



Perbandingan Simulasi Pengukuran Aliran Gas Menggunakan USM dengan Simulasi Melalui Aplikasi Kelton Pada Proyek Pipa Gas di PT. X

Marisa Ayuwandhira Paitaha^{1*}, Wasis Waskito Adi², Novan Akhiryanto³

¹⁻³Program Studi Teknik Instrumentasi Kilang, Politeknik Energi Dan Mineral Akamigas, Indonesia

*ayuwandhirapaitaha@gmail.com¹

Alamat: Jl. Gajah Mada No.38, Mentul, Karangboyo, Kec. Cepu, Kabupaten Blora, Jawa Tengah, Indonesia

*Korespondensi penulis: ayuwandhirapaitaha@gmail.com

Abstract. Comparing gas flow measurement results using Ultrasonic Sensor Meters and Kelton software is very important because the objective is to determine whether the errors that occur are in accordance with applicable standards or not. This study aims to compare the simulation results from the Ultrasonic Flow Meter (USM) with Kelton software based on AGA 8, AGA 9, and ISO 6976 regulations. From measurements with the USM, an error value of 0.01% was obtained, while from Kelton software, an error value of 0.01% was also obtained. Thus, it can be concluded that the readings from both methods are still within the specified error tolerance range of 0.1%, so they do not cause excessive cost losses during the gas delivery process. This proves that the Ultrasonic Sensor Meter used has the ability to measure accurately, making it suitable for use as a measuring device in gas metering systems.

Keywords: (Ultrasonic Sensor Meter, Kelton, AGA 8, AGA 9, ISO 6976)

Abstrak. Membandingkan hasil pengukuran aliran gas dengan menggunakan Ultrasonik Sensor Meter dan software Kelton sangat penting karena tujuannya adalah mengetahui apakah kesalahan yang terjadi sudah sesuai dengan standar yang berlaku atau belum. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil simulasi dari Ultrasonic Flow Meter (USM) dengan software Kelton berdasarkan aturan AGA 8, AGA 9, dan ISO 6976. Dari pengukuran dengan USM diperoleh nilai error sebesar 0,01%, sedangkan dari software Kelton juga diperoleh nilai error sebesar 0,01%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan dari kedua metode tersebut masih berada dalam rentang toleransi error yang telah ditentukan yaitu 0,1%, sehingga tidak menyebabkan kerugian biaya yang berlebihan saat proses pengiriman gas berlangsung. Dengan demikian, ini membuktikan bahwa Ultrasonic Sensor Meter yang digunakan memiliki kemampuan dalam mengukur secara akurat, sehingga cocok digunakan sebagai alat ukur dalam sistem metering gas.

Kata kunci: (Ultrasonik Sensor Meter, Kelton, AGA 8, AGA 9, ISO 6976)

1. LATAR BELAKANG

Gas yang berasal dari bumi atau salah satu sumber energi bahan bakar fosil yang berbentuk gas, Dimana proses mengeksplorasi, mengolah dan mendistribusikan juga membutuhkan pengeluaran dana yang sangat besar. Maka dari itu tiap-tiap kekurangan atau kerugian harus diperkecil untuk meminimalisir resiko yang terjadi yang kemungkinan ditanggung dan untuk meningkatkan kelayakan investasinya (Zulrahma & Aseptia Surya Wardhana, 2024). Salah satunya sistem penyaluran gas bumi melalui pipa, kegiatan metering atau pengukuran aliran gas memiliki peranan yang sangat penting. Data hasil metering menjadi dasar untuk mengetahui jumlah gas yang dialirkan, digunakan dalam transaksi jual-beli

(*custody transfer*), serta mendukung pengendalian operasi. Oleh karena itu, akurasi dan keandalan alat ukur sangat berpengaruh terhadap kelancaran distribusi gas maupun kejelasan perhitungan secara komersial (Tampubolon & Kiono, 2021)

Salah satu teknologi metering yang banyak digunakan saat ini adalah *Ultrasonic Flow Meter* (USM). Teknologi ini bekerja dengan prinsip propagasi gelombang ultrasonik untuk mengukur kecepatan aliran fluida dalam pipa. Dibandingkan flow meter konvensional, USM memiliki keunggulan berupa akurasi tinggi, pressure drop minimal, serta kemudahan pemeliharaan (Amri et al., 2016). Pada penelitian kali ini menggunakan USM dengan cara kerja transit time, dengan prinsip perbedaan waktu tempuh gelombang suara dalam fluida. Pada sistem ini, dua transduser ditempatkan saling berhadapan di luar atau di dalam pipa, masing-masing berfungsi sebagai pemancar sekaligus penerima gelombang ultrasonik (Rajita & Mandal, 2016). Perhitungan yang digunakan berdasarkan standart AGA 8, AGA 9 dan ISO 6976.

AGA 8 adalah standar yang menetapkan metode perhitungan faktor kompresibilitas (Z), densitas, serta sifat termodinamika lain dari gas alam dan campuran hidrokarbon berdasarkan komposisinya. Formulasi persamaan termasuk pendekatan *Detail Characterization Method* dan formulasi energi Helmholtz, AGA8 memungkinkan perhitungan densitas, faktor kompresibilitas, kecepatan suara, entalpi, entropi, serta kapasitas panas dengan tingkat akurasi tinggi pada berbagai kondisi tekanan dan temperature (Farzaneh-Gord et al., 2015).

AGA 9 adalah standart untuk persyaratan kinerja meter, fitur desain, prosedur pengujian dan kriteria instalasi (Lansing, n.d.). Dan standart terakhir yaitu ISO 6976.

ISO 6976 ini menjelaskan tentang metode perhitungan sifat energi gas alam berdasarkan komposisi kimianya yang umumnya diperoleh dari analisis gas chromatography. Parameter utama yang dihitung mencakup nilai kalor atas dan bawah (GCV/HHV dan NCV/LHV), densitas gas, densitas relatif terhadap udara, serta indeks Wobbe yang digunakan sebagai indikator kesetaraan energi dalam aplikasi pembakaran (ISO, International Standart ISO 1995).

2. KAJIAN TEORITIS

khususnya dalam kegiatan *custody transfer* yang menuntut tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi. Kesalahan dalam pengukuran dapat berdampak langsung terhadap kerugian ekonomi, sehingga diperlukan metode pengukuran yang presisi serta didukung oleh sistem pengukuran yang terstandarisasi secara internasional (Doebelin, 2004; Beckwith et al., 2007).

Salah satu teknologi yang широко digunakan dalam sistem metering gas adalah Ultrasonic Flow Meter (USM). Alat ini bekerja berdasarkan prinsip propagasi

gelombang ultrasonik dengan metode *transit time*, yaitu mengukur perbedaan waktu tempuh gelombang suara yang merambat searah dan berlawanan arah terhadap aliran fluida. Selisih waktu tersebut digunakan untuk menentukan kecepatan aliran fluida, yang kemudian dikonversi menjadi laju aliran volumetrik. USM dikenal memiliki keunggulan berupa tingkat akurasi yang tinggi, *pressure drop* yang rendah, serta tidak adanya komponen mekanis bergerak yang dapat menyebabkan keausan, sehingga cocok digunakan dalam aplikasi industri migas (Lynnworth & Liu, 2006; Baker, 2016; Sanderson & Yeung, 2002).

Dalam perhitungan sifat fisik gas, digunakan standar AGA 8 yang berfungsi untuk menentukan faktor kompresibilitas (*compressibility factor*), densitas, serta sifat termodinamika lainnya berdasarkan komposisi gas. Penggunaan standar ini penting karena gas alam bersifat non-ideal, sehingga diperlukan pendekatan perhitungan yang akurat untuk memperoleh hasil yang representatif terhadap kondisi sebenarnya (AGA, 2017; McCain, 1990). Selain itu, standar AGA 9 digunakan sebagai acuan dalam pengukuran aliran gas menggunakan Ultrasonic Flow Meter, yang mencakup persyaratan kinerja, desain, instalasi, serta prosedur pengujian alat ukur guna menjamin keakuratan dan keandalan sistem metering (AGA, 2007).

Selanjutnya, standar ISO 6976 digunakan untuk menghitung sifat energi gas, seperti nilai kalor atas (*Gross Calorific Value*), nilai kalor bawah (*Net Calorific Value*), densitas, serta indeks Wobbe. Parameter-parameter tersebut memiliki peran penting dalam menentukan nilai energi gas yang digunakan dalam berbagai aplikasi industri dan transaksi komersial (ISO, 2016).

Selain pengukuran langsung di lapangan, validasi hasil pengukuran dapat dilakukan melalui simulasi menggunakan perangkat lunak. Salah satu perangkat lunak yang digunakan adalah Kelton, yang mampu melakukan perhitungan parameter gas berdasarkan standar internasional seperti AGA 8, AGA 9, dan ISO 6976. Dengan adanya simulasi ini, hasil pengukuran lapangan dapat dibandingkan untuk mengevaluasi tingkat akurasi serta deviasi yang terjadi pada sistem metering gas.

Beberapa studi menunjukkan bahwa penggunaan Ultrasonic Flow Meter dalam sistem metering gas mampu memberikan hasil pengukuran yang akurat dan stabil, terutama apabila dikombinasikan dengan perhitungan berbasis standar internasional. Selain itu, analisis kesalahan (*error analysis*) menjadi bagian penting dalam evaluasi performa alat ukur untuk memastikan bahwa hasil pengukuran masih berada dalam batas toleransi yang diperbolehkan (Beckwith et al., 2007; Doebelin, 2004).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode komperatif untuk membandingkan hasil pengukuran aliran gas menggunakan Ultrasonic Flow Meter (USM) dengan hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak kelton. Pendekatan kuantitatif di pilih karena data yang digunakan berupa parameter numerik hasil pengukuran dan perhitungan dari output USM, sedangkan metode komperatif digunakan untuk mengevaluasi tingkat sesesuaian hasil pengukuran terhadap standart yang digunakan untuk menentukan besarnya error pada sistem metering gas. Sistem metering di lakukan pada proyek pipa gas di PT X dengan menggunakan USM sebagai alat ukur utama dan Software Kelton sebagai pembanding(Politeknik Energi dan Mineral Akamigas et al., 2025). Data analisis meliputi tekanan, temperatur, laju aliran dan komposisi gas alam. Data ini diperoleh dari pengukuran lapangan yang direkam dengan Flow Computer.

Flow Computer didefinisikan sebagai peralatan yang secara elektrik mengubah sinyal dari sistem pengukuran flow fluida menjadi sinyal yang mewakili flowrate fluida tersebut. Flow computer memonitor dan merecord hitungan per- jam, per-hari atau per-bulan. Data flow dapat tersedia secara eksternal melalui interface electronic sehingga computer lain dapat mendownload informasi untuk tujuan Supervisi, Akunting atau Auditing (Edi, n.d.).

Proses penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data lapangan sebagai input pengukuran dan simulasi. Data hasil pengukuran dan simulasi bisa dilihat pada gambar 1.1 dan gambar 1.2. Data yang diperoleh kemudian dimasukkan ke software Kelton untuk dilakukan simulasi perhitungan berdasarkan standart Internasional yang digunakan. Seluruh proses perhitungan dan analisis mengacu pada AGA 8 untuk perhitungan faktor kompresibilitas (Z), densitas, serta sifat termodinamika lain dari gas, AGA 9 untuk persyaratan kinerja meter, fitur desain, prosedur pengujian dan kriteria instalasi Ultrasonic Flow Meter, dan ISO 6976 untuk perhitungan sifat energi gas alam berdasarkan komposisi kimianya yang umumnya diperoleh dari analisis gas chromatography.

Analisis data dilakukan dengan membandingkan hasil penguukuran dan hasil simulasi pada beberapa parameter seperti *Gross Flow*, *Net Flow*, *Mass Flow*, *Energy*, *Density*, Faktor kompresibilitasn dan nilai kalor gas(*Natural Gas. Calculation of Calorific Values, Density, Relative Density and Wobbe Indices from Composition*, 2016). Selisih antara kedua hasil tersebut dinyatakan dalam bentuk presentase error dan dievaluasi berdasarkan batas toleransi yang di tetapkan dalam nilai standart yang berlaku.

Tabel 1. Spesifikasi Ultrasonic Flow Meter

	Measurement Mode	Transit Time Based
	Range	0-83 MMscfd
Turndown Ratio	120:1 or better	
Accuracy	±0.5% of measure value or better	
Repeatability & Linearity	±0.1% & ±0.25% of measured value or better	
Spool Piece Type	Prefabricated spool complete with transducer/mechanism ports	
Meter Body Material	Casted Steel, CS ASTM A352 or LCC	
End Connection	10" ANSI 600# RF Flanged	
Orientation	Horizontal	
Pressure & Temp. Transmitters Tapping	Pressure Tapping	
Straight Length Requirement	10DN + 10DN Upstream, 3DN Downstream	
Type of Sensor	In-line Pipe Spool, 6-path configuration, retractable type	
Number of Sensor	6 (six) pairs of transducer (direct method)	
Sensor Material	Titanium	
Mounting	Spool Piece	
End Connection size & Rating	Suitable for flanged nozzle on spool piece & compression fittings	
Measurement Interval	Typically 32 measurement/sec	
Extension Cable Length	Max. 10m, Direct Mounted	
Housing Material	Die-cast aluminium with polyurethane finish	
Mounting	Direct mounted	
Output Signal	4-20mA, HART	
I/O Requirement	Suitable for flanged nozzle on spool piece & compression fittings	

Spesificatiaon

	Self- Diagnostic Function	Required
	Indikator	Integral LCD
	Electrical Connection	1/2" NPT
	Electrical Power Supply	24 VCD, Loop Powered

Tabel 2. Data Proses Ultrasonic Sensor Meter (USM)

Parameter	Satuan	Range
Flow Rate	MMscfd	0-51
Operating Pressure	Psig	250-380
Operating Temperature	°F	93
Mass Density	Lb/ft³	0.867
Molecular Weight	-	17.76
Specific Heat Ratio	Cp/Cv	1.345
Compressibility at Operation	Z	0.9605
viscosity	cP	0.0122
Metering Velocity	Ft/s	80
Design Pressure	Psig	500
Design Temperature	°F	150
H2S Content	Ppm(v)	<10
Gas Composition	-	Refer to Process Design Basis Document

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

METER STATUS	MAINT	ON-LINE	STATION TOTAL
METER ID	300-FT-M01	300-FT-M02	
CURRENT FLOWRATE			
GROSS VOL FR (MCFD)	1393.5628	1393.5628	1393.5628
STANDARD VOL FR (MMSCFD)	24.6036	24.6017	24.6017
MASS FR (M,LBSD)	1.1565	1.1564	1.1564
ENERGY FR (MMBTUD)	24401.2600	24399.3075	24399.3075
METER PRESSURE (psig)	250.0000	250.0000	
METER TEMPERATURE (Deg.F)	86.0000	86.0000	
BASE PRESSURE (psia)	14.7300	14.7300	
BASE TEMPERATURE (Deg.F)	60.0000	60.0000	
BASE DENSITY (lbs/CF)	0.047004	0.047004	
LINE DENSITY (lbs/CF)	0.829873	0.829873	
BASE COMPRESS (Zb)	0.997816	0.997816	
LINE COMPRESS (Zf)	0.967332	0.967332	
PIPE DIAMETER (inch)	9.5600	9.5600	
GAS VELOCITY (ft/s)	0.0000	0.0000	
VELOCITY OF SOUND (ft/s)	1144.0000	1144.0000	
HEATING VALUE (BTU/SCF)	991.7747	991.7747	
WOBBE INDEX (BTU/SCF)	1265.4476	1265.4476	
RELATIVE DENSITY (SG)	0.614239	0.614239	
FREQUENCY (Hz)	500.0052	500.0052	
IN USE K FACTOR (pulse/CF)	31.0000	31.0000	
GAS COMPOSITION (LAST GOOD)	GC M02	KEYPAD	INUSE
METHANE (mo%)	92.7513	88.8795	92.7233
ETHANE (mo%)	1.7153	3.8985	1.7148
PROPANE (mo%)	0.5476	1.9445	0.5474
i-BUTANE (mo%)	0.1039	0.3708	0.1038

Gambar 1. Hasil pengukuran Static Flow Computer 01

Calculation	Standard	Engineering Unit	Flow Computer	Validator	Deviation (%)	Acceptance Criteria (%)	Remark
Gross Flow	AGA 9	MMcfd	1393.5628	1393.5628	0.0000%	0.01	PASSED
Net Flow	AGA 9	MMscfd	24.6036	24.60363835	-0.0002%	0.01	PASSED
Mass Flow	AGA 9	Klbed	1.1565	1.156482821	0.0015%	0.01	PASSED
Energy Flow	AGA 9	Bbtud	24401.26	24401.30528	-0.0002%	0.01	PASSED
Flowing Density	AGA 8	lbs/cf	0.829873	0.829874779	-0.0002%	0.01	PASSED
Base Density	AGA 8	lbs/scf	0.047004	0.047004537	-0.0011%	0.01	PASSED
Compress	AGA 8		0.967332	0.967332061	0.0000%	0.01	PASSED
Base Compress	AGA 8		0.997816	0.997815832	0.0000%	0.01	PASSED
GHV	ISO 6976	btu/scf	991.7747	991.7763353679340	-0.0002%	0.01	PASSED

Real

Standard Density	0.752696394112317	kg/Sm³
Relative Density	0.614240599551455	Decimal
Calorific Value (Superior)	991.776335387934	Btu/ Sft³
Calorific Value (Superior)	49.0936017178267	MJ/kg
Calorific Value (Superior)	871.77816166	kJ/mol
Calorific Value (Inferior)	33.3013581051119	MJ/Sm³
Calorific Value (Inferior)	44.2422246001435	MJ/kg
Calorific Value (Inferior)	785.62997784	kJ/mol

Gambar 2. Hasil Calculation Software Kelton

Gambar 1 menunjukkan hasil pengukuran aliran gas yang di peroleh dari pengujian *static flow* pada *Flow Computer* 01. Hasil yang terlampir mencakup parameter utama diantaranya *Cross Vol, Standard Vol, Mass, Energy, Density, Compress, Heating Value, Frequency, Methane, Ethane, Propane* dan *i-Butane*. Parameter-parameter tersebut digunakan sebagai dasar perbandingan terhadap perhitungan simulasi menggunakan *software Kelton* berdasarkan *standard* yang diterapkan.

Hasil perbandingan antara pengukuran menggunakan *Ultrasonic Flow Meter* dan simulasi *Kelton* menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi, yang ditunjukkan oleh nilai error yang relatif kecil dan masih dalam batas toleransi yang diterapkan. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan hasil *snapshot* pengukuran aliran gas pada kondisi *running stream* dari *Flow Computer*. Persentase deviasi dihitung menggunakan persamaan perbandingan antara nilai pembacaan *Flow Computer* dan hasil validasi dari perangkat lunak *Kelton*. Dengan menggunakan beberapa ketentuan diantaranya:

1. *Test done by print snapshot of running stream flow computer*

$$\text{Deviation \%} = \frac{\text{FC Reading} - \text{Validator}}{\text{Validator}} \times 100\%$$

2. PSR

$$1\text{MJ/m}^3 = 26.82017 \text{ btu/cf}$$

3. *Calculated Gross flow will be manual calculated with equiation bellow*

$$\text{Gross Flowrate (mmcf)} = \frac{\text{Frequency Injection (Hz)} \times 3600 \times 24}{\text{K-factor (pulse/mcf)} \times 100}$$

Dengan:

$$\text{K-factor} = 31 \text{ pulse/mcf}$$

4. *Calculated energy flow will be manual calculated with equiation bellow*

$$\text{Energy Flowrate (bblud)} = \frac{\text{Net flow rate (mmscfd)} \times \text{GHV (btu/scf)}}{1000}$$

Berdasarkan ketentuan di atas adapun GHV dari validator (Kelton) :

Tabel 3. GHV dari validator (Kelton)

GHV	991,7763353879340	Btu/SCF
Pulse	500.0052	Hz
Time	14:57:48	
Press	264.73	F
Temp	86	psia

Kecilnya nilai deviasi antara hasil pengukuran dan simulasi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain stabilitas kondisi operasi, akurasi sensor ultrasonik, serta penerapan standar

perhitungan yang tepat. *USM* yang digunakan telah memenuhi persyaratan kinerja sesuai *AGA 9*, sementara perhitungan sifat gas dan energi mengacu pada *AGA 8* dan *ISO 6976* sehingga hasil penelitian ini sejalan dengan teori dan praktik di lapangan, dengan nilai error yang berada di bawah 0,01% potensi kesalahan perhitungan volume dan energi gas yang dapat diminimalkan. Dari hasil penelitian ini juga bisa disimpulkan bahwa *Ultrasonic Flow Meter* memiliki tingkat akurasi tinggi dan sangat sesuai digunakan pada sistem *metering gas* untuk keperluan *custody transfer*.

5. KESIMPULAN

Proses analisis penggunaan *Ultrasonic Flow Meter* (*USM*) memerlukan kajian mendalam agar alat ini dapat berfungsi optimal dalam memastikan keakuratan pengukuran aliran gas pada sistem *metering*. Evaluasi mencakup parameter teknis dan operasional, seperti kecepatan aliran, tekanan, temperatur, serta komposisi gas, yang harus disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan. Analisis yang cermat sangat penting untuk menjamin bahwa *USM* mampu memberikan hasil pengukuran yang andal dan memenuhi standar internasional seperti *AGA 8*, *AGA 9*, maupun *ISO 6976*, serta sesuai dengan persyaratan operasional perusahaan. Variable yang digunakan sebagai perbandingan dengan *software Kelton* contohnya *Gross Flow*, *Net Flow*, *Mass Flow* dan *Energy* untuk *AGA 9*, *Base Density*, *Flow Density*,

Gross Heating Value untuk *ISO 6976*. Bisa dilihat dari gambar hasil pengujian statis yang sudah terlampir menunjukkan bahwa selisih dari data lapangan dan *software Kelton* masih masuk ke dalam toleransi yang dimana toleransi yang digunakan adalah 0,01% selain itu dengan toleransi yang masih di bawah 0,1% maka dengan ini membuktikan bahwa *USM* yang digunakan dapat diandalkan sebagai instrument dalam sistem *metering gas*.

DAFTAR REFERENSI

- Amri, K., Wiranata, L. F., Fitria, F., Michael, R., Suprijanto, S., & Kurniadi, D. (2016). Pengukuran aliran gas menggunakan ultrasonik flowmeter 3-lintasan akustik transduser-ganda dengan metoda waktu-tempuh simultan. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 8(1), 67. <https://doi.org/10.5614/joki.2016.8.1.6>
- Amri, K., Wiranata, L. F., Fitria, F., Michael, R., Suprijanto, S., & Kurniadi, D. (2016). Pengukuran aliran gas menggunakan ultrasonik flowmeter 3-lintasan akustik transduser-ganda dengan metoda waktu-tempuh simultan. *Jurnal Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, 8(1), 67–76. <https://doi.org/10.5614/joki.2016.8.1.6>
- American Gas Association. (2007). *AGA Report No. 9: Measurement of gas by multipath ultrasonic meters*. American Gas Association.
- Edi, U. N. (n.d.). Sistem komputer di metering system. 06(4).
- Farzaneh-Gord, M., Izadi, S., Deymi-Dashtebayaz, M., Pishbin, S. I., & Sheikhani, H. (2015).

- Optimizing natural gas reciprocating expansion engines for town border pressure reduction stations based on AGA8 equation of state. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.05.025>
- Farzaneh-Gord, M., Izadi, S., Deymi-Dashtebayaz, M., Pishbin, S. I., & Sheikhani, H. (2015). Optimizing natural gas reciprocating expansion engines for town border pressure reduction stations based on AGA8 equation of state. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 6–17. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2015.05.025>
- ISO. (1995). *Natural gas—Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe index from composition (Technical Corrigendum 3)*.
- Lansing, J. (n.d.). *AGA-9 measurement of gas by multipath ultrasonic meters*.
- Lynnworth, L. C., & Liu, Y. (2006). Ultrasonic flowmeters: Half-century progress report, 1955–2005. *Journal of Fluids Engineering*, 128(1), 190–197. <https://doi.org/10.1115/1.2136895>
- Natural gas. Calculation of calorific values, density, relative density and Wobbe indices from composition (Revision underway). (2016).
- Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Handaja, S., Dewi, A. K., Lafayette, M. R. D., Ramdhan, M., & PT Kilang Pertamina Internasional. (2025). Smart flow computer: Leveraging IoT for accurate and efficient gas flow measurement in the oil and gas industry. *International Journal of Integrated Engineering*, 17(2). <https://doi.org/10.30880/ijie.2025.17.02.029>
- Rajita, G., & Mandal, D. N. (2016). *Review on transit time ultrasonic flowmeter*.
- Tampubolon, A. P. C., & Kiono, B. F. T. (2021). Overview perkembangan pemanfaatan energi primer gas bumi di Indonesia. *Jurnal Energi Baru dan Terbarukan*, 2(1), 36–52. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.10049>
- Zulrahma, Y., & Wardhana, A. S. (2024). Keakurasian sistem monitoring flow rate menggunakan flow computer Omni 6000 di PT Energi Nusantara Perkasa. *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, 11(1), 238–245. <https://doi.org/10.33795/elkolind.v11i1.5238>