultrasonik.

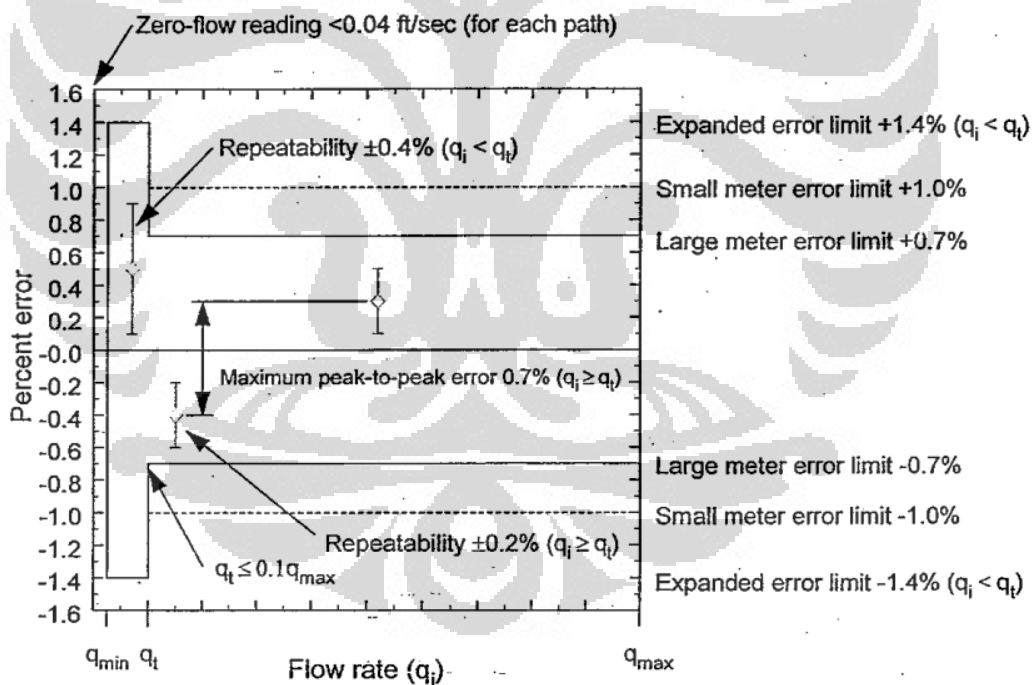


Gambar 2.15. Hasil Kalibrasi Meter Ultrasonik 20 inchi



Gambar 2.16. Hasil Kalibrasi Meter Ultrasonik 24 inci

Dari Gambar 2.15 dan 2.16 diperoleh bahwa keakurasian meter ultrasonik sangat baik dimana berkisar $\pm 0,6\%$ dan keakurasian relative stabil pada kisaran 20% s.d 100% kapasitas maksimum.

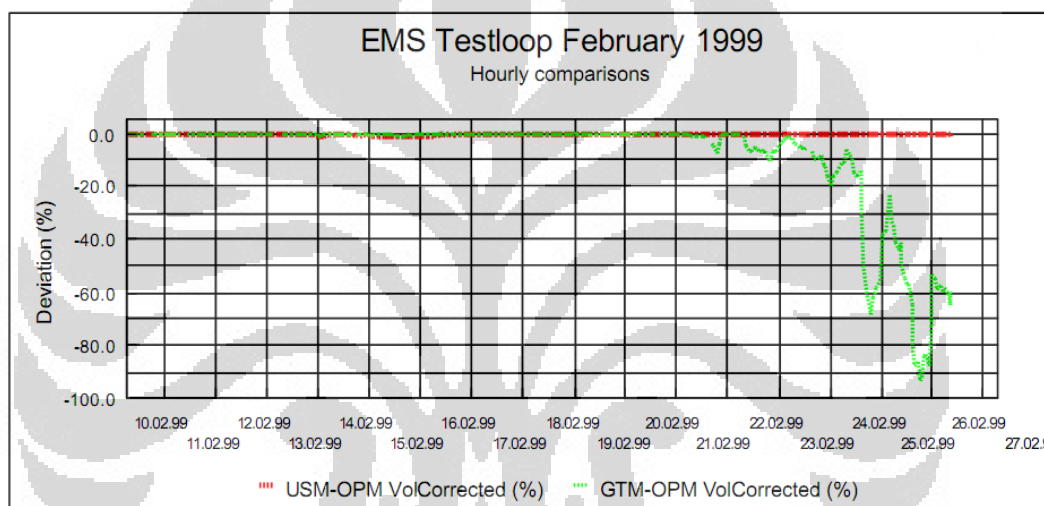


Gambar 2.17. Spesifikasi Unjuk Kerja Meter Ultrasonik Dalam AGA 9

Namun berdasarkan spesifikasi unjuk kerja meter ultrasonik yang dipersyaratkan oleh AGA 9 pada Gambar 2.17, diperoleh bahwa kapasitas minimum adalah 2,5% kapasitas maksimum dengan keakurasian $\pm 1,4\%$ dan untuk keakurasian

yang relatif stabil pada $\pm 0,8\%$ (untuk meter ultrasonik $> 12''$) kapasitas minimum menjadi 10% kapasitas maksimum.

Jika meter ultrasonik dioperasikan secara seri terhadap meter orifice untuk mengukur fluida yang sama akan menghasilkan beda hasil pengukuran (deviasi) -0.1% s.d -0.4% dengan menggunakan persamaan discharge coefficient untuk meter orifice ISO 5167 – 1 dan jika discharge coefficient menggunakan ISO 5167-1/A-1 maka deviasi sebesar +0.1% s.d -0.2%. Deviasi rata – rata selama periode test $\pm 0.25\%$, dimana deviasi masih dibawah uncertainty yang dipersyaratkan untuk *custody transfer*.



Gambar 2. 18. Profil Deviasi Pengukuran Meter Orifice, Turbin dan Ultrasonik

dari gambar di atas terlihat deviasi sangat kecil, terjadi peningkatan deviasi pada 21 februari 1999 dikarenakan meter turbin mengalami kerusakan.

2.2 Analisa Statistik

Untuk dapat mempermudah dalam pengolahan data dan pengambilan kesimpulan dari data yang diperoleh diperlukan suatu metode yang *prudent*. Dimana dalam subbab ini akan dibahas proses pengolahan data, persamaan regresi dan pengambilan kesimpulan.

2.2.1 Pengolahan Data

Pengolahan data terdiri dari pengumpulan, pengorganisasian dan penyajian data sebagai berikut :

a) Pengumpulan Data

Data kuantitatif adalah data berbentuk angka/ bilangan yang dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

- Data Diskrit

Data diskrit adalah data yang diperoleh dari suatu pecacahan. Data ini berbentuk bilangan – bilangan bulat seperti 0,1,2,... dst.

- Data Kontinu

Data kontinu adalah data yang umumnya didapat dari suatu pengukuran dengan suatu instrument (alat ukur). Data kontinu dapat dinyatakan dalam bentuk data interval maupun data rasio (data titik).

b) Pengorganisasian Data

Untuk data kuantitatif data dijadikan jajaran data (Data Array) guna mempermudah pengolahan data. Penjajaran data bisa dari kecil ke besar ataupun sebaliknya.

c) Penyajian Data

Data umumnya disajikan dalam bentuk tabel dan diagram, untuk data yang sangat banyak sekali biasanya data tersebut dijadikan lebih ringkas, kompak, tanpa menghilangkan fakta – fakta pentingnya. Hal ini dapat dicapai dengan mengelompokkan data tersebut dalam sejumlah kelas dan kemudian menentukan banyaknya data yang ada dalam masing masing kelas. Susunan data tersebut dikenal dengan distribusi frekuensi. Aturan yang harus diikuti dalam penentuan distribusi frekuensi sebagai berikut :

1. Interval kelas yang dipilih harus memastikan seluruh data harus diikuti sertakan dan setiap data hanya dimasukkan sekali saja.
2. Umum jumlah interval kelas yang digunakan 5 – 20.
3. Sebisa mungkin lebar setiap interval kelas sama, jika jumlah data banyak jumlah kelas (k) dapat dicari dengan persamaan Sturge, yaitu :

$$k = 1 + 3.3 \log N \quad (2.102)$$

$$N = \text{jumlah data / pengamatan}$$
4. Jika memungkinkan, interval kelas yang dipilih sedemikian rupa sehingga nilai tengah kelasnya bersesuaian dengan nilai dimana nilai aktual terkonsentrasi.

Dalam distribusi frekuensi dikenal beberapa istilah yang sangat penting yaitu :

a) Interval kelas

Interval kelas adalah interval yang mendefinisikan sebuah kelas, angka yang lebih kecil disebut batas bawah dan angka yang lebih besar disebut batas atas.

b) Batas Nyata Kelas

Batas nyata kelas diperoleh dengan cara membagi dua jumlah batas kelas atas suatu interval kelas dengan batas kelas nyata interval kelas berikutnya.

c) Lebar Interval Kelas

Lebar interval kelas adalah selisih antara batas bawah nyata dengan batas kelas atas.

d) Nilai Tengah Kelas

Nilai tengah kelas diperoleh dengan membagi dua jumlah dari batas bawah dan batas atas kelas suatu interval kelas. Dimana nilai tengah ini mewakili seluruh nilai yang ada didalam interval kelas tersebut.

2.2.2 Persamaan Regresi

Tujuan utama dari penyelidikan statistik dalam dunia perusahaan dan ekonomi adalah mengadakan prediksi. Berdasarkan prediksi yang didasarkan pada keterangan statistik, pengusaha dan ahli ekonomi dapat mewujudkan ramalannya dengan probabilitas yang memuaskan.

2.3.2.1 Regresi Linier Satu Variabel

Metode yang digunakan dalam pembuatan persamaan regresi satu variabel adalah metode least square. Persamaan regresi linier sebagai berikut :

$$Y' = a + bX \quad (2.103)$$

$$b = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2.104)$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (2.105)$$

2.3.2.2 Regresi Linier Dua Variabel

Analisa regresi linier untuk lebih dari dua variabel disebut analisis regresi berganda yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$Y' = a + b_1X_1 + b_2X_2 \quad (2.106)$$

$$\sum Y = an + b_1 \sum X_1 + b_2 \sum X_2 \quad (2.107)$$

$$\sum X_1Y = a \sum X_1 + b_1 \sum X_1^2 + b_2 \sum X_1X_2 \quad (2.108)$$

$$\sum X_2Y = a \sum X_2 + b_1 \sum X_1X_2 + b_2 \sum X_2^2 \quad (2.109)$$

2.3.2.3 Batas – batas Prediksi

Untuk mengetahui ketelitian dari suatu pendugaan dari suatu keputusan kita harus mengetahui sesuatu tentang *variabilitas* dari populasi dari mana sampel diambil. *Variabilitas* ini biasanya diukur dengan deviasi standar dari Y untuk nilai – nilai X tertentu. Distribusi standar dari distribusi dinyatakan dengan persamaan :

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n-2}} \quad (2.110)$$

Dimana S_{YX} adalah pendugaan dari σ_{YX} dan dinamakan *standard error of estimate*. Kemudian untuk penentuan batas prediksi kita harus menghitung

besaran A, dimana batas prediksi adalah $(Y'-A)$ dan $(Y'+A)$. biasanya dalam penentuan A diasumsikan confidence level 95% dan distribusi data merupakan distribusi normal.

$$A = t_{0.025}(S_{YX})\sqrt{\frac{n+1}{n} - \frac{(X-\bar{X})^2}{X^2-n\bar{X}^2}} \quad (2.111)$$

2.2.3 Korelasi

Korelasi adalah teknik statistik yang digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel atau lebih yang sifatnya kuantitatif. Arah hubungan antara dua variabel dapat berupa korelasi positif, korelasi negative, dan korelasi nihil.

- Korelasi positif adalah perubahan pada salah satu variabel diikuti oleh variabel yang lain dengan arah yang sama. Koefisien korelasi positif yang terbesar adalah +1 dan terendah adalah 0.
- Korelasi negative adalah perubahan pada salah satu variabel diikuti oleh variabel yang lain dengan arah yang berlawanan. Koefisien korelasi negative yang terbesar adalah -1 dan terendah adalah 0.
- Korelasi nihil adalah perubahan pada salah satu variabel kadang – kadang diikuti oleh variabel yang lain dan kadang – kadang dengan arah yang sama namun kadang – kadang dengan arah yang berbeda.

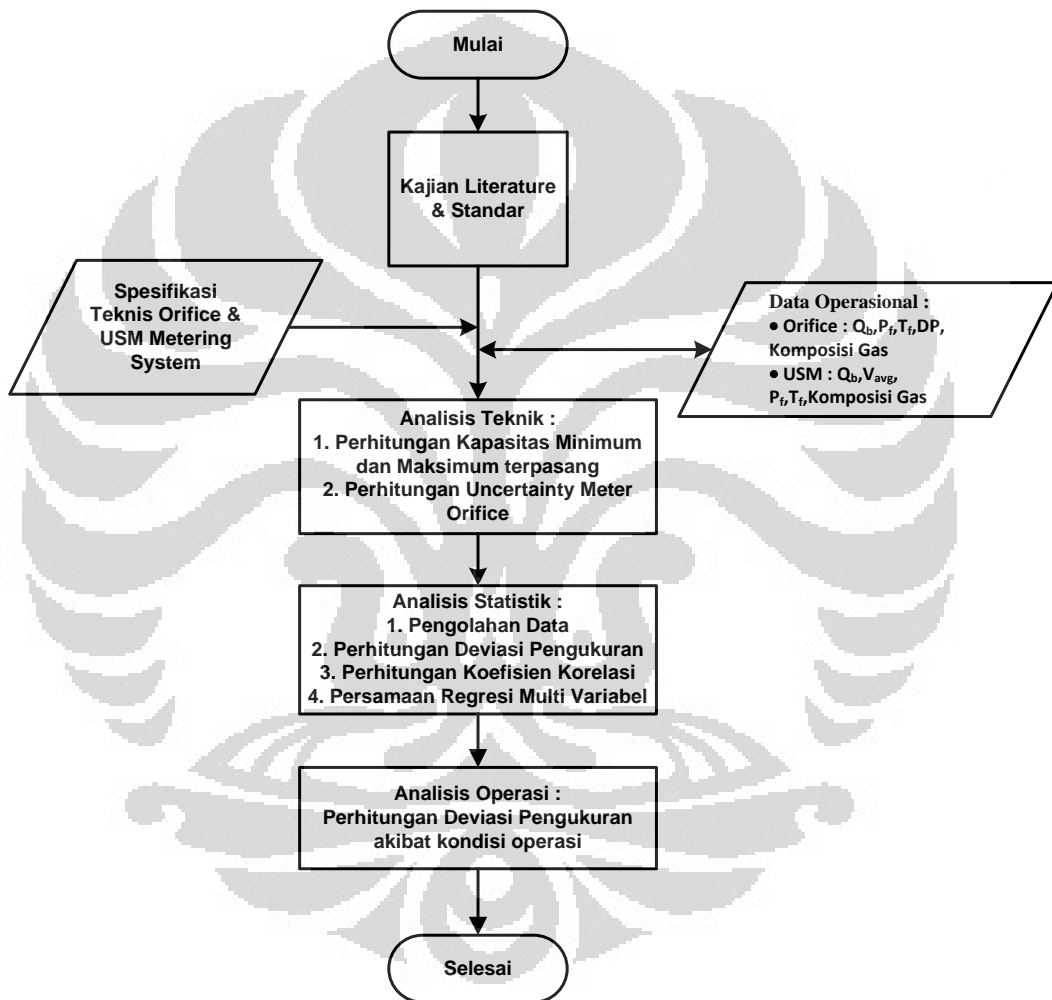
Besaran koefisien korelasi menggunakan metode *Pearson Product Moment* dengan persamaan sebagai berikut :

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \sum Y}{\sqrt{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \sqrt{n \sum Y^2 - (\sum Y)^2}} \quad (2.112)$$

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Secara umum, penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan. Alur penelitian ditunjukkan pada bagan dibawah ini :



Gambar 3.1. Diagram Alir Prosedur Kerja Penelitian

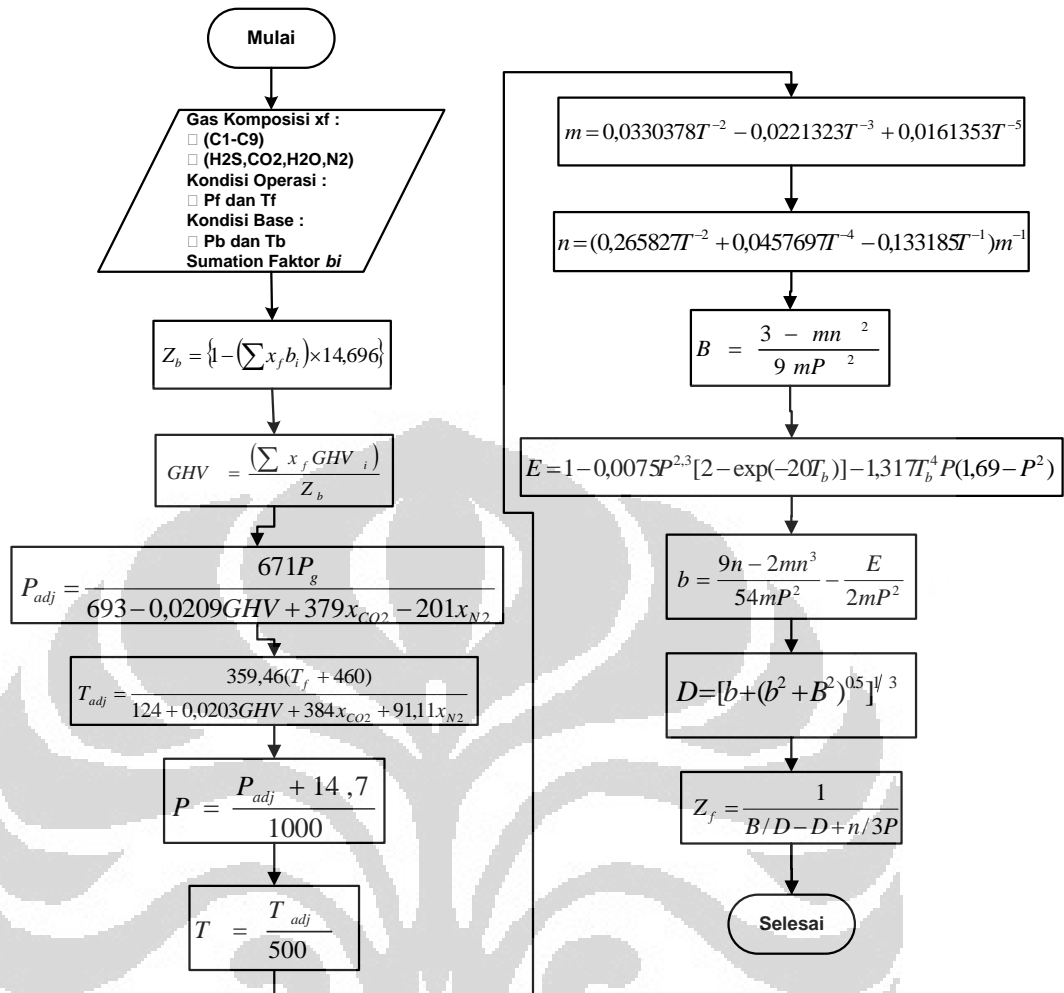
3.2 Tahapan Analisis Teknik

Analisis teknik terdiri dari dua perhitungan, yaitu perhitungan kapasitas masing – masing meter baik meter orifice maupun meter ultrasonik, dan perhitungan *uncertainty* dari meter orifice.

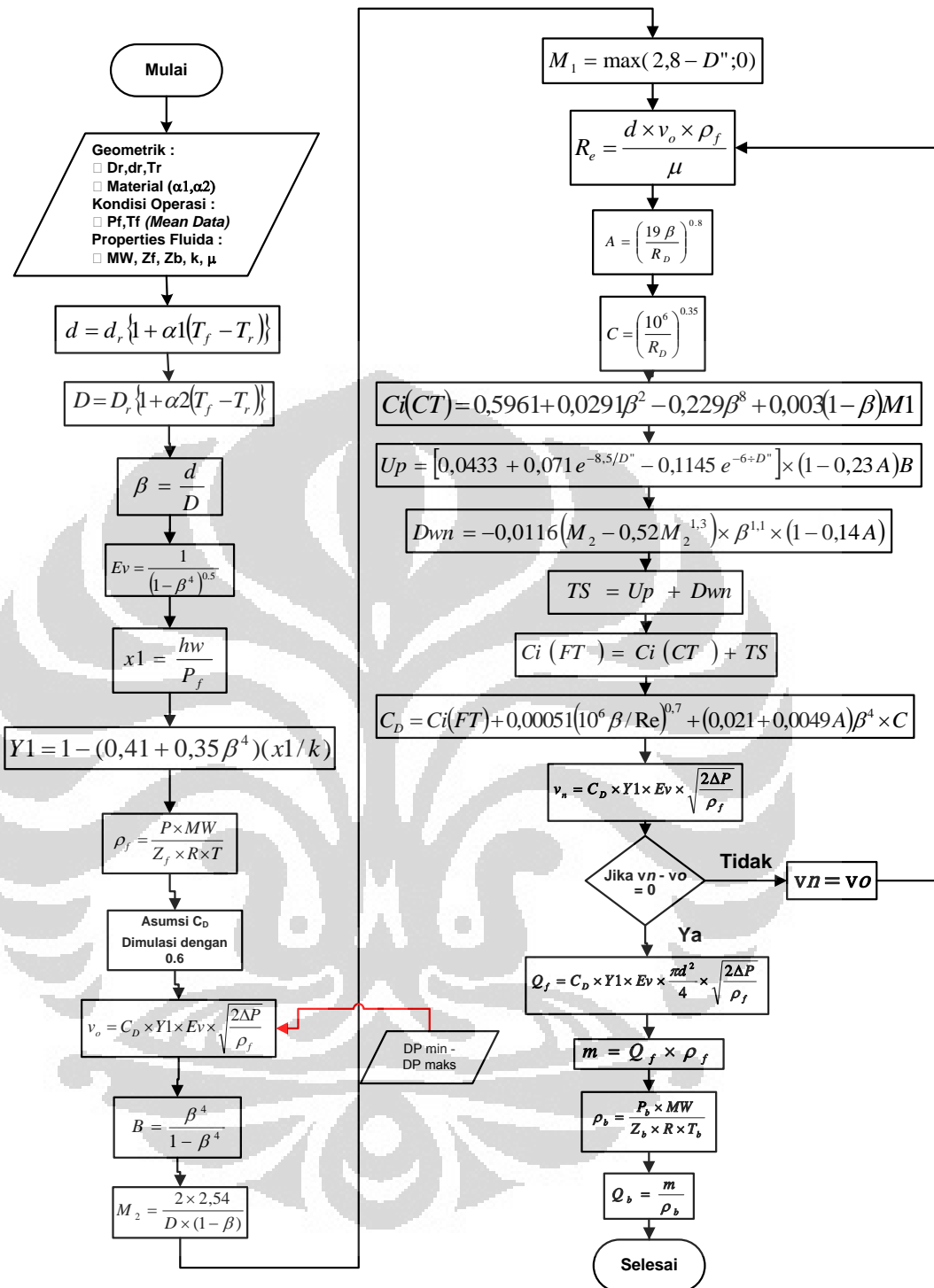
3.2.1 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Orifice

Tahapan perhitungan kapasitas meter orifice baik itu minimum ataupun maksimum terdiri dari tiga tahapan perhitungan, dimana rinciannya sebagai berikut :

- 1) Perhitungan faktor kompresibilitas fluida pada kondisi standar (Z_b). Perhitungan ini membutuhkan data masukan berupa gas komposisi , suhu standar (T_b) dan tekanan standar (P_b). Keluaran dari perhitungan ini adalah Gross Heating Value (GHV), Berat Molekul Campuran (MW) dan Z_b . Perhitungan ini mengacu pada standar perhitungan GPA 2172 – 96 “*Calculation of Gross Heating Value, Relative Density and Compressibility Factor for Natural Gas Mixtures from Compositional Analysis*”
- 2) Perhitungan faktor kompresibilitas fluida pada kondisi mengalir. Perhitungan ini membutuhkan masukan berupa fraksi mole dari Nitrogen (x_{N_2}) , fraksi mole dari Carbondioksida (CO_2), GHV, summation faktor (bi), Tekanan (P_f) dan Suhu fluida mengalir (T_f). Keluaran dari perhitungan ini adalah kompresibilitas fluida pada kondisi mengalir (Z_f). Perhitungan ini mengacu pada standar perhitungan AGANX19 “*Calculation Compressibility Factor for Natural Gas*”. Alur perhitungan tahap satu sampai dengan tahap dua dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**
- 3) Perhitungan laju alir natural gas melalui meter orifice. Masukan pada perhitungan ini adalah data geometrik dari meter orifice pada kondisi reference (D_r dan d_r), kondisi operasi (P_f dan T_f), properties fluida (MW, Z_b , Z_f) diambil dari perhitungan tahap 1 s.d 2, dan properties fluida (k , μ) diambil dari standar AGA 3. Untuk data *Differential Pressure* (DP) minimum dan maksimum diambil dari standar dan literature yang ada. Perhitungan laju alir merupakan perhitungan iterasi untuk menentukan koefisien discharge (C_D) dan keluaran yang diharapkan laju alir natural gas pada kondisi standar (Q_b). Alur perhitungan tahap tiga dapat dilihat pada **Gambar 3.3.**



Gambar 3.2. Diagram Alir Perhitungan Faktor Kompresibilitas Natural Gas

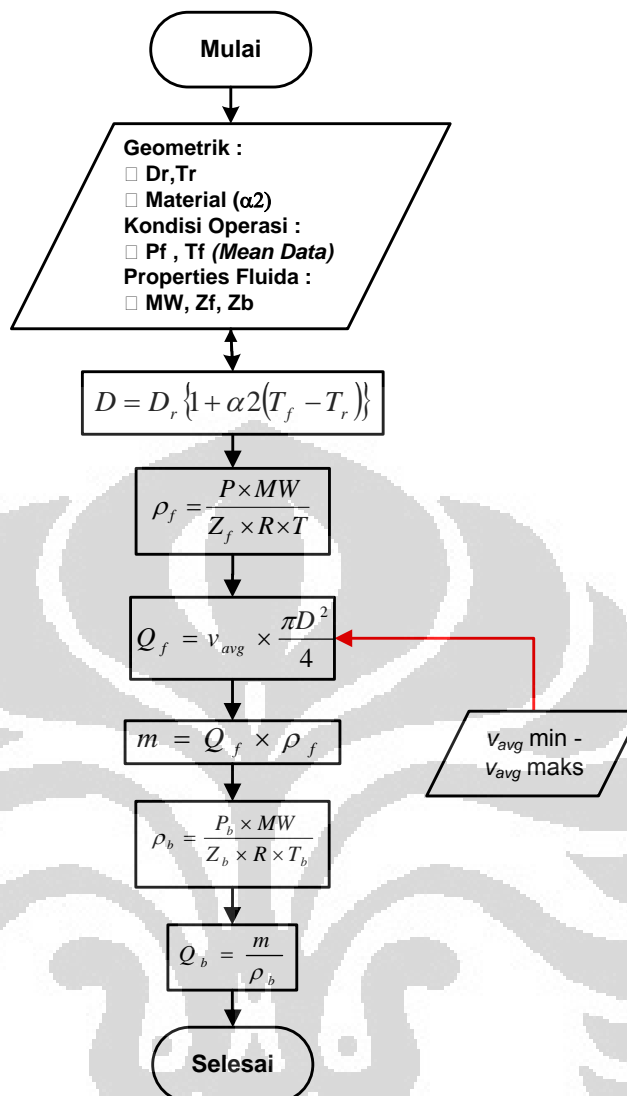


Gambar 3.3. Diagram Alir Perhitungan Laju Alir Natural Gas Melalui Meter Orifice

3.2.2 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Ultrasonik

Tahapan perhitungan kapasitas meter ultrasonik baik minimum ataupun maksimum terdiri dari tiga tahapan perhitungan. Tahapan satu sampai dengan dua sama dengan tahapan pada perhitungan kapasitas meter orifice. Perbedaannya terletak pada alur perhitungan laju alirnya, dimana rinciannya sebagai berikut :

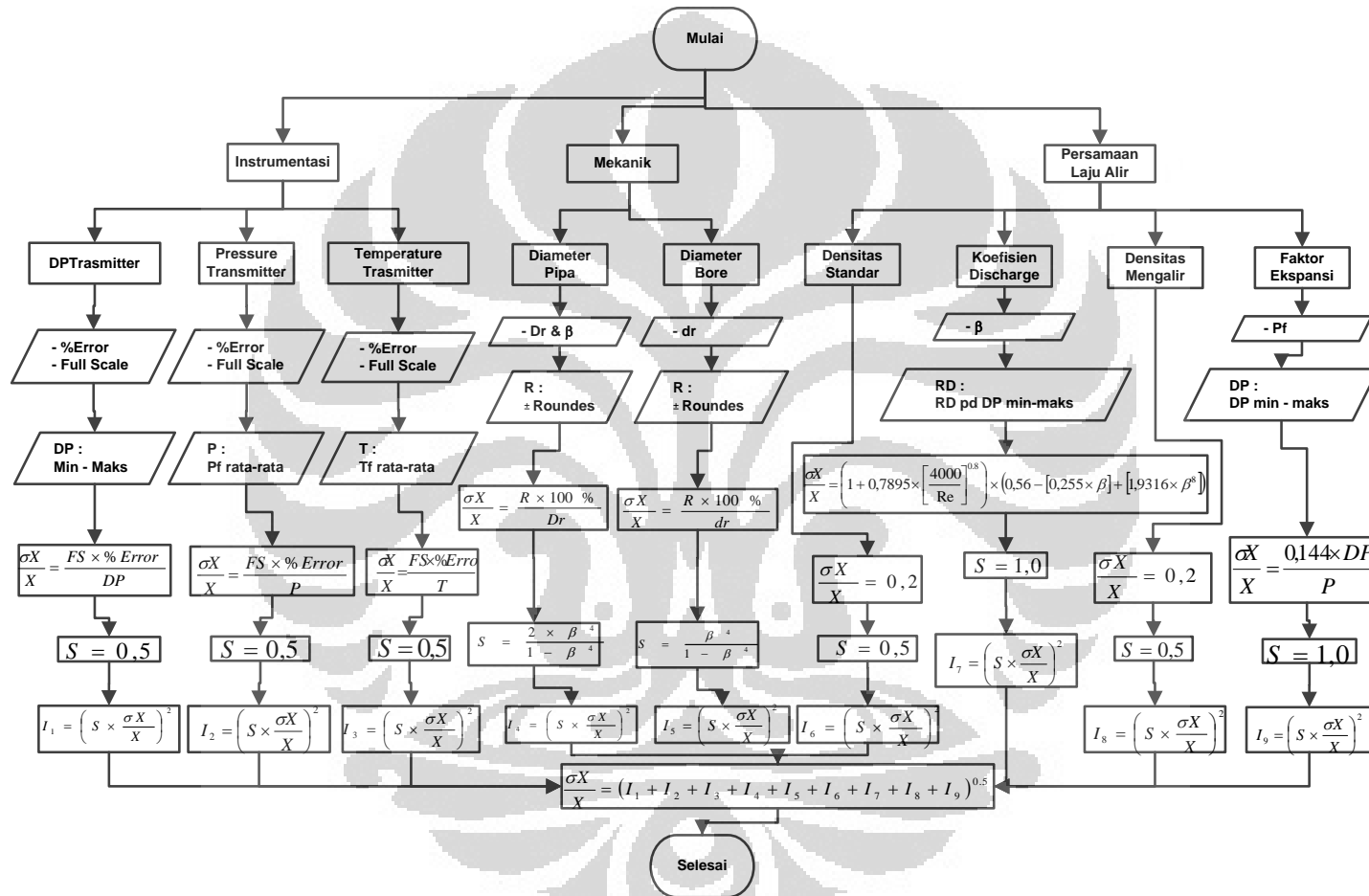
- 1) Perhitungan faktor kompresibilitas fluida pada kondisi standar (Z_b). Perhitungan ini membutuhkan data masukan berupa gas komposisi , suhu standar (T_b) dan tekanan standar (P_b). Keluaran dari perhitungan ini adalah Gross Heating Value (GHV), Berat Molekul Campuran (MW) dan Z_b . Perhitungan ini mengacu pada standar perhitungan GPA 2172 – 96 “*Calculation of Gross Heating Value, Relative Density and Compressibility Factor for Natural Gas Mixtures from Compositional Analysis*”
- 2) Perhitungan faktor kompresibilitas fluida pada kondisi mengalir. Perhitungan ini membutuhkan masukan berupa fraksi mole dari Nitrogen (x_{N_2}) , fraksi mole dari Carbondioksida (CO_2), GHV, summation faktor (bi), Tekanan (P_f) dan Suhu fluida mengalir (T_f). Keluaran dari perhitungan ini adalah kompresibilitas fluida pada kondisi mengalir (Z_f). Perhitungan ini mengacu pada standar perhitungan AGANX19 “*Calculation Compressibility Factor for Natural Gas*”. Alur perhitungan tahap 1 s.d 2 dapat dilihat pada **Gambar 3.2.**
- 3) Perhitungan laju alir natural gas melalui meter ultrasonik. Masukan pada perhitungan ini adalah data geometrik dari meter ultrasonik pada kondisi reference (D_r), kondisi operasi (P_f dan T_f), properties fluida (MW, Z_b , Z_f) diambil dari perhitungan tahap 1 s.d 2. Untuk perhitungan laju alir dibutuhkan data kecepatan rata – rata dari fluida (v_{avg}). Untuk data kecepatan rata – rata fluida (v_{avg}) minimum dan maksimum diambil dari standar dan literature yang ada. Keluaran yang diharapkan laju alir natural gas pada kondisi standar (Q_b). Alur perhitungan kapasitas meter ultrasonik atau tahap tiga dapat dilihat pada **Gambar 3.4.**



Gambar 3.4. Diagram Alir Perhitungan Laju Alir Natural Gas Melalui Meter Ultrasonik

3.2.3 Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice

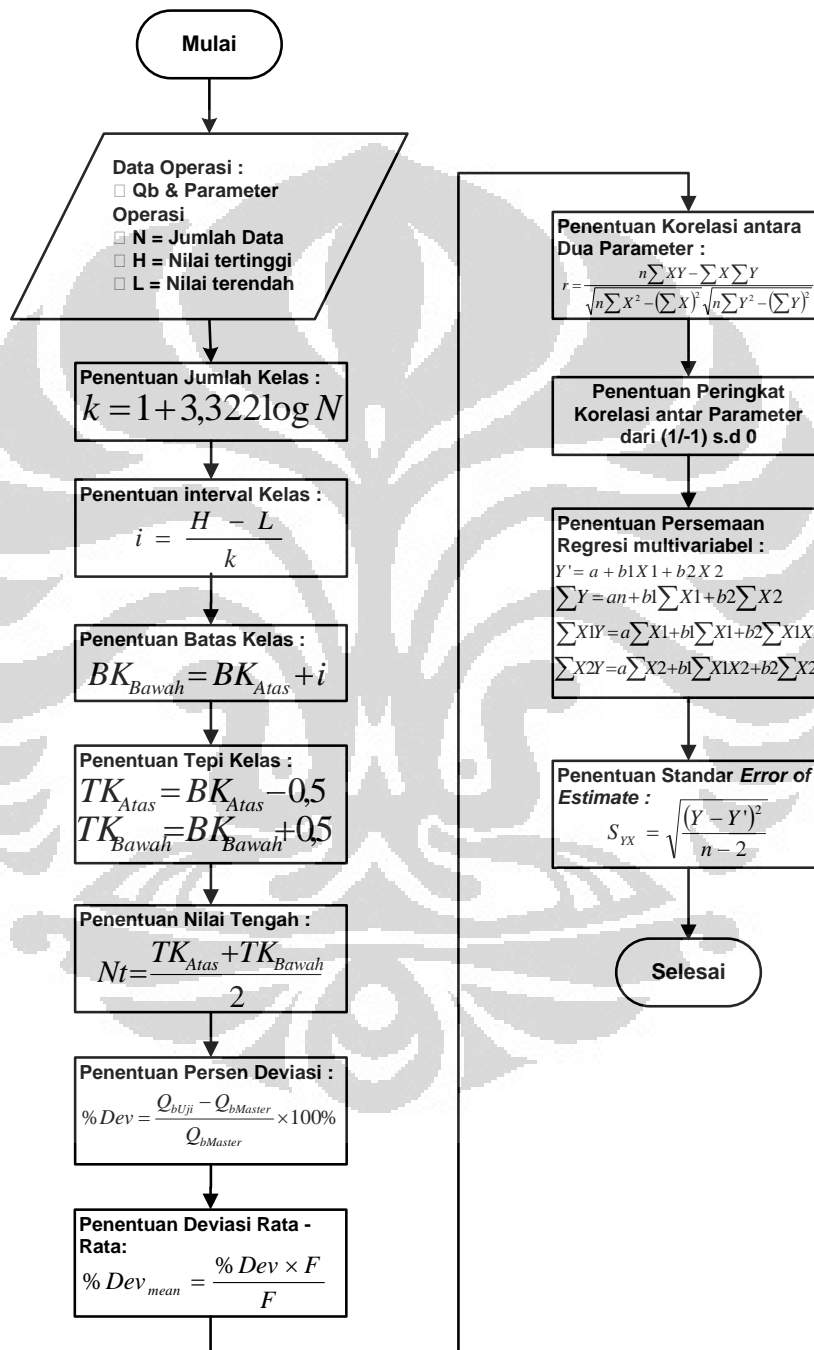
Sumber *uncertainty* pada pengukuran menggunakan meter orifice terdiri dari tiga sumber utama, yaitu : keakurasian *secondary device* seperti temperatur transmitter (TT), *pressure* transmitter (PT), *differensial pressure* transmitter (DPT); keakurasian dari pengukuran geometrik dari *primary device* seperti diameter dalam tube (D_r) dan diameter bore orifice (d_r); dan keakurasian dari persamaan laju alir tersebut. Alur perhitungan *uncertainty* pada meter orifice dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5. Diagram Alir Perhitungan *Uncertainty* Pada Meter Orifice

3.3 Tahapan Analisis Statistik

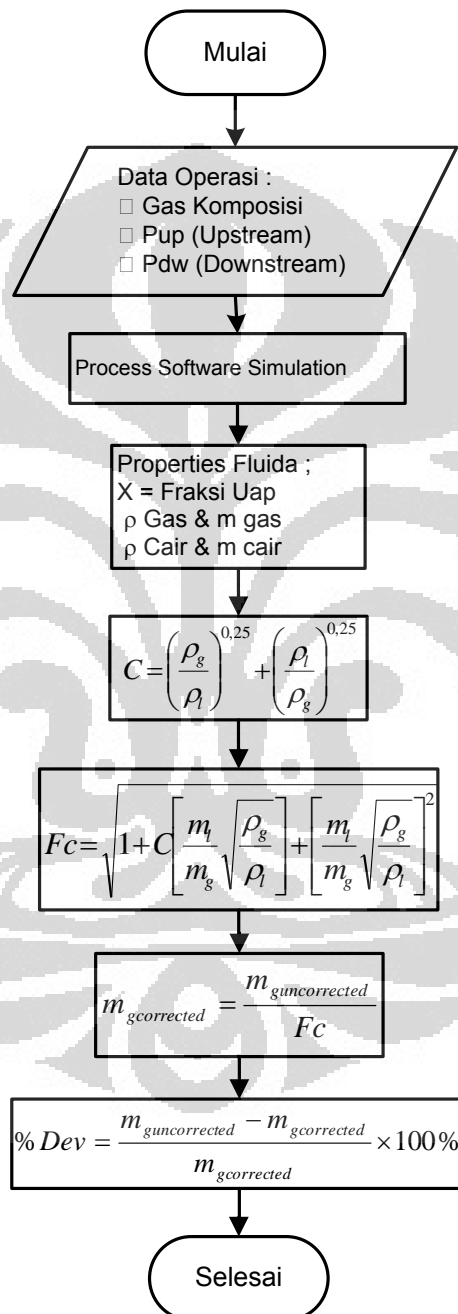
Analisis statistik terdiri dari tiga tahapan utama yaitu : tabulasi data, perhitungan koefisien korelasi antar parameter (variabel) dan perhitungan persemaan regresi linear dua variabel. Alur perhitungan analisis statistik dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



Gambar 3.6. Diagram Alir Perhitungan Analisis Statistik

3.4 Tahapan Analisis Operasi

Analisis operasi terdiri dari tiga tahapan utama yaitu : tabulasi data, software simulasi untuk mendapatkan properties fluida pada kondisi operasi tertentu dan perhitungan persen deviasi pengukuran antara *corrected* dengan *uncorrected*. Alur perhitungan analisis operasi dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



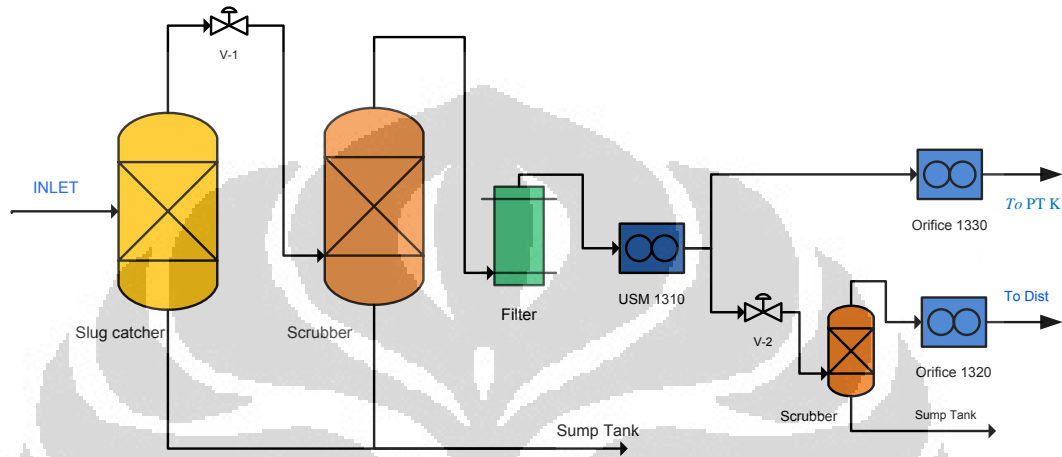
Gambar 3.7. Diagram Alir Perhitungan Analisis Operasi

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Spesifikasi Teknis Meter Orifice dan Ultrasonik

Untuk menunjang penelitian dan mempermudah pemahaman akan disampaikan *Process Flow Diagram* dari stasiun Bojonegara pada **Gambar 4.1**.



Gambar 4.1. *Process Flow Diagram* Stasiun Bojonegara

Pada **Gambar 4.1**, PFD diatas dibagi menjadi dua proses yaitu proses *gas conditioning* dan proses *metering systems*. Dalam proses *gas conditioning inlet gas* dipisahkan antara fase gas dan fase *liquid* menggunakan *slug catcher* kemudian gas diturunkan tekanan menggunakan *pressure control valve (PCV)*, proses penurunan tekanan ini mengakibatkan terbentuknya *mist* (embun) fase *liquid* yang kemudian *mist* tersebut ditangkap di *scrubber*. Kemudian gas dibersihkan dari padatan dengan menggunakan gas filter.

Tahapan kedua adalah proses *metering systems* dimana gas keluar dari filter diukur menggunakan meter ultrasonik 1310 kemudian dibagi menjadi dua aliran, aliran yang pertama menuju ke PT K dengan laju alir gas diukur dengan meter orifice 1330 dan aliran yang kedua menuju ke distribusi dengan laju alir gas diukur dengan meter orifice 1320, Pada aliran ke distribusi sebelum melalui meter orifice 1320, tekanan gas diturunkan menggunakan PCV dimana pada proses tersebut dimungkinkan membentuk *mist*, *mist* tersebut kemudian ditangkap menggunakan *scrubber*. Semua fase liquid yang tertangkap di *slug catcher* dan *scrubber* dikirim ke *sump tank* dan akan diolah lebih lanjut sebagai limbah.

4.1.1 Spesifikasi Teknis Meter Orifice

Berdasarkan surat izin penggunaan sistem meter gas st Bojonegara, diperoleh spesifikasi meter orifice sebagai berikut :

Tabel 4. 1. Spesifikasi Teknis Meter Orifice 1320 A/B dan 1330 A/B

No.	Spesifikasi	Unit	Meter Orifice	
			1320 A/B	1330 A/B
1.	<i>Beta rasio</i>		0,581	0,404
2.	<i>Orifice bore diameter</i>	inchi	9,797	6,055
3.	Maksimum DPT	inH ₂ O	200	200
4.	Maksimum PT	Psig	500	500
5.	Maksimum TT	°F	120	120
6.	<i>Inside Pipe Diameter</i>	inchi	16,876	15
7.	<i>Material pipe</i>		Carbon Steel	Carbon Steel
8.	<i>Material plate</i>		316 ST	316 ST
9.	<i>Type of meter</i>		<i>Concetric Flange Taps</i>	<i>Concetric Flange Taps</i>
10.	<i>Orifice plate thickness</i>	inchi	0,375	0,375
11.	Kapasitas maksimum	MMscfd	165	75

Catatan : ~ 1320 A/B = 52-GM-1320 A/B (*Metering to PT K*)

~ 1330 A/B = 52-GM-1330 A/B (*Metering to west java distribution*)

4.1.2 Spesifikasi Teknis Meter Ultrasonik.

Berdasarkan surat izin penggunaan sistem meter gas st Bojonegara, diperoleh spesifikasi meter ultrasonik sebagai berikut :

Tabel 4. 2. Spesifikasi Teknis Meter Ultrasonik 1310 A/B

Meter Ultrasonik			
No.	Spesifikasi	Unit	1330 A/B
1.	Kapasitas maksimum	MMscfd	350
2.	Kapasitas minimum	MMscfd	32
3.	Kecepatan maksimum	ft/s	80
4.	Kecepatan minimum	ft/s	3
5.	<i>Pipe size</i>	inchi	24
6.	<i>Schedule</i>		40
7.	<i>Inside Diameter</i>	inchi	22,624

4.2 Data Operasional

Data operasi yang diambil dan diolah dalam penelitian ini adalah data operasi periode 15 Januari 2010 – 30 April 2010, dimana data – datanya sebagai berikut:

- Meter Ultrasonik : q_b (MMscfd), P_f (Psig), T_f ($^{\circ}F$), dan Komposisi Gas
- Meter Orifice : q_b (MMscfd), DP_f (inH₂O), P_f (Psig), T_f ($^{\circ}F$), dan Komposisi Gas

Data operasi yang diambil menjadi dua kategori yaitu data operasi perjam dan data operasi per hari, dimana data operasi perhari yang diambil adalah gas komposisi, selebihnya adalah data operasi perjam. Sebagai contoh data operasi perjam yang diambil adalah sebagai berikut :

Tabel 4. 3. Data Operasi Perjam Meter Ultrasonik 1310 A/B 15 Januari 2010

PKL	Meter Ultrasonik				
	St B/JN				
	MMscfd	BBtud	Psig	$^{\circ}F$	Σ Stream Operasi
1	100,8	106,5	259,9	77,5	1,0
2	101,5	107,2	259,9	77,8	1,0
3	102,2	108,0	259,9	78,5	1,0
4	102,1	107,9	259,9	78,3	1,0
5	101,2	106,9	259,9	79,7	1,0
6	101,6	107,3	259,8	81,1	1,0
7	101,2	107,0	259,9	81,6	1,0
8	100,3	106,2	259,9	77,4	1,0
9	100,7	106,2	259,9	70,8	1,0
10	100,3	105,8	259,9	67,2	1,0
11	99,9	105,5	260,0	66,4	1,0
12	99,2	104,8	260,0	67,2	1,0
13	99,2	104,9	260,0	68,8	1,0
14	99,1	104,6	260,0	70,3	1,0
15	99,6	105,2	260,0	72,9	1,0
16	99,6	105,2	260,0	72,9	1,0
17	99,8	105,4	260,0	74,2	1,0
18	99,8	105,4	270,0	74,7	1,0
19	101,0	106,6	259,9	75,1	1,0
20	101,0	106,7	259,9	75,4	1,0
21	101,5	107,1	259,9	75,7	1,0
22	101,8	107,4	259,9	75,1	1,0
23	101,5	107,2	259,9	76,2	1,0
24	101,9	107,5	259,9	76,9	1,0
Avg	100,7	106,4	260,3	74,7	1,0

Tabel 4. 4. Data Operasi Perjam Meter Orifice 1320 A/B 15 Januari 2010

<i>PKL</i>	<i>Meter Orifice</i>					
	<i>Distribusi</i>					
	<i>MMscfd</i>	<i>BBtud</i>	<i>Psig</i>	<i>° F</i>	<i>inH₂O</i>	<i>Σ Stream Operasi</i>
1	60,7	64,2	243,1	77,1	34,8	1,0
2	61,4	64,9	241,6	76,7	35,6	1,0
3	62,1	65,6	241,4	77,5	36,5	1,0
4	62,0	65,6	240,6	76,5	36,3	1,0
5	61,1	64,6	240,3	77,9	35,3	1,0
6	61,4	64,9	240,3	79,6	35,9	1,0
7	61,1	64,6	240,4	80,6	35,5	1,0
8	60,3	63,8	240,8	78,5	34,5	1,0
9	60,7	64,1	241,3	73,4	34,6	1,0
10	60,4	63,7	242,1	70,6	34,0	1,0
11	60,0	63,4	242,9	70,3	33,5	1,0
12	59,3	62,6	243,7	71,1	32,8	1,0
13	59,2	62,6	244,5	72,8	32,8	1,0
14	59,1	62,4	245,2	74,1	32,8	1,0
15	59,6	62,9	245,6	74,3	33,3	1,0
16	59,6	62,9	246,4	76,0	33,4	1,0
17	59,8	63,2	247,8	76,9	33,7	1,0
18	59,7	63,1	247,7	76,4	33,6	1,0
19	60,9	64,3	246,3	75,7	34,8	1,0
20	61,0	64,4	245,3	75,7	35,0	1,0
21	61,4	64,8	244,5	75,9	35,5	1,0
22	61,7	65,2	243,6	76,1	35,9	1,0
23	61,5	64,9	242,9	75,9	35,6	1,0
24	61,8	65,2	242,5	76,5	36,0	1,0
Avg	60,7	64,1	243,4	75,7	34,7	1,0

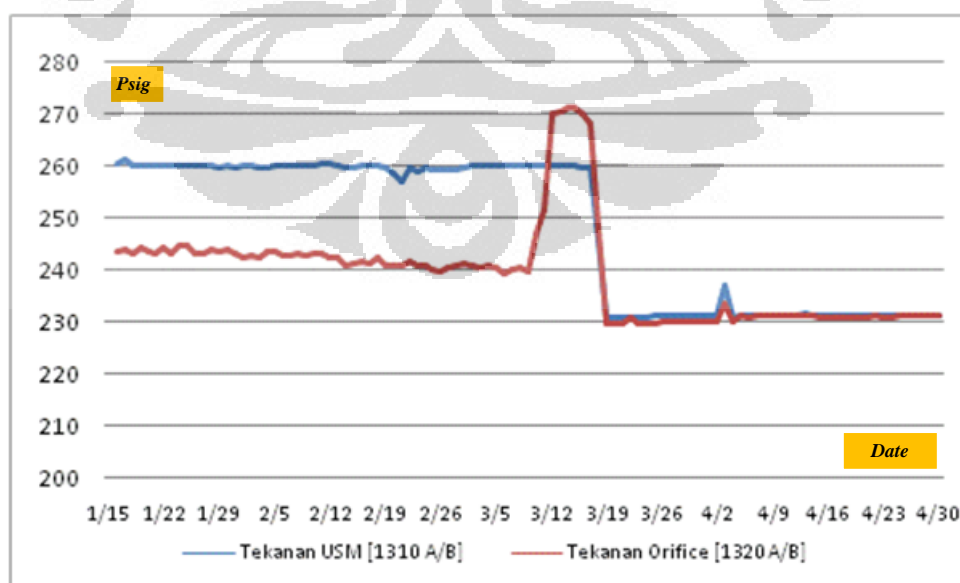
Tabel 4. 5. Data Operasi Perjam Meter Orifice 1330 A/B 15 Januari 2010

PKL	Meter Orifice					
	PT K					
	MMscfd	BBtud	Psig	$^{\circ}F$	inH ₂ O	Σ Stream Operasi
1	39,9	42,1	259,9	77,5	28,7	2,0
2	39,9	42,2	259,9	77,5	28,7	2,0
3	39,9	42,2	259,9	78,2	28,8	2,0
4	39,9	42,2	259,9	77,8	28,7	2,0
5	39,9	42,1	259,9	79,2	28,8	2,0
6	39,9	42,1	259,8	80,7	29,0	2,0
7	39,9	42,2	259,9	81,3	29,0	2,0
8	39,9	42,2	259,9	78,0	28,8	2,0
9	39,9	42,1	259,9	72,0	28,4	2,0
10	39,9	42,1	259,9	68,7	28,2	2,0
11	39,9	42,1	260,0	67,9	28,2	2,0
12	39,9	42,1	260,0	68,6	28,2	2,0
13	39,9	42,2	260,0	70,2	28,3	2,0
14	39,9	42,1	260,0	71,6	28,4	2,0
15	39,9	42,1	260,0	72,3	28,4	2,0
16	39,9	42,1	260,0	73,9	28,5	2,0
17	39,9	42,1	260,0	75,1	28,6	2,0
18	39,9	42,1	270,0	75,4	28,6	2,0
19	39,9	42,1	259,9	75,4	28,6	2,0
20	39,9	42,1	259,9	75,6	28,6	2,0
21	39,9	42,1	259,9	75,9	28,6	2,0
22	39,9	42,1	259,9	76,2	28,6	2,0
23	39,9	42,1	259,9	76,3	28,6	2,0
24	39,9	42,1	259,9	76,9	28,7	2,0
Avg	39,9	42,1	260,3	75,1	28,6	2,0

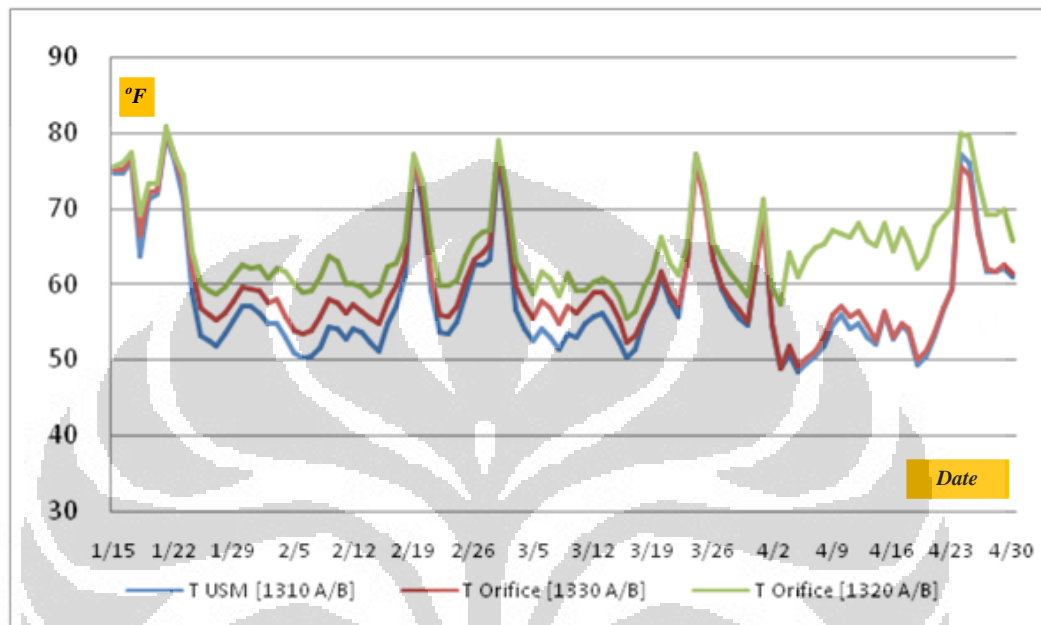
Tabel 4. 6. Data Operasi Perhari Gas Komposisi *Metering Systems* 15 Januari 2010

NO	PARAMETER		UNITS	LAST ANALYSIS
B 1	METHANE	C1	MOLE %	84.4110
2	ETHANE	C2	MOLE %	6.4232
3	PROPANE	C3	MOLE %	3.1323
4	i-BUTANE	iC4	MOLE %	0.7388
5	n-BUTANE	nC4	MOLE %	0.8377
6	i-PENTANE	iC5	MOLE %	0.3693
7	n-PENTANE	nC5	MOLE %	0.2482
8	n-HEXANE	nC6	MOLE %	0.1489
9	n-HEPTANE	nC7	MOLE %	0.0832
10	n-OCTANE	nC8	MOLE %	0.0248
11	n-NONANE	nC3	MOLE %	0.0007
12	NITROGEN	N ₂	MOLE %	1.0072
13	CARBON DIOXYDE	CO ₂	MOLE %	2.5470
14	MOISTURE	H ₂ O	MOLE %	0.0277
15	SULFUR	H ₂ S	MOLE %	0.0000
	TOTAL			100.0000
C	RELATIVE DENSITY	SG		0.0526
D	WATER CONTENT	H ₂ O	Lbs/MMSCF	13.1499
E	GROSS HEATING VALUE	GHV	BTU/SCF	1,140.3500

Kondisi operasi meter orifice dan meter ultrasonik pada periode 15 Januari – 30 April 2010 ditampilkan dalam grafik sebagai berikut :

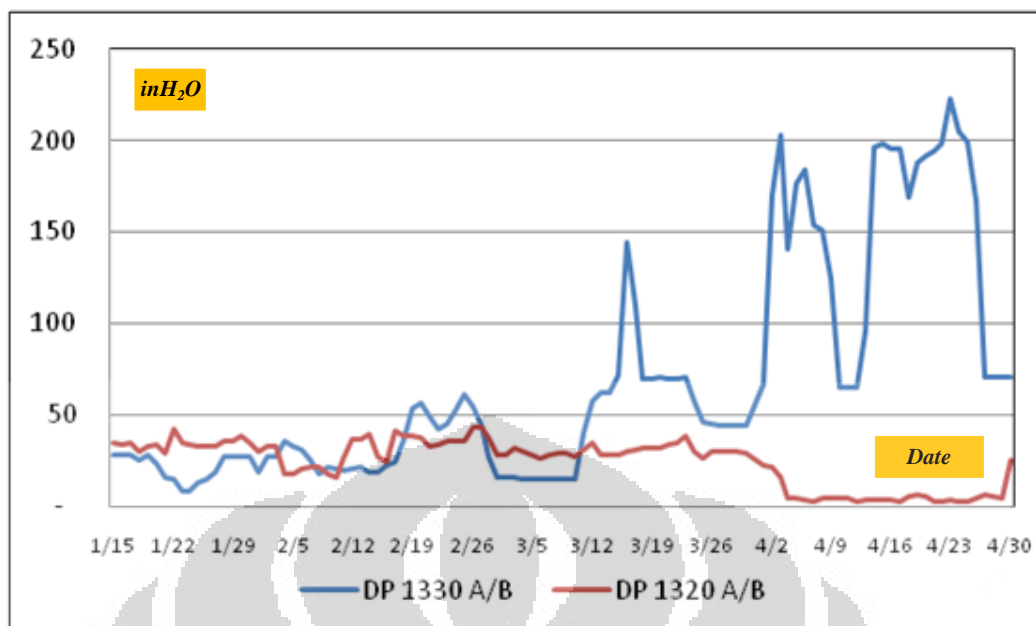
**Gambar 4. 2.** Profil Tekanan Operasi Periode 15 Januari – 30 April 2010

Tekanan operasi rata – rata per hari meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 229,5 – 271,2 Psig dan meter ultrasonik bervariasi antara 230,8 – 261,2 Psig. Untuk tekanan operasi rata – rata perjam meter orifice bervariasi 219,4 – 276,1 Psig dan meter ultrasonik bervariasi antara 230,4 – 289,9 Psig.



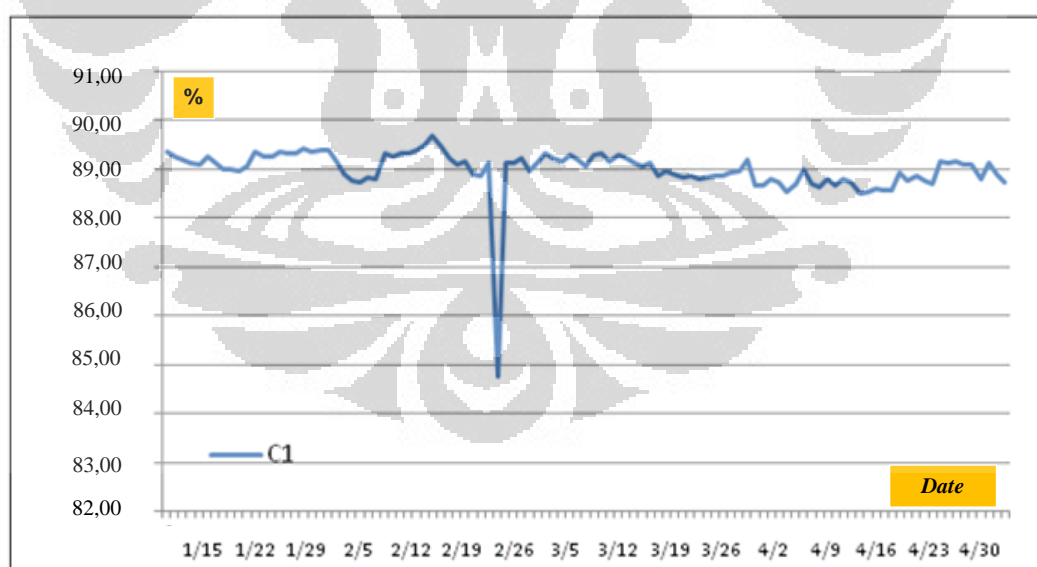
Gambar 4.3. Profil Temperatur Operasi Periode 15 Januari – 30 April 2010

Temperatur operasi rata – rata per hari meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 55,6 – 80,8 °F , meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 48,9 – 80,1 °F dan meter ultrasonik bervariasi antara 48,5 – 79,7 °F. Untuk temperatur operasi rata – rata perjam meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 40,8 – 93,5 °F , meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 44,4 – 86,2 °F dan meter ultrasonik bervariasi antara 44,5 – 86,2 °F.

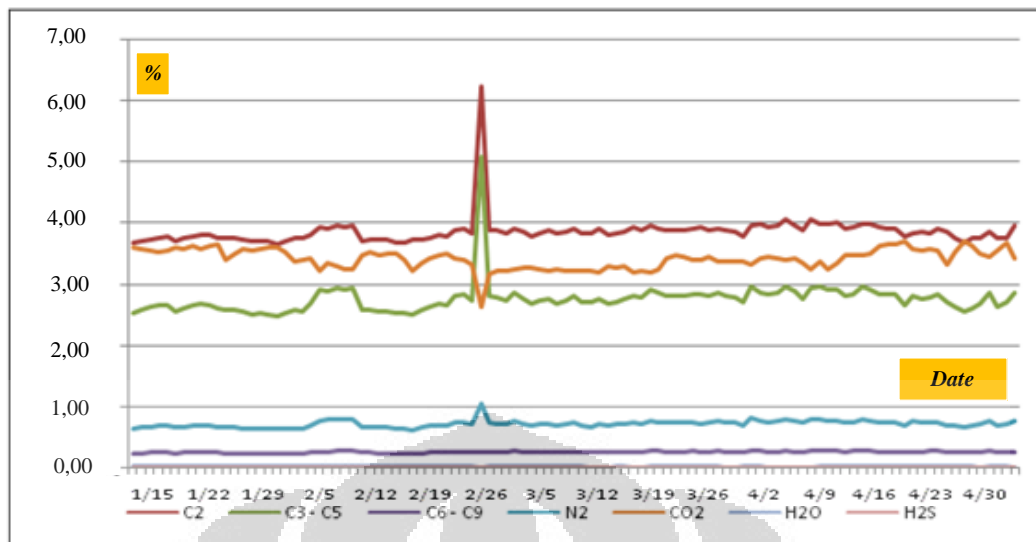


Gambar 4.4. Profil *Differential Pressure* Periode 15 Januari – 30 April 2010

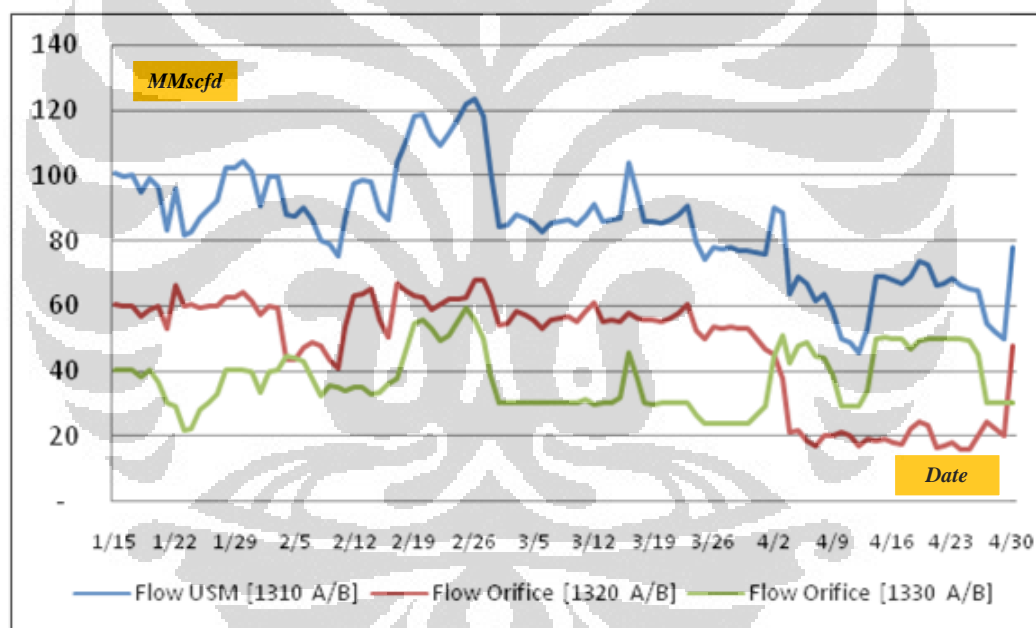
DP (*Differential Pressure*) operasi rata – rata per hari meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 2,7 – 43,1 inH₂O dan meter orifice 1330 A/B bervariasi antara 8,5 – 205,1 inH₂O.



Gambar 4.5. Profil Fraksi C1(*Methane*) Periode 15 Januari – 30 April 2010



Gambar 4.6. Profil Fraksi Gas Komposisi Periode 15 Januari – 30 April 2010



Gambar 4.7. Profil Laju Alir Periode 15 Januari – 30 April 2010

Flow operasi rata – rata per hari meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 15,8 – 68,1 MMscfd , meter orifice 1330 A/B bervariasi antara 21,6 – 59,2 MMscfd dan meter ultrasonik bervariasi antara 45,8 – 123,4 MMscfd. Untuk Flow operasi rata – rata perjam meter orifice 1320 A/B bervariasi antara 13,5 – 74,0 MMscfd , meter orifice 1330 A/B bervariasi antara 19,7 – 77,7 MMscfd dan meter ultrasonik bervariasi antara 44,3 – 132,1 MMscfd.

4.3 Analisis Teknik

Dalam analisis teknik ini akan dilakukan perhitungan kapasitas minimum dan maksimum meter terpasang baik meter orifice (1320 & 1330) dan meter ultrasonik (1310). Kemudian dilanjutkan perhitungan *uncertainty* dari meter orifice.

4.3.1 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Terpasang

Perhitungan kapasitas minimum dan maksimum terpasang ini meliputi meter ultrasonik (1310), meter orifice (1320) dan meter orifice (1330).

4.3.1.1 Meter Ultrasonik (1310)

Kapasitas minimum dan maksimum dari meter ultrasonik ditentukan oleh tiga parameter yaitu kecepatan alir fluida, keakurasian yang diharapkan dan kemampuan dari transduser.

4.3.1.1.1 Kecepatan Alir Fluida

Batasan maksimum dari meter ultrasonik adalah kecepatan erosi dari fluida tersebut dan noise, dimana kecepatan maksimum fluida agar noise tidak menjadi masalah adalah 60 ft/s, sedangkan kecepatan erosi fluida yang merupakan fungsi dari berat jenis fluida pada kondisi operasi diperoleh dari hasil perhitungan pada **lampiran 1** sebesar 107 ft/s. oleh karena kecepatan maksimum agar noise tidak menjadi masalah lebih kecil dari kecepatan erosi fluida, maka batasan maksimum kecepatan alir fluida adalah 60 ft/s.

Untuk batasan kecepatan alir minimum fluida adalah 7 ft/s, dimana kecepatan alir ini merupakan batasan minimum kecepatan alir fluida untuk menjamin kehomogenan temperatur dari fluida yang mengalir. Oleh karena itu kecepatan maksimum yang dipilih adalah 60 ft/s dan kecepatan minimum adalah 7 ft/s.

4.3.1.1.2 Keakurasian Yang Diharapkan

Berdasarkan penjelasan dari **Gambar 2.17** perihal spesifikasi unjuk kerja meter ultrasonik dalam AGA 9, dimana untuk meter ultrasonik dengan diameter lebih besar dari 12” maka keakurasian yang relatif stabil pada angka +/- 0,8%

terjadi pada range operasi 10% - 100% Kapasitas Maksimum. Sehingga kapasitas minimum dari meter ultrasonik adalah 10% dari kapasitas maksimumnya.

4.3.1.1.3 Kemampuan Transduser

Kemampuan dari transduser tidak dispesifikasikan secara jelas dalam spesifikasi dari meter ultrasonik, namun kemampuan transduser dapat diambil dari kecepatan maksimum yang masih dapat diukur oleh meter ultrasonik. Untuk meter ultrasonik *Daniel Senior Sonic Gas Flow Meter* kecepatan maksimum yang masih dapat diukur adalah 125 ft/s.

4.3.1.1.4 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum

Dari ketiga parameter tersebut diperoleh bahwa kapasitas minimum dari meter ultrasonik adalah 10% kapasitas maksimum atau pada kecepatan alir fluida 7 ft/s dan kapasitas maksimumnya adalah pada kecepatan alir fluida 60 ft/s.

Berikut akan dilakukan kapasitas maksimum dari meter ultrasonik 1310 terpasang. Menggunakan **alur perhitungan 3.2.2** (rincian perhitungan pada **lampiran 2**), diperoleh kapasitas maksimum sebesar 252 MMscfd.

Untuk perhitungan kapasitas minimum meter ultrasonik juga menggunakan **alur perhitungan 3.2.2** (rincian perhitungan pada **lampiran 2**), hanya dengan merubah kecepatan alir maksimum dengan kecepatan alir minimum. Dan diperoleh kapasitas minimum pada kecepatan alir minimum sebesar 29,4 MMscfd dan pada 10% kapasitas maksimum sebesar 25,2 MMscfd. Oleh karena kapasitas pada kecepatan alir minimum lebih besar dibandingkan kapasitas minimum pada 10% dari kapaistas maksimum, maka kapasitas minimum terpasang adalah 29,4 MMscfd.

Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Ultrasonik

Kapasitas Minimum		Kapasitas Maksimum
Pada $v = 7$ ft/s	Pada $10\%q_{\max}$	Pada $v = 60$ ft/s
29,4 MMscfd	25,2 MMscfd	252 MMscfd

4.3.1.2 Meter Orifice (1320)

Kapasitas minimum dan maksimum dari meter orifice ditentukan oleh tiga parameter yaitu kecepatan alir fluida, kemampuan dalam menerima tekanan, batasan bilangan reynold, dan keakurasian yang diharapkan.

4.3.1.2.1 Kecepatan Alir Fluida

Sebagaimana meter ultrasonik, salah satu batasan maksimum dari meter orifice adalah kecepatan erosi dari fluida tersebut dan noise, dimana kecepatan maksimum fluida agar noise tidak menjadi masalah adalah 60 ft/s, sedangkan kecepatan erosi fluida yang merupakan fungsi dari berat jenis fluida pada kondisi operasi diperoleh dari hasil perhitungan pada **lampiran 1** sebesar 107 ft/s. oleh karena kecepatan maksimum agar noise tidak menjadi masalah lebih kecil dari kecepatan erosi fluida, maka batasan maksimum kecepatan alir fluida adalah 60 ft/s.

Demikian juga untuk batasan kecepatan alir minimum fluida meter orifice sama dengan meter ultrasonik adalah 7 ft/s, dimana kecepatan alir ini merupakan batasan minimum kecepatan alir fluida untuk menjamin kehomogenan temperatur dari fluida yang mengalir. Oleh karena itu kecepatan maksimum yang dipilih adalah 60 ft/s dan kecepatan minimum adalah 7 ft/s.

4.3.1.2.2 Kemampuan Menerima Beda Tekanan

Untuk meter orifice *diferensial pressure* maksimum yang diijinkan pada plate orifice adalah 250 in H₂O 60 °F karena kemampuan dari seal ring dan diferensial pressure minimum adalah 20 in H₂O 60 °F. Karena meter orifice 1320 DP Transmitter yang terpasang sebesar 200 inH₂O maka batasan kapasitas maksimum dari meter orifice pada *diferensial pressure* 200 inH₂O.

4.3.1.2.3 Batasan Bilangan Reynold Dalam Persamaan Empiris

Dalam pembuatan persamaan empirik dari C_D batasan reynold number dari pipa adalah 4.000 – 35.000.000. Sehingga batasan bilangan reynold dari perhitungan kapasitas ini adalah 4.000 – 35.000.000.

4.3.1.2.4 Keakurasian Yang Diharapkan

Untuk meter orifice dikenal istilah *turn – down ratio* yang menunjukkan perbandingan antara kapasitas maksimum dan kapasitas minimum suatu meter dimana tingkat keakurasian tersebut masih dapat dipertahankan. Untuk meter orifice *turn – down ratio* adalah 3 : 1, sehingga kapasitas minimum dari meter orifice adalah 33% dari kapasitas maksimumnya.

4.3.1.2.5 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum

Dari keempat parameter tersebut diperoleh bahwa kapasitas minimum dari meter orifice adalah 33% kapasitas maksimum atau pada kecepatan alir fluida 7 ft/s atau pada beda tekanan 20 inH₂O atau pada bilangan reynold 4,000 dan kapasitas maksimumnya adalah pada kecepatan alir fluida 60 ft/s atau pada beda tekanan 200 inH₂O atau pada bilangan reynold 35 juta.

Dari perhitungan kapasitas maksimum meter orifice 1320 **di lampiran 3** diperoleh kapasitas maksimum sebesar 139 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 59,4 ft/s, dimana masih dibawah kecepatan alir maksimum 60 ft/s dan bilangan reynold pipa sebesar 8.980.120, dimana juga masih dibawah batasan maksimum 35juta.

Dari perhitungan kapasitas minimum **di lampiran 3**, untuk perhitungan kapasitas minimum sama dengan perhitungan kapasitas maksimum. Perbedaannya terletak pada besaran DP yang digunakan, untuk perhitungan kali ini menggunakan batasan minimum DP yang diijinkan yaitu 20 inH₂O, dimana diperoleh kapasitas minimum sebesar 44,5 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 19 ft/s, dimana masih diatas batasan minimum 7 ft/s dan bilangan reynold sebesar 2.868.579, dimana masih lebih besar dari batasan minimum 4.000.

Kemudian berdasarkan keakurasian yang diharapkan batasan minimum adalah 33% dari batasan maksimum sebesar 46 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 19,8 ft/s, dimana masih diatas batasan minimum 7 ft/s dan bilangan reynold sebesar 2.978.770, dimana masih lebih besar dari batasan minimum 4.000.

Oleh karena kapasitas minimum berdasarkan keakurasian yang diharapkan lebih besar dari kapasitas minimum berdasarkan DP maka kapasitas minimum terpasang meter orifice 1320 sebesar 46 MMscfd.

Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Orifice 1320

Parameter	Kapasitas Minimum		Kapasitas Maksimum
	Pada DP = 20 inH ₂ O	Pada 33% q _{max}	Pada DP = 200 inH ₂ O
q _b	44,5 MMscfd	46 MMscfd	139 MMscfd
Re	2.868.579	2.978.770	8.980.120
V	19 ft/s	19,8 ft/s	59,4 ft/s

4.3.1.3 Meter Orifice (1330)

Kapasitas minimum dan maksimum dari meter orifice ditentukan oleh tiga parameter yaitu kecepatan alir fluida, kemampuan dalam menerima tekanan, batasan bilangan reynold, dan keakurasian yang diharapkan.

4.3.1.3.1 Batasan Kapasitas Minimum dan Maksimum

Oleh karena batasan kapasitas minimum dan maksimum meter orifice adalah sama antara satu dan yang lainnya, dimana perbedaan hanya terletak pada maksimum range DP transmitter yang terpasang. Untuk meter orifice 1330 maksimum range DP transmitter yang terpasang sama dengan yang terpasang pada meter orifice 1320. Sehingga diperoleh batasan kapasitas untuk meter orifice dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9. Batasan Minimum Dan Maksimum Kapasitas Meter Orifice 1330

Batasan Kapasitas Meter orifice 1330							
v (ft/s)		DP (inH ₂ O)		R _e		Keakurasian	
min	maks	min	maks	min	maks	min	maks
7	60	20	200	4.000	35 juta	33% q _{max}	100% q _{max}

4.3.1.3.2 Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum

Dari perhitungan kapasitas maksimum meter orifice 1330 **di lampiran 4** diperoleh kapasitas maksimum sebesar 50,5 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 27 ft/s, dimana masih dibawah kecepatan alir maksimum 60 ft/s dan bilangan reynold pipa sebesar 3.675.021, dimana juga masih dibawah batasan maksimum 35juta.

Dari perhitungan kapasitas minimum **di lampiran 4**, untuk perhitungan kapasitas minimum sama dengan perhitungan kapasitas maksimum. Perbedaannya

terletak pada besaran DP yang digunakan, untuk perhitungan kali ini menggunakan batasan minimum DP yang diijinkan yaitu 20 inH₂O, dimana diperoleh kapasitas minimum sebesar 16 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 8,7 ft/s, dimana masih diatas batasan minimum 7 ft/s dan bilangan reynold sebesar 1.170.251, dimana masih lebih besar dari batasan minimum 4.000.

Kemudian berdasarkan keakurasian yang diharapkan batasan mimum adalah 33% dari batasan maksimum sebesar 16,8 MMscfd dengan kecepatan alir fluida sebesar 9 ft/s, dimana masih diatas batasan minimum 7 ft/s dan bilangan reynold sebesar 1.225.426, dimana masih lebih besar dari batasan minimum 4.000.

Oleh karena kapasitas minimum berdasarkan keakurasian yang diharapkan lebih besar dari kapasitas minimum berdasarkan DP maka kapasitas minimum terpasang meter orifice 1320 sebesar 16,8 MMscfd.

Tabel 4.10. Hasil Perhitungan Kapasitas Minimum dan Maksimum Meter Orifice 1330

Parameter	Kapasitas Minimum		Kapasitas Maksimum
	Pada DP = 20 inH ₂ O	Pada 33% q _{max}	Pada DP = 200 inH ₂ O
q _b	16 MMscfd	16,8 MMscfd	50,5 MMscfd
Re	1.170.251	1.225.426	3.675.021
V	8,7 ft/s	9 ft/s	27 ft/s

4.3.2 Perhitungan *Uncertainty* Meter orifice

Perhitungan *uncertainty* meter orifice ini meliputi meter orifice (1320) dan meter orifice (1330). Dalam perhitungan ini akan dibagi menjadi dua jenis *uncertainty* yaitu *uncertainty* yang hanya mengakomodir keakurasian dari transmitter atau *uncertainty* tipe 1 dan yang kedua adalah *uncertainty* secara keseluruhan dimana mengakomodir keakurasian transmitter, konstruksi mekanis dari meter orifice, dan keakurasian dari persamaan laju alir atau *uncertainty* tipe 2.

4.3.2.1 Data Masukan

Dalam perhitungan diperlukan data – data masukan yang diperoleh dari hasil rekalisasi dan spesifikasi teknis dari meter orifice 1320 dan 1330,

a) **Hasil Rekalibrasi**

Selama periode 15 Januari – 30 Juni 2010, telah dilakukan proses rekalibrasi dari meter orifice baik 1320 ataupun 1330 pada tanggal 11 – 14 Maret 2010, Dimana diperoleh hasil rekalibrasi untuk transmitter yang sebagai berikut :

Tabel 4. 11. Error Transmitter Meter Orifice 1320 Hasil Rekalibrasi 11 – 14 Maret 2010

Sebelum Rekalibrasi	Setelah Rekalibrasi
DPT = + 0,9314 % FS	DPT = - 0,0188 % FS
PT = - 0,0626 % FS	PT = - 0,0626 % FS
TT = + 0,1544 % FS	TT = + 0,0188 % FS

Sesuai dengan prasyarat diterimanya suatu transmitter sebagai alat ukur (jual beli) adalah error dari transmitter maksimum +/- 0,25 % FS. Dari hasil rekalibrasi meter orifice 1320 diperoleh bahwa dari ketiga transmitter tersebut terjadi error yang melebihi prasyarat yaitu DP Transmitter sebesar + 0,9314 % FS.

Tabel 4. 12. Error Transmitter Meter Orifice 1330 Hasil Rekalibrasi 11 – 14 Maret 2010

Sebelum Rekalibrasi	Setelah Rekalibrasi
DPT = + 0,675 % FS	DPT = - 0,0005 % FS
PT = - 0,0248 % FS	PT = - 0,0248 % FS
TT = + 1,544 % FS	TT = + 0,1001 % FS

Untuk meter 1330 diperoleh bahwa dari ketiga transmitter tersebut terjadi error yang melebihi prasyarat yaitu DP Transmitter sebesar + 0,675 % FS dan TT sebesar + 1,544 % FS.

b) **Spesifikasi Teknis Meter Orifice**

Spesifikasi teknis meter orifice yang digunakan dalam perhitungan *uncertainty* adalah spesifikasi mekanik dan kapasitas maksimum transmitter terpasang. Dimana spesifikasi teknis meter orifice dapat dilihat pada **Tabel 4.1**.

4.3.2.2 Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice

Perhitungan *uncertainty* ini akan dibagi menjadi dua yaitu perhitungan *uncertainty* tipe 1 dan tipe 2 untuk masing – masing meter orifice.

4.3.2.2.1 Meter Orifice 1320

Untuk perhitungan *uncertainty* meter orifice 1320 terdiri dari dua tipe yaitu tipe 1 dan tipe 2 dimana perhitungannya akan dilakukan dalam range operasi minimum sampai dengan maksimum.

4.3.2.2.1.1 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 1 sebelum recalibrasi

Perhitungan *uncertainty* Tipe 1 ini terdiri perhitungan laju alir gas *uncorrected* dan perhitungan laju alir gas *corrected* terhadap keakurasian transmitter sebelum recalibrasi. Dari perhitungan *uncertainty* di lampiran 5, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 13. *Uncertainty* Tipe 1 Meter Orifice 1320 Sebelum Recalibrasi

DPUncor	DPCor	q _b Uncor	q _b Cor	<i>Uncertainty</i>
20	18,14	44,43	42,5	4,59%
30	28,14	54,38	52,9	2,85%
40	38,14	62,75	61,5	2,01%
50	48,14	70,11	69,1	1,52%
60	58,14	76,76	75,9	1,19%
70	68,14	82,87	82,1	0,96%
80	78,14	88,54	87,8	0,79%
90	88,14	93,86	93,2	0,65%
100	98,14	98,88	98,3	0,55%
110	108,14	103,65	103,2	0,46%
120	118,14	108,20	107,8	0,39%
130	128,14	112,56	112,2	0,33%
140	138,14	116,74	116,4	0,28%
150	148,14	120,77	120,5	0,23%
160	158,14	124,67	124,4	0,19%
170	168,14	128,44	128,2	0,16%
180	178,14	132,09	131,9	0,13%
190	188,14	135,64	135,5	0,10%
200	198,14	139,09	139,0	0,07%

Dari **Tabel 4.13** diperoleh bahwa *uncertainty* minimum adalah sebesar 0,07% terjadi pada kapasitas maksimum dan *uncertainty* maksimum adalah sebesar 4,6% terjadi pada kapasitas minimum. *Uncertainty* yang diperoleh menggambarkan bahwa meter orifice 1320 sebelum recalibrasi mengukur laju alir fluida lebih besar dari yang seharusnya, hal ini dikarenakan DP transmitter

memiliki ketidak-akurasian +0,9314%FS atau telah melebihi standar yang ada +/- 0,25%FS, DP transmitter membaca parameter operasi DP lebih besar dari yang seharusnya, dan deviasi pembacaan DPT akan semakin besar jika DPT bekerja pada DP yang lebih kecil, hal ini dikarenakan ketidak-akurasian DPT adalah ketidak-akurasian terhadap *full scale* dari transmitter.

Jika berdasarkan ketidak-akurasian maksimum untuk jual beli sebesar +/- 2%, maka kapasitas minimum dari meter orifice 1320 naik dari 46 MMscfd menjadi 69 MMscfd atau pada DP 50 inH₂O. Hal ini sangat merugikan dikarenakan *rangeability* dari meter orifice akan semakin turun yaitu dari 3 : 1 menjadi 2 : 1.

4.3.2.2.1.2 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 1 setelah recalibrasi

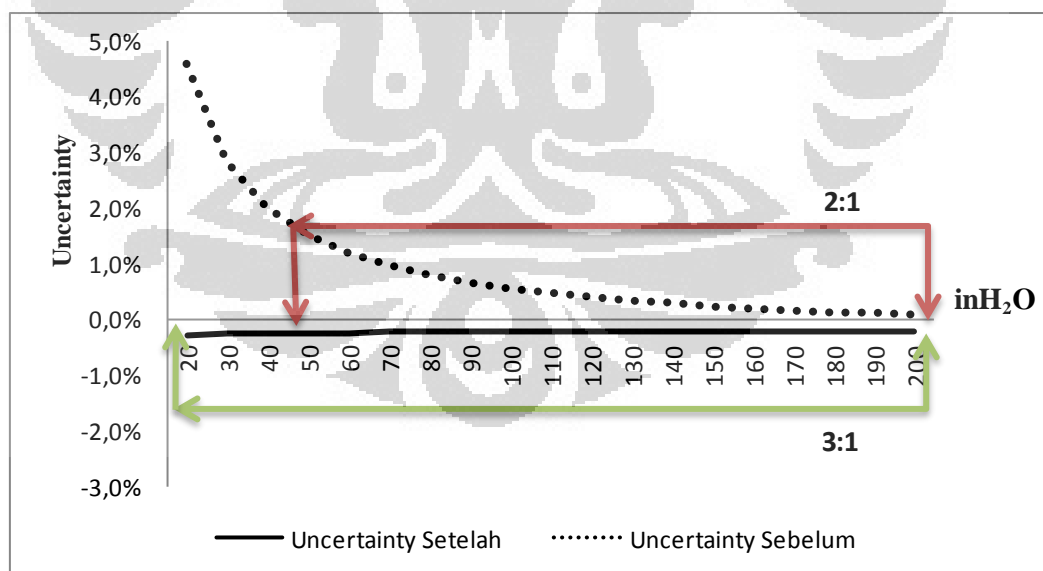
Perhitungan *uncertainty* Tipe 1 ini terdiri perhitungan laju alir gas *uncorrected* dan perhitungan laju alir gas *corrected* terhadap keakurasian transmitter sebelum recalibrasi. Dari perhitungan *uncertainty* di lampiran 5, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4. 14. *Uncertainty* Tipe 1 Meter Orifice 1320 Setelah Recalibrasi

DP _{Uncor}	DP _{Cor}	q _b Uncor	q _b Cor	<i>Uncertainty</i>
20	20,04	44,43	44,56	-0,30%
30	30,04	54,38	54,53	-0,27%
40	40,04	62,75	62,91	-0,26%
50	50,04	70,11	70,29	-0,25%
60	60,04	76,76	76,95	-0,24%
70	70,04	82,87	83,06	-0,24%
80	80,04	88,54	88,74	-0,23%
90	90,04	93,86	94,07	-0,23%
100	100,04	98,88	99,11	-0,23%
110	110,04	103,65	103,88	-0,23%
120	120,04	108,20	108,44	-0,23%
130	130,04	112,56	112,81	-0,22%
140	140,04	116,74	117,00	-0,22%
150	150,04	120,77	121,04	-0,22%
160	160,04	124,67	124,95	-0,22%
170	170,04	128,44	128,72	-0,22%
180	180,04	132,09	132,38	-0,22%
190	190,04	135,64	135,94	-0,22%
200	200,04	139,09	139,39	-0,22%

Dari **Tabel 4.14** diperoleh bahwa *uncertainty* minimum adalah sebesar -0,22% terjadi pada kapasitas maksimum dan *uncertainty* maksimum adaalah sebesar -0,3% terjadi pada kapasitas minimum. *Uncertainty* yang diperoleh menggambarkan bahwa meter orifice 1320 setelah recalibrasi mengukur laju alir fluida lebih kecil dari yang seharusnya, hal ini dikarenakan DP transmitter memiliki ketidak-akurasian -0,0188%FS atau masih memenuhi standar yang ada +/- 0,25%FS, DP transmitter membaca parameter operasi DP lebih kecil dari yang seharusnya, dan deviasi pembacaan DPT akan semakin besar jika DPT bekerja pada DP yang lebih kecil, hal ini dikarenakan ketidak-akurasian DPT adalah ketidak-akurasian terhadap full scale dari transmitter.

Jika berdasarkan ketidak-akurasian maksimum untuk jual beli sebesar +/- 2%, maka kapasitas minimum dari meter orifice 1320 tidak mengalami perubahan. Hal ini menjelaskan bahwa ketidak-akurasian dari transmitter sangat berpengaruh terhadap keakurasian meter orifice secara keseluruhan. Jika persyaratan ketidak-akurasian dari transmitter terpenuhi maka *rangeability* dari meter orifice akan terjaga (3:1).



Gambar 4. 8. Profil *Uncertainty* Tipe 1 Meter Orifice 1320 Sebelum dan Sesudah Recalibrasi

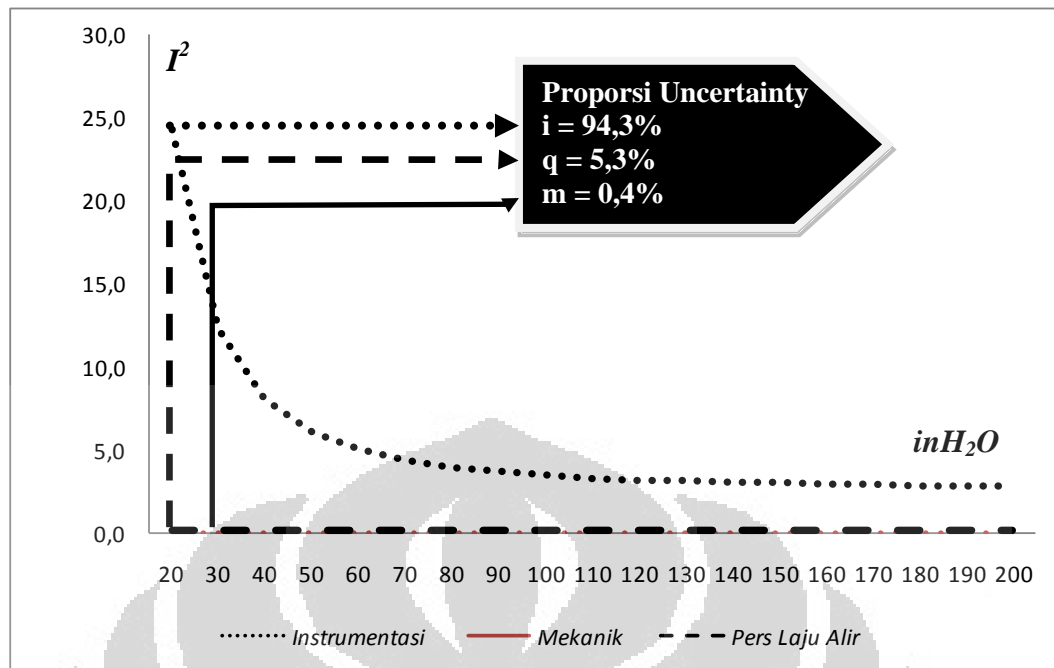
4.3.2.2.1.3 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 2 sebelum recalibrasi

Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir. Dari perhitungan *uncertainty* di **Lampiran 6**, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

Tabel 4. 15. *Uncertainty* Tipe 2 Meter Orifice 1320 Sebelum Recalibrasi

DP	I _T	DP	I _T
20	5.0	120	1.9
30	3.5	130	1.8
40	2.9	140	1.8
50	2.5	150	1.8
60	2.3	160	1.8
70	2.2	170	1.8
80	2.1	180	1.8
90	2.0	190	1.8
100	1.9	200	1.8
110	1.9		

Dari **Gambar 4.9**, tersaji bahwa faktor penyumbang terbesar *uncertainty* dari meter orifice 1320 sebelum recalibrasi adalah faktor instrumentasi sebesar 95,8%, hal ini dikarenakan ketidak-akurasian dari DPT dan TT telah melebihi standar yang ada yaitu sebesar +0,9314%FS dan +1,544%FS. Dari **Gambar 4.9** juga memberikan informasi bahwa *uncertainty* yang merupakan fungsi dari kapasitas adalah faktor instrumentasi, dimana disana ada DPT yang memiliki ketidak-akurasian diatas standar yang ada dan kapasitas merupakan fungsi kuadrat dari DP.



Gambar 4. 9. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1320 Sebelum Rekalibrasi

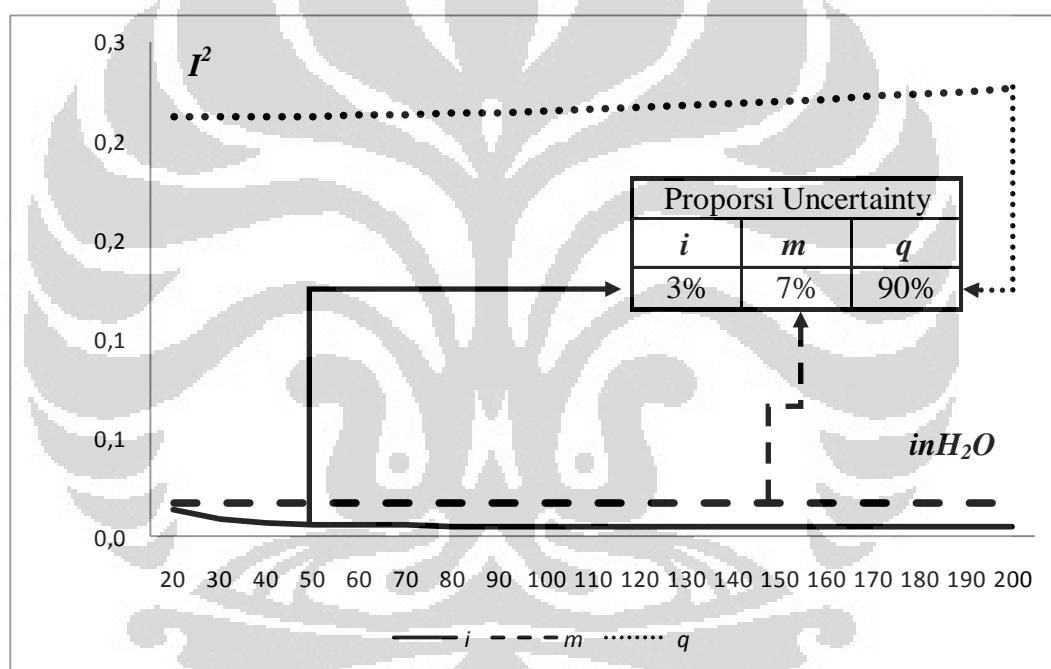
4.3.2.2.1.4 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 2 setelah rekalibrasi

Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir. Dari perhitungan *uncertainty* di **Lampiran 6**, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 16. *Uncertainty* Tipe 2 Meter Orifice 1320 setelah Rekalibrasi

DP	I_T	DP	I_T
20	0,5	120	0,5
30	0,5	130	0,5
40	0,5	140	0,5
50	0,5	150	0,5
60	0,5	160	0,5
70	0,5	170	0,5
80	0,5	180	0,5
90	0,5	190	0,5
100	0,5	200	0,5
110	0,5		

Dari **Gambar 4.10**, tersaji bahwa faktor penyumbang terbesar *uncertainty* dari meter orifice 1320 setelah recalibrasi adalah faktor laju alir sebesar 90,5 %, hal ini berbeda dengan **Gambar 4.9**, perbedaan ini dikarenakan ketidak-akurasian dari DPT dan TT telah memenuhi standar yang ada yaitu sebesar -0,0188%FS dan -0,0188%FS. Sehingga penyebab dari ketidak-akurasian dari meter orifice adalah ketidak-akurasian dari persamaan laju alir yang ada. Persentase penyumbang ketidak-akurasian dari faktor laju alir adalah 88% untuk koefisien discharge (C_D), 5% untuk densitas mengalir (ρ_f), 4% untuk densitas standard (ρ_b) dan 3% untuk faktor ekspansi gas (Y_1). Dari keempat faktor tersebut yang merupakan fungsi dari kapasitas adalah (C_D) yang merupakan fungsi dari bilangan reynold (R_e).



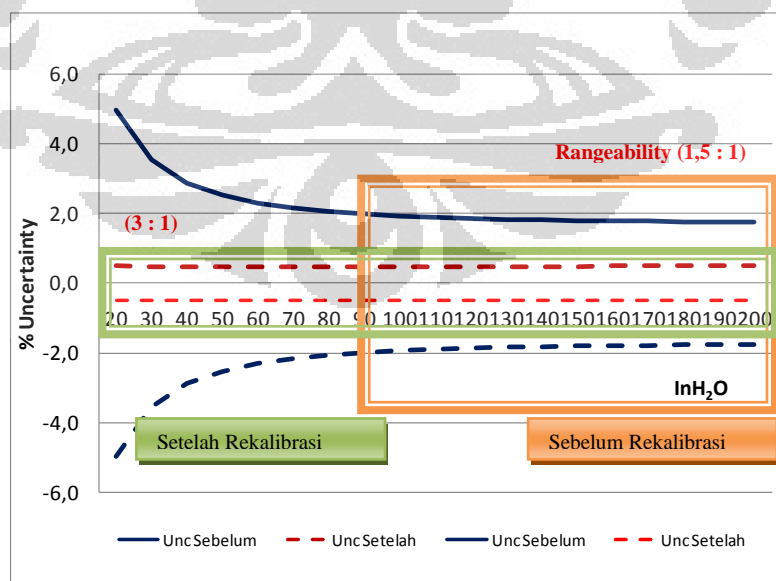
Gambar 4. 10. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1320 Setelah Recalibrasi

Jika *uncertainty* tipe 2 digabungkan dalam satu diagram, maka dapat dilihat bahwa *uncertainty* dari meter orifice 1320 setelah recalibrasi bersifat linier atau relatif konstan terhadap kapasitasnya. Hal ini dikarenakan ketika persen error dari DP transmitter mendekati nol, dimana semakin besar DP maka semakin besar pula laju alirnya, hanya memberikan penambahan *uncertainty* yang relatif sangat kecil, sehingga *uncertainty* secara total dari kapasitas minimum s.d maksimum relatif konstan. Dan untuk *uncertainty* sebelum recalibrasi tidak linier terhadap

kapasitas, hal ini dikarenakan persen error dari DP transmitter cukup besar dan diatas standar yang ditetapkan sebesar $\pm 0,25\%$ yaitu sebesar $0,93\%$.

Kenaikan ketidak-akurasian dari DP transmitter mengakibatkan penurunan dari *rangeability* dari meter orifice, dimana kapasitas minimum menjadi $93,99$ MMscfd atau pada $DP \pm 90$ inH₂O atau hanya 67% kapasitas maksimum atau *rangeability* menjadi $(1,5:1)$, yang mana jika berdasarkan perhitungan pada **subbab 4.3.1.2** kapasitas minimum meter orifice 1320 adalah $16,83$ MMscfd atau pada $DP \pm 20$ inH₂O atau 33% kapasitas maksimum atau *rangeability* $(3:1)$ dengan batasan maksimum *uncertainty* untuk jual beli $\pm 2\%$. Gabungan dari *uncertainty* ini dapat dilihat pada **Gambar 4.11**.

Jika dilakukan perbandingan antara *uncertainty* tipe 1 dan 2, maka *uncertainty* tipe 2 sebelum recalibrasi mengakibatkan *rangeability* dari meter orifice menurun dari $(2:1)$ menjadi $(1,5:1)$, hal ini karena *uncertainty* tipe 2 merupakan *uncertainty* tipe 1 ditambah dengan *uncertainty* akibat faktor mekanik dan persamaan laju alir. Sehingga *uncertainty* tipe 2 menjadi lebih besar. Namun hal ini tidak terjadi pada *uncertainty* setelah recalibrasi, hal ini dikarenakan setelah recalibrasi ketidak-akurasian DPT, PT, dan TT telah memenuhi standar, oleh karena itu faktor instrumentasi memiliki kontribusi yang relatif kecil terhadap total *uncertainty*.



Gambar 4. 11. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Meter orifice 1320 Sebelum dan Setelah Recalibrasi

4.3.2.2.2 Meter Orifice 1330

Untuk perhitungan *uncertainty* meter orifice 1330 terdiri dari dua tipe yaitu tipe 1 dan tipe 2 dimana perhitungannya akan dilakukan dalam range operasi minimum sampai dengan maksimum.

4.3.2.2.1 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 1 sebelum recalibrasi

Perhitungan *uncertainty* Tipe 1 ini terdiri perhitungan laju alir gas *uncorrected* dan perhitungan laju alir gas *corrected* terhadap keakurasian transmitter sebelum recalibrasi. Dari perhitungan *uncertainty* di **Lampiran 7**, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 17. *Uncertainty* Tipe 1 Meter Orifice 1330 Sebelum Recalibrasi

DPUncor	DPCor	q _b Uncor	q _b Cor	<i>Uncertainty</i>
20	18,65	16,11	15,60	3,26%
30	28,65	19,72	19,33	2,04%
40	38,65	22,76	22,44	1,44%
50	48,65	25,43	25,16	1,09%
60	58,65	27,85	27,61	0,85%
70	68,65	30,06	29,86	0,69%
80	78,65	32,12	31,94	0,57%
90	88,65	34,05	33,89	0,47%
100	98,65	35,88	35,74	0,39%
110	108,65	37,61	37,49	0,33%
120	118,65	39,26	39,15	0,28%
130	128,65	40,85	40,75	0,24%
140	138,65	42,37	42,28	0,20%
150	148,65	43,83	43,76	0,17%
160	158,65	45,25	45,19	0,14%
170	168,65	46,62	46,57	0,11%
180	178,65	47,95	47,90	0,09%
190	188,65	49,24	49,20	0,07%
200	198,65	50,49	50,47	0,05%

Dari **Tabel 4.17** diperoleh bahwa *uncertainty* minimum adalah sebesar 0,05% terjadi pada kapasitas maksimum dan *uncertainty* maksimum adalah sebesar 3,26% terjadi pada kapasitas minimum. *Uncertainty* yang diperoleh menggambarkan bahwa meter orifice 1330 sebelum recalibrasi mengukur laju alir fluida lebih besar dari yang seharusnya, hal ini dikarenakan DP dan temperatur

transmitter (TT) memiliki ketidak-akurasi $+0,675\%FS$ dan $+1,544\%FS$ atau telah melebihi standar yang ada $\pm 0,25\%FS$, dimana DPT & TT membaca parameter operasi DP dan temperatur lebih besar dari yang seharusnya, dan deviasi pembacaan DPT dan TT akan semakin besar jika DPT dan TT bekerja pada DP dan temperatur yang lebih kecil, hal ini dikarenakan ketidak-akurasi DPT dan TT adalah terhadap *full scale* dari transmitter.

Jika berdasarkan ketidak-akurasi maksimum untuk jual beli sebesar $\pm 2\%$ maka kapasitas minimum dari meter orifice 1330 naik dari 16,8 MMscfd menjadi 19,72 MMscfd atau pada DP 30 inH₂O. Hal ini sangat merugikan dikarenakan *rangeability* dari meter orifice akan semakin turun yaitu dari 3 : 1 menjadi 2,6 : 1.

4.3.2.2.2 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 1 setelah recalibrasi

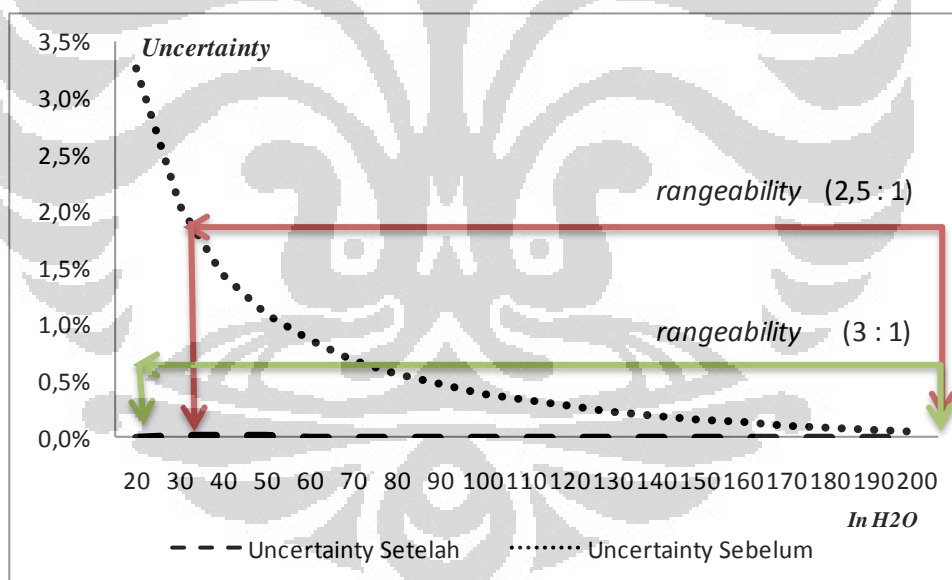
Perhitungan *uncertainty* Tipe 1 ini terdiri perhitungan laju alir gas *uncorrected* dan perhitungan laju alir gas *corrected* terhadap keakurasi transmitter sebelum recalibrasi. Dari perhitungan *uncertainty* di **Lampiran 7**, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 18. *Uncertainty* Tipe 1 Meter Orifice 1330 setelah Recalibrasi

DPUncor	DPCor	q _b Uncor	q _b Cor	<i>Uncertainty</i>
20	20.00	16.11	16.11	0,00%
30	30.00	19.72	19.72	0,00%
40	40.00	22.76	22.76	0,00%
50	50.00	25.43	25.43	0,00%
60	60.00	27.85	27.85	0,00%
70	70.00	30.06	30.06	0,00%
80	80.00	32.12	32.12	0,00%
90	90.00	34.05	34.05	0,00%
100	100.00	35.88	35.88	0,00%
110	110.00	37.61	37.61	0,00%
120	120.00	39.26	39.26	0,00%
130	130.00	40.85	40.85	0,00%
140	140.00	42.37	42.37	0,00%
150	150.00	43.83	43.83	0,00%
160	160.00	45.25	45.25	0,00%
170	170.00	46.62	46.62	0,00%
180	180.00	47.95	47.95	0,00%
190	190.00	49.24	49.24	0,00%
200	200.00	50.49	50.49	0,00%

Dari **Tabel 4.18** diperoleh bahwa *uncertainty* minimum sampai dengan maksimum adalah sebesar 0,00%. *Uncertainty* yang diperoleh menggambarkan bahwa meter orifice 1330 setelah recalibrasi mengukur laju alir fluida sama dari yang seharusnya, hal ini dikarenakan DPT dan TT memiliki ketidak-akurasian sebesar 0,00055%FS dan 0,1001%FS atau telah memenuhi standar yang ada $\pm 0,25\%$ FS, khusus untuk DPT ketidak-akurasian sangat kecil sekali sehingga *uncertainty* tidak berubah sepanjang kapasitas.

Jika berdasarkan ketidak-akurasian maksimum untuk jual beli sebesar $\pm 2\%$ maka kapasitas minimum dari meter orifice 1330 tidak mengalami perubahan. Hal ini menjelaskan bahwa ketidak-akurasian dari transmitter sangat berpengaruh terhadap keakurasian meter orifice secara keseluruhan. Jika persyaratan ketidak-akurasian dari transmitter terpenuhi maka *rangeability* dari meter orifice akan terjaga (3:1).



Gambar 4.12. Profil *Uncertainty* Tipe 1 Meter orifice 1330 Sebelum dan Setelah

Jika *uncertainty* tipe 1 meter orifice 1330 digabungkan dalam satu diagram, maka dapat dilihat bahwa *uncertainty* sebelum recalibrasi mengalami penurunan *rangeability* yaitu menjadi (2,6:1), dan setelah recalibrasi maka *rangeability* kembali menjadi (3:1). Hal ini menunjukkan bahwa *rangeability* (3:1) terjadi sesuai teori jika keakurasian dari transmitter yang ada memenuhi

standar yang ada. dan bahkan jika keakurasian dari transmitter sangat baik atau mendekati 100% maka *uncertainty* tipe 1 akan mendekati 0,00% dan tidak dipengaruhi oleh kapasitas operasinya. Hal ini dapat dilihat pada **Gambar 4.12**.

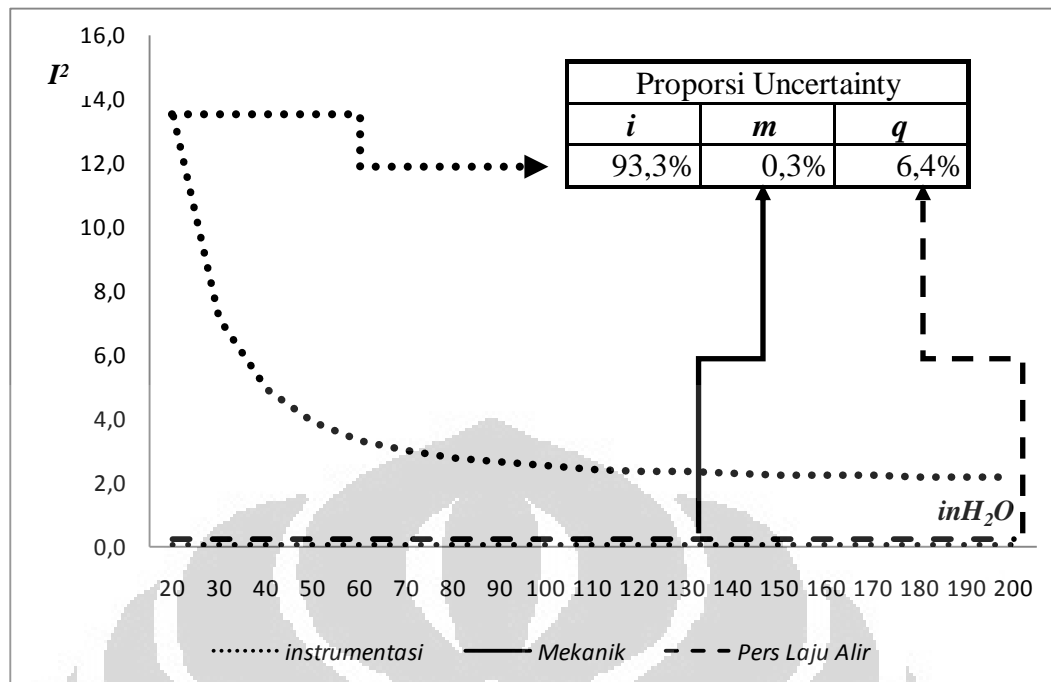
4.3.2.2.3 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 2 sebelum recalibrasi

Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir. Dari perhitungan *uncertainty* di **Lampiran 8**, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 19. *Uncertainty* Tipe 2 Meter Orifice 1330 Sebelum Rekalibrasi

DP	I_T	DP	I_T
20	3,7	120	1,6
30	2,7	130	1,6
40	2,3	140	1,6
50	2,0	150	1,6
60	1,9	160	1,6
70	1,8	170	1,6
80	1,7	180	1,6
90	1,7	190	1,6
100	1,7	200	1,6
110	1,6		

Dari **Gambar 4.13**, tersaji bahwa faktor penyumbang terbesar *uncertainty* dari meter orifice 1330 sebelum recalibrasi adalah faktor instrumentasi sebesar 93,3%, hal ini dikarenakan ketidak-akurasian dari DPT dan TT telah melebihi standar yang ada yaitu sebesar +0,675%FS dan +1,544%FS. Dari **Gambar 4.13** juga memberikan informasi bahwa *uncertainty* merupakan fungsi dari kapasitas adalah faktor instrumentasi, dimana disana ada DPT yang memiliki ketidak-akurasian diatas standar yang ada dan kapasitas merupakan fungsi kuadrat dari DP.



Gambar 4.13. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1330 Sebelum Rekalibrasi

4.3.2.2.4 Perhitungan *Uncertainty* Tipe 2 setelah recalibrasi

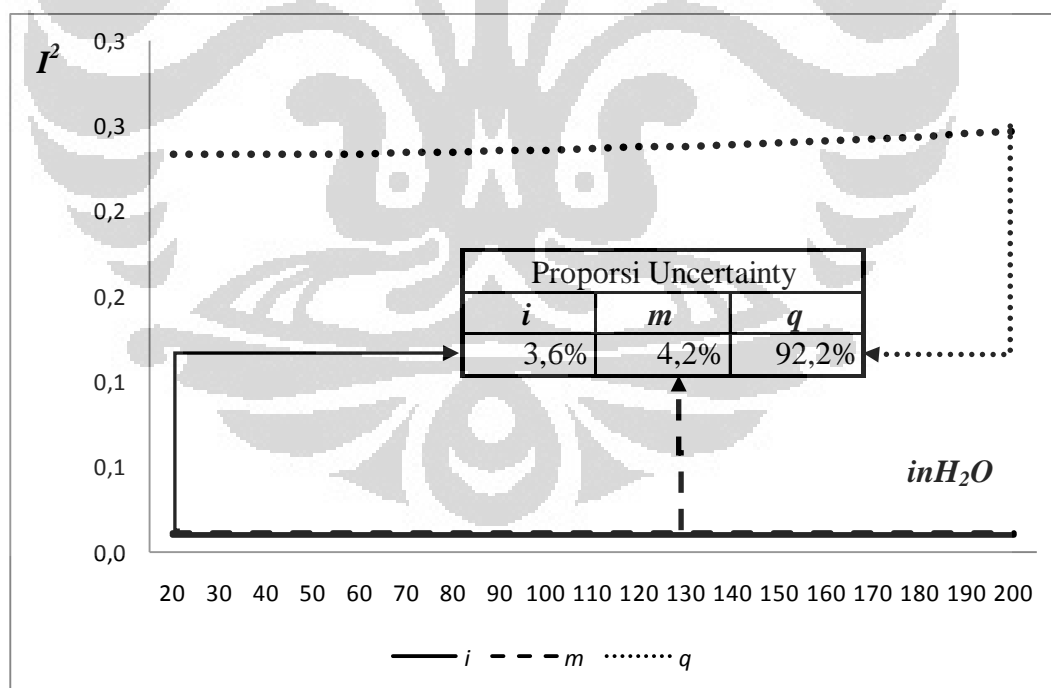
Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir. Dari perhitungan *uncertainty* meter orifice 1330 tipe 2 setelah recalibrasi di **Lampiran 8**, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 4.20. *Uncertainty* Tipe 2 Meter Orifice 1330 setelah Rekalibrasi

DP	I_T	DP	I_T
20	0.5	120	0.5
30	0.5	130	0.5
40	0.5	140	0.5
50	0.5	150	0.5
60	0.5	160	0.5
70	0.5	170	0.5
80	0.5	180	0.5
90	0.5	190	0.5
100	0.5	200	0.5
110	0.5		

Dari **Gambar 4.14**, tersaji bahwa faktor penyumbang terbesar *uncertainty* dari meter orifice 1330 sebelum recalibrasi adalah faktor laju alir sebesar 92,2 %, hal ini berbeda dengan **Gambar 4.13**, perbedaan ini dikarenakan ketidak-akurasian dari DPT dan TT telah memenuhi standar yang ada yaitu sebesar +0,00055%FS dan +0,1001%FS. Sehingga penyebab dari ketidak-akurasian dari meter orifice adalah ketidak-akurasian dari persamaan laju alir yang ada.

Persentase penyumbang ketidak-akurasian dari faktor laju alir adalah 88% untuk koefisien discharge (C_D), 5% untuk densitas mengalir (ρ_f), 4% untuk densitas standard (ρ_b) dan 3% untuk faktor ekspansi (Y_1). Dari keempat faktor tersebut yang merupakan fungsi dari kapasitas adalah (C_D) yang merupakan fungsi dari bilangan reynold (R_e), dimana semakin besar kapasitas maka *uncertainty* akibat (C_D) semakin kecil, dan (Y_1) dimana semakin besar DP maka faktor ekspansi semakin besar. Gabungan dari kedua faktor yang berlawanan arah menghasilkan profil *uncertainty* semakin besar DP maka semakin besar *uncertainty*.

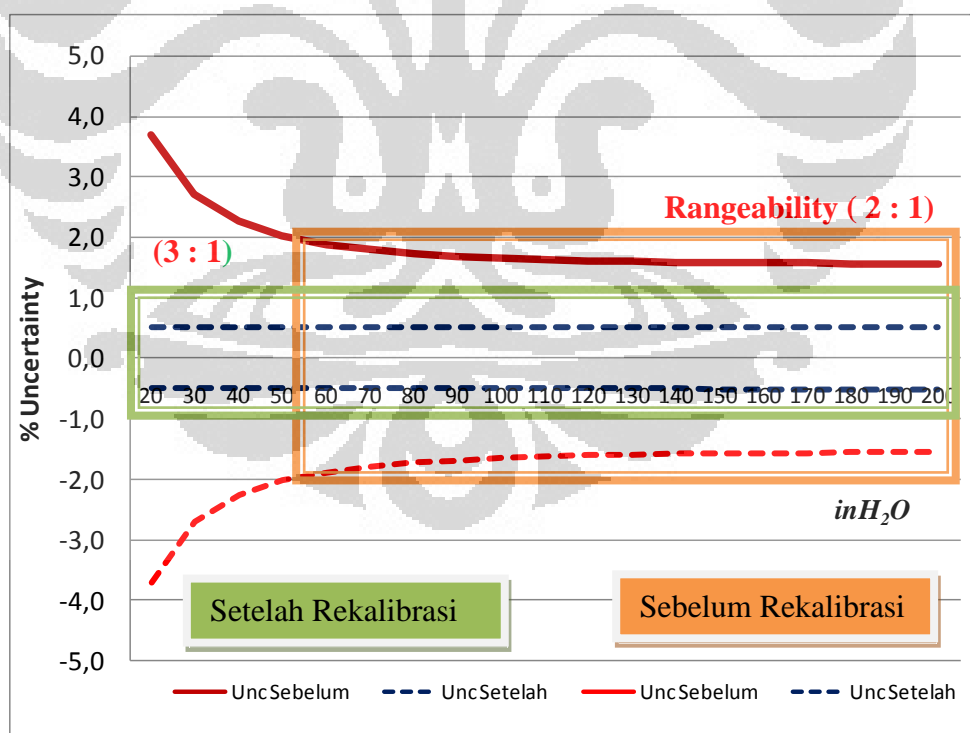


Gambar 4. 14. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Dari Unsur Instrumentasi, Mekanik & Laju Alir Meter Orifice 1330 Setelah Recalibrasi

Jika *uncertainty* tipe 2 digabungkan dalam satu diagram, maka dapat dilihat bahwa *uncertainty* dari meter orifice 1330 setelah recalibrasi bersifat linier

atau relatif konstan terhadap kapasitasnya. Hal ini dikarenakan ketika persen error dari DP transmitter mendekati nol, dimana semakin besar DP maka semakin besar pula laju alirnya, hanya memberikan penambahan *uncertainty* yang relatif sangat kecil, sehingga *uncertainty* secara total dari kapasitas minimum s.d maksimum relatif konstan. Dan untuk *uncertainty* sebelum rekalibrasi tidak linier terhadap kapasitas, hal ini dikarenakan persen error dari DP transmitter cukup besar dan diatas standar yang ditetapkan sebesar $\pm 0,25\%$ yaitu sebesar $0,675\%$.

Kenaikan ketidak-akurasion dari DP transmitter mengakibatkan penurunan dari *rangeability* dari meter orifice, dimana kapasitas minimum menjadi 25,43 MMscfd atau pada $DP \pm 50$ inH₂O atau hanya 50% kapasitas maksimum atau *rangeability* menjadi (2:1), yang mana jika berdasarkan perhitungan pada subbab 4.3.1.3 kapasitas minimum meter orifice 1330 adalah 16,83 MMscfd atau pada $DP \pm 20$ inH₂O atau 33% kapasitas maksimum dengan batasan maksimum *uncertainty* untuk jual beli $\pm 2\%$. Gabungan dari *uncertainty* ini dapat dilihat pada Gambar 4.15.



Gambar 4. 15. Profil *Uncertainty* Tipe 2 Meter orifice 1330 Sebelum dan Setelah Rekalibrasi

Dari hasil perhitungan *uncertainty* tipe 1 dan tipe 2 baik meter orifice 1320 dan 1330, diperoleh bahwa *uncertainty* meter orifice disebabkan oleh tiga faktor yaitu keakurasian transmitter (instrumentasi), *roundness* diameter *orifice fitting* (mekanik), dan keakurasian laju alir yang digunakan. Untuk periode sebelum rekalibrasi *uncertainty* sangat dipengaruhi oleh faktor keakurasian transmitter. Pada periode ketidak-akurasian dari transmitter cukup besar bahkan dua dari tiga transmitter melebihi standar yang ada. Faktor instrumentasi menyumbang ketidak-akurasian > 93% dari total *uncertainty*.

Jika *uncertainty* sangat dipengaruhi oleh faktor instrumentasi maka dapat diketahui kecenderungan dari pembacaan meter orifice lebih tinggi dari seharusnya atau lebih kecil dari yang seharusnya dengan melihat ketidak-akurasian dari transmitter. Untuk ketidak-akurasian transmitter bernilai positif maka meter orifice mempunyai kecenderungan mengukur lebih besar dari seharusnya.

Untuk periode setelah rekalibrasi sangat dipengaruhi oleh keakurasian dari persamaan laju alir yang digunakan, dimana menyumbang >90% dari total *uncertainty* pada periode ini. Penyumbang *uncertainty* akibat ketidak-akurasian dari faktor laju alir terdiri dari 88% untuk koefisien discharge (C_D), 5% untuk densitas mengalir (ρ_f), 4% untuk densitas standar (ρ_b) dan 3% untuk faktor ekspansi (Y_1). *Uncertainty* akibat (C_D) dipengaruhi oleh dua variabel yaitu *beta rasio* (β) dan bilangan reynold (R_e), dimana **persamaan 2.84 dan 2.85** adalah penyusun dari *uncertainty* akibat (C_D). **Persamaan 2.84** merupakan fungsi dari *beta rasio* dimana nilai dari *uncertainty* konstan selama temperatur operasi konstan. **Persamaan 2.85** menunjukkan *uncertainty* merupakan fungsi bilangan reynold, dimana semakin besar bilangan reynold maka *uncertainty* semakin kecil, persamaan inilah yang mengakibatkan *uncertainty* (C_D) semakin kecil ketika kapasitas operasinya semakin besar.

Uncertainty akibat (Y_1) dipengaruhi oleh dua variabel yaitu tekanan operasi *upstream* dan DP pada *orifice plate*, perhitungan (Y_1) menggunakan **persamaan 2.33**, dimana semakin besar DP maka faktor ekspansi gas akan semakin kecil, namun ketidak-akurasian **persamaan 2.33** semakin besar atau *uncertainty* semakin besar. Gabungan dari kedua faktor yang berlawanan arah

menghasilkan profil *uncertainty* semakin besar DP maka semakin besar *uncertainty*. Hal ini dikarenakan kenaikan kapasitas mengakibatkan kenaikan *uncertainty* akibat (Y_1) lebih besar dari pada penurunan *uncertainty* akibat (C_D). Kenaikan *uncertainty* akibat keakurasian persamaan laju alir sangat kecil, sehingga *uncertainty* dari kapasitas minimum sampai dengan maksimum relatif konstan baik untuk meter orifice 1320 dan 1330.

Deviasi pengukuran akibat persamaan laju alir yang digunakan telah dibuktikan dalam perbandingan meter orifice dan ultrasonik di *EMS testloop*, dimana deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik sebesar +0,1% s.d - 0,4% dengan meter orifice menggunakan persamaan *discharge coefficient* ISO 5167-1. Deviasi pengukuran ini berubah menjadi lebih kecil menjadi +0,1% s.d - 0,2% jika menggunakan persamaan *discharge coefficient* ISO 5167-1/A-1.

4.4 Analisis Statistik

Dalam analisis statistik ini akan dilakukan pengolahan data, perhitungan deviasi pengukuran, perhitungan korelasi antara parameter – parameter yang ada, dan pembuatan persamaan regresi deviasi pengukuran terhadap laju alir atau kapasitas operasinya.

4.4.1 Pengolahan Data

Pengolahan data akan dilakukan pada data operasi periode 15 Januari – 30 April 2010, dimana terdapat data pengamatan sebanyak 2424 data dengan 17 parameter operasi. Pengorganisasian data dengan cara penjajaran data untuk mempermudah pengolahan data. Penjajaran data berdasarkan waktu pengambilan data yaitu dimulai dari tanggal 15 Januari 2010 pukul 00.00 dan berakhir pada tanggal 30 April 2010 pukul 24.00. Kemudian dari data yang ada dilakukan perhitungan bilangan reynold dan deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik pada masing – masing data pengamatan.

Untuk perhitungan deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik, diawali dengan penentuan jenis meter yang digunakan sebagai meter base (meter reference atau meter prover). Berdasarkan hal – hal sebagai berikut :

- a. *Rangeability* dari meter ultrasonik lebih lebar dibandingkan meter orifice, dimana *rangeability* meter ultrasonik adalah 10:1 dan meter orifice adalah 3:1.
- b. Keakurasian dari meter ultrasonik relatif stabil (linier) pada keakurasian +/- 0,8% pada range kapasitas 10 – 100% kapasitas maksimum.
- c. Keakurasian dari meter orifice relatif tidak stabil pada angka yang sama sepanjang range operasinya.
- d. Kemampuan verifikasi dari meter ultrasonik atas pengukuran yang dilakukan.

Untuk perhitungan deviasi pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik dan analisa selanjutnya meter ultrasonik diposisikan sebagai meter base dan meter orifice sebagai meter uji. Dimana perhitungan deviasi pengukuran menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\%Dev = \frac{q_U - q_B}{q_B} \times 100$$

Dimana q_U adalah laju alir meter uji (meter orifice) dan q_B adalah laju alir meter base (meter ultrasonik).

4.4.2 Penyajian Data

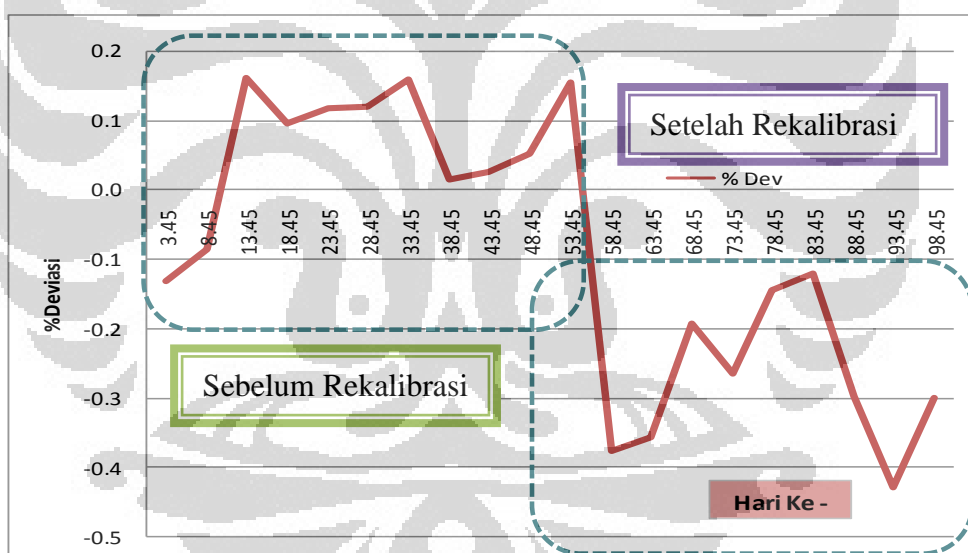
Penyajian data akan disajikan dalam bentuk tabel dan diagram. Jika deviasi pengukuran disajikan dalam bentuk diagram dengan fungsi waktu, dimana total periode pengamatan data adalah 105 hari, namun dikarenakan pada tanggal 11 – 15 Maret 2010 atau selama 5 hari dilakukan proses recalibrasi pada meter orifice 1320 dan 1330. Maka jumlah hari pengamatan yang digunakan dalam perhitungan adalah 100 hari pengamatan.

Dari **lampiran 9**, diperoleh hasil pengolahan secara statistik dalam **Tabel 4.21**, dan diperoleh rata – rata deviasi pengukuran selama periode pengamatan adalah -0,09%.

Tabel 4. 21. Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Periode Pengamatan

Hari ke -	%Deviasi	Hari ke -	%Deviasi
3,45	-0,1	53,45	0,2
8,45	-0,1	58,45	-0,4
13,45	0,2	63,45	-0,4
18,45	0,1	68,45	-0,2
23,45	0,1	73,45	-0,3
28,45	0,1	78,45	-0,1
33,45	0,2	83,45	-0,1
38,45	0,0	88,45	-0,3
43,45	0,0	93,45	-0,4
48,45	0,1	98,45	-0,3

Kemudian dilakukan pembuatan diagram deviasi pengukuran fungsi periode pengamatan, dan diperoleh diagram pada **Gambar 4.21**.

**Gambar 4. 16.** Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Periode Pengamatan

Pada **Gambar 4.16** diperoleh bahwa terjadi perubahan kecenderungan deviasi pengukuran dari positif menjadi negatif, dimana terjadi pada pengamatan hari ke 58,45. Hal ini dikarenakan pada tanggal 11 – 15 Maret 2010, sehingga pada hari ke 56 data yang diambil adalah data operasi meter orifice setelah rekalisasi. Dimana setelah proses rekalisasi keakurasian dari meter orifice lebih baik atau memenuhi standar keakurasian yang ada. Dan hal ini juga sesuai dengan hasil perhitungan *uncertainty* untuk meter orifice 1320 dan 1330 pada **Gambar**

4.11 – Gambar 4.15, dimana nilai *uncertainty* dari meter orifice setelah proses rekalibrasi terjadi penurunan yang sangat signifikan. Oleh karena itu pada analisis selanjutnya pengolahan data akan dibagi menjadi 2 yaitu pengolahan data sebelum rekalibrasi dan setelah rekalibrasi.

4.4.3 Perhitungan Deviasi Pengukuran

Perhitungan deviasi pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik akan dilakukan pada dua periode waktu pengamatan yaitu periode sebelum rekalibrasi (15 Januari – 10 Maret 2010) dan setelah rekalibrasi (16 Maret – 30 April 2010). Dimana perhitungan deviasi pengukuran akan difungsikan terhadap laju alir bukan terhadap periode pengamatan.

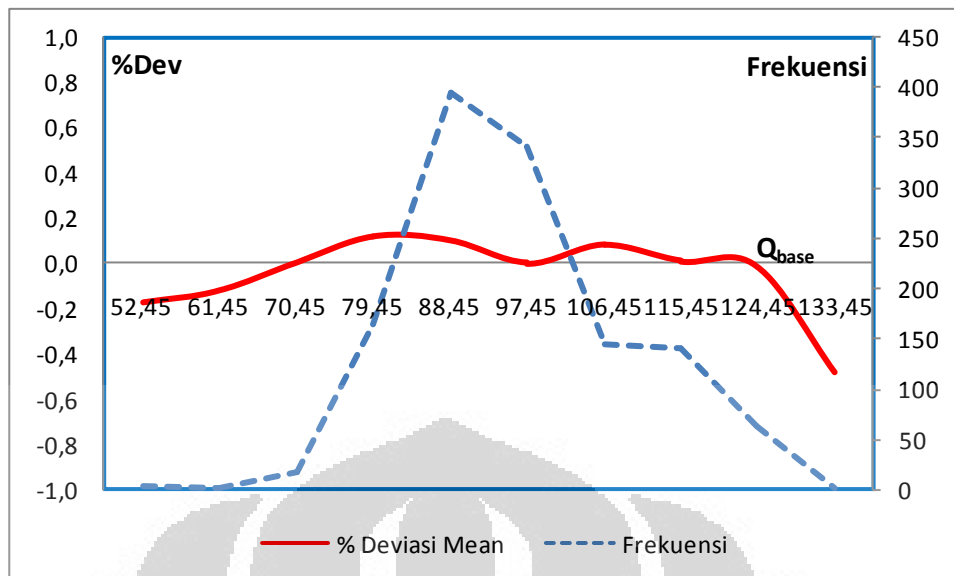
4.4.3.1 Sebelum Rekalibrasi

Dari **lampiran 10**, diperoleh deviasi rata – rata pengukuran sebelum kalibrasi sebesar +0,055%, dengan rincian pada **Tabel 4.22**.

Tabel 4. 22. Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Sebelum Rekalibrasi

q_b (MMscfd)	%Deviasi	q_b (MMscfd)	%Deviasi
52,45	-0,2	97,45	0,0
61,45	-0,1	106,45	0,1
70,45	0,0	115,45	0,0
79,45	0,1	124,45	0,0
88,45	0,1	133,45	-0,5

Dimana jika diprofilkan deviasi pengukuran terhadap laju alir dapat dilihat pada **Gambar 4.17**.



Gambar 4. 17. Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Sebelum Rekalibrasi

Dari **Gambar 4.17** diperoleh bahwa distribusi data yang ada termasuk distribusi data menceng kiri, dimana pada laju alir 70,45 – 124,45 MMscfd frekuensi data pengamatan cukup banyak dan memiliki deviasi pengukuran bernilai positif, sehingga sangat menentukan nilai rata – rata dari deviasi pengukuran. Nilai deviasi pengukuran rata – rata sebesar +0,055% meskipun pada laju alir 133,45 MMscfd deviasi pengukuran cukup besar negatifnya sebesar -0,5%. Deviasi pengukuran ini disebabkan oleh *uncertainty* dari meter orifice pada periode ini bernilai positif atau membaca lebih besar dari seharusnya. Hal ini dikarenakan oleh ketidak-akurasian DPT dan TT bernilai positif.

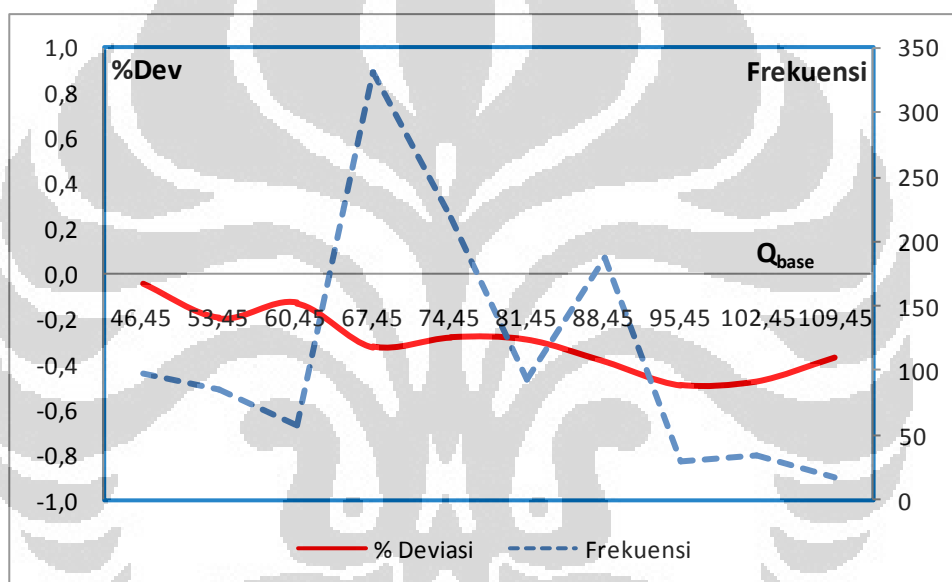
4.4.3.2 Setelah Rekalibrasi

Dari **lampiran 10**, diperoleh deviasi rata – rata pengukuran sebelum kalibrasi sebesar -0,289%, dengan rincian pada **Tabel 4.23**.

Tabel 4. 23. Tabulasi Data Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Setelah Rekalibrasi

q_b (MMscfd)	%Deviasi	q_b (MMscfd)	%Deviasi
46,45	0,0	81,45	-0,3
53,45	-0,2	88,45	-0,4
60,45	-0,1	95,45	-0,5
67,45	-0,3	102,45	-0,5
74,45	-0,3	109,45	-0,4

Dimana jika diprofilkan deviasi pengukuran terhadap laju alir dapat dilihat pada **Gambar 4.19.**

**Gambar 4. 18.** Profil Deviasi Pengukuran Terhadap Laju Alir Setelah Rekalibrasi

Dari **Gambar 4.18** diperoleh bahwa distribusi data untuk deviasi pengukuran setelah recalibrasi termasuk jenis multimodal, dimana mulai laju alir 53,45 – 109,45 MMscfd, bertambahnya laju alir maka deviasi pengukuran akan semakin besar ke arah negatif. Namun distribusi data paling banyak adalah pada laju alir 67,45 – 88,45 MMscfd dengan deviasi pengukuran dari -0,3% s.d -0,4%, oleh karena itu deviasi rata – rata periode ini sebesar -0,289%. Deviasi ini dikarenakan oleh keakuratan dari persamaan laju alir yang digunakan. Untuk meter orifice 1320 dan 1330 menggunakan persamaan laju alir AGA 3 tahun 2003. Deviasi rata – rata pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik setelah

rekalibrasi hampir mendekati dalam penelitian di *EMS testloop* tahun 1999, dimana diperoleh deviasi rata – rata +/- 0,25%.

4.4.4 Perhitungan Koefisien Korelasi

Perhitungan koefisien korelasi antara deviasi pengukuran dengan parameter operasi yang lain diantaranya adalah laju alir, bilangan reynold, DP, tekanan dan temperatur. Untuk perhitungan koefisien korelasi juga akan dilakukan pada dua periode waktu pengamatan yaitu periode sebelum recalibrasi dan setelah recalibrasi.

4.4.4.1 Sebelum Recalibrasi

Dari lampiran 12, diperoleh hasil perhitungan koefisien korelasi antara deviasi pengukuran dengan parameter operasi yang ada. Dimana diperoleh lima parameter operasi yang memiliki korelasi yang terkuat terhadap deviasi pengukuran di Tabel 4.24.

Tabel 4. 24. Lima Parameter Dengan Koefisien Korelasi Terkuat Sebelum Recalibrasi

Peringkat	1	2	3	4	5
Parameter	T 1320	T 1330	P 1320	P 1310	DP 1330
K. Korelasi	-0,899	-0,881	-0,842	0,789	-0,445

Dari tabel diatas diketahui bahwa korelasi lima terkuat adalah parameter operasi DP, P dan T. Hal ini dikarenakan sebelum recalibrasi keakurasian dari transmitter yang ada sebagian besar telah diluar standar maksimum yang ada. Hal ini sesuai dengan perhitungan *uncertainty* dari meter orifice dimana pada periode sebelum recalibrasi *uncertainty* > 93% dipengaruhi oleh ketidak-akurasian dari transmitter. Sehingga deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik merupakan fungsi dari parameter DP, temperatur dan tekanan.

4.4.4.2 Setelah Recalibrasi

Dari lampiran 12, diperoleh hasil perhitungan koefisien korelasi antara deviasi pengukuran dengan parameter operasi yang ada. Dimana diperoleh lima parameter operasi yang memiliki korelasi yang terkuat terhadap deviasi pengukuran di Tabel 4.25.

Tabel 4.25. Lima Parameter Dengan Koefisien Korelasi Terkuat Setelah Rekalibrasi

Peringkat	1	2	3	4	5
Parameter	q_b	Re 1310	Re 1320	DP 1320	P 1310
K. Korelasi	-0,878	-0,868	-0,805	-0,803	-0,627

Dari tabel diatas diketahui bahwa korelasi lima terkuat adalah parameter q_b , Re, DP dan P. Hal ini dikarenakan setelah rekalibrasi keakurasian dari transmitter yang ada telah masuk standar ada, sehingga parameter yang menyebabkan deviasi pengukuran adalah aliran itu sendiri, dimana empat terbesar berhubungan dengan kapasitas dari meter tersebut.

Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan uncertainty meter orifice setelah rekalibrasi, dimana $> 90\%$ penyumbang *uncertainty* adalah ketidak-akurasian persamaan laju alir yang digunakan, dalam hal ini persamaan laju alir AGA 3 tahun 2003. Dimana untuk ketidak-akurasian persamaan laju alir yang merupakan fungsi kapasitas adalah koefisien discharge (C_D) dan koefisien ekspansi gas (Y_1). Ketidak-akurasian dari (C_D) dipengaruhi oleh bilangan reynold dan ketidak-akurasian dari (Y_1) dipengaruhi oleh DP dan tekanan operasi.

4.4.5 Persamaan Regresi

Dalam subbab ini akan dilakukan perhitungan persamaan regresi dari deviasi pengukuran terhadap parameter operasi yang memiliki korelasi paling kuat. Persamaan regresi yang akan dibuat adalah persamaan regresi dengan metode *least square*. Dan persamaan regresi juga dibuat berdasarkan data operasi pada dua periode, yaitu sebelum dan setelah rekalibrasi.

4.4.5.1 Sebelum Rekalibrasi

Dalam pembuatan persamaan regresi ini, diambil dua parameter operasi yang memiliki korelasi yang terkuat dengan deviasi pengukuran, untuk sebelum rekalibrasi dua parameter tersebut adalah temperatur pada meter 1320 dan temperatur pada meter 1330. Dari **Lampiran 13**, diperoleh persamaan regresi satu variabel sebagai berikut :

$$Y' = 1,1479 - 0,01686X \quad (4.1)$$

Dengan X adalah temperatur meter 1320 dan Y' adalah deviasi pengukuran dalam %. Dan persamaan regresi dua variabel sebagai berikut :

$$Y' = 0,611 + 0,0522X_1 - 0,0642X_2 \quad (4.2)$$

Dengan X1 adalah temperatur meter 1320, X2 adalah temperatur meter 1330 dan Y' adalah deviasi pengukuran.

Kemudian dilakukan perhitungan *standard error of estimate* (S_{yx}), untuk persamaan regresi satu variabel dan dua variabel, dimana di lampiran 13 diperoleh S_{yx} untuk persamaan regresi satu variabel sebesar 0,061 dan dua variabel sebesar 0,066. Dimana didapatkan persamaan satu variabel memiliki S_{yx} lebih kecil dari dua variabel, sehingga estimasi persamaan regresi satu variabel lebih mendekati kenyataan dari pada persamaan regresi dua variabel.

4.4.5.2 Setelah Rekalibrasi

Dalam pembuatan persamaan regresi ini, diambil dua parameter operasi yang memiliki korelasi yang terkuat dengan deviasi pengukuran, untuk setelah rekalibrasi dua parameter tersebut adalah laju alir dari meter ultrasonik (q_b) dan bilangan reynold dari meter ultrasonik. Dari **Lampiran 13**, diperoleh persamaan regresi satu variabel sebagai berikut :

$$Y' = 0,1643 - 0,00596X \quad (4.3)$$

Dengan X adalah laju alir meter ultrasonik dan Y' adalah deviasi pengukuran. Dan persamaan regresi dua variabel sebagai berikut :

$$Y' = 0,099 - 0,0151X_1 + 1,9 \times 10^{-7} X_2 \quad (4.4)$$

Dengan X1 dan X2 adalah kondisi operasi q_b dari meter ultrasonik dan Re 1310, untuk Y' adalah deviasi pengukuran dalam persen.

Dari **lampiran 13**, juga diperoleh S_{yx} untuk persamaan regresi satu variabel sama dengan persamaan regresi dua variabel sebesar 0,089. Sehingga dapat disimpulkan bahwa persamaan regresi satu variabel memiliki keakuratan yang sama dengan persamaan regresi dua variabel untuk melakukan estimasi berapa deviasi pengukuran yang terjadi.

4.4.5.3 Setelah Rekalibrasi Modifikasi

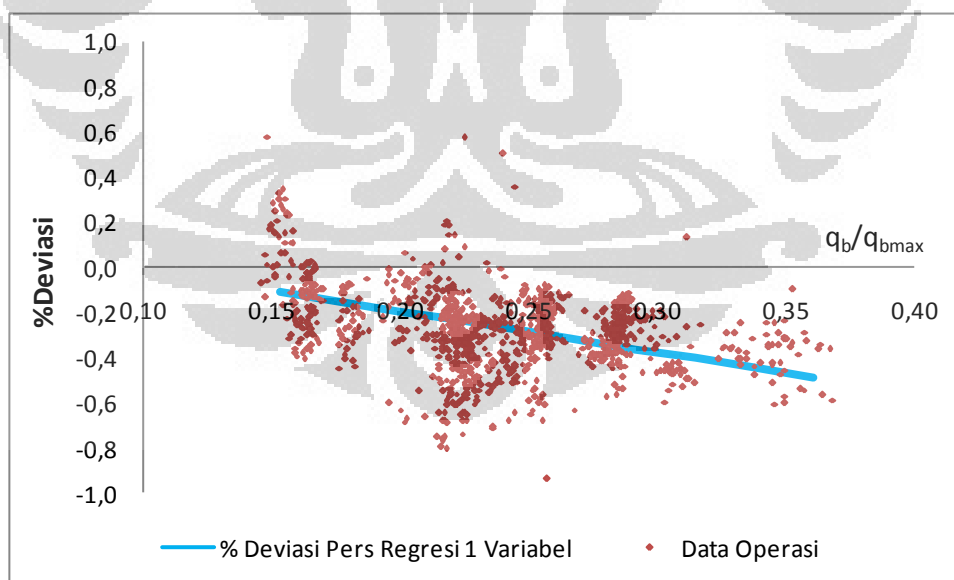
Untuk dapat menggunakan persamaan regresi tersebut pada meter ultrasonik dan meter orifice yang memiliki spesifikasi dan kapasitas yang berbeda, maka akan dilakukan modifikasi terhadap persamaan tersebut, yaitu dengan mengubah parameter operasi q_b dan Re menjadi Rasio q_b terhadap q_{bmax} dan Re terhadap Re_{max} . Dari **lampiran 13** diperoleh persamaan regresi satu variabel dengan X adalah rasio q_b terhadap q_b_{max} dan Y' adalah deviasi pengukuran dalam persen sebagai berikut :

$$Y' = 0,164 - 1,8X \quad (4.5)$$

Dan persamaan regresi linier dua variabel dengan X_1 dan X_2 adalah rasio q_b terhadap q_b_{max} dan rasio Re 1310 terhadap Re 1310 maksimum, untuk Y' adalah deviasi pengukuran dalam persen sebagai berikut :

$$Y' = 0,099 - 4,6X_1 + 2,71X_2. \quad (4.6)$$

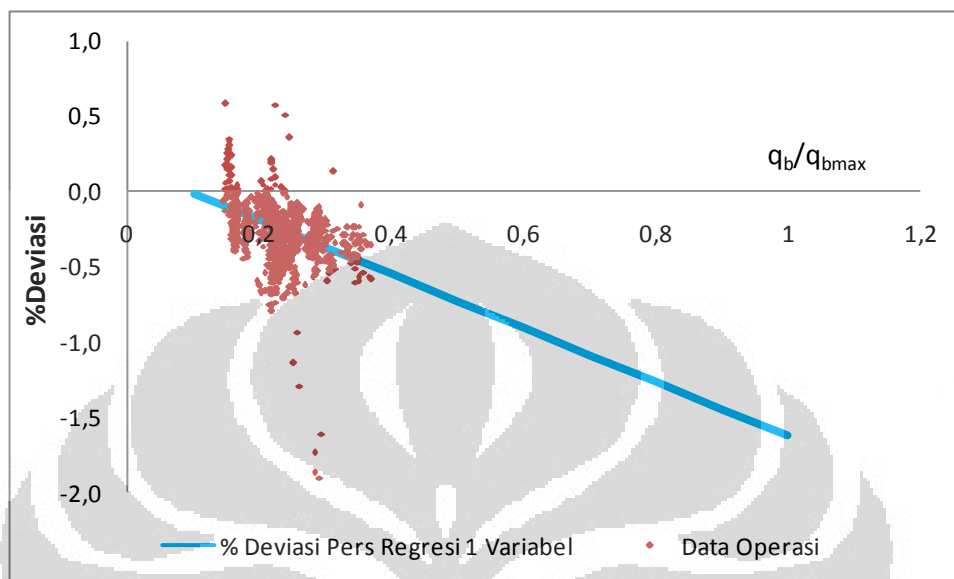
Dan diperoleh nilai S_{yx} yang sama antara persamaan regresi satu variabel dan dua variabel sebesar 0,089. Sehingga untuk melakukan estimasi deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik jika dilakukan pengukuran secara seri cukup menggunakan **persamaan 4.5**.



Gambar 4. 19. Profil Sebaran Data Operasi Terhadap Persamaan Regresi Satu Variabel

Dari **Gambar 4.19** diperoleh gambaran sebaran 1152 data operasi terhadap **persamaan 4.5**, dimana sebaran data operasi mulai 0,15 sampai dengan 0,35 dari

kapasitas maksimum. Jika dilakukan estimasi berapa deviasi pengukuran maksimum yang mungkin terjadi, maka deviasi maksimum terjadi pada kapasitas maksimum dengan nilai -1,6%, seperti terlihat pada **Gambar 4.20**.



Gambar 4. 20. Profil Deviasi Pengukuran Berdasarkan Persamaan 4.5

4.5 Analisis Operasi

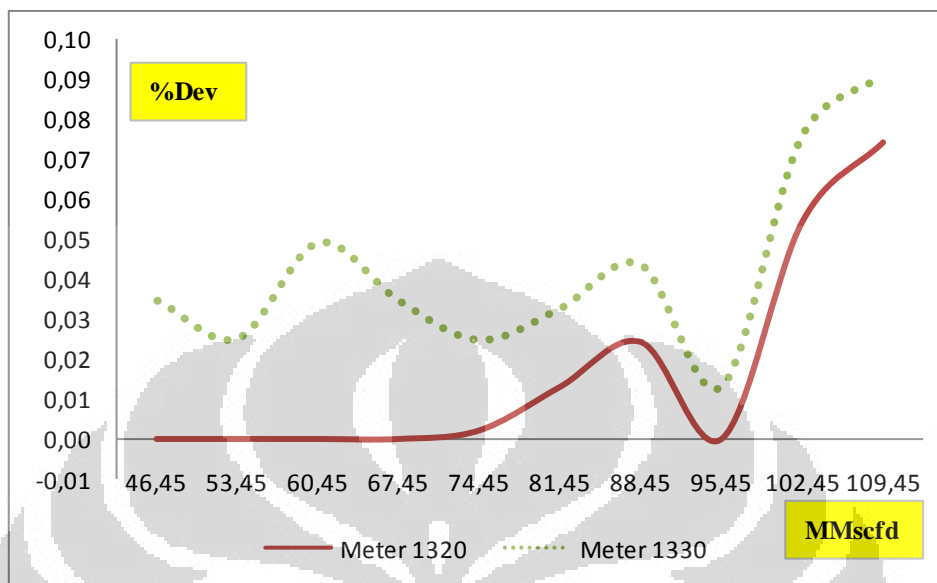
Pada analisis operasi akan dilakukan analisis dampak kondisi operasi terhadap keakurasian dari meter orifice 1320 dan 1330. Analisis kondisi operasi berfokus pada pengaruh adanya *mist* (embun) pada fluida yang mengalir pada meter orifice terhadap keakurasian dari meter tersebut. Analisis dilakukan pada data operasi periode setelah recalibrasi, hal ini dikarenakan data periode setelah kalibrasi lebih mendekati data sebenarnya. Persamaan yang digunakan adalah persamaan Murdock dan Chisholm, untuk menentukan berapa besar deviasi pengukuran yang terjadi akibat adanya *mist*, dan untuk menentukan keberadaan *mist* dan properties fluida diperoleh menggunakan software pemodelan proses.

Dari **lampiran 14**, diperoleh hasil deviasi pengukuran akibat adanya *mist* pada **Tabel 4.26**.

Tabel 4.26. Deviasi Pengukuran Akibat *Mist* Pada Meter Orifice 1320 Dan 1330

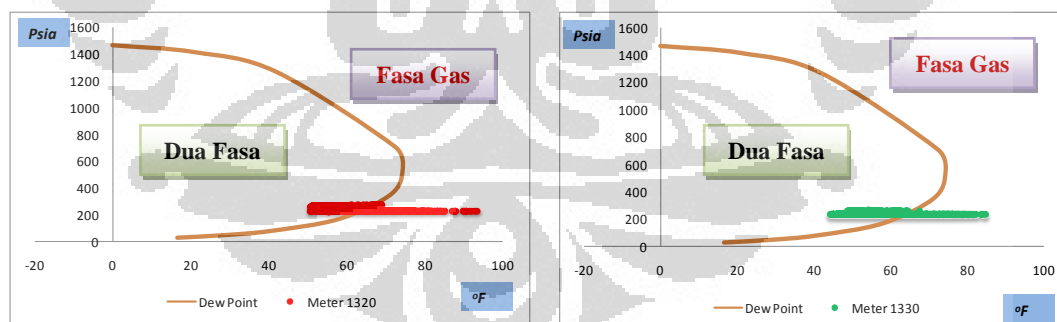
q_b	MMscfd	46	53	60	67	74	81	88	95	102	109
1320	%Dev	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,013	0,024	0,000	0,055	0,074
1330	%Dev	0,035	0,025	0,049	0,035	0,025	0,033	0,044	0,013	0,075	0,091

Jika hasil perhitungan tersebut ditampilkan dalam bentuk diagram pada **Gambar 4.21**.



Gambar 4. 21. Profil Deviasi Pengukuran Pada Meter Orifice Akibat Mist

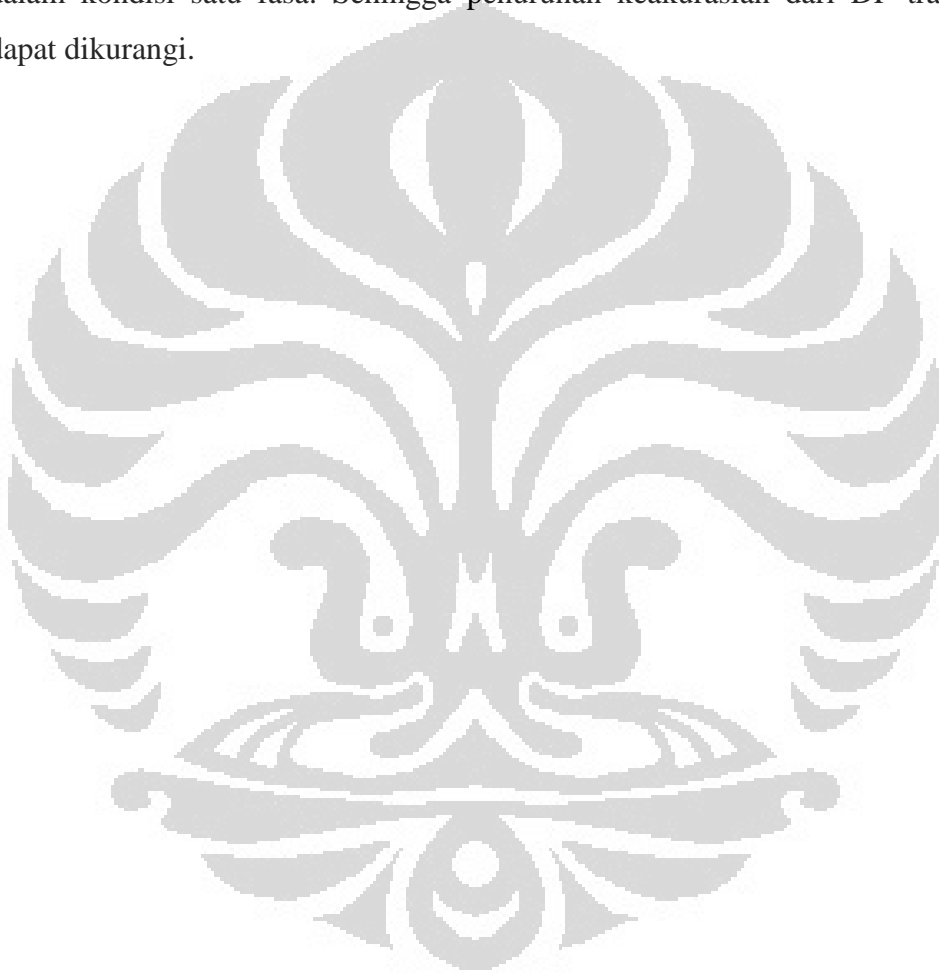
Pada komposisi gas rata – rata didapatkan kurva *envelope* dan kondisi operasi setelah recalibrasi, distribusi data operasi terhadap kurva *envelope* tersaji pada **Gambar 4.22**.



Gambar 4. 22. Distribusi Data Operasi Meter Orifice Terhadap Kurva Envelope

Dari **Tabel 4.26** dan **Gambar 4.22** didapatkan bahwa 50% dari rata – rata data operasi meter 1320 masuk pada zona dua fasa, dan 100% dari rata – rata data operasi meter 1330 masuk pada zona dua fase, dimana mengakibatkan deviasi pengukuran maksimum 0,074% dan rata – rata 0,008% untuk meter orifice 1320. Untuk meter orifice 1330 mengakibatkan deviasi pengukuran maksimum 0,091% dan rata – rata 0,036%. Hal ini sesuai dengan teori yang dikeluarkan oleh

Murdock dimana adanya aliran dua fasa mengakibatkan meter orifice over – reading, keberadaan *mist* atau aliran dua fasa di meter orifice 1320 dan 1330 mengakibatkan ketidak-akurasian DPT menjadi +0,9314%FS dan +0,675%FS melebihi standar yang ada, dimana memiliki kecenderungan membaca lebih besar dari yang seharusnya. Dari kurva *envelope* tersebut didapatkan bahwa jika tekanan operasi dijaga pada tekanan 246 Psia maka temperatur operasi harus diatas 63,6 °F, untuk menjaga fluida yang mengalir melalui meter ultrasonik dan orifice dalam kondisi satu fasa. Sehingga penurunan keakurasian dari DP transmitter dapat dikurangi.



BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil analisis ketidakpastian pengukuran meter gas menggunakan meter orifice dan meter ultrasonik di stasiun Bojonegara diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. *Uncertainty* meter orifice dipengaruhi oleh tiga faktor yaitu faktor keakurasian transmitter, *roundness diameter orifice fittings*, dan keakurasian persamaan laju alir yang digunakan. Untuk periode sebelum recalibrasi *uncertainty* sangat dipengaruhi oleh keakurasian transmitter, dimana transmitter menyumbang ketidak-akurasian > 93%. Untuk periode setelah recalibrasi faktor penyumbang *uncertainty* terbesar adalah keakurasian dari persamaan laju alir yang digunakan, dimana menyumbang ketidak-akurasian sebesar > 90%.
2. Profil *uncertainty* dari meter orifice ada dua yaitu searah dengan kapasitas operasi dan berlawanan arah dengan kapasitas operasinya. Searah dengan kapasitas operasi ketika faktor penyumbang terbesar adalah keakurasian dari persamaan laju alir yang digunakan, khususnya ketidak-akurasian perhitungan faktor ekspansi gas (Y_1). *Uncertainty* semakin besar dengan semakin besarnya kapasitas operasinya, dimana profil *uncertainty* berupa persamaan garis lurus. Berlawanan arah dengan kapasitas operasinya ketika faktor penyumbang terbesar adalah keakurasian dari transmitter, khususnya keakurasian dari DP transmitter. *Uncertainty* semakin kecil ketika kapasitas operasinya semakin besar dengan profil *uncertainty* berupa persamaan garis tidak lurus.
3. Persamaan regresi sebelum recalibrasi adalah $Y' = 1,1479 - 0,01686X$ dengan *standard error of estimate* sebesar 0,061. Dimana Y' adalah deviasi pengukuran dan X adalah temperatur operasi meter orifice 1320. Persamaan regresi ini merupakan fungsi temperatur, dikarenakan ketidak-akurasian dari temperatur transmitter paling tinggi dibandingkan ketiga transmitter yang lain sebesar +1,544%.

4. Persamaan regresi setelah recalibrasi adalah $Y' = 0,164 - 1,8X$ dengan *standard error of estimate* sebesar 0,089. Dimana Y' adalah deviasi pengukuran dan X adalah rasio q_b terhadap q_b max dari meter ultrasonik. Dengan sebaran data operasi dari 0,15 – 0,35 dari kapasitas maksimum meter ultrasonik. Dengan menggunakan persamaan ini diperoleh bahwa deviasi pengukuran antara meter orifice dan ultrasonik bernilai negatif atau meter orifice membaca lebih kecil dibandingkan meter ultrasonik. Deviasi pengukuran semakin besar dengan semakin besarnya kapasitas operasinya, dimana deviasi pengukuran maksimum sebesar -1,6% pada kapasitas maksimum meter ultrasonik.
5. Faktor penyebab deviasi pengukuran antara meter orifice dan meter ultrasonik adalah keakurasian dari transmitter dan keakurasian persamaan laju alir yang digunakan. Keakurasian dari transmitter dipengaruhi oleh kondisi operasi yang ada, dimana keberadaan *mist* pada pengoperasian meter orifice menjadikan penurunan keakurasian dari transmitter. Kecenderungan penurunan keakurasian dari transmitter akibat adanya *mist* adalah kearah positif atau membaca lebih besar dari yang seharusnya.

SARAN :

1. Perlu dipertimbangkan untuk melakukan penyesuaian jenis meter yang digunakan untuk jual beli di produsen maupun di konsumen.
2. Perlu dilakukan pengendalian kondisi operasi untuk menjaga gas alam yang diukur menggunakan meter orifice dalam kondisi satu fasa.
3. Perlu dilakukan pengecekan keakurasian transmitter terpasang pada meter orifice secara berkala, guna menjamin keakurasian pengukuran laju alir gas.

DAFTAR REFERENSI

- American Gas Association. (2003). *AGA Report No.3 Orifice Metering Of Natural Gas And Other Related Hydrocarbon Fluids Part 1 General Equations and Uncertainty Guidelines* (3th ed). USA: Author.
- American Gas Association. (2003). *AGA Report No.3 Orifice Metering Of Natural Gas And Other Related Hydrocarbon Fluids Part 2 Spesification and Installation Requirements* (4th ed). USA: Author.
- American Petroleum Institute. (1991). *Recommended Practice for Design and Installation of Offshore Production Platform Piping Systems*. USA: Author.
- Emerson Process Management. (2011, June). *Product Datasheet Daniel SeniorSonic and JuniorSonic Gas Flow Meters with Mark III Electronics*. USA: Author.
- Gallagher, James E.(2006). *Natural Gas Measurement Handbook*. USA: Gulf Publishing Company.
- Gas Processor Association. (2000). *GPA Standard 2172-96 Calculation Of Gross Heating Value, Relative Density and Compressibility Factor for Natural Gas Mixtures form Compositional Analysis*. USA: Author
- Geankoplis, Cristie J.(1993). *Transport Processes and Unit Operation* (3th ed). USA: Prentice Hall International.
- Harinaldi. (2005). *Prinsip – Prinsip Statistik Untuk Teknik dan Sains*. Indonesia: Erlangga.
- Kinney, Josh., & Steven, Richard. *Effect of Wet Gas Flow On Gas Orifice Plate Meters*. Paper presented at Colorado Engineering Experiment Station, Colorado.
- Miller, Richard W.(1996). *Flow Measurement Enggineering Handbook* (3th ed). USA: Mcgraw Hill.

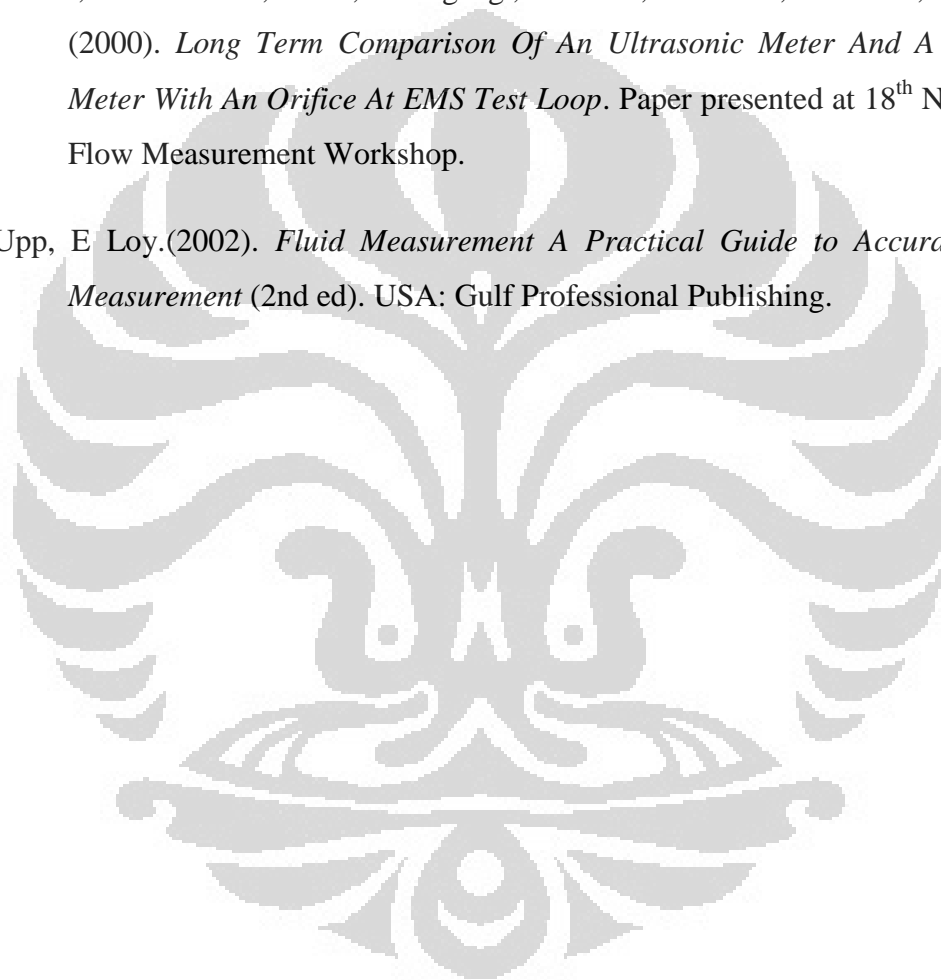
Nasir, M.(1998). *Metodologi Penelitian*. Jakarta: Ghalia Indonesia.

Nevers, Noel de.(2005). *Fluid Mechanics For Chemical Engineers* (3th ed).
Singapore: Mc Graw Hill.

Operations and Engineering American Gas Association. (2003). *AGA Report
No.9 Measurement Of Gas by Multipath Ultrasonic Meters*. USA: Author.

Reidar, Sakariassen., Sdun, Wolfgang., Vulovic, Frederic., & Vieth, Detieth.,
(2000). *Long Term Comparison Of An Ultrasonic Meter And A Turbine
Meter With An Orifice At EMS Test Loop*. Paper presented at 18th North Sea
Flow Measurement Workshop.

Upp, E Loy.(2002). *Fluid Measurement A Practical Guide to Accurate Flow
Measurement* (2nd ed). USA: Gulf Professional Publishing.



Lampiran 1 : Perhitungan Kecepatan Erosi Fluida

1.1 Perhitungan *Gross Heating Value* (GHV) dan Faktor Kompresibilitas Pada Kondisi Standar (Z_b)

1. Tabulasi Perhitungan *Gross Heating Value*

No	i	x_i	GHV_i	b_i	BMi	$x_i \times GHV_i$	$x_i \times b_i$	$x_i \times BM_i$
1,	CH ₄	0,8897	1,010,0	0,0116	16,043	898,56	0,0103	14,27
2,	C ₂ H ₆	0,0388	1,769,7	0,0239	30,070	68,65	0,0009	1,16
3,	C ₃ H ₈	0,0170	2,516,1	0,0344	44,097	42,87	0,0006	0,75
4,	nC ₄ H ₁₀	0,0042	3,262,3	0,0478	58,123	13,73	0,0002	0,24
5,	iC ₄ H ₁₀	0,0037	3,251,9	0,0458	58,123	12,16	0,0002	0,22
6,	nC ₅ H ₁₂	0,0010	4,008,9	0,0631	72,150	3,85	0,0001	0,07
7,	iC ₅ H ₁₂	0,0018	4,000,9	0,0581	72,150	7,28	0,0001	0,13
8,	C ₆ H ₁₄	0,0011	4,755,9	0,0802	86,177	5,09	0,0001	0,09
9,	C ₇ H ₁₆	0,0009	5,502,5	0,0944	100,204	4,95	0,0001	0,09
10,	C ₈ H ₁₈	0,0005	6,248,9	0,1137	114,231	2,81	0,0001	0,05
11,	C ₉ H ₂₀	0,0001	6,996,5	0,1331	128,258	0,70	0,0000	0,01
12,	H ₂ S	0,0000	637,1	0,0253	34,080	0,00	0,0000	0,00
13,	N ₂	0,0072	0,0	0,0044	28,0134	0,00	0,0000	0,20
14,	CO ₂	0,0339	0,0	0,0197	44,010	0,00	0,0007	1,49
15,	H ₂ O	0,0002	50,312	0,0623	18,0153	0,01	0,0000	0,00
Jumlah (Σ)						1,060,67	0,0133	18,79

2. Perhitungan Faktor Kompresibilitas

$$Z_b = 1 - P_b \left[\sum_{i=1}^N x_i b_i \right]^2$$

$$Z_b = 1 - 14,696 [0,0133]^2$$

$$Z_b = 0,9974$$

3. Perhitungan GHV

$$GHV = \left[\sum_{i=1}^N x_i GHV_i \right] / Z_b$$

$$GHV = 1,060,67 / 0,9974$$

$$GHV = 1,063,43 \text{ Btu/scf}$$

$$BM = 18,79$$

(lanjutan)

1.2 Perhitungan Faktor Kompresibilitas Pada Kondisi Mengalir (Z_f)

1. Data Masukan :

$$P_f = 230 \text{ Psig (Tekanan rata – rata operasi setting PCV terakhir)}$$

$$T_f = 57 \text{ }^\circ\text{F (Suhu rata – rata)}$$

$$\text{GHV} = 1,063,43 \text{ Btu/scf}$$

$$x_{\text{CO}_2} = 0,0338 \text{ (Fraksi mole rata – rata)}$$

$$x_{\text{N}_2} = 0,0072 \text{ (Fraksi mole rata – rata)}$$

2. Perhitungan :

$$P_{adj} = \frac{671P_g}{693 - 0,0209\text{GHV} + 379x_{\text{CO}_2} - 201x_{\text{N}_2}}$$

$$P_{adj} = \frac{671 \times 230}{693 - (0,0209 \times 1063,43) + (379 \times 0,0338) - (201 \times 0,0072)} = 216,3$$

$$T_{adj} = \frac{359,46(T_f + 460)}{124,7 + 0,2203\text{HV} + 384,99x_{\text{CO}_2} + 91,11x_{\text{N}_2}}$$

$$T_{adj} = \frac{359,46(57 + 460)}{124,7 + (0,2203 \times 1063,43) + (384,99 \times 0,0338) + (91,11 \times 0,0072)} = 499,5$$

$$P = \frac{P_{adj} + 14,7}{1000}$$

$$P = \frac{216,3 + 14,7}{1000} = 0,2$$

$$T = \frac{T_{adj}}{500}$$

$$T = \frac{499,5}{500} = 1,0$$

$$m = 0,0330378 \times T^{-2} - 0,0221323 \times T^{-3} + 0,0161353 \times T^{-5}$$

$$m = 0,0330378 \times 1^{-2} - 0,0221323 \times 1^{-3} + 0,0161353 \times 1^{-5} = 0,03$$

$$n = (0,265827T^{-2} + 0,0457697T^{-4} - 0,133185T^{-1})m^{-1}$$

$$n = (0,265827 \times 1^{-2} + 0,0457697 \times 1^{-4} - 0,133185 \times 1^{-1})0,03^{-1} = 6,6$$

$$B = \frac{3 - mn^2}{9mP^2}$$

$$B = \frac{3 - 0,03 \times 6,6^2}{9 \times 0,03 \times 0,2^2} = 139,7$$

Untuk $P = 0,2$ dan $T = 1,0$ berdasarkan **Tabel 2.2** maka $E = E_1$

$$T_a = T - 1,09$$

$$T_a = 1,0 - 1,09 = -0,09$$

$$E_1 = 1 - 0,0075P^{2,3} \exp(-20T_a) - 0,0011T_a^{0,5}P^2[2,17 + 1,4T_a^{0,5} - P]^2$$

$$E_1 = 1 - 0,0075 \times 0,2^{2,3} \exp(-20 \times -0,09) - 0,0011 \times -0,09^{0,5} \times 0,2^2 [2,17 + 1,4 \times -0,09^{0,5} - 0,2]^2 = 1,0$$

$$b = \frac{9n - 2mn^3}{54mP^3} - \frac{E}{2mP^2}$$

$$b = \frac{9 \times 6,6 - 2 \times 0,03 \times 6,6^3}{54 \times 0,03 \times 0,2^3} - \frac{1}{2 \times 0,03 \times 0,2^2} = 2082,4$$

$$D = [b + (b^2 + B^3)^{0,5}]^{1/3}$$

$$D = [2082,4 + (2082,4^2 + 139,7^3)^{0,5}]^{1/3} = 16,8$$

$$Z_f = \frac{1}{B/D - D + n/3P}$$

$$Z_f = \frac{1}{(139,7/16,8) - 16,8 + (6,6/3 \times 0,2)} = 0,9585$$

(lanjutan)

1.3 Perhitungan Densitas Pada Kondisi Mengalir (ρ_f)

Data Masukan :

$$P_f = 230 \text{ Psig (Tekanan rata – rata operasi setting PCV terakhir)}$$

$$T_f = 57 \text{ }^\circ\text{F (Suhu rata – rata)}$$

$$R = 10,731 \text{ ft}^3 \cdot \text{Psia} \cdot \text{lbmole} \cdot \text{ }^\circ\text{R}$$

$$BM = 18,79 \text{ lb/lbmole}$$

$$Z_f = 0,9585$$

Perhitungan :

$$\rho = \frac{P \times BM}{Z_f \times R \times T}$$

$$\rho = \frac{(230+14,7) \times 18,79}{0,9585 \times 10,731 \times (57+460)} = 0,865 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

1.4 Perhitungan Kecepatan Erosi Fluida (V_e)

Data Masukan :

$C = 100$ (Dikarenakan fluida yang melalui *Metering System* telah bebas dari padatan dan mengalir secara terus menerus)

$$\rho = 0,865 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$V_e = \frac{C}{\sqrt{\rho_f}}$$

$$V_e = \frac{100}{\sqrt{0,865}} = 107 \text{ ft/s}$$

Lampiran 2 : Perhitungan Kapasitas Maksimum Dan Minimum Meter Ultrasonik

2.1 Perhitungan Kapasitas Maksimum

Data masukan :

$$\begin{array}{ll}
 D_r &= 22,624 \text{ inchi} & \alpha_2 &= 0,00000925 \text{ in/inoF} \\
 T_r &= 20 \text{ oC} = 68 \text{ oF} & Z_b &= 0,9974 \\
 P_f &= 230 \text{ Psig} & Z_f &= 0,9586 \\
 T_f &= 57 \text{ oF} & v_{\max} &= 60 \text{ ft/s}
 \end{array}$$

Perhitungan :

$$D = D_r [1 + \alpha_2 (T_f - T_r)]$$

$$D = 22,624 \times [1 + 0,00000925 \times (57 - 68)] = 22,62 \text{ inchi}$$

$$q_{acfs} = v_{avg} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$q_{acfs} = 60 \times \left(\frac{3,14 \times [22,62/12]^2}{4} \right) = 167,4 \frac{ft^3}{s}$$

$$q_b = q_{acfs} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 167,4 \left(\frac{230+14,696}{14,696} \right) \left(\frac{60+460}{57+460} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right)$$

$$q_b = 252 \text{ MMscfd}$$

2.2 Perhitungan Kapasitas Minimum

Data masukan :

$$\begin{array}{ll}
 D_r &= 22,624 \text{ inchi} & \alpha_2 &= 0,00000925 \text{ in/inoF} \\
 T_r &= 20 \text{ oC} = 68 \text{ oF} & Z_b &= 0,9974 \\
 P_f &= 230 \text{ Psig} & Z_f &= 0,9586 \\
 T_f &= 57 \text{ oF} & v_{\min} &= 7 \text{ ft/s}
 \end{array}$$

Perhitungan :

$$q_{acfs} = v_{avg} \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

$$q_{acfs} = 7 \times \left(\frac{3,14 \times [22,62/12]^2}{4} \right) = 19,5 \frac{ft^3}{s}$$

$$q_b = q_{acfs} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 19,5 \left(\frac{230+14,696}{14,696} \right) \left(\frac{60+460}{57+460} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right)$$

$$q_b = 29,4 \text{ MMscfd}$$

Atau

$$q_b = 10\% \times 252 = 25,2 \text{ MMscfd}$$

Lampiran 3: Perhitungan Kapasitas Maksimum Dan Minimum Meter Orifice 1320

3.1 Perhitungan Kapasitas Maksimum

Data masukan :

$$D_r = 16,876 \text{ inchi} = 16,876 \times 2,54 = 42,865 \text{ cm}$$

$$d_r = 9,797 \text{ inchi} = 9,797 \times 2,54 = 24,884 \text{ cm}$$

$$T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_f = 230 \text{ Psig} = 230 \times (1,01325/14,696) = 15,86 \text{ Barg} = 15,86 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T_f = 57 \text{ }^\circ\text{F} = (57-32) \times (5/9) = 13,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_1 = 0,00001116 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk mild steel}$$

$$\alpha_2 = 0,00001665 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk stainless steel}$$

$$Z_b = 0,9974$$

$$Z_f = 0,9586$$

$$BM = 18,79$$

$$R = 8314,51 \text{ m}^3\text{Pa/Kgmol.K}$$

$$k = 1,3$$

$$\mu = 0,012 \text{ cPs} = 0,000012 \text{ Kg/m.s}$$

$$DP = 200 \text{ inH}_2\text{O} = 200 \times 2,49082 = 498,16 \text{ mBar} = 0,49816 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

Perhitungan :

$$d = d_r [1 + \alpha_1 (T_f - T_r)]$$

$$d = 24,884 \times [1 + 0,00001116(13,89 - 20)] = 24,881 \text{ cm}$$

$$D = D_r [1 + \alpha_2 (T_f - T_r)]$$

$$D = 42,865 \times [1 + 0,00001665 \times (13,89 - 20)] = 42,862 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

$$\beta = \frac{24,881}{42,862} = 0,58$$

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1-0,58^4}} = 1,062$$

$$x_1 = \frac{\Delta P}{N_3 P_{f1}}$$

$$x_1 = \frac{498,16}{1000 \times (15,86 + 1,01325)} = 0,029$$

$$Y_1 = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4)x_1/k$$

$$Y_1 = 1 - \frac{(0,41 + 0,35 \times 0,58^4)0,029}{1,3} = 0,989$$

(lanjutan)

$$\rho_f = \frac{P_f \times BM}{Z_f \times R \times T_f}$$

$$\rho_f = \frac{(15,86 + 1,01325) \times 10^5 \times 18,79}{0,9585 \times 8314,15 \times (13,89 + 273)} = 13,9 \frac{Kg}{m^3}$$

Dengan asumsi awal C_D sebesar 0,60354 maka diperoleh kecepatan laju alir sebagai berikut :

$$v_0 = C_D \times Y1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

$$v_0 = 0,604 \times 0,989 \times 1,602 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^5}{13,9}} = 53,7 \frac{m}{s}$$

Kemudian dihitung nilai C_D dengan tahapan sebagai berikut :

$$B = \frac{\beta^4}{1 - \beta^4}$$

$$B = \frac{0,58^4}{1 - 0,58^4} = 0,1281$$

$$M_2 = \frac{2L_2}{1 - \beta} \quad \text{untuk flange taps } L_2 = N_4/D_r, \text{ dengan } N_4 \text{ sebesar } 2,54 \text{ untuk } D_r \text{ dalam cm,}$$

maka M_2 menjadi sebagai berikut :

$$M_2 = \frac{2 \times 2,54}{42,865 \times (1 - 0,58)} = 0,2825$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{D}{N_4}, 0,0\right]$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{42,862}{2,54}, 0,0\right] = 0,0$$

$$R_e = \frac{d \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,24881 \times 53,7 \times 13,9}{0,000012} = 15,393,348$$

$$A = \frac{19,000\beta}{R_D}$$

$$A = \frac{19,000 \times 0,58}{15,393,348} = 0,00001$$

$$C = \left[\frac{10^6}{R_D}\right]^{0,35}$$

$$C = \left[\frac{10^6}{15,393,348}\right]^{0,35} = 0,38409$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1 - \beta)M_1$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291 \times 0,58^2 - 0,2290 \times 0,58^8 + 0,003(1 - 0,58) \times 0 = 0,60295$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14A)B$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14 \times 0,00003) \times 0,1281 = 0,00078$$

(lanjutan)

$$Hilir = -0,0116[M_2 - 0,52M_2]\beta^{1,1}(1 - 0,14A)$$

$$Hilir = -0,0116[0,2825 - 0,52 \times 0,2825] \times 0,58^{1,1}(1 - 0,14 \times 0,00003) \\ = -0,00116$$

$$Terminal\ Tap = Hulu + Hilir$$

$$Terminal\ Tap = 0,00078 + (-0,00116) = -0,00038$$

$$C_i(FT) = C_i(CT) + Terminal\ Tap$$

$$C_i(FT) = 0,60295 + (-0,00038) = 0,60257$$

$$C_d(FT) =$$

$$0,60257 + 0,000511 \left[\frac{10^6 \times 0,58}{15,393,348} \right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049 \times 0,00001) 0,58^4 \times 0,384 = \\ 0,60354$$

$$v_n = C_D \times Y1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

$$v_n = 0,604 \times 0,989 \times 1,602 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^5}{13,9}} = 53,7 \frac{m}{s}$$

Untuk melakukan pengecekan dipersyaratkan $v_n - v_o = 0$, untuk asumsi awal C_D sebesar 0,60345 diperoleh $v_n - v_o = 0$, maka C_D asumsi diterima.

$$q_{acms} = v_n \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

$$q_{acms} = 53,7 \left(\frac{\pi \times [24,881/100]^2}{4} \right) = 2,61 \frac{m^3}{s}$$

$$q_b = q_{acms} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 2,61 \left(\frac{15,86 + 1,01325}{1,01325} \right) \left(\frac{15,56 + 273}{13,89 + 273} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right) \left(\frac{35,31467}{1} \right)$$

$$q_b = 139 \text{ MMscfd}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung kecepatan alir fluida sebagai berikut :

$$v = \frac{4q_{acms}}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \times 2,61}{\pi \left(\frac{42,862}{100} \right)^2} = 18 \frac{m}{s} = 59,4 \frac{ft}{s}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung bilangan reynold pipa sebagai berikut :

$$R_e = \frac{D \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,4286 \times 18 \times 13,9}{0,000012} = 8.980.120$$

3.2 Perhitungan Kapasitas Minimum

Data masukan :

$$D_r = 16,876 \text{ inchi} = 16,876 \times 2,54 = 42,865 \text{ cm}$$

(lanjutan)

$$\begin{aligned}
 d_r &= 9,797 \text{ inchi} = 9,797 \times 2,54 = 24,884 \text{ cm} \\
 T_r &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 P_f &= 230 \text{ Psig} = 230 \times (1,01325/14,696) = 15,86 \text{ Barg} = 15,86 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\
 T_f &= 57 \text{ }^\circ\text{F} = (57-32) \times (5/9) = 13,89 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \alpha_1 &= 0,00001116 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk mild steel} \\
 \alpha_2 &= 0,00001665 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk stainless steel} \\
 Z_b &= 0,9974 \\
 Z_f &= 0,9583 \\
 BM &= 18,79 \\
 R &= 8314,51 \text{ m}^3\text{Pa/Kgmol.K} \\
 k &= 1,3 \\
 \mu &= 0,012 \text{ cPs} = 0,000012 \text{ Kg/m.s} \\
 DP &= 20 \text{ inH}_2\text{O} = 20 \times 2,49082 = 49,816 \text{ mBar} = 0,49816 \times 10^4 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 d &= d_r [1 + \alpha_1 (T_f - T_r)] \\
 d &= 24,884 \times [1 + 0,00001116(13,89 - 20)] = 24,881 \text{ cm} \\
 D &= D_r [1 + \alpha_2 (T_f - T_r)] \\
 D &= 42,865 \times [1 + 0,00001665 \times (13,89 - 20)] = 42,862 \text{ cm} \\
 \beta &= \frac{d}{D} \\
 \beta &= \frac{24,881}{42,862} = 0,58 \\
 E_v &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \\
 E_v &= \frac{1}{\sqrt{1-0,58^4}} = 1,062 \\
 x_1 &= \frac{\Delta P}{N_3 P_{f1}} \\
 x_1 &= \frac{49,816}{1000 \times (15,86 + 1,01325)} = 0,0030 \\
 Y_1 &= 1 - (0,41 + 0,35\beta^4)x_1/k \\
 Y_1 &= 1 - \frac{(0,41 + 0,35 \times 0,58^4)0,0030}{1,3} = 0,999 \\
 \rho_f &= \frac{P_f \times BM}{Z_f \times R \times T_f} \\
 \rho_f &= \frac{(15,86 + 1,01325) \times 10^5 \times 18,79}{0,9583 \times 8314,15 \times (13,89 + 273)} = 13,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Dengan asumsi awal C_D sebesar 0,604 maka diperoleh kecepatan laju alir sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 v_0 &= C_D \times Y_1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}} \\
 v_0 &= 0,604 \times 0,999 \times 1,602 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^4}{13,9}} = 17,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}
 \end{aligned}$$

Kemudian dihitung nilai C_D dengan tahapan sebagai berikut :

$$B = \frac{\beta^4}{1-\beta^4}$$

(lanjutan)

$$B = \frac{0,58^4}{1-0,58^4} = 0,1281$$

$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta}$ untuk flange taps $L_2 = N_4/D_r$, dengan N_4 sebesar 2,54 untuk D_r dalam cm,

maka M_2 menjadi sebagai berikut :

$$M_2 = \frac{2 \times 2,54}{42,865 \times (1-0,58)} = 0,2825$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{D}{N_4}, 0,0\right]$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{42,862}{2,54}, 0,0\right] = 0,0$$

$$R_e = \frac{d \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,24881 \times 17,2 \times 13,9}{0,000012} = 4.905.968$$

$$A = \frac{19,000\beta}{R_e}$$

$$A = \frac{19,000 \times 0,58}{4.905.968} = 0,00003$$

$$C = \left[\frac{10^6}{R_D}\right]^{0,35}$$

$$C = \left[\frac{10^6}{4.905.968}\right]^{0,35} = 0,573$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1-\beta)M_1$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291 \times 0,58^2 - 0,2290 \times 0,58^8 + 0,003(1-0,58) \times 0 = 0,60295$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14A)B$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14 \times 0,00003) \times 0,1281 = 0,00078$$

$$Hilir = -0,0116[M_2 - 0,52M_2]\beta^{1,1}(1 - 0,14A)$$

$$Hilir = -0,0116[0,2825 - 0,52 \times 0,2825] \times 0,58^{1,1}(1 - 0,14 \times 0,00003) = -0,00116$$

$$Terminal\ Tap = Hulu + Hilir$$

$$Terminal\ Tap = 0,00078 + (-0,00116) = -0,00038$$

$$C_i(FT) = C_i(CT) + Terminal\ Tap$$

$$C_i(FT) = 0,60295 + (-0,00038) = 0,60257$$

$$C_d(FT) = 0,60257 + 0,000511 \left[\frac{10^6 \times 0,58}{4.905.968}\right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049 \times 0,00003)0,58^4 \times 0,384 = 0,604$$

$$v_n = C_D \times Y_1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

$$v_n = 0,604 \times 0,989 \times 1,602 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^4}{13,9}} = 17,2 \frac{m}{s}$$

Untuk melakukan pengecekan dipersyaratkan $v_n - v_o = 0$, untuk asumsi awal C_D sebesar 0,604 diperoleh $v_n - v_o = 0$, maka C_D asumsi diterima.

$$q_{acms} = v_n \left(\frac{\pi d^2}{4}\right)$$

$$q_{acms} = 17,2 \left(\frac{\pi \times [24,881/100]^2}{4}\right) = 0,84 \frac{m^3}{s}$$

(lanjutan)

$$q_b = q_{acms} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 0,84 \left(\frac{15,86+1,01325}{1,01325} \right) \left(\frac{15,56+273}{13,89+273} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right) \left(\frac{35,31467}{1} \right)$$

$$q_b = 44,4 \text{ MMscfd}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung kecepatan alir fluida sebagai berikut :

$$v = \frac{4q_{acms}}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \times 0,84}{\pi \left(\frac{42,862}{100} \right)^2} = 5,8 \frac{m}{s} = 19 \frac{ft}{s}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung bilangan reynold pipa sebagai berikut :

$$R_e = \frac{D \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,4286 \times 5,8 \times 13,9}{0,000012} = 2.868.579$$

Atau

$$q_b = 33\% \times 139 = 46,4 \text{ MMscfd}$$

$$q_{acfs} = q_b \left(\frac{P_b}{P_f} \right) \left(\frac{T_f}{T_b} \right) \left(\frac{Z_f}{Z_b} \right)$$

$$q_{acfs} = 46,4 \left(\frac{1,01325}{15,86+1,01325} \right) \left(\frac{13,89+273}{15,56+273} \right) \left(\frac{0,9583}{0,9974} \right) \left(\frac{1.000.000}{24 \times 60 \times 60} \right) = 30,8 \frac{ft^3}{s}$$

$$v = \frac{4q_{acfs}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 30,8}{\pi \times 1,4^2} = 19,8 \frac{ft}{s} = 6 \frac{m}{s}$$

$$R_e = \frac{0,4286 \times 6 \times 13,9}{0,000012} = 2.978.770$$

Lampiran 4: Perhitungan Kapasitas Maksimum Dan Minimum Meter Orifice 1330

4.1 Perhitungan Kapasitas Maksimum

Data masukan :

$$\begin{aligned}
 D_r &= 15 \text{ inchi} = 15 \times 2,54 = 38,1 \text{ cm} \\
 d_r &= 6,055 \text{ inchi} = 6,055 \times 2,54 = 15,381 \text{ cm} \\
 T_r &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 P_f &= 230 \text{ Psig} = 230 \times (1,01325/14,696) = 15,86 \text{ Barg} = 15,86 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\
 T_f &= 57 \text{ }^\circ\text{F} = (57-32) \times (5/9) = 13,89 \text{ }^\circ\text{C} \\
 \alpha_1 &= 0,00001116 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk mild steel} \\
 \alpha_2 &= 0,00001665 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk stainless steel} \\
 Z_b &= 0,9974 \\
 Z_f &= 0,9586 \\
 BM &= 18,79 \\
 R &= 8314,51 \text{ m}^3\text{Pa/Kgmol.K} \\
 k &= 1,3 \\
 \mu &= 0,012 \text{ cPs} = 0,000012 \text{ Kg/m.s} \\
 DP &= 200 \text{ inH}_2\text{O} = 200 \times 2,49082 = 498,16 \text{ mBar} = 0,49816 \times 10^5 \text{ N/m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 d &= d_r [1 + \alpha_1 (T_f - T_r)] \\
 d &= 15,381 \times [1 + 0,00001116(13,89 - 20)] = 15,379 \text{ cm} \\
 D &= D_r [1 + \alpha_2 (T_f - T_r)] \\
 D &= 38,1 \times [1 + 0,00001665 \times (13,89 - 20)] = 38,0974 \text{ cm} \\
 \beta &= \frac{d}{D} \\
 \beta &= \frac{15,379}{38,0974} = 0,404 \\
 E_v &= \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}} \\
 E_v &= \frac{1}{\sqrt{1-0,404^4}} = 1,0135 \\
 x_1 &= \frac{\Delta P}{N_3 P_{f1}} \\
 x_1 &= \frac{498,16}{1000 \times (15,86 + 1,01325)} = 0,029 \\
 Y_1 &= 1 - (0,41 + 0,35\beta^4)x_1/k \\
 Y_1 &= 1 - \frac{(0,41 + 0,35 \times 0,404^4)0,029}{1,3} = 0,99 \\
 \rho_f &= \frac{P_f \times BM}{Z_f \times R \times T_f} \\
 \rho_f &= \frac{(15,86 + 1,01325) \times 10^5 \times 18,79}{0,9585 \times 8314,15 \times (13,89 + 273)} = 13,9 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Dengan asumsi awal C_D sebesar 0,60055 maka diperoleh kecepatan laju alir sebagai berikut :

$$v_0 = C_D \times Y_1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

(lanjutan)

$$v_0 = 0,60055 \times 0,99 \times 1,0135 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^5}{13,9}} = 51 \frac{m}{s}$$

Kemudian dihitung nilai C_D dengan tahapan sebagai berikut :

$$B = \frac{\beta^4}{1-\beta^4}$$

$$B = \frac{0,404^4}{1-0,404^4} = 0,0273$$

$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta}$ untuk flange taps $L_2 = N_4/D_r$, dengan N_4 sebesar 2,54 untuk D_r dalam cm, maka M_2 menjadi sebagai berikut :

$$M_2 = \frac{2 \times 2,54}{38,0974 \times (1-0,404)} = 0,2236$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{D}{N_4}, 0,0\right]$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{38,0974}{2,54}, 0,0\right] = 0,0$$

$$R_e = \frac{d \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,15379 \times 51 \times 13,9}{0,000012} = 9,072,838$$

$$A = \frac{19,000\beta}{R_D}$$

$$A = \frac{19,000 \times 0,404}{9,072,838} = 0,00001$$

$$C = \left[\frac{10^6}{R_e}\right]^{0,35}$$

$$C = \left[\frac{10^6}{9,072,838}\right]^{0,35} = 0,4622$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1-\beta)M_1$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291 \times 0,404^2 - 0,2290 \times 0,404^8 + 0,003(1-0,404) \times 0 = 0,60068$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14A)B$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14 \times 0,00001) \times 0,0273 = 0,00019$$

$$Hilir = -0,0116[M_2 - 0,52M_2]\beta^{1,1}(1 - 0,14A)$$

$$Hilir = -0,0116[0,2236 - 0,52 \times 0,2236] \times 0,404^{1,1}(1 - 0,14 \times 0,00001) = -0,00064$$

$$Terminal Tap = Hulu + Hilir$$

$$Terminal Tap = 0,00019 + (-0,00064) = -0,00045$$

$$C_i(FT) = C_i(CT) + Terminal Tap$$

$$C_i(FT) = 0,60068 + (-0,00045) = 0,60023$$

$$C_d(FT) = C_i(FT) + 0,000511 \left[\frac{10^6\beta}{R_e}\right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049A)\beta^4 C$$

$$C_d(FT) =$$

$$0,60023 + 0,000511 \left[\frac{10^6 \times 0,404}{9,072,838}\right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049 \times 0,00001) \times 0,404^4 \times$$

$$0,4622 = 0,60055$$

$$v_n = C_D \times Y1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

(lanjutan)

$$v_n = 0,60055 \times 0,99 \times 1,0135 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^5}{13,9}} = 51 \frac{m}{s}$$

Untuk melakukan pengecekan dipersyaratkan $v_n - v_o = 0$, untuk asumsi awal C_D sebesar 0,60055 diperoleh $v_n - v_o = 0$, maka C_D asumsi diterima.

$$q_{acms} = v_n \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

$$q_{acms} = 51 \left(\frac{\pi \times [15,379/100]^2}{4} \right) = 0,949 \frac{m^3}{s}$$

$$q_b = q_{acms} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 0,949 \left(\frac{15,86 + 1,01325}{1,01325} \right) \left(\frac{15,56 + 273}{13,89 + 273} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right) \left(\frac{35,31467}{1} \right)$$

$$q_b = 50,5 \text{ MMscfd}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung kecepatan alir fluida sebagai berikut :

$$v = \frac{4q_{acms}}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \times 0,949}{\pi \left(\frac{38,0974}{100} \right)^2} = 8 \frac{m}{s} = 27 \frac{ft}{s}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung bilangan reynold pipa sebagai berikut :

$$Re = \frac{D \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$Re = \frac{0,380874 \times 8 \times 13,9}{0,000012} = 3.675.021$$

4.2 Perhitungan Kapasitas Minimum

Data masukan :

$$D_r = 15 \text{ inchi} = 15 \times 2,54 = 38,1 \text{ cm}$$

$$d_r = 6,055 \text{ inchi} = 6,055 \times 2,54 = 15,381 \text{ cm}$$

$$T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$P_f = 230 \text{ Psig} = 230 \times (1,01325/14,696) = 15,86 \text{ Barg} = 15,86 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$T_f = 57 \text{ }^\circ\text{F} = (57 - 32) \times (5/9) = 13,89 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\alpha_1 = 0,00001116 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk mild steel}$$

$$\alpha_2 = 0,00001665 \text{ mm/mm-}^\circ\text{C} \text{ untuk stainless steel}$$

$$Z_b = 0,9974$$

$$Z_f = 0,9586$$

$$BM = 18,79$$

$$R = 8314,51 \text{ m}^3 \text{ Pa/Kgmol.K}$$

$$k = 1,3$$

$$\mu = 0,012 \text{ cPs} = 0,000012 \text{ Kg/m.s}$$

$$DP = 20 \text{ inH}_2\text{O} = 20 \times 2,49082 = 49,816 \text{ mBar} = 0,49816 \times 10^4 \text{ N/m}^2$$

Perhitungan :

$$d = d_r [1 + \alpha_1 (T_f - T_r)]$$

$$d = 15,381 \times [1 + 0,00001116(13,89 - 20)] = 15,379 \text{ cm}$$

$$D = D_r [1 + \alpha_2 (T_f - T_r)]$$

$$D = 38,1 \times [1 + 0,00001665 \times (13,89 - 20)] = 38,0974 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{d}{D}$$

(lanjutan)

$$\beta = \frac{15,379}{38,0974} = 0,404$$

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^4}}$$

$$E_v = \frac{1}{\sqrt{1-0,404^4}} = 1,0135$$

$$x_1 = \frac{\Delta P}{N_3 P_{f1}}$$

$$x_1 = \frac{498,16}{1000 \times (15,86 + 1,01325)} = 0,003$$

$$Y_1 = 1 - (0,41 + 0,35\beta^4)x_1/k$$

$$Y_1 = 1 - \frac{(0,41 + 0,35 \times 0,404^4)0,029}{1,3} = 0,999$$

$$\rho_f = \frac{P_f \times BM}{Z_f \times R \times T_f}$$

$$\rho_f = \frac{(15,86 + 1,01325) \times 10^5 \times 18,79}{0,9585 \times 8314,15 \times (13,89 + 273)} = 13,9 \frac{Kg}{m^3}$$

Dengan asumsi awal C_D sebesar 0,6007 maka diperoleh kecepatan laju alir sbb:

$$v_0 = C_D \times Y_1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

$$v_0 = 0,6007 \times 0,999 \times 1,0135 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^4}{13,9}} = 16,3 \frac{m}{s}$$

Kemudian dihitung nilai C_D dengan tahapan sebagai berikut :

$$B = \frac{\beta^4}{1-\beta^4}$$

$$B = \frac{0,404^4}{1-0,404^4} = 0,0273$$

$$M_2 = \frac{2L_2}{1-\beta} \text{ untuk flange taps } L_2 = N_4/D_r, \text{ dengan } N_4 \text{ sebesar } 2,54 \text{ untuk } D_r \text{ dalam cm.}$$

$$M_2 = \frac{2 \times 2,54}{38,0974 \times (1-0,404)} = 0,2236$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{D}{N_4}, 0,0\right]$$

$$M_1 = \max\left[2,8 - \frac{38,0974}{2,54}, 0,0\right] = 0,0$$

$$R_e = \frac{d \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,15379 \times 16,3 \times 13,9}{0,000012} = 2.893.911$$

$$A = \frac{19,000\beta}{R_e}$$

$$A = \frac{19,000 \times 0,404}{2.893.911} = 0,00003$$

$$C = \left[\frac{10^6}{R_e}\right]^{0,35}$$

$$C = \left[\frac{10^6}{2.893.911}\right]^{0,35} = 0,689$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291\beta^2 - 0,2290\beta^8 + 0,003(1-\beta)M_1$$

$$C_i(CT) = 0,5961 + 0,0291 \times 0,404^2 - 0,2290 \times 0,404^8 + 0,003(1-0,404) \times 0 = 0,60068$$

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14A)B$$

(lanjutan)

$$Hulu = [0,0433 + 0,0712e^{-8,311} - 0,1145e^{-6,011}](1 - 0,14 \times 0,00001) \times 0,0273 = 0,00019$$

$$Hilir = -0,0116[M_2 - 0,52M_2]\beta^{1,1}(1 - 0,14A)$$

$$Hilir = -0,0116[0,2236 - 0,52 \times 0,2236] \times 0,404^{1,1}(1 - 0,14 \times 0,00003) = -0,00064$$

$$Terminal\ Tap = Hulu + Hilir$$

$$Terminal\ Tap = 0,00019 + (-0,00064) = -0,00045$$

$$C_i(FT) = C_i(CT) + Terminal\ Tap$$

$$C_i(FT) = 0,60068 + (-0,00045) = 0,60023$$

$$C_d(FT) = C_i(FT) + 0,000511 \left[\frac{10^6 \beta}{R_e} \right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049A)\beta^4 C$$

$$C_d(FT) =$$

$$0,60023 + 0,000511 \left[\frac{10^6 \times 0,404}{9,072,838} \right]^{0,1} + (0,0210 + 0,0049 \times 0,00001) 0,404^4 \times 0,689 = 0,6007$$

$$v_n = C_D \times Y1 \times E_v \times \sqrt{\frac{2 \times \Delta P}{\rho_f}}$$

$$v_n = 0,6007 \times 0,999 \times 1,0135 \times \sqrt{\frac{2 \times 0,498 \times 10^4}{13,9}} = 16,3 \frac{m}{s}$$

Karena $v_n - v_o = 0$, maka C_D asumsi diterima.

$$q_{acms} = v_n \left(\frac{\pi d^2}{4} \right)$$

$$q_{acms} = 16,3 \left(\frac{\pi \times [15,379/100]^2}{4} \right) = 0,3 \frac{m^3}{s}$$

$$q_b = q_{acms} \left(\frac{P_f}{P_b} \right) \left(\frac{T_b}{T_f} \right) \left(\frac{Z_b}{Z_f} \right)$$

$$q_b = 0,3 \left(\frac{15,86 + 1,01325}{1,01325} \right) \left(\frac{15,56 + 273}{13,89 + 273} \right) \left(\frac{0,9974}{0,9586} \right) \left(\frac{24 \times 60 \times 60}{1000,000} \right) \left(\frac{35,31467}{1} \right)$$

$$q_b = 16 \text{ MMscfd}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung kecepatan alir fluida sebagai berikut :

$$v = \frac{4q_{acms}}{\pi D^2}$$

$$v = \frac{4 \times 0,949}{\pi \left(\frac{38,0974}{100} \right)^2} = 2,7 \frac{m}{s} = 8,7 \frac{ft}{s}$$

Pada kapasitas maksimum dihitung bilangan reynold pipa sebagai berikut :

$$R_e = \frac{D \times v \times \rho_f}{\mu}$$

$$R_e = \frac{0,380874 \times 2,7 \times 13,9}{0,000012} = 1.170.251$$

Atau

$$q_b = 33\% \times 50,5 = 16,8 \text{ MMscfd}$$

$$q_{acfs} = q_b \left(\frac{P_b}{P_f} \right) \left(\frac{T_f}{T_b} \right) \left(\frac{Z_f}{Z_b} \right)$$

$$q_{acfs} = 16,8 \left(\frac{1,01325}{15,86 + 1,01325} \right) \left(\frac{13,89 + 273}{15,56 + 273} \right) \left(\frac{0,9583}{0,9974} \right) \left(\frac{1.000.000}{24 \times 60 \times 60} \right) = 11,2 \frac{ft^3}{s}$$

$$v = \frac{4q_{acfs}}{\pi D^2} = \frac{4 \times 11,2}{\pi \times 1,25^2} = 9 \frac{ft}{s} = 2,8 \frac{m}{s}$$

$$R_e = \frac{0,38 \times 2,8 \times 13,9}{0,000012} = 1.225.426$$

Lampiran 5 : Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice 1320 Tipe 1

5.1 Perhitungan *Uncertainty* Sebelum Rekalibrasi

Perhitungan terdiri dari dua yaitu perhitungan laju alir *uncorrected* dan *corrected*. *Corrected* terhadap keakuratan dari DPT, PT, dan TT sebelum rekalibrasi.

5.1.1 Laju Alir *Uncorrected*

Sama dengan perhitungan di lampiran 3, dimana diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH ₂ O)	q _{b un} (MMscfd)
Minimum	230	57	20	44,5
Maksimum	230	57	200	139

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 5.1.4**.

5.1.2 Laju Alir *Corrected*

Perhitungan sama dengan perhitungan pada lampiran 3, namun untuk PT, TT, dan DPT harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap ketidak-akurasiannya.

$$P_{fcor} = P_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$P_{fcor} = 230 - \left(\frac{-0,0626 \times 500}{100} \right) = 230,31 \text{ Psig}$$

$$T_{fcor} = T_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$T_{fcor} = 57 - \left(\frac{+0,1544 \times 120}{100} \right) = 55,15^\circ F$$

$$DP_{fcor} = DP_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$DP_{fcor} = 20 - \left(\frac{+0,9314 \times 200}{100} \right) = 18,14 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$DP_{fcor} = 200 - \left(\frac{+0,9314 \times 200}{100} \right) = 198,14 \text{ inH}_2\text{O}$$

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH ₂ O)	q _{b cor} (MMscfd)
Minimum	230,31	55,15	18,14	42,48
Maksimum	230,31	55,15	198,14	138,99

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 5.1.5**.

5.1.3 Perhitungan Deviasi Pengukuran

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{q_{bun} - q_{bcor}}{q_{bcor}} \times 100$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{44,5 - 42,48}{42,48} \times 100 = 4,6\% , \text{ uncertainty tipe 1 maksimum.}$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{139 - 138,99}{138,99} \times 100 = 0,07\% , \text{ uncertainty tipe 1 minimum.}$$

(lanjutan)

5.1.4 Hasil Perhitungan Laju Alir *Uncorrected*

DP_f		T_f		P_f		Z_f	Z_b	D	d	β	Ev	x_1	Y_1	C_D	v		q_b
inH ₂ O	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²			m	m						m/s	ft/s	MMscfd
20	4.982	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,60	6	19	44,43
30	7.472	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,60	7	23	54,38
40	9.963	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	8	27	62,75
50	12.454	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	9	30	70,11
60	14.945	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	10	33	76,76
70	17.436	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	11	35	82,87
80	19.927	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	12	38	88,54
90	22.417	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,60	12	40	93,86
100	24.908	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	0,99	0,60	13	42	98,88
110	27.399	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	14	44	103,65
120	29.890	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	14	46	108,20
130	32.381	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	15	48	112,56
140	34.871	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	15	50	116,74
150	37.362	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	16	52	120,77
160	39.853	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,60	16	53	124,67
170	42.344	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,60	17	55	128,44
180	44.835	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,60	17	57	132,09
190	47.326	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,60	18	58	135,64
200	49.816	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,60	18	59	139,09

5.1.5 Hasil Perhitungan Laju Alir *Uncorrected*

Dp_{fcor}		T_{fcor}		P_{fcor}		Z_f	Z_b	D	d	β	Ev	x_1	Y_1	C_D	v		q_b	<i>Uncertainty</i>
inH ₂ O	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²			m	m						m/s	ft/s	MMscfd	
18	4.518	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,604	5	18	42,48	4,6%
28	7.008	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,604	7	22	52,87	2,8%
38	9.499	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	8	26	61,51	2,0%
48	11.990	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	9	29	69,07	1,5%
58	14.481	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	10	32	75,86	1,2%
68	16.972	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	11	35	82,08	1,0%
78	19.463	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	11	37	87,85	0,8%
88	21.953	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	12	40	93,25	0,7%
98	24.444	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	0,99	0,604	13	42	98,34	0,5%
108	26.935	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	13	44	103,17	0,5%
118	29.426	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	14	46	107,78	0,4%
128	31.917	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	15	48	112,19	0,3%
138	34.407	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	15	49	116,42	0,3%
148	36.898	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	16	51	120,50	0,2%
158	39.389	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	16	53	124,43	0,2%
168	41.880	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	17	54	128,24	0,2%
178	44.371	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	17	56	131,92	0,1%
188	46.862	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	18	58	135,50	0,1%
198	49.352	55	13	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	18	59	138,99	0,1%

5.2 Perhitungan *Uncertainty* Setelah Rekalibrasi

Perhitungan terdiri dari dua yaitu perhitungan laju alir *uncorrected* dan *corrected*. *Corrected* terhadap keakuratan dari DPT, PT, dan TT setelah rekalibrasi.

5.2.1 Laju Alir *Uncorrected*

Sama dengan 5.1.1 dan 5.1.4

5.2.2 Laju Alir *Corrected*

$$P_{fcor} = P_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$P_{fcor} = 230 - \left(\frac{-0,0626 \times 500}{100} \right) = 230,31 \text{ Psig}$$

$$T_{fcor} = T_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

(lanjutan)

$$T_{fcor} = 57 - \left(\frac{+0,0188 \times 120}{100} \right) = 56,98^\circ F$$

$$DP_{fcor} = DP_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$DP_{fcor} = 20 - \left(\frac{-0,0188 \times 200}{100} \right) = 20,04 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$DP_{fcor} = 200 - \left(\frac{-0,0188 \times 200}{100} \right) = 200,04 \text{ inH}_2\text{O}$$

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH2O)	q _{b cor} (MMscfd)
Minimum	230,31	56,98	20,04	44,56
Maksimum	230,31	56,98	200,04	139,39

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 5.2.4**.

5.2.3 Perhitungan Deviasi Pengukuran

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{44,5-44,56}{44,56} \times 100 = -0,3\% , \text{ uncertainty tipe 1 minimum.}$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{139-139,39}{139,39} \times 100 = -0,22\% , \text{ uncertainty tipe 1 maksimum.}$$

5.2.4 Hasil Perhitungan Laju Alir *Uncorrected*

Dp _{fcor}		T _{fcor}		P _{fcor}		Z _f	Z _b	D	d	β	Ev	x _l	Y _l	C _D	v	q _b	Uncert	
inH ₂ O	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²			m	m						m/s	ft/s	MMscfd	ainty
20,04	4.991	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,604	6	19	44,56	-0,30%
30,04	7.482	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,00	1,00	0,604	7	23	54,53	-0,27%
40,04	9.973	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	8	27	62,91	-0,26%
50,04	12.463	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	9	30	70,29	-0,25%
60,04	14.954	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	10	33	76,95	-0,24%
70,04	17.445	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	11	35	83,06	-0,24%
80,04	19.936	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	12	38	88,74	-0,23%
90,04	22.427	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	1,00	0,604	12	40	94,07	-0,23%
100,04	24.918	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,01	0,99	0,604	13	42	99,11	-0,23%
110,04	27.408	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	13	44	103,88	-0,23%
120,04	29.899	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	14	46	108,44	-0,23%
130,04	32.390	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	15	48	112,81	-0,22%
140,04	34.881	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	15	50	117,00	-0,22%
150,04	37.372	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	16	52	121,04	-0,22%
160,04	39.862	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,02	0,99	0,604	16	53	124,95	-0,22%
170,04	42.353	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	17	55	128,72	-0,22%
180,04	44.844	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	17	56	132,38	-0,22%
190,04	47.335	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	18	58	135,94	-0,22%
200,04	49.826	57	14	230	1.689.265	0,956	0,997	0,43	0,25	0,58	1,06	0,03	0,99	0,604	18	59	139,39	-0,22%

Lampiran 6 : Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice 1320 Tipe 2**6.1 Perhitungan *Uncertainty* Sebelum Rekalibrasi**

Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir.

6.1.1 Instrumentasi

I	T	OPS	FS	%E	$\frac{\sigma T}{T}$ (FSx%E)/Ops	S	I ($\frac{\sigma T}{T \times S}$) ²	
I ₁	DP	20 InH ₂ O	200	0,9314	9,314	0,5	21,66	
I ₂	P	230 Psig	500	-0,0624	-0,136	0,5	0,00	
I ₃	T	57 °F	120	1,544	3,251	0,5	2,64	
$I_i = I_1 + I_2 + I_3$								24,33

Ket : T = Transmitter ; OPS = Data Operasi; %E = %Error Kalibrasi; S = Sensivitas

6.1.2 Mekanik

Data Masukan :

$$D_m = 16,876 \text{ inchi}$$

$$d_m = 9,797 \text{ inchi}$$

$$\beta = 0,58$$

$$R_{oD} = 0,25\% D_m \text{ (AGA3 No.2, 2003)}$$

$$= 0,25\% \times 16,876 \text{ inchi}$$

$$= 0,0422 \text{ inchi}$$

$$R_{od} = 0,0005 \text{ inchi per inchi } d_m \text{ (AGA3 No.2, 2003)}$$

$$= 0,0005 \times 9,797 \text{ inchi}$$

$$= 0,0049 \text{ inchi}$$

Dimana R_{oD} adalah *roundness* dari diameter dalam tube yang diambil dari AGA 3 No.2 hal 12, dan R_{od} adalah *roundness* dari diameter bore orifice yang diambil dari AGA 3 No.2 hal 7

$$I_4 = SD^2 \left(\frac{\delta D}{D} \right)^2$$

$$SD = \frac{-2\beta^4}{(1-\beta^4)}$$

$$SD = \frac{-2 \times 0,58^4}{(1-0,58^4)} = -0,256$$

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{R_{oD}}{D_m} \times 100\%$$

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{0,0422}{16,876} \times 100\% = 0,25\%$$

$$I_4 = -0,256^2 (0,25)^2 = 0,004$$

$$I_5 = Sd^2 \left(\frac{\delta d}{d} \right)^2$$

$$Sd = \frac{2}{(1-\beta^4)}$$

$$SD = \frac{2}{(1-0,58^4)} = 2,256$$

$$\frac{\delta d}{d} = \frac{R_{od}}{d_m} \times 100\%$$

(lanjutan)

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{0,0049}{9,797} \times 100\% = 0,05\%$$

$$I_5 = 2,256^2(0,05)^2 = 0,01$$

$$I_m = I_4 + I_5$$

$$I_m = 0,004 + 0,01 = 0,014$$

6.1.3 Laju Alir

Data Masukan :

$$\beta = 0,58$$

$$R_e = 2.868.579$$

$$DP = 20 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$P = 230 \text{ psig}$$

Perhitungan :

$$I_6 = S\rho_b^2 \left(\frac{\delta\rho_b}{\rho_b}\right)^2$$

$$S\rho_b = 0,5$$

$$\frac{\delta\rho_b}{\rho_b} = 0,2 \quad [\text{Miller,1996}]$$

$$I_6 = 0,5^2(0,2)^2 = 0,01$$

$$I_7 = S\rho_f^2 \left(\frac{\delta\rho_f}{\rho_f}\right)^2$$

$$S\rho_f = 0,5$$

$$\frac{\delta\rho_f}{\rho_f} = 0,2 \quad [\text{Miller,1996}]$$

$$I_7 = 0,5^2(0,2)^2 = 0,01$$

$$I_8 = SC_D^2 \left(\frac{\delta C_D}{C_D}\right)^2$$

$$SC_D = 1$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = \left(1 + 0,7895 \left(\frac{4,000}{R_e}\right)^{0,8}\right) \times (0,5600 - 0,2550\beta + 1,9316\beta^8)$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = \left(1 + 0,7895 \left(\frac{4,000}{2.868.579}\right)^{0,8}\right) \times (0,5600 - [0,2550 \times 0,58] + [1,9316 \times 0,58^8])$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = 0,439$$

$$I_8 = 1^2(0,439)^2 = 0,2$$

$$I_9 = SY^2 \left(\frac{\delta Y}{Y}\right)^2$$

$$SY = 1$$

$$\frac{\delta Y}{Y} = \frac{0,144 \times DP}{N_3 \times P}$$

Dimana untuk DP dalam inH₂O dan P dalam psig maka N₃ sebesar 27,707.

$$\frac{\delta Y}{Y} = \frac{0,144 \times 20}{27,707 \times 230}$$

$$\frac{\delta Y}{Y} = 0,013$$

$$I_9 = 1^2(0,013)^2 = 0,0002$$

(lanjutan)

$$I_q = I_6 + I_7 + I_8 + I_9$$

$$I_q = 0,01 + 0,01 + 0,2 + 0,0002 = 0,22$$

$$I_T = (I_i + I_m + I_q)^{0,5}$$

$$I_T = (24,33 + 0,014 + 0,22)^{0,5}$$

$$I_T = 4,9561$$

Kemudian dilakukan perhitungan *uncertainty* tipe 2 untuk range DP 30 – 200 inH₂O. Hasil perhitungan *uncertainty* tipe 2 sebelum rekalisasi sebagai berikut :

DP _f	T _f	P _f	I _i									I _m					
			inH ₂ O	°F	Psig	SDP	σ _{DP/DP}	I ₁	SP	σ _{p/P}	I ₂	ST	σ _{T/T}	I ₃	SD	σ _{D/D}	I ₄
20	57	230	0,5	9,3	21,7	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
30	57	230	0,5	6,2	9,6	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
40	57	230	0,5	4,7	5,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
50	57	230	0,5	3,7	3,5	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
60	57	230	0,5	3,1	2,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
70	57	230	0,5	2,7	1,8	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
80	57	230	0,5	2,3	1,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
90	57	230	0,5	2,1	1,1	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
100	57	230	0,5	1,9	0,9	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
110	57	230	0,5	1,7	0,7	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
120	57	230	0,5	1,6	0,6	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
130	57	230	0,5	1,4	0,5	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
140	57	230	0,5	1,3	0,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
150	57	230	0,5	1,2	0,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
160	57	230	0,5	1,2	0,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
170	57	230	0,5	1,1	0,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
180	57	230	0,5	1,0	0,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
190	57	230	0,5	1,0	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
200	57	230	0,5	0,9	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	3,3	2,6	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0

DP _f	T _f	P _f	I _q										I _T		
			inH ₂ O	°F	Psig	Sρb	σ _{b/ρ_b}	I ₆	Sρf	σ _{f/ρ_f}	I ₇	SC _D		C _{D/C}	I ₈
20	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	5,0
30	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	3,5
40	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	2,9
50	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	2,5
60	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	2,3
70	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	2,2
80	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	2,1
90	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	2,0
100	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,9
110	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,9
120	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,9
130	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
140	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
150	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
160	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
170	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
180	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
190	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8
200	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	1,8

(lanjutan)

6.2 Perhitungan *Uncertainty* Setelah Rekalibrasi

6.2.1 Instrumentasi

I	T	OPS	FS	%E	$\sigma_{T/T}$ (FSx%E)/Ops	S	I ($\sigma_{T/T} \times S$) ²
I ₁	DP	20 inH ₂ O	200	-0,0188	-0,188	0,5	0,0088
I ₂	P	230 Psig	500	-0,0624	-0,136	0,5	0,0046
I ₃	T	57 °F	120	0,0188	0,040	0,5	0,0004
$I_i = I_1 + I_2 + I_3$							0,0138

6.2.2 Mekanik

Sama dengan **item 6.1.2.**

6.2.3 Laju Alir

Sama dengan **item 6.1.3.**

Diperoleh I_T sebesar 0,5%. Kemudian dilakukan perhitungan *uncertainty* pada DP 30 – 200 inH₂O. Dimana hasil perhitungan sebagai berikut :

DP_f inH ₂ O	T_f °F	P_f Psig	I_i									I_m						
			SDP	$\sigma_{DP/DP}$	I_1	SP	σ_P/P	I_2	ST	σ_T/T	I_3	SD	σ_D/D	I_4	Sd	σ_d/d	I_5	
20	57	230	0,5	-0,2	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
30	57	230	0,5	-0,1	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
40	57	230	0,5	-0,1	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
50	57	230	0,5	-0,1	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
60	57	230	0,5	-0,1	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
70	57	230	0,5	-0,1	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
80	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
90	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
100	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
110	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
120	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
130	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
140	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
150	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
160	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
170	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
180	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
190	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0
200	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,3	0,0	2,3	0,1	0,0

(lanjutan)

DP_f	T_f	P_f	I_q												I_T
inH_2O	$^{\circ}F$	P_{sig}	$S_{\rho b}$	σ_{ρ_b/ρ_b}	I_6	$S_{\rho f}$	σ_{ρ_f/ρ_f}	I_7	SC_D	$t_{CD/C}$	I_8	SY	σ_Y/Y	I_9	
20	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
30	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
40	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
50	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
60	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
70	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
80	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
90	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
100	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
110	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
120	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
130	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
140	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
150	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
160	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
170	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
180	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
190	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
200	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,4	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5

Lampiran 7: Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice 1330 Tipe 1**7.1 Perhitungan *Uncertainty* Sebelum Rekalibrasi**

Perhitungan terdiri dari dua yaitu perhitungan laju alir *uncorrected* dan *corrected*. *Corrected* terhadap keakuratan dari DPT, PT, dan TT sebelum rekalibrasi.

7.1.1 Laju Alir *Uncorrected*

Sama dengan perhitungan di lampiran 4, dimana diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH ₂ O)	q _{b un} (MMscfd)
Minimum	230	57	20	16
Maksimum	230	57	200	50,5

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 7.1.4**.

7.1.2 Laju Alir *Corrected*

Perhitungan sama dengan perhitungan pada lampiran 4, namun untuk PT, TT, dan DPT harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap ketidak akurasiannya.

$$P_{fcor} = P_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$P_{fcor} = 230 - \left(\frac{0,675 \times 500}{100} \right) = 230,12 \text{ Psig}$$

$$T_{fcor} = T_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$T_{fcor} = 57 - \left(\frac{+1,544 \times 120}{100} \right) = 54,68^\circ F$$

$$DP_{fcor} = DP_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$DP_{fcor} = 20 - \left(\frac{+0,675 \times 200}{100} \right) = 18,65 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$DP_{fcor} = 200 - \left(\frac{+0,675 \times 200}{100} \right) = 198,65 \text{ inH}_2\text{O}$$

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH ₂ O)	q _{b cor} (MMscfd)
Minimum	230,12	54,68	18,65	15,6
Maksimum	230,12	54,68	198,65	50,47

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 7.1.5**.

7.1.3 Perhitungan Deviasi Pengukuran

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{q_{bun} - q_{bcor}}{q_{bcor}} \times 100$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{16 - 15,6}{15,6} \times 100 = 3,26\% \text{ , uncertainty tipe 1 maksimum.}$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{50,5 - 50,47}{50,47} \times 100 = 0,05\% \text{ , uncertainty tipe 1 minimum.}$$

(lanjutan)

7.1.4 Hasil Perhitungan Laju Alir Uncorrected

DP_f		T_f		P_f		Z_f	Z_b	D	d	β	Ev	x_I	Y_I	C_D	v		q_b
inH ₂ O	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²			m	m						m/s	ft/s	MMscfd
20	4.982	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	9	16,11
30	7.472	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	11	19,72
40	9.963	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	12	22,76
50	12.454	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	14	25,43
60	14.945	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	15	27,85
70	17.436	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	16	30,06
80	19.927	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	17	32,12
90	22.417	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	18	34,05
100	24.908	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	19	35,88
110	27.399	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	20	37,61
120	29.890	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	21	39,26
130	32.381	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	22	40,85
140	34.871	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	23	42,37
150	37.362	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	43,83
160	39.853	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	45,25
170	42.344	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	25	46,62
180	44.835	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	26	47,95
190	47.326	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	27	49,24
200	49.816	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	27	50,49

7.1.5 Hasil Perhitungan Laju Alir Uncorrected

Dp_{fcor}		T_{fcor}		P_{fcor}		Z_f	Z_b	D	d	β	Ev	x_I	Y_I	C_D	v		q_b	Uncertainty
inH ₂ O	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²			m	m						m/s	ft/s	MMscfd	ainty
19	4.645	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	8	15,60	3,3%
29	7.136	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	10	19,33	2,0%
39	9.627	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	12	22,44	1,4%
49	12.118	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	14	25,16	1,1%
59	14.609	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	15	27,61	0,9%
69	17.099	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	16	29,86	0,7%
79	19.590	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	17	31,94	0,6%
89	22.081	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	18	33,89	0,5%
99	24.572	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	19	35,74	0,4%
109	27.063	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	20	37,49	0,3%
119	29.554	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	21	39,15	0,3%
129	32.044	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	22	40,75	0,2%
139	34.535	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	23	42,28	0,2%
149	37.026	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	43,76	0,2%
159	39.517	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	45,19	0,1%
169	42.008	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	8	25	46,57	0,1%
179	44.498	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	26	47,90	0,1%
189	46.989	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	26	49,20	0,1%
199	49.480	55	13	230	1.687.969	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	27	50,47	0,1%

7.2 Perhitungan Uncertainty Setelah Rekalibrasi

Perhitungan terdiri dari dua yaitu perhitungan laju alir *uncorrected* dan *corrected*. *Corrected* terhadap keakuratan dari DPT, PT, dan TT setelah rekalibrasi.

7.2.1 Laju Alir Uncorrected

Sama dengan 7.1.1 dan 7.1.4

7.2.2 Laju Alir Corrected

$$P_{fcor} = P_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$P_{fcor} = 230 - \left(\frac{-0,0248 \times 500}{100} \right) = 230,12 \text{ Psig}$$

(lanjutan)

$$T_{fcor} = T_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$T_{fcor} = 57 - \left(\frac{+0,1001 \times 120}{100} \right) = 56,88^\circ F$$

$$DP_{fcor} = DP_f - \left(\frac{\%E \times FS}{100} \right)$$

$$DP_{fcor} = 20 - \left(\frac{0,00055 \times 200}{100} \right) = 20,0 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$DP_{fcor} = 20 - \left(\frac{0,00055 \times 200}{100} \right) = 200,0 \text{ inH}_2\text{O}$$

Sehingga diperoleh hasil sebagai berikut :

Item	PT (Psig)	TT (°F)	DPT (inH ₂ O)	q _{b cor} (MMscfd)
Minimum	230,12	56,88	20,0	16,11
Maksimum	230,12	56,88	200,0	50,49

Kemudian dilakukan perhitungan pada DP 20 – 200 inH₂O , dimana hasil perhitungan ada di **point 5.2.4**.

7.2.3 Perhitungan Deviasi Pengukuran

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{16,11-16,11}{16,11} \times 100 = 0,00\% , \text{ uncertainty tipe 1 minimum.}$$

$$\% \text{ Uncertainty} = \frac{50,5-50,49}{50,49} \times 100 = 0,00\% , \text{ uncertainty tipe 1 maksimum.}$$

7.2.4 Hasil Perhitungan Laju Alir Uncorrected

inH ₂ O	D _{p fcor}		T _{fcor}		P _{fcor}		Z _f	Z _b	D	d	β	E _v	x ₁	Y ₁	C _D	v		q _b	Uncertainty
	N/m ²	°F	°C	Psig	N/m ²	m/s										ft/s	MMscfd		
20	4.982	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	9	16,11	0,0%	
30	7.472	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,00	1,00	0,601	3	11	19,72	0,0%	
40	9.963	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	12	22,76	0,0%	
50	12.454	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	4	14	25,43	0,0%	
60	14.945	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	15	27,85	0,0%	
70	17.435	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	16	30,06	0,0%	
80	19.926	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	5	17	32,12	0,0%	
90	22.417	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	18	34,05	0,0%	
100	24.908	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,01	1,00	0,601	6	19	35,88	0,0%	
110	27.399	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	20	37,61	0,0%	
120	29.890	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	6	21	39,26	0,0%	
130	32.380	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	22	40,85	0,0%	
140	34.871	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	23	42,37	0,0%	
150	37.362	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	43,83	0,0%	
160	39.853	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,02	0,99	0,601	7	24	45,25	0,0%	
170	42.344	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	25	46,62	0,0%	
180	44.834	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	26	47,95	0,0%	
190	47.325	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	27	49,24	0,0%	
200	49.816	57	14	230	1.687.114	0,958	0,997	0,38	0,15	0,40	1,01	0,03	0,99	0,601	8	27	50,49	0,0%	

Lampiran 8: Perhitungan *Uncertainty* Meter Orifice 1320 Tipe 2**8.1 Perhitungan *Uncertainty* Sebelum Rekalibrasi**

Uncertainty pada meter orifice diakibatkan tiga sumber *uncertainty* yaitu instrumentasi, mekanik dan persamaan laju alir.

8.1.1 Instrumentasi

I	T	OPS	FS	%E	$\frac{\sigma T}{T}$ (FSx%E)/Ops	S	I ($\frac{\sigma T}{T \times S}$) ²
I ₁	DP	20 InH ₂ O	200	0,675	6,75	0,5	11,4
I ₂	P	230 Psig	500	-0,0248	-0,05391	0,5	0,00
I ₃	T	57 °F	120	1,544	2,856	0,5	2,04
$I_i = I_1 + I_2 + I_3$							13,4

Ket : T = Transmitter ; OPS = Data Operasi; %E = %Error Kalibrasi; S = Sensivitas

8.1.2 Mekanik

Data Masukan :

$$D_m = 15 \text{ inchi}$$

$$d_m = 6,055 \text{ inchi}$$

$$\beta = 0,404$$

$$R_{oD} = 0,25\% D_m \text{ (AGA3 No.2, 2003)}$$

$$= 0,25\% \times 15 \text{ inchi}$$

$$= 0,0375 \text{ inchi}$$

$$R_{od} = 0,0005 \text{ inchi per inchi dm (AGA3 No.2, 2003)}$$

$$= 0,0005 \times 6,055 \text{ inchi}$$

$$= 0,003 \text{ inchi}$$

Perhitungan :

$$I_4 = SD^2 \left(\frac{\delta D}{D} \right)^2$$

$$SD = \frac{-2\beta^4}{(1-\beta^4)}$$

$$SD = \frac{-2 \times 0,404^4}{(1-0,404^4)} = -0,054$$

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{R_{oD}}{D_m} \times 100\%$$

$$\frac{\delta D}{D} = \frac{0,0375}{15} \times 100\% = 0,25\%$$

$$I_4 = -0,054^2 (0,25)^2 = 0,00018$$

$$I_5 = Sd^2 \left(\frac{\delta d}{d} \right)^2$$

$$Sd = \frac{2}{(1-\beta^4)}$$

(lanjutan)

$$Sd = \frac{2}{(1-0,404^4)} = 2,054$$

$$\frac{\delta d}{d} = \frac{R_{od}}{d_m} \times 100\%$$

$$\frac{\delta d}{d} = \frac{0,003}{6,055} \times 100\% = 0,05\%$$

$$I_5 = 2,256^2(0,05)^2 = 0,01$$

$$I_m = I_4 + I_5$$

$$I_m = 0,0001 + 0,01 = 0,0101$$

8.1.3 Laju Alir

Data Masukan :

$$\beta = 0,404$$

$$R_e = 1.170.251$$

$$DP = 20 \text{ inH}_2\text{O}$$

$$P = 230 \text{ psig}$$

Perhitungan :

$$I_6 = S\rho_b^2 \left(\frac{\delta\rho_b}{\rho_b}\right)^2$$

$$S\rho_b = 0,5$$

$$\frac{\delta\rho_b}{\rho_b} = 0,2 \quad [\text{Miller,1996}]$$

$$I_6 = 0,5^2(0,2)^2 = 0,01$$

$$I_7 = S\rho_f^2 \left(\frac{\delta\rho_f}{\rho_f}\right)^2$$

$$S\rho_f = 0,5$$

$$\frac{\delta\rho_f}{\rho_f} = 0,2 \quad [\text{Miller,1996}]$$

$$I_7 = 0,5^2(0,2)^2 = 0,01$$

$$I_8 = SC_D^2 \left(\frac{\delta C_D}{C_D}\right)^2$$

$$SC_D = 1$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = \left(1 + 0,7895 \left(\frac{4,000}{R_e}\right)^{0,8}\right) \times (0,5600 - 0,2550\beta + 1,9316\beta^8)$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = \left(1 + 0,7895 \left(\frac{4,000}{84.406}\right)^{0,8}\right) \times (0,5600 - [0,2550 \times 0,404] + [1,9316 \times 0,404^8])$$

$$\frac{\delta C_D}{C_D} = 0,4899$$

$$I_8 = 1^2(0,4899)^2 = 0,24$$

$$I_9 = SY^2 \left(\frac{\delta Y}{Y}\right)^2$$

$$SY = 1$$

$$\frac{\delta Y}{Y} = \frac{0,144 \times DP}{N_3 \times P}$$

Dimana untuk DP dalam inH₂O dan P dalam psig maka N₃ sebesar 27,707.

$$\frac{\delta Y}{Y} = \frac{0,144 \times 20}{27,707 \times 230}$$

(lanjutan)

$$\frac{\delta Y}{Y} = 0,013$$

$$I_9 = 1^2(0,013)^2 = 0,0002$$

$$I_q = I_6 + I_7 + I_8 + I_9$$

$$I_q = 0,01 + 0,01 + 0,24 + 0,0002 = 0,26$$

$$I_T = (I_i + I_m + I_q)^{0,5}$$

$$I_T = (13,43 + 0,00101 + 0,26)^{0,5}$$

$$I_T = 3,7$$

Kemudian dilakukan perhitungan *uncertainty* tipe 2 untuk range DP 30 – 200 inH₂O. Hasil perhitungan *uncertainty* tipe 2 sebelum recalibrasi sebagai berikut :

DP _f	T _f	P _f	I _i									I _m							
			inH ₂ O	°F	Psig	SDP	σ _{DP/DP}	I ₁	SP	σ _{P/P}	I ₂	ST	σ _{T/T}	I ₃	SD	σ _{D/D}	I ₄	Sd	σ _{d/d}
20	57	230	0,5	6,8	11,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
30	57	230	0,5	4,5	5,1	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
40	57	230	0,5	3,4	2,8	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
50	57	230	0,5	2,7	1,8	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
60	57	230	0,5	2,3	1,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
70	57	230	0,5	1,9	0,9	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
80	57	230	0,5	1,7	0,7	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
90	57	230	0,5	1,5	0,6	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
100	57	230	0,5	1,4	0,5	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
110	57	230	0,5	1,2	0,4	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
120	57	230	0,5	1,1	0,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
130	57	230	0,5	1,0	0,3	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
140	57	230	0,5	1,0	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
150	57	230	0,5	0,9	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
160	57	230	0,5	0,8	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
170	57	230	0,5	0,8	0,2	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
180	57	230	0,5	0,8	0,1	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
190	57	230	0,5	0,7	0,1	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0
200	57	230	0,5	0,7	0,1	0,5	-0,1	0,0	0,5	2,9	2,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0	0,0	0,0

DP _f	T _f	P _f	I _q											I _T			
			inH ₂ O	°F	Psig	Sρb	σρb/ρb	I ₆	Sρf	σρf/ρf	I ₇	SC _{DP}	σ _{CD/C_D}		I ₈	SY	σ _{Y/Y}
20	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,7
30	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
40	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,3
50	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0
60	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9
70	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,8
80	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7
90	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7
100	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,7
110	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
120	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
130	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
140	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
150	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
160	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
170	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
180	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
190	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6
200	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0	1,6

(lanjutan)

8.2 Perhitungan *Uncertainty* Setelah Rekalibrasi

8.2.1 Instrumentasi

I	T	OPS	FS	%E	%Acc (FSx%E)/Ops	S	I (% AccxS) ²
I ₁	DP	20 InH ₂ O	200	0,0005	0,0055	0,5	0,000007
I ₂	P	230 P _{sig}	500	-0,0248	-0,05391	0,5	0,0007
I ₃	T	57 °F	120	0,1001	0,1851	0,5	0,0086
$I_i = I_1 + I_2 + I_3$							0,0093

8.2.2 Mekanik

Sama dengan **item 8.1.2.**

8.2.3 Laju Alir

Sama dengan **item 8.1.3.**

Diperoleh I_T sebesar 0,5%. Kemudian dilakukan perhitungan *uncertainty* pada DP 30 – 200 inH₂O. Dimana hasil perhitungan sebagai berikut :

DP _f inH ₂ O	T _f °F	P _f P _{sig}	I _i									I _m					
			SDP	σ _{DP/DP}	I ₁	SP	σ _{P/P}	I ₂	ST	σ _{T/T}	I ₃	SD	σ _{D/D}	I ₄	Sd	σ _{d/d}	I ₅
20	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
30	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
40	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
50	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
60	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
70	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
80	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
90	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
100	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
110	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
120	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
130	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
140	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
150	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
160	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
170	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
180	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
190	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0
200	57	230	0,5	0,0	0,0	0,5	-0,1	0,0	0,5	0,2	0,0	-0,1	0,3	0,0	2,1	0,1	0,0

(lanjutan)

DP_f	T_f	P_f	I_q												I_T
			inH_2O	$^{\circ}F$	$Psig$	S_{pb}	$\sigma_{pb}/\rho b$	I_6	S_{pf}	$\sigma_{pf}/\rho f$	I_7	SC_D	τ_{CD}/C_f	I_8	
20	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
30	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
40	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
50	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
60	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
70	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,0	0,0	0,5
80	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
90	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
100	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
110	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
120	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
130	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
140	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
150	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
160	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
170	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
180	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
190	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5
200	57	230	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2	0,0	1,0	0,5	0,2	1,0	0,1	0,0	0,5

Lampiran 9: Perhitungan Deviasi Pengukuran Terhadap Periode Pengamatan

Data Masukan :

n = 100 hari pengamatan atau 2387 jam pengamatan

H = 100

L = 1

k = 20

Qu = Meter uji (Meter Orifice)

Qb = Meter base (Meter Ultrasonik)

Perhitungan :

$$\%Dev = \frac{Q_U - Q_B}{Q_B} \times 100$$

$$i = \frac{H-L}{k}$$

$$i = \frac{100-1}{20} = 4,9$$

$$BK_{Bawah} = BK_{Atas} + i$$

$$TK_{Atas} = TK_{Atas} - 0,5$$

$$TK_{Bawah} = TK_{Bawah} + 0,5$$

$$Nt = (TK_{Atas} - TK_{Bawah})/2$$

Tabulasi :

No	Batas Kelas		Tepi Kelas		Frekuensi	Nt	Flow	% Dev	% DevxF
	BK Atas	BK Bawah	TK Atas	TK Bawah					
1	1	5,9	0,95	5,95	119	3,45	98,9	-0,1	-15,8
2	6	10,9	5,95	10,95	120	8,45	88,0	-0,1	-10,4
3	11	15,9	10,95	15,95	119	13,45	94,7	0,2	19,1
4	16	20,9	15,95	20,95	118	18,45	99,0	0,1	11,3
5	21	25,9	20,95	25,95	118	23,45	86,5	0,1	13,8
6	26	30,9	25,95	30,95	119	28,45	87,4	0,1	14,3
7	31	35,9	30,95	35,95	119	33,45	97,5	0,2	18,9
8	36	40,9	35,95	40,95	118	38,45	114,1	0,0	1,7
9	41	45,9	40,95	45,95	120	43,45	116,4	0,0	2,9
10	46	50,9	45,95	50,95	120	48,45	85,9	0,1	6,2
11	51	55,9	50,95	55,95	120	53,45	85,1	0,2	18,4
12	56	60,9	55,95	60,95	120	58,45	91,2	-0,4	-45,1
13	61	65,9	60,95	65,95	120	63,45	83,8	-0,4	-42,9
14	66	70,9	65,95	70,95	119	68,45	77,5	-0,2	-22,9
15	71	75,9	70,95	75,95	120	73,45	77,4	-0,3	-31,7
16	76	80,9	75,95	80,95	120	78,45	60,2	-0,1	-17,3
17	81	85,9	80,95	85,95	119	83,45	57,3	-0,1	-14,4
18	86	90,9	85,95	90,95	120	88,45	70,1	-0,3	-35,8
19	91	95,9	90,95	95,95	120	93,45	66,8	-0,4	-51,5
20	96	100,9	95,95	100,95	119	98,45	59,9	-0,3	-35,6
Jumlah					2387		0,52	1,00	-216,68

$$\Sigma \%Dev \times F = -216,68$$

$$\Sigma F = 2387$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{\Sigma \%Dev \times F}{\Sigma F}$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{-216,68}{2387}$$

$$\%Dev_{mean} = -0,09$$

Lampiran 10: Perhitungan Deviasi Pengukuran Terhadap q_b Sebelum Rekalibrasi

Data Masukan :

$n = 1272$ jam pengamatan
 $H = 130,8$ MMscfd
 $L = 51,7$ MMscfd
 $k = 10$
 $Q_u =$ Meter uji (Meter Orifice)
 $Q_b =$ Meter base (Meter Ultrasonik)

Perhitungan :

$$\%Dev = \frac{Q_u - Q_b}{Q_b} \times 100$$

$$i = \frac{H-L}{k}$$

$$i = \frac{130,8 - 51,7}{10} = 7,9$$

$$BK_{Bawah} = BK_{Atas} + i$$

$$TK_{Atas} = TK_{Atas} - 0,5$$

$$TK_{Bawah} = TK_{Bawah} + 0,5$$

$$Nt = (TK_{Atas} - TK_{Bawah})/2$$

Tabulasi :

No	Batas Kelas		Tepi Kelas		Frekuensi	Flow MMscfd	% Deviasi	% Dev X F
	BK Atas	BK Bawah	TK Atas	TK Bawah			Mean	
1	48	56,9	47,95	56,95	3	52,45	-0,2	-0,5
2	57	65,9	56,95	65,95	2	61,45	-0,1	-0,2
3	66	74,9	65,95	74,95	18	70,45	0,0	0,1
4	75	83,9	74,95	83,95	165	79,45	0,1	19,2
5	84	92,9	83,95	92,95	394	88,45	0,1	39,6
6	93	101,9	92,95	101,95	341	97,45	0,0	0,1
7	102	110,9	101,95	110,95	144	106,45	0,1	12,2
8	111	119,9	110,95	119,95	141	115,45	0,0	1,3
9	120	128,9	119,95	128,95	62	124,45	0,0	-0,7
10	129	137,9	128,95	137,95	2	133,45	-0,5	-1,0
Jml					1272	930	-0,5	70,2

$$\Sigma \%Dev \times F = 70,2$$

$$\Sigma F = 1272$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{\Sigma \%Dev \times F}{\Sigma F}$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{70,2}{1272}$$

$$\%Dev_{mean} = 0,055$$

Lampiran 11:Perhitungan Deviasi Pengukuran Terhadap q_b Setelah Rekalibrasi

Data Masukan :

$n = 1152$ jam pengamatan
 $H = 111,7$ MMscfd
 $L = 44,3$ MMscfd
 $k = 10$
 $Q_u =$ Meter uji (Meter Orifice)
 $Q_b =$ Meter base (Meter Ultrasonik)

Perhitungan :

$$\%Dev = \frac{Q_u - Q_b}{Q_b} \times 100$$

$$i = \frac{H-L}{k}$$

$$i = \frac{111,7-44,3}{10} = 6,74$$

$$BK_{Bawah} = BK_{Atas} + i$$

$$TK_{Atas} = TK_{Atas} - 0,5$$

$$TK_{Bawah} = TK_{Bawah} + 0,5$$

$$Nt = (TK_{Atas} - TK_{Bawah})/2$$

Tabulasi :

No	Batas Kelas		Tepi Kelas		Frekuensi	Nt	% Deviasi	% Dev X F
	BK Atas	BK Bawah	TK Atas	TK Bawah			Mean	
1	43	49,9	42,95	49,95	98	46,45	0,0	-4,5
2	50	56,9	49,95	56,95	85	53,45	-0,2	-16,8
3	57	63,9	56,95	63,95	58	60,45	-0,1	-7,4
4	64	70,9	63,95	70,95	332	67,45	-0,3	-106,9
5	71	77,9	70,95	77,95	218	74,45	-0,3	-60,7
6	78	84,9	77,95	84,95	93	81,45	-0,3	-27,0
7	85	91,9	84,95	91,95	187	88,45	-0,4	-72,5
8	92	98,9	91,95	98,95	30	95,45	-0,5	-14,7
9	99	105,9	98,95	105,95	34	102,45	-0,5	-16,1
10	106	112,9	105,95	112,95	17	109,45	-0,4	-6,2
Jml					1152	780	-3,0	-332,7

$$\Sigma \%Dev \times F = -332,7$$

$$\Sigma F = 1152$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{\Sigma \%Dev \times F}{\Sigma F}$$

$$\%Dev_{mean} = \frac{-332,7}{1152}$$

$$\%Dev_{mean} = -0,289$$

Lampiran 12:Perhitungan Koefisien Korelasi Terhadap Deviasi Pengukuran

12.1 Sebelum Rekalibrasi

Data Masukan :

No	Qb MMscfd	% Deviasi Mean	Red			DP (inH ₂ O)		Tekanan (Psig)		Suhu (F)		
			1310	1330	1320	1330	1320	1310	1320	1310	1330	1320
1	52,45	0,2	2.725.936	1.182.341	1.449.799	16,4	4,6	260,6	247,6	83,3	83,9	85,8
2	61,45	0,1	3.465.235	816.293	2.989.470	7,7	19,4	260,6	247,7	74,2	76,9	80,4
3	70,45	0,0	3.783.603	1.180.693	2.788.113	16,0	16,7	260,4	244,6	62,3	65,5	70,4
4	79,45	-0,1	4.223.042	1.287.005	3.168.839	18,8	21,6	260,3	242,3	56,1	59,4	63,7
5	88,45	-0,1	4.610.151	1.257.691	3.703.956	18,1	29,0	260,1	241,9	57,0	59,8	63,3
6	97,45	0,0	5.188.650	1.499.187	4.022.711	25,4	34,3	260,0	242,9	62,6	64,6	66,9
7	106,45	-0,1	5.515.693	1.637.806	4.208.631	30,3	37,5	259,8	242,4	57,0	59,4	62,4
8	115,45	0,0	6.133.968	2.084.673	4.235.687	52,0	37,4	259,2	241,3	62,2	63,8	66,6
9	124,45	0,0	6.448.138	2.298.161	4.273.334	59,4	38,8	259,4	240,4	61,8	62,9	65,8
10	133,45	0,5	6.883.655	2.332.897	4.722.354	66,6	52,0	253,0	239,8	82,9	82,8	83,2

Perhitungan :

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	52,5	-0,2	-8,9	2751,0	0,0
2	61,5	-0,1	-7,5	3776,1	0,0
3	70,5	0,0	0,4	4963,2	0,0
4	79,5	0,1	9,3	6312,3	0,0
5	88,5	0,1	8,9	7823,4	0,0
6	97,5	0,0	0,0	9496,5	0,0
7	106,5	0,1	9,0	11331,6	0,0
8	115,5	0,0	1,1	13328,7	0,0
9	124,5	0,0	-1,3	15487,8	0,0
10	133,5	-0,5	-64,0	17808,9	0,2
Jml	929,5	-0,5	-53,0	93079,5	0,3

$\Sigma X = 929,5 \rightarrow qb$
 $\Sigma Y = -0,5 \rightarrow \%Deviasi$
 $\Sigma XY = -53$
 $\Sigma X^2 = 93.079,5$
 $\Sigma Y^2 = 0,3$
 $n = 10$
 $r = \frac{(10 \times -53) - (929,5 \times -0,5)}{\sqrt{(10 \times 93.079) - (929,5)^2} \sqrt{(10 \times 0,3) - (-0,5)^2}}$
 $r = -0,227$

Kemudian dilakukan perhitungan koefisien korelasi terhadap parameter operasi yang lain, hasil perhitungan tersaji di item 12.3.

12.2 Setelah Rekalibrasi

Data Masukan :

No	Q _b MMscfd	% Deviasi Mean	Re			DP (inH ₂ O)		Tekanan (Psig)		Suhu (F)		
			1310	1330	1320	1330	1320	1310	1320	1310	1330	1320
1	46,45	0,0	2.667.068	2.438.209	1.318.586	66,1	3,7	231,4	231,3	56,4	57,9	68,5
2	53,45	-0,2	2.928.712	2.502.259	1.588.452	70,1	5,4	231,3	231,2	59,7	60,3	67,9
3	60,45	-0,1	3.424.574	3.591.111	1.306.212	144,8	3,8	231,5	231,2	54,2	55,0	67,5
4	67,45	-0,3	3.754.251	4.051.986	1.326.733	186,5	3,9	231,2	231,0	57,7	57,7	68,3
5	74,45	-0,3	4.059.189	2.686.407	2.852.248	94,0	20,4	231,5	230,7	59,3	59,5	65,1
6	81,45	-0,3	4.313.696	2.250.393	3.530.595	63,3	28,7	236,6	237,9	58,3	59,4	63,2
7	88,45	-0,4	4.583.768	2.397.078	3.741.164	69,4	32,0	239,0	241,0	56,2	57,5	60,8
8	95,45	-0,5	5.044.691	3.027.359	3.786.909	115,8	33,4	235,6	236,3	62,9	62,8	66,2
9	102,45	-0,5	5.516.480	3.970.182	3.592.301	180,6	27,0	251,2	255,7	50,2	51,6	56,0
10	109,45	-0,4	5.801.438	4.328.584	3.657.704	208,4	27,7	249,5	253,3	47,9	48,6	52,1

Perhitungan :

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	46,5	0,0	-2,1	2.158	0,0
2	53,5	-0,2	-10,5	2.857	0,0
3	60,5	-0,1	-7,7	3.654	0,0
4	67,5	-0,3	-21,7	4.550	0,1
5	74,5	-0,3	-20,7	5.543	0,1
6	81,5	-0,3	-23,6	6.634	0,1
7	88,5	-0,4	-34,3	7.823	0,2
8	95,5	-0,5	-46,9	9.111	0,2
9	102,5	-0,5	-48,4	10.496	0,2
10	109,5	-0,4	-40,2	11.979	0,1
Jml	779,5	-3,0	-256,2	64.805	1,1

$\Sigma X = 779,5 \rightarrow qb$
 $\Sigma Y = -3,0 \rightarrow \%Deviasi$
 $\Sigma XY = -256,2$
 $\Sigma X^2 = 64.805$
 $\Sigma Y^2 = 1,1$
 $n = 10$
 $r = \frac{(10 \times -256,2) - (779,5 \times -3,0)}{\sqrt{(10 \times 64.805) - (779,5)^2} \sqrt{(10 \times 1,1) - (-3,0)^2}}$
 $r = -0,878$

Kemudian dilakukan perhitungan koefisien korelasi terhadap parameter operasi yang lain, hasil perhitungan tersaji di item 12.4.

(lanjutan)

12.3 Hasil Perhitungan Sebelum Rekalibrasi

$X = Q_b$ $Y = \%Dev$

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	52	-0.2	-8.9	2751.0	0.0
2	61	-0.1	-7.5	3776.1	0.0
3	70	0.0	0.4	4963.2	0.0
4	79	0.1	9.3	6312.3	0.0
5	88	0.1	8.9	7823.4	0.0
6	97	0.0	0.0	9496.5	0.0
7	106	0.1	9.0	11331.6	0.0
8	115	0.0	1.1	13328.7	0.0
9	124	0.0	-1.3	15487.8	0.0
10	133	-0.5	-64.0	17808.9	0.2
Jml	930	-0.5	-53.0	93079.5	0.3

n = 10
r = -0.227

$X = T.1310$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
0.7	-0.2	-0.1	0.5	0.0
0.6	-0.1	-0.1	0.4	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.2	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.6	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.7	-0.5	-0.3	0.5	0.2
Jml	5.5	-0.5	3.1	0.3

n = 10
r = -0.899

$X = T.1320$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
0.7	-0.2	-0.1	0.5	0.0
0.6	-0.1	-0.1	0.4	0.0
0.6	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.6	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.7	-0.5	-0.3	0.5	0.2
Jml	5.9	-0.5	3.5	0.3

n = 10
r = -0.842

$X = P.1310$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
0.5	-0.2	-0.1	0.3	0.0
0.5	-0.1	-0.1	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	-0.5	-0.2	0.3	0.2
Jml	5.2	-0.5	2.7	0.3

n = 10
r = 0.798

$X = DP.1330$ $Y = \%Dev$

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	0.0	-0.2	0.0	0.0	0.0
2	0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0
3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0
8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.3	-0.5	-0.1	0.1	0.2
Jml	1.5	-0.5	-0.1	0.3	0.3

n = 10
r = -0.270

$X = Re.1310$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
2.725	9.36	-0.2	74307.26	177.689
3.465	2.35	-0.1	12007.855	107.104
3.783	6.03	0.0	14315.655	116.288
4.223	0.42	0.1	17834.085	312.558
4.610	1.51	0.1	21253.491	108.313
5.188	6.50	0.0	26922.087	454.697
5.515	6.93	0.1	30422.865	341.370
6.133	9.68	0.0	37625.561	1792.386
6.448	1.38	0.0	41578.482	197.168
6.883	6.55	-0.5	47384.710	1003.166
Jml	48.978	0.71	256775.5	189724.18

n = 10
r = -0.218

$X = P.1320$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
0.5	-0.2	-0.1	0.2	0.0
0.5	-0.1	-0.1	0.2	0.0
0.5	0.0	0.0	0.2	0.0
0.5	0.1	0.1	0.2	0.0
0.5	0.1	0.0	0.2	0.0
0.5	0.0	0.0	0.2	0.0
0.5	0.1	0.0	0.2	0.0
0.5	0.0	0.0	0.2	0.0
0.5	0.0	0.0	0.2	0.0
0.5	-0.5	-0.2	0.2	0.2
Jml	4.9	-0.5	2.4	0.3

n = 10
r = 0.002

$X = P.1330$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
0.5	-0.2	-0.1	0.3	0.0
0.5	-0.1	-0.1	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.5	0.1	0.1	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.1	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
0.5	-0.5	-0.2	0.3	0.2
Jml	5.2	-0.5	2.7	0.3

n = 10
r = 0.798

$X = DP.1320$ $Y = \%Dev$

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	0.7	-0.2	-0.1	0.5	0.0
2	0.6	-0.1	-0.1	0.4	0.0
3	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
4	0.5	0.1	0.1	0.2	0.0
5	0.5	0.1	0.1	0.2	0.0
6	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
7	0.5	0.1	0.0	0.2	0.0
8	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
9	0.5	0.0	0.0	0.3	0.0
10	0.7	-0.5	-0.3	0.5	0.2
Jml	5.7	-0.5	-0.4	3.3	0.3

n = 10
r = -0.881

$X = DP.1330$ $Y = \%Dev$

No	X	Y	XY	X ²	Y ²
1	1.449	7.99	-0.2	2.101	917.416
2	2.989	4.70	-0.1	8.936	931.735
3	2.788	1.13	0.0	7.773	571.412
4	3.168	8.39	0.1	10.041	542.210
5	3.703	9.56	0.1	13.719	287.141
6	4.022	7.11	0.0	16.182	203.321
7	4.208	6.31	0.1	17.712	572.974
8	4.235	6.87	0.0	17.941	1041.923
9	4.273	3.34	0.0	18.261	380.742
10	4.722	3.54	-0.5	22.300	625.551
Jml	35.562	8.93	-0.5	134.971	1074.429

n = 10
r = -0.074

$X = Re.1330$ $Y = \%Dev$

X	Y	XY	X ²	Y ²
1.182	3.41	-0.2	1.397	930.126
816	2.93	-0.1	666.334	889.517
1.180	6.93	0.0	1.394	0.357
1.287	0.05	0.1	1.507	0.008
1.257	6.91	0.1	1.263	0.007
1.499	1.87	0.0	2.247	5.602
1.637	8.06	0.1	2.682	4.091
2.084	6.73	0.0	4.345	8.629
2.298	1.61	0.0	5.281	5.419
2.332	8.97	-0.5	5.442	4.097
Jml	15.576	7.47	-0.5	1.000

n = 10
r = -0.335

(lanjutan)

12.3 Hasil Perhitungan Setelah Rekalibrasi

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	46,5	0,0	-2,1	2,158	0,0
2	53,5	-0,2	-10,5	2,857	0,0
3	60,5	-0,1	-7,7	3,654	0,0
4	67,5	-0,3	-21,7	4,550	0,1
5	74,5	-0,3	-20,7	5,543	0,1
6	81,5	-0,3	-23,6	6,634	0,1
7	88,5	-0,4	-34,3	7,823	0,2
8	95,5	-0,5	-46,9	9,111	0,2
9	102,5	-0,5	-48,4	10,496	0,2
10	109,5	-0,4	-40,2	11,979	0,1
Jml	779,5	-3,0	-256,2	64,805	1,1
n	10,0				
r	-0,878				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	231,4	0,0	-10,5	53,539	0,0
2	231,3	-0,2	-45,6	53,509	0,0
3	231,5	-0,1	-29,5	53,579	0,0
4	231,2	-0,3	-74,4	53,438	0,1
5	231,5	-0,3	-64,5	53,594	0,1
6	236,6	-0,3	-68,6	55,959	0,1
7	239,0	-0,4	-92,7	57,134	0,2
8	235,6	-0,5	-115,7	55,513	0,2
9	251,2	-0,5	-118,7	63,123	0,2
10	249,5	-0,4	-91,6	62,256	0,1
Jml	2368,8	-3,0	-711,8	561,644	1,1
n	10,0				
r	-0,627				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	68,5	0,0	-3,1	4,697	0,0
2	67,9	-0,2	-13,4	4,614	0,0
3	67,5	-0,1	-8,6	4,553	0,0
4	68,3	-0,3	-22,0	4,666	0,1
5	65,1	-0,3	-18,1	4,239	0,1
6	63,2	-0,3	-18,3	3,993	0,1
7	60,8	-0,4	-23,6	3,699	0,2
8	66,2	-0,5	-32,5	4,378	0,2
9	56,0	-0,5	-26,5	3,141	0,2
10	52,1	-0,4	-19,1	2,716	0,1
Jml	635,7	-3,0	-185,2	40,695	1,1
n	10,0				
r	0,568				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	66,1	0,0	-3,0	4,374	0,0
2	70,1	-0,2	-13,8	4,908	0,0
3	144,8	-0,1	-18,5	20,972	0,0
4	186,5	-0,3	-60,0	34,799	0,1
5	94,0	-0,3	-26,2	8,834	0,1
6	63,3	-0,3	-18,3	4,002	0,1
7	69,4	-0,4	-26,9	4,822	0,2
8	115,8	-0,5	-56,8	13,398	0,2
9	180,6	-0,5	-85,3	32,605	0,2
10	119,9	-0,4	-76,5	14,347	0,1
Jml	1199,0	-3,0	-385,5	172,161	1,1
n	10,0				
r	-0,391				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	56,4	0,0	-2,6	3,182	0,0
2	59,7	-0,2	-11,8	3,570	0,0
3	54,2	-0,1	-6,9	2,940	0,0
4	57,7	-0,3	-18,6	3,324	0,1
5	59,3	-0,3	-16,5	3,519	0,1
6	58,3	-0,3	-16,9	3,394	0,1
7	56,2	-0,4	-21,8	3,161	0,2
8	62,9	-0,5	-30,9	3,951	0,2
9	50,2	-0,5	-23,7	2,523	0,2
10	47,9	-0,4	-17,6	2,296	0,1
Jml	562,8	-3,0	-167,2	31,861	1,1
n	10,0				
r	0,077				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	57,9	0,0	-2,6	3,353	0,0
2	60,3	-0,2	-11,9	3,634	0,0
3	55,0	-0,1	-7,0	3,028	0,0
4	57,7	-0,3	-18,6	3,325	0,1
5	59,5	-0,3	-16,6	3,545	0,1
6	59,4	-0,3	-17,2	3,523	0,1
7	57,5	-0,4	-22,3	3,301	0,2
8	62,8	-0,5	-30,8	3,943	0,2
9	51,6	-0,5	-24,4	2,665	0,2
10	48,6	-0,4	-17,8	2,360	0,1
Jml	570,2	-3,0	-169,2	32,678	1,1
n	10,0				
r	0,117				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	2,667	0,068	-121,377	7,113	251,974
2	2,928	7,12	-577,343	8,577	353,516
3	3,424	5,74	-436,873	11,727	704,250
4	3,754	2,51	-1,208	14,094	403,325
5	4,059	1,89	-1,131	16,477	015,067
6	4,313	6,96	-1,250	18,607	977,066
7	4,583	7,68	-1,777	21,010	925,521
8	5,044	6,91	-2,476	25,448	904,274
9	5,516	4,80	-2,605	30,431	552,017
10	42,093	8,66	-13,715	187,145	766,445
Jml	42,093	8,66	-13,715	187,145	766,445
n	10,0				
r	-0,868				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	1,318	5,86	-60,008	1,738	669,053
2	1,588	4,52	-31,313	2,523	1,787,146
3	1,306	2,12	-1,666	1,706	1,903,358
4	1,326	7,33	-427,051	1,760	2,202,993
5	2,852	2,48	-794,723	8,135	3,160,233
6	3,530	5,95	-1,023	12,465	098,194
7	3,741	1,64	-1,451	13,996	306,110
8	3,786	9,09	-1,859	14,340	676,733
9	3,592	3,01	-1,696	12,904	625,463
10	3,657	7,04	-1,343	13,378	801,018
Jml	26,700	9,02	-9,135	82,949	081,940
n	10,0				
r	-0,805				

No	X	Y	%Dev		
			XY	X ²	Y ²
1	2,438	2,09	-110,962	5,944	865,497
2	2,502	2,59	-493,275	6,261	300,369
3	3,591	1,11	-458,118	12,896	074,754
4	4,051	9,86	-1,304	16,418	586,563
5	2,686	4,07	-748,515	7,216	780,593
6	2,250	3,93	-652,197	5,064	269,800
7	2,397	0,78	-929,781	5,745	983,240
8	3,027	3,59	-1,486	9,164	900,521
9	3,970	1,82	-1,875	15,762	346,661
10	4,328	5,84	-1,589	18,736	639,983
Jml	31,243	5,67	-9,648	103,211	747,987
n	10,0				
r	-0,336				

Lampiran 13: Perhitungan Persamaan Regresi

13.1 Perhitungan Persamaan Regresi Sebelum Rekalibrasi

Tabulasi Data

No	X1	X2	Y	X1Y	X2Y	X1X2	X1 ²	X2 ²	Y ²
1	86	84	-0,2	-15	-14	7.204	7.367	7.045	0,0
2	80	77	-0,1	-10	-9	6.183	6.464	5.914	0,0
3	70	66	0,0	0	0	4.615	4.960	4.294	0,0
4	64	59	0,1	7	7	3.784	4.063	3.524	0,0
5	63	60	0,1	6	6	3.788	4.006	3.582	0,0
6	67	65	0,0	0	0	4.321	4.478	4.170	0,0
7	62	59	0,1	5	5	3.707	3.891	3.532	0,0
8	67	64	0,0	1	1	4.252	4.442	4.071	0,0
9	66	63	0,0	-1	-1	4.138	4.324	3.961	0,0
10	83	83	-0,5	-40	-40	6.889	6.916	6.862	0,2
Σ	709	679	-0,5	-45	-45	48.881	50.910	46.953	0,3

$$\begin{aligned} \Sigma X1 &= 709 && \rightarrow T 1320 && \Sigma X1X2 &= 48.881 \\ \Sigma X2 &= 679 && \rightarrow T 1330 && \Sigma X1^2 &= 50.910 \\ \Sigma Y &= -0,5 && \rightarrow \% \text{Deviasi} && \Sigma X2^2 &= 46.953 \\ \Sigma X1Y &= -45 && && \Sigma Y^2 &= 0,3 \\ \Sigma X2Y &= -45 && && n &= 10 \end{aligned}$$

13.1.1 Persamaan Regresi 1 Variabel (X = X1).

$$Y' = a + bX$$

$$\begin{aligned} b &= \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} && a &= \frac{-0,5 - (-0,01686 \times 709)}{10} \\ b &= \frac{(10 \times -45) - (709 \times -0,5)}{(10 \times 50.910) - 709^2} && a &= 1,1479 \\ b &= -0,01686 && Y' &= a + bX \\ a &= \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{n} && Y' &= 1,1479 - 0,01686X \end{aligned}$$

13.1.2 Persamaan Regresi 1 Variabel

$$\begin{aligned} \Sigma Y &= an + b1 \Sigma X1 + b2 \Sigma X2 \\ -0,5 &= 10a + 709b1 + 679b2 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Sigma X1Y &= a \Sigma X1 + b1 \Sigma X1 + b2 \Sigma X1X2 \\ -45 &= 709a + 50.910b1 + 48.881b2 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \Sigma X2Y &= a \Sigma X2 + b1 \Sigma X1X2 + b2 \Sigma X2^2 \\ -45 &= 679a + 48.881b1 + 46.953b2 \end{aligned} \quad (3)$$

Hilangkan a :

$$\begin{aligned} (10 \times 709)a + (709 \times 709)b1 + (679 \times 709)b2 &= (-0,5 \times 709) \\ (709 \times 10)a + (50.910 \times 10)b1 + (48.881 \times 10)b2 &= (-45 \times 10) \quad (-) \\ \hline -7.059b1 - 7.600b2 &= 119 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} (709 \times 679)a + (50.910 \times 679)b1 + (48.881 \times 679)b2 &= (-45 \times 679) \\ (679 \times 709)a + (48.881 \times 709)b1 + (46.953 \times 709)b2 &= (-45 \times 709) \quad (-) \\ \hline -59.022b1 - 71.067b2 &= 1.479 \end{aligned} \quad (5)$$

(lanjutan)

$$(-7.059 \times -59.022)b_1 + (-7.600 \times -59.022)b_2 = (119 \times -59.022)$$

$$(-59.022 \times -7.059)b_1 + (-71.067 \times -7.059)b_2 = (1.479 \times -7.059) \quad (-)$$

$$-53.226b_2 = 3.415.755$$

$$b_2 = -0,0642$$

$$b_1 - (71.067 \times -0,0642) = 1.479$$

$$b_1 = 0,0522$$

$$10a + (709 \times 0,0522) + (679 \times -0,0642) = -0,5$$

$$a = 0,611$$

$$Y' = 0,611 + 0,0522X_1 - 0,0642X_2$$

13.1.3 Standard Error of Estimate

Persamaan :

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{(Y-Y')^2}{n-2}}$$

No	Data Operasi			1 Variabel		2 Variabel	
	X1	X2	Y	Y'	Syx	Y'	Syx
1	86	84	-0,2	-0,299	0,046	-0,292	0,043
2	80	77	-0,1	-0,207	0,013	-0,124	0,016
3	70	66	0,0	-0,039	0,046	0,084	0,090
4	64	59	0,1	0,074	0,086	0,131	0,106
5	63	60	0,1	0,081	0,089	0,076	0,087
6	67	65	0,0	0,020	0,067	-0,038	0,047
7	62	59	0,1	0,096	0,094	0,055	0,080
8	67	64	0,0	0,025	0,069	-0,002	0,059
9	66	63	0,0	0,040	0,074	0,007	0,062
10	83	83	-0,5	-0,254	0,030	-0,361	0,068
Rata-2	71	68	0,0	-0,046	0,061	-0,046	0,066

13.2 Perhitungan Persamaan Regresi Setelah Rekalibrasi

Tabulasi Data

No	X1	X2	Y	X1Y	X2Y	X1X2	X1 ²	X2 ²	Y ²
1	46	2.667.068	0,0	-2	-121.377	123.885.311	2.158	7.113.251.974.199	0,0
2	53	2.928.712	-0,2	-11	-577.343	156.539.652	2.857	8.577.353.516.420	0,0
3	60	3.424.574	-0,1	-8	-436.873	207.015.473	3.654	11.727.704.250.983	0,0
4	67	3.754.251	-0,3	-22	-1.208.426	253.224.255	4.550	14.094.403.325.488	0,1
5	74	4.059.189	-0,3	-21	-1.131.014	302.206.619	5.543	16.477.015.067.317	0,1
6	81	4.313.696	-0,3	-24	-1.250.173	351.350.576	6.634	18.607.977.066.141	0,1
7	88	4.583.768	-0,4	-34	-1.777.957	405.434.245	7.823	21.010.925.521.875	0,2
8	95	5.044.691	-0,5	-47	-2.476.880	481.515.727	9.111	25.448.904.274.270	0,2
9	102	5.516.480	-0,5	-48	-2.605.333	565.163.380	10.496	30.431.552.017.897	0,2
10	109	5.801.438	-0,4	-40	-2.130.543	634.967.357	11.979	33.656.679.431.262	0,1
Σ	780	42.093.866	-3,0	-256	-13.715.918	3.481.302.595	64.805	187.145.766.445.852	1,1

$$\Sigma X_1 = 780 \quad \rightarrow q_b$$

$$\Sigma X_2 = 42.093.866 \quad \rightarrow R_c \text{ 1310}$$

$$\Sigma Y = -3$$

$$\Sigma X_1 Y = -256$$

$$\Sigma X_2 Y = -13.715.918$$

$$\Sigma X_1 X_2 = 3.481.302.595$$

$$\Sigma X_1^2 = 64.805$$

$$\Sigma X_2^2 = 187.145.766.445.852$$

$$\Sigma Y^2 = 1,1$$

$$n = 10$$

13.2.1 Persamaan Regresi 1 Variabel (X = X1)

$$Y' = a + bX$$

$$b = \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2}$$

$$b = \frac{(10 \times -256) - (780 \times -3)}{(10 \times 64.805) - 780^2}$$

$$a = \frac{-3 - (-0,0059 \times 780)}{10}$$

$$a = 0,1643$$

$$Y' = a + bX$$

$$Y' = 0,1643 - 0,00596X$$

(lanjutan)

$$b = -0,0059$$

$$a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n}$$

13.2.2 Persamaan Regresi 1 Variabel

$$\sum Y = an + b1 \sum X1 + b2 \sum X2$$

$$-3 = 10a + 780b1 + 4,2x10^7 b2 \quad (1)$$

$$\sum X1Y = a \sum X1 + b1 \sum X1 + b2 \sum X1X2$$

$$-256 = 780a + 64.804b1 + 3,48x10^9 b2 \quad (2)$$

$$\sum X2Y = a \sum X2 + b1 \sum X1X2 + b2 \sum X2^2$$

$$-1,37x10^7 = 4,2x10^7 a + 3,48x10^9 b1 + 1,87x10^{14} b2 \quad (3)$$

Hilangkan a :

$$(10 \times 780)a + (780 \times 780)b1 + (4,2x10^7 \times 780)b2 = (-3 \times 780)$$

$$(780 \times 10)a + (64.804 \times 10)b1 + (3,48x10^9 \times 10)b2 = (-256 \times 10) \quad (-)$$

$$-40.425b1 - 2x10^9 b2 = 240 \quad (4)$$

$$(780 \times 4,2x10^7)a + (64.804 \times 4,2x10^7)b1 + (3,48x10^9 \times 4,2x10^7)b2 = (-256 \times 4,2x10^7)$$

$$(4,2x10^7 \times 780)a + (3,48x10^9 \times 780)b1 + (1,87x10^{14} \times 780)b2 = (-1,37x10^7 \times 780) \quad (-)$$

$$1,4x10^{10} b1 + 6,1x10^{14} b2 = -9x10^7 \quad (5)$$

$$(-40.425 \times 1,4x10^{10})b1 + (-2x10^9 \times 1,4x10^{10})b2 = (240 \times 1,4x10^{10})$$

$$(1,4x10^{10} \times -40.425)b1 + (6,1x10^{14} \times -40.425)b2 = (-9x10^7 \times -40.425) \quad (-)$$

$$-1,67x10^{18} b2 = -3x10^{11}$$

$$b2 = 1,9x10^{-7}$$

$$-40.425b1 - (2x10^9 \times 1,9x10^{-7}) = 240$$

$$b1 = -0,0151$$

$$10a + (780 \times -0,0151) + (4,2x10^7 \times 1,9x10^{-7}) = -3$$

$$a = 0,099$$

$$Y' = 0,099 - 0,0151X1 + 1,9x10^{-7} X2$$

13.2.3 Standard Error of Estimate

Persamaan :

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{\sum (Y - Y')^2}{n - 2}}$$

No	Data Operasi			1 Variabel		2 Variabel	
	X1	X2	Y	Y'	Syx	Y'	Syx
1	46	2.667.068	0,0	-0,111	0,023	-0,108	0,022
2	53	2.928.712	-0,2	-0,153	0,038	-0,165	0,042
3	60	3.424.574	-0,1	-0,194	0,053	-0,179	0,047
4	67	3.754.251	-0,3	-0,236	0,067	-0,224	0,063
5	74	4.059.189	-0,3	-0,277	0,082	-0,273	0,080
6	81	4.313.696	-0,3	-0,319	0,097	-0,331	0,101
7	88	4.583.768	-0,4	-0,360	0,111	-0,387	0,121
8	95	5.044.691	-0,5	-0,402	0,126	-0,407	0,128
9	102	5.516.480	-0,5	-0,443	0,141	-0,426	0,134
10	109	5.801.438	-0,4	-0,485	0,155	-0,479	0,153
Rata-2	78	4.209.386,6	-0,3	-0,298	0,089	-0,298	0,089

(lanjutan)

13.3 Perhitungan Persamaan Regresi Setelah Rekalibrasi Modifikasi

Tabulasi Data

No	X1	X2	Y	X1Y	X2Y	X1X2	X1 ²	X2 ²	Y ²
1	0,15	0,18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	0,18	0,20	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3	0,20	0,23	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
4	0,22	0,26	-0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
5	0,25	0,28	-0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
6	0,27	0,30	-0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
7	0,29	0,31	-0,4	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
8	0,32	0,35	-0,5	-0,2	-0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
9	0,34	0,38	-0,5	-0,2	-0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
10	0,36	0,40	-0,4	-0,1	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Σ	2,6	2,9	-3,0	-0,8	-0,9	0,8	0,7	0,9	1,1

$$\begin{aligned} \Sigma X1 &= 2,6 & \rightarrow q_b & \Sigma X1X2 &= 0,8 \\ \Sigma X2 &= 2,9 & \rightarrow R_e & \Sigma X1^2 &= 0,7 \\ \Sigma Y &= -3 & & \Sigma X2^2 &= 0,9 \\ \Sigma X1Y &= -0,8 & & \Sigma Y^2 &= 1,1 \\ \Sigma X2Y &= -0,9 & & n &= 10 \end{aligned}$$

13.3.1 Persamaan Regresi 1 Variabel (X = X1)

$$Y' = a + bX$$

$$b = \frac{n \Sigma XY - \Sigma X \Sigma Y}{n \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad a = \frac{-3 - (-1,8 \times 2,6)}{10}$$

$$b = \frac{(10 \times -0,8) - (2,6 \times -3)}{(10 \times 0,7) - 2,6^2} \quad a = 0,16$$

$$b = -1,8 \quad Y' = a + bX$$

$$a = \frac{\Sigma Y - b \Sigma X}{n} \quad Y' = 0,16 - 1,8X$$

13.3.2 Persamaan Regresi 1 Variabel

$$\Sigma Y = an + b1 \Sigma X1 + b2 \Sigma X2$$

$$-3 = 10a + 2,6b1 + 2,9b2 \quad (1)$$

$$\Sigma X1Y = a \Sigma X1 + b1 \Sigma X1 + b2 \Sigma X1X2$$

$$-0,8 = 2,6a + 0,7b1 + 0,8b2 \quad (2)$$

$$\Sigma X2Y = a \Sigma X2 + b1 \Sigma X1X2 + b2 \Sigma X2^2$$

$$-0,9 = 2,9a + 0,8b1 + 0,9b2 \quad (3)$$

Hilangkan a :

$$(26)a + (6,62)b1 + (7,43)b2 = (-7,7)$$

$$(26)a + (7,06)b1 + (7,88)b2 = (-8,5) \quad (-)$$

$$-0,4b1 - 0,5b2 = 0,79 \quad (4)$$

$$(7,43)a + (2,04)b1 + (2,27)b2 = (-2,44)$$

$$(7,43)a + (2,03)b1 + (2,26)b2 = (-2,42) \quad (-)$$

$$0,01b1 + 0,01b2 = -0,02 \quad (5)$$

$$(-0,0047)b1 + (-0,0048)b2 = (0,0084)$$

$$(-0,0047)b1 + (-0,0045)b2 = (0,0092) \quad (-)$$

$$-0,0003b2 = -0,0008$$

(lanjutan)

$$b_2 = 2,7$$

$$0,01b_1 - (0,01 \times 2,7) = -0,02$$

$$b_1 = -4,58$$

$$10a + (2,6 \times -4,58) + (2,9 \times 2,7) = -3$$

$$a = 0,099$$

$$Y' = 0,099 - 4,58X_1 + 2,7X_2$$

13.3.3 Standard Error of Estimate

Persamaan :

$$S_{YX} = \sqrt{\frac{(Y-Y')^2}{n-2}}$$

No	Data Operasi			1 Variabel		2 Variabel	
	X1	X2	Y	Y'	Syx	Y'	Syx
1	0,15	0,18	0,0	-0,111	0,023	-0,108	0,022
2	0,18	0,20	-0,2	-0,153	0,038	-0,165	0,042
3	0,20	0,23	-0,1	-0,194	0,053	-0,179	0,047
4	0,22	0,26	-0,3	-0,236	0,067	-0,224	0,063
5	0,25	0,28	-0,3	-0,277	0,082	-0,273	0,080
6	0,27	0,30	-0,3	-0,319	0,097	-0,331	0,101
7	0,29	0,31	-0,4	-0,360	0,111	-0,387	0,121
8	0,32	0,35	-0,5	-0,402	0,126	-0,407	0,128
9	0,34	0,38	-0,5	-0,443	0,141	-0,426	0,134
10	0,36	0,40	-0,4	-0,485	0,155	-0,479	0,153
Rata-2	0,26	0,29	-0,3	-0,298	0,089	-0,298	0,089

13.4 Validitas Persamaan Regresi

- Syarat validitas suatu persamaan regresi : Jika koefisien korelasi Pearson (r) > dari koefisien korelasi kritis Pearson.
- Nilai koefisien korelasi Pearson untuk $n = 10$ dengan nilai signifikan (α) = 0,05 adalah 0,632. (Nasir,1998)
- Nilai korelasi variabel bebas hasil perhitungan dalam persamaan regresi:

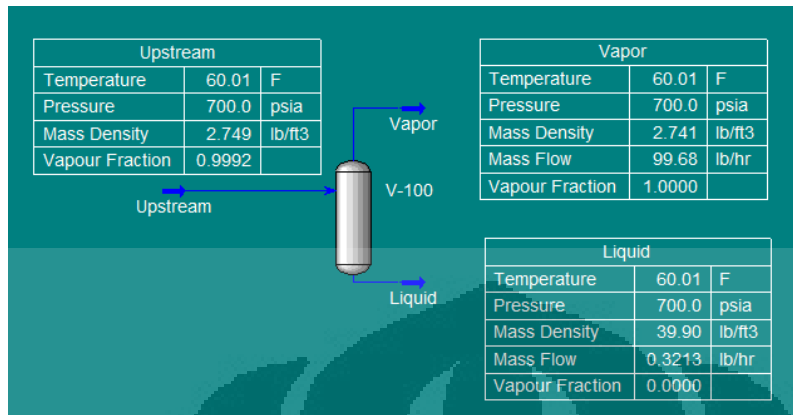
Persamaan	Sebelum		Setelah	
	X1	X2	X1	X2
Variabel Bebas				
Parameter	T 1320	T 1330	q _b	Re 1310
K. Korelasi	-0,899	-0,881	-0,878	-0,868

Nilai (-) negatif pada nilai koefisien korelasi hasil perhitungan menggambarkan bahwa korelasi antara deviasi pengukuran berkebalikan dengan variabel bebas.

- Diperoleh bahwa keempat variabel bebas memiliki koefisien korelasi > dari koefisien korelasi kritis Pearson.
- Kesimpulan : Persamaan regresi validitasnya dapat diterima.

Lampiran 14: Perhitungan Deviasi Pengukuran Akibat Adanya *Mist*

14.1 Pemodelan



14.2 Data Masukan :

Gas Komposisi Rata – Rata

C1	C2	C3	iC4	nC4	iC5	nC5	nC6	nC7	nC8	nC9	N2	CO2	H2O	H2S
88,97	3,88	1,70	0,37	0,42	0,18	0,10	0,11	0,09	0,04	0,01	0,72	3,38	0,02	0,00

Data Operasi P (Psig) dan T (°F)

1320	P	231	231	231	231	231	238	241	236	256	253
	T	69	68	67	68	65	63	61	66	56	52
1330	P	231	231	231	231	231	238	241	236	256	253
	T	58	60	55	58	60	59	57	63	52	49

14.3 Perhitungan

Persamaan :

$$C = \left[\frac{\rho_g}{\rho_l} \right]^{0.25} + \left[\frac{\rho_l}{\rho_g} \right]^{0.25}$$

$$F_{cor} = \sqrt{1 + C \left[\frac{m_l}{m_g} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \right] + \left[\frac{m_l}{m_g} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_l}} \right]^2}$$

$$m_{gcorrected} = \frac{m_{guncorrected}}{F_{cor}}$$

$$\%Dev = \frac{m_{guncorrected} - m_{gcorrected}}{m_{gcorrected}} \times 100$$

Hasil Perhitungan :

Asumsi $m_g \text{ uncorrected} = 100 \text{ lb/hr}$

(lanjutan)

Meter 1320		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999
ρ_g	lb/ft3	0,859	0,861	0,863	0,861	0,863	0,896	0,911	0,883	0,974	0,974
ρ_l	lb/ft3	41,25	41,3	41,35	41,3	42,68	42,61	42,57	41,39	42,43	42,42
m_g		100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9	100,0	99,8	99,7
m_l		0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,060	0,111	0,000	0,243	0,331
C		3,013	3,012	3,011	3,012	3,029	3,007	2,997	2,999	2,959	2,958
F _{cor}		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
$m_{g\text{corrected}}$		100,000	100,000	100,000	100,000	99,998	99,987	99,976	100,000	99,945	99,926
% Dev		0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,002%	0,013%	0,024%	0,000%	0,055%	0,074%

Meter 1330		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999
ρ_g	lb/ft3	0,879	0,875	0,884	0,879	0,872	0,903	0,918	0,888	0,982	0,980
ρ_l	lb/ft3	42,62	42,64	42,6	42,62	42,64	42,85	42,54	42,62	42,4	42,04
m_g		99,8	99,9	99,8	99,8	99,9	99,9	99,8	99,9	99,7	99,6
m_l		0,159	0,116	0,225	0,159	0,115	0,149	0,198	0,060	0,334	0,401
C		3,018	3,020	3,014	3,018	3,023	3,005	2,992	3,012	2,954	2,950
F _{cor}		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001
$m_{g\text{corrected}}$		99,965	99,975	99,951	99,965	99,975	99,967	99,956	99,987	99,925	99,909
% Dev		0,035%	0,025%	0,049%	0,035%	0,025%	0,033%	0,044%	0,013%	0,075%	0,091%

