

**EVALUASI SISTEM PENGUKURAN LAJU ALIRAN MASSA
STEAM DAN BRINE PADA PEMBANGKIT UNIT I
PT. SORIK MARAPI GEOTHERMAL POWER**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

MAYANG FIRDAUS

NPM 163210248



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2021

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 15 September 2021

Mayang Firdaus

NPM 163210248



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya untuk mencapai gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu, saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Idham Khalid, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing bersama Ibu Richa Meylisa, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, penyemangat selama menjalani perkuliahan di Teknik Perminyakan.
2. Bapak Rudi Sophian dan Bapak Ramos Lubis pihak PT. Sorik Marapi Geothermal Power (SMGP) yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan selalu memberikan bimbingan penuh terhadap tugas akhir saya, dan Bapak Darso pembimbing kerja praktek sebagai panutan saya, beserta bimbingannya.
3. Ketua dan sekretaris prodi serta dosen-dosen yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Orang tua saya dan keluarga yang selalu memberikan dukungan penuh material dan moral setiap harinya, serta saya yang tetap semangat terus walau kadang jenuh.
5. Teman terbaik saya Monica Yuliani Putri serta Rizka Ananda dan Wily Rustam *best partner* SMGP saya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 15 September 2021

Mayang Firdaus

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR SINGKATAN.....	viii
DAFTAR SIMBOL.....	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.3 MANFAAT PENELITIAN.....	3
1.4 BATASAN MASALAH.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>STATE OF THE ART</i>	5
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	9
3.1 METODE PENELITIAN.....	9
3.2 TINJAUAN LAPANGAN.....	9
3.3 <i>FLOWCHART</i>	10
3.4 JENIS PENELITIAN	10
3.5 TEMPAT PENGAMBILAN DATA.....	12
3.6 JADWAL PENELITIAN	12
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	13
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	26
5.1 KESIMPULAN	26
5.2 SARAN	28
DAFTAR PUSTAKA	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	<i>Flowchart</i>	10
Gambar 4.1	<i>Venturi flowmeter</i> yang digunakan sumur A-261/263 pada <i>output</i> HP Separator A	15
Gambar 4.2	<i>Venturi flowmeter</i> yang digunakan sumur A-264 pada <i>output</i> HP Separator B	15
Gambar 4.3	<i>Piping and Instrument Diagram Flow Sheet</i> A-261/263	16
Gambar 4.4	<i>Piping and Instrument Diagram Flow Sheet</i> A-264.....	16
Gambar 4.5	Grafik laju aliran massa fluida <i>steam</i> di <i>output</i> HP Separator A dan B	17
Gambar 4.6	<i>Coefficient Discharge</i> di <i>output</i> HP Separator A dan B	19
Gambar 4.7	<i>Reynolds Number</i> di <i>output</i> HP Separator A dan B.....	19
Gambar 4.8	Grafik perbandingan <i>convergent diameter</i> di <i>output</i> HP Separator A dan B.....	20
Gambar 4.9	Grafik perbandingan nilai Δp di <i>output</i> HP Separator A dan B.....	20
Gambar 4.10	Grafik laju aliran massa fluida <i>steam</i> di <i>output</i> HP Separator A dan B setelah dilakukan evaluasi	21
Gambar 4.11	<i>Annubar flowmeter</i> yang digunakan sumur A-265/267 pada <i>output</i> HP Separator C	22
Gambar 4.12	<i>Orifice flowmeter</i> yang digunakan sumur A-261/263 pada <i>output</i> HP Separator A	23
Gambar 4.13	<i>Orifice flowmeter</i> yang digunakan sumur A-264 pada <i>output</i> HP Separator B	24
Gambar 4.14	<i>Piping and Instrument Diagram Flow Sheet</i> A-261/263	25
Gambar 4.15	<i>Piping and Instrument Diagram Flow Sheet</i> A-264.....	25

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Perhitungan Laju Aliran yang Terpasang	11
Tabel 3.2	Jadwal Penelitian	12
Tabel 4.1	<i>Pad A Flow Meter Reading Evaluation</i>	13
Tabel 4.2	<i>Steam Calculation Based on Design SC and Actual MW</i>	14
Tabel 4.3	<i>Venturi Flowmeter Output HP Separator A Data</i>	17
Tabel 4.4	<i>Venturi Flowmeter Output HP Separator B Data</i>	17
Tabel 4.5	<i>The Result Cd and ReD from Actual Flow Meter</i>	18
Tabel 4.6	Data Umum Penggunaan <i>Anubar Flowmeter</i>	22
Tabel 4.7	<i>Orifice Flowmeter Output HP Separator A and B Data</i>	24



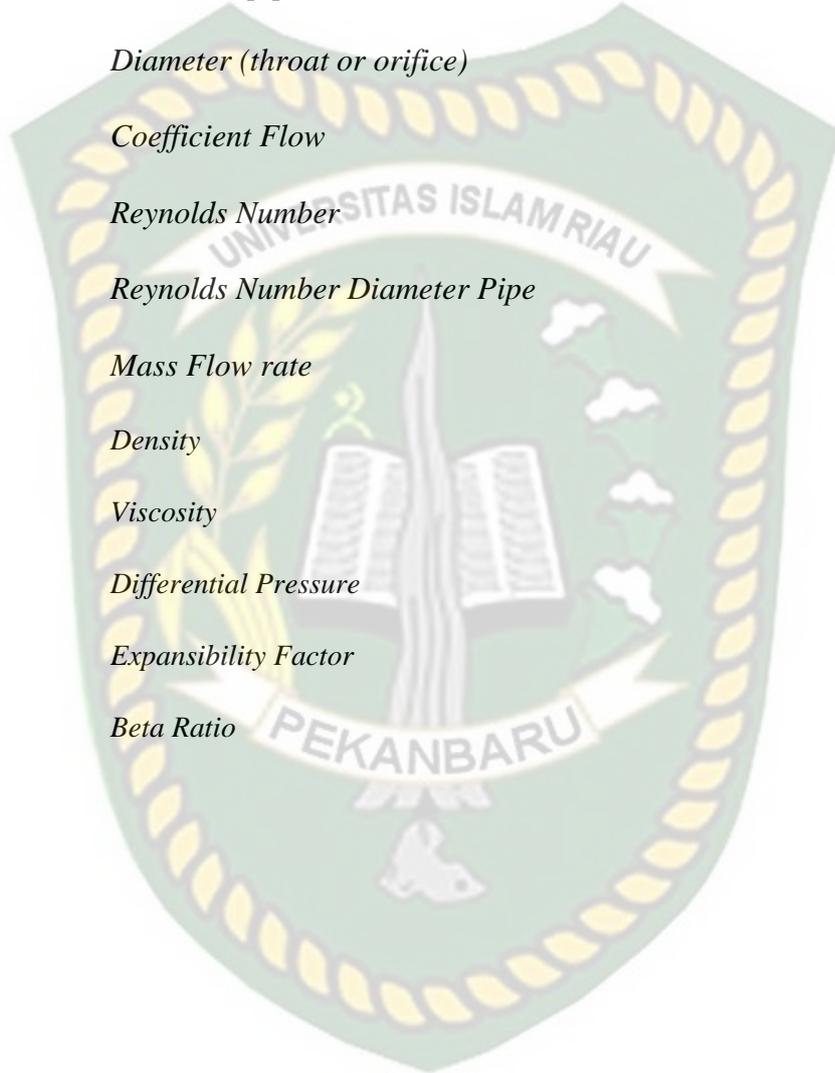
DAFTAR SINGKATAN

CFD	<i>Computational Fluid Dynamic</i>
HP	<i>High Pressure</i>
ISO	<i>International Organization of Standardization</i>
LP	<i>Low Pressure</i>
MW	<i>Mega Watt</i>
P&ID	<i>Piping and Instrument Diagram</i>
PLTP	Pembangkit Listrik Tenaga Panas
PLN	Penyalur Listrik Negara
P Sep	<i>Pressure Separator</i>
SE	<i>Steam Expander</i>
SC	<i>Steam Consumption</i>
WHP	<i>Well Head Pressure</i>



DAFTAR SIMBOL

A	<i>Venturi throat or Orifice area</i>
Cd	<i>Coefficient Discharge</i>
D	<i>Diameter (pipe)</i>
d	<i>Diameter (throat or orifice)</i>
K	<i>Coefficient Flow</i>
Re	<i>Reynolds Number</i>
ReD	<i>Reynolds Number Diameter Pipe</i>
q	<i>Mass Flow rate</i>
ρ	<i>Density</i>
μ	<i>Viscosity</i>
ΔP	<i>Differential Pressure</i>
ϵ	<i>Expansibility Factor</i>
β	<i>Beta Ratio</i>



EVALUASI SISTEM PENGUKURAN LAJU ALIRAN MASSA *STEAM* DAN *BRINE* PADA PEMBANGKIT UNIT I PT. SORIK MARAPI GEOTHERMAL POWER

MAYANG FIRDAUS

NPM 163210248

ABSTRAK

Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi Sorik Marapi milik PT. Sorik Marapi Geothermal Power mengalami perbedaan data hasil pengukuran laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* pada tiga *output* HP Separator yang dimiliki. Hasil laju aliran massa diukur oleh perangkat *differential pressure flowmeter* jenis *Venturi flowmeter* dan *Annubar flowmeter* untuk fluida *steam* dan *Orifice flowmeter* untuk fluida *brine* aktual di lapangan. Berdasarkan hal ini dilakukanlah evaluasi menurut BS EN ISO 5167, Part 1-4: 2003 tentang penggunaan perangkat *differential pressure flowmeter*. Usaha dalam melakukan evaluasi adalah memetakan hasil pengukuran pada fluida *steam* yang terbaca di perangkat, memetakan permasalahan yang ditemukan pada alat ukur yang terpasang sehingga diketahui penggunaan alat ukur yang sesuai standar, selanjutnya menentukan rekomendasi terbaik yang bisa diberikan sebagai perbaikan di lapangan. Evaluasi sukses dilakukan pada *Venturi flowmeter* dan *Orifice flowmeter*, tetapi tidak pada *Annubar flowmeter* karena terkendala data manufaktur yang memiliki hak paten pada sistem pengukuran yang mereka rekomendasikan. Setelah dilakukannya evaluasi, hasil laju aliran massa fluida *steam* yaitu 61.45 ton/hr di A-261/263 dan 70.60 ton/hr di A-264 mendekati pembanding yang ada di pembangkit yaitu 59.45 ton/hr di Unit SE 2 dan 66.54 ton/hr di Unit SE 3 dengan akurasi 89%. Sedangkan penggunaan alat ukur fluida *brine* menunjukkan *straight-run requirements* yang direkomendasikan standar yaitu 22D di *upstream length* A-261/263 dan 24D *upstream length* A-264, aktual di lapangan SMGP adalah sekitar 2 m untuk keduanya. Berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan, rekomendasi perbaikan yang dapat diberikan melakukan kalibrasi fluida mengalir terhadap *Venturi flowmeter*, karena *Annubar flowmeter* merupakan alat ukur tipe *insert* maka pertimbangan terhadap titik *tapping* menjadi fokus utama yaitu ketika aliran sepenuhnya berkembang. Sedangkan untuk *Orifice flowmeter* perlu dilakukan evaluasi *metering* terhadap *straight-run requirements* yang sudah terpasang untuk hasil *brine* yang lebih presisi.

Kata kunci: *Venturi Flowmeter, Annubar Flowmeter, Orifice Flowmeter, Steam, Brine*

EVALUATION OF MASS FLOW RATE MEASUREMENT STEAM AND BRINE ON POWER PLANT UNIT I PT. SORIK MARAPI GEOTHERMAL POWER

MAYANG FIRDAUS

NPM 163210248

ABSTRACT

Power plant Unit I Sorik Marapi Geothermal Field owned by PT. Sorik Marapi Geothermal Power has inaccurate result data measuring mass flow rates of steam fluids and brine fluids on three HP Separator outputs. The result data mass flow rates are measured by differential pressure flowmeter type Venturi flowmeter and Annubar flowmeter for steam fluids and Orifice flowmeter for brine fluids actual in this field. Based on this, an evaluation was carried out according to BS EN ISO 5167, Part 1-4: 2003 about usage of differential pressure flowmeter devices. The efforts in this evaluation are mapping the problems found in the installed measuring instruments so it can be seen the use of measuring instruments according to standard, then evaluate the measurement of result steam fluids that are already read from the device and then, can determine best recommendations that can be given as improvements in the field. Successful research evaluations carried out on Venturi flowmeter and Orifice flowmeter, but not for Annubar flowmeter, because of constrained manufacturing data that has patents on measurement systems that they recommend. After the evaluation, result the mass flow rate of steam fluids, which is 61.45 ton/hr in A-261/263 and 70.60 ton/hr in A-264, is close to comparison in generator, which is 59.45 ton/hr in Unit SE 2 and 66.54 ton/hr in Unit SE 3 with accuracy 89%. As for the use of the brine fluid measuring instrument, it shows that the definite standard requirements are 22D at upstream length A-261/263 and 24D upstream length A-264, but in the actual SMGP field it is about 2 m for both. Based on the evaluation that has been done, recommendations for improvement that can be given to calibrate fluids flow for Venturi Flowmeter. Then, because the Annubar flowmeter is an insert type measuring instrument, the consideration of the tapping point becomes the main focus when flow is fully developed. As for the Orifice flowmeter, it is necessary to evaluate the metering against the straight-run requirements that have been installed for more precise brine fluids results.

Keywords: *Venturi Flowmeter, Annubar Flowmeter, Orifice Flowmeter, Steam, Brine*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Lapangan panas bumi (*Geothermal Field*) di Indonesia pada umumnya memiliki reservoir hidrotermal dengan dominasi-air (*water-dominated system*) (Melysa & Fitrianti, 2015). Jika pengeboran sumur panas bumi yang dilakukan menembus reservoir dominasi-air akan dihasilkan fluida dua fasa, yaitu campuran *steam* dan *brine* di kepala sumur (Saptadji, 2018). Energi panas yang dihasilkan dari reservoir suatu lapangan panas bumi akan dikonversikan oleh pembangkit untuk menghasilkan listrik yang biasa disebut potensi listrik. Potensi listrik biasanya tergantung pada keadaan tekanan awal dan suhu awal reservoir tertentu, selama jangka waktu tertentu. Lapangan panas bumi Sorik Marapi merupakan lapangan panas bumi dua fasa yang berlokasi di Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara milik PT. Sorik Marapi Geothermal Power (SMGP) yang dalam tiga tahun terakhir sejak pengeboran pertama 15 Oktober 2016 hingga operasi 1 Oktober 2020 untuk Unit I telah berhasil menyelesaikan pengeboran sejumlah 25 sumur dari dengan enam sumur produksi aktif yang terletak di Pad A dan menghubungkan Unit I sampai dengan 45 MW pada akhir 2019 yang melakukan *supply* ke pembangkit (PLTP) (Carver & Hidayat, 2020).

Usaha dalam mendukung jangka waktu keberhasilan kegiatan eksplorasi dan eksploitasi serta kegiatan produksi lapangan PT. SMGP, aliran fluida dari reservoir yang mengalir di dalam sumur hingga ke permukaan yang dinyatakan sebagai aliran massa fluida dengan satuan ton/hr perlu diketahui guna menentukan potensi suatu sumur panas bumi (Zarrouk & Mclean, 2019). Pemantauan laju aliran massa pada lapangan panas bumi dua fasa, umumnya memiliki sistem terpusat karena investasi modal yang rendah, pengoperasian dan pemeliharaan yang relatif lebih sederhana dibandingkan dengan pemisah secara individual (Helbig & Zarrouk, 2012). Hasil pemisahan fasa dari *Separator*, keluaran *steam* dialirkan ke pembangkit (PLTP) melalui *steam pipe*, sedangkan *brine* dialirkan ke sumur injeksi untuk *re-injection* dan kondensat dari PLTP dialirkan ke sumur injeksi kondensat. Pemasangan sistem pengukuran dilakukan pada jaringan pipa untuk menentukan

laju aliran massa fluida yang dihasilkan oleh *Separator*. Aliran fluida *steam* dan *brine* pada lapangan panas bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power diukur dengan teknik *Differential Pressure Flowmeter*. Pengembangan alat ukur yang semakin canggih tidak mendorong penurunan penggunaan dari perangkat jenis ini yang hampir 50% dari semua pengukur yang terpasang pada industri.

Pengukuran laju aliran massa keluaran dari *Separator* pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power mengalami perbedaan total hasil laju aliran massa fluida *steam* terhadap laju aliran yang terukur di Unit SE. Data yang diperoleh periode 31 Juli 2020 menunjukkan keluaran *steam* dari tiga jumlah total *Separator* di Pad A lapangan panas bumi Sorik Marapi Geothermal Power menghasilkan jumlah laju aliran fluida yang tidak sesuai dengan pembandingan yang ada di pihak PLN. Aliran fluida dua fasa dari kepala sumur yang masuk ke *Separator* lalu mengalami pemisahan fasa, jumlah laju aliran fluida setiap fasa diukur *Venturi flowmeter*, *Annubar flowmeter* dan *Orifice flowmeter* sedangkan pembandingan jumlah aliran fluida pada *Steam Consumption* merupakan hasil pemantauan yang dilakukan oleh pembangkit unit I milik PLN bersama PT. Sorik Marapi Geothermal Power. Sehingga, target penelitian terhadap perbedaan total hasil laju aliran massa fluida di lapangan SMGP adalah alat ukur yang terpasang.

Hasil pemantauan dapat digunakan untuk menghitung laju penurunan produksi di setiap sumur produksi (*production well*), menyediakan informasi ketersediaan *steam* secara berkala di lapangan, perlu dilakukannya penambahan sumur (*infill drilling well*), ataupun jika perlu dilakukannya *workover* atau *stimulation*, sehingga beberapa hal tersebut tersebut dapat berjalan secara maksimal. Data pengukuran laju alir *steam* dan laju alir *brine* yang benar dan akurat sangatlah penting untuk memastikan ketepatan rencana pengembangan lapangan panas bumi di masa depan. Tanpa ada data yang akurat dapat dipastikan rencana pengembangan selanjutnya tidak dapat dilaksanakan (DiPippo, 2016). Maka, penulis melakukan studi lapangan untuk mengevaluasi sistem pengukuran laju alir massa fluida *steam* dan *brine* pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memetakan permasalahan yang ditemukan pada alat ukur fluida *steam* dan *brine* yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power.
2. Melakukan evaluasi terhadap akurasi alat ukur fluida *steam* dan *brine* yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power.
3. Memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem pengukuran fluida *steam* dan *brine* yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power.

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui fasilitas produksi yang terpasang pada Pembangkit Unit I PT. Sorik Marapi Geothermal Power.
2. Memahami proses aliran fluida panas bumi mulai dari *wellbore* hingga pemisahan fasa fluida dan pemanfaatannya untuk pembangkit serta mengalirkan fluida *brine* dan kondensat untuk sumur injeksi.
3. Memahami sistem pengukuran yang terdapat pada Pembangkit Unit I PT. Sorik Marapi Geothermal Power.
4. Mengetahui dan memahami pemilihan serta pemasangan alat ukur yang baik berdasarkan standar industri.

1.4 BATASAN MASALAH

Adapun untuk mendapatkan hasil studi yang lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang dimaksud, dalam studi lapangan ini hanya dibatasi mengenai hasil evaluasi sistem pengukuran laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* di sistem pengukuran pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power. Sehingga dalam penulisannya terbatas pada memberikan rekomendasi untuk perbaikan sistem pengukuran fluida *steam* dan

brine yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui adalah sumber daya alam yang tidak memiliki kemampuan untuk memulihkan hasil sumber dayanya sendiri yang meliputi: tanah, bahan bakar fosil, batu bara, nuklir, dan mineral. Salah satu pilar keberimanan dalam sistem keimanan islam adalah percaya bahwa energi itu terbatas, berdasarkan firman Allah SWT “*Kami ciptakan sumber daya alam dan lingkungan dengan cara yang benar dan dalam keadaan terbatas. Sementara itu, orang-orang kafir cenderung mengabaikan peringatanku*”. Dengan kata lain, tidak sempurna iman seorang jika orang tidak meyakini bahwa energi itu terbatas. Oleh karena itu, mengutamakan pemanfaatan sumber energi yang dapat diperbarui sangat diperlukan (Qomarullah, 2014). Salah satu energi yang dapat diperbarui adalah panas bumi. Indonesia merupakan negara dengan penghasil energi panas bumi terbesar nomor dua di dunia saat ini. Banyaknya potensi yang telah dihasilkan membuktikan jumlah energi panas bumi sangat melimpah sehingga diperlukan pemanfaatan secara maksimal.

2.1 STATE OF THE ART

Analisis terhadap laju aliran *inlet* dan *outlet* proses hasil *Separator* perlu diketahui sehingga dapat menentukan total volume fluida yang diperoleh. (Kajugus, Axelsson, & Halldórsdóttir, 2015). *Separator* dapat melakukan pengukuran laju aliran dua fasa dari sumur produksi yang dipisahkan menjadi *steam* dan *brine* selama pengujian ataupun saat produksi *online* secara *real-time*. Ada berbagai teknik untuk mengukur laju aliran fluida hasil *Separator* mencakup penggunaan *Orifice plate*, *Venturi tube*, dan *Annubar flowmeter*. Penelitian (Andika, Martasari, & M. Arifiyanto, 2017) membuktikan selama pengujian sumur dua fasa “HCE-XY” lapangan panas bumi “Z” diperoleh laju alir massa uap sebesar 9.316 ton/hr dan laju alir massa *brine* sebesar 15.447 ton/hr serta laju alir massa total sebesar 24.763 ton/hr diperoleh menggunakan *orifice* standar dan menunjukkan bahwa sumur tersebut memiliki potensi yang cukup besar dalam memproduksi uap ke turbin untuk menghasilkan listrik. Penelitian (Aichouni et al., 2000) menyebutkan kondisi operasional akan menjadi perhatian khusus bagi produsen dan pengguna dari alat

ukur. Penggunaan *non-standard* pada alat ukur mempengaruhi kredibilitas alat ukur tersebut. Menurut peneliti hasil investigasi secara eksperimen tentang pengaruh kondisi *non-standard* pada *Venturimeter* terhadap aliran menyebabkan tingkat *error* pada catatan pembacaan alat menjadi tinggi. Ketika kondisi gangguan aliran terjadi menyebabkan kesalahan sekitar 7.5% sedangkan kesalahan sekitar 30% terjadi akibat adanya padatan solid yang terbentuk di sekitar alat. Oleh karena itu, perubahan perkembangan aliran dan tekanan menjadi sangat signifikan. Perlu upaya untuk menghindari kesalahan pengukuran dengan menggunakan standar untuk mengukur efek instalasi pada alat ukur.

Penelitian (Moosa & Hekmat, 2019) menjelaskan tingkat akurasi *Orifice flowmeter* bergantung pada perkembangan profil kecepatan masuk aliran dan bentuk aliran tidak berubah seiring dengan bertambahnya panjang pipa. Nilai Cd dipastikan relatif besar sehingga kehilangan energi yang terjadi tidak terlalu tinggi. Penelitian (Beck & Mazille, 2002) membenarkan bahwa perubahan dalam aliran dapat menyebabkan penyimpangan pada bagian *convergent* alat. Melalui pengembangan dari studi kasus sebelumnya yang menggunakan tekukan *offset bend* dalam memperkenalkan *swirl* dan *asymmetrical profiles* dan studi kasus menggunakan *single-elbow* sebagai pemicu gangguan aliran, karena gangguan pada aliran mempengaruhi kinerja *convergent* perangkat. Konsep ini bukan untuk membuktikan hasil yang harus sama terhadap *Orifice plate* yang terkondisi sempurna, tetapi untuk menunjukkan aliran yang kokoh menggunakan prinsip *Orifice flowmeter*, dengan pengembangan yang sangat hati-hati, pengukuran aliran dan penggunaan *swirler* gabungan dapat dipasang. Karena *swirler* dirancang tanpa menghalangi area atau mengubah turbulensi aliran sehingga menghasilkan penurunan tekanan rendah dibandingkan dengan kondisi aliran konvensional. Menurut penelitian (Fletcher, Nicholson, & Smith, 2000) pengaruh instalasi terhadap penggunaan pengukuran penyisipan seperti *Turbine* dan *Electromagnetic* atau sama juga dengan penggunaan *Annubar flowmeter* telah dilakukan dengan menggunakan pendekatan yang sesuai dengan titik untuk setiap aliran diuji. Aplikasi lapangan pada pengukuran *fullbore* yang tidak dapat dilakukan, teknik pengukuran dengan penyisipan dapat digunakan untuk memperkirakan kecepatan

aliran dengan satu titik $D/8$ atau $7D/8$ atau dapat menggunakan integrasi pengukuran yang lengkap.

Perkembangan penggunaan alat ukur menurut (Tukimin, Zuber, & Ahmad, 2016) dengan menggunakan CFD untuk menentukan desain *Venturi tube* yang digunakan dengan mempertimbangkan *pressure drop* dan *velocity discharge*. Peneliti menggunakan varian perbandingan nilai C_d terhadap desain CFD, yaitu eksperimen data dan analisis numerik ditemukan nilai rata-rata laju aliran dengan perbedaan kurang dari 1%. CFD menjadi perhatian khusus dibandingkan menggunakan laboratorium dalam menentukan efektivitas penggunaan dari suatu alat ukur. Perkembangan penelitian alat ukur oleh (Sediva & Uher, 2012) pada *Multiport averaging Pitot-tube flowmeter*, dengan melakukan perbandingan berbagai bentuk yang digunakan dalam *probe* akan mempengaruhi efek *permanent pressure loss* yang disebabkan oleh *probe*. Simulasi komputer menggunakan ANSYS/FLUENT pada *Multiport averaging Pitot-tube* dengan empat variasi *probe* yang diuji menghasilkan *permanent pressure loss* yang lebih rendah dibandingkan dengan *Orifice plate*. Namun, peneliti menyebutkan sebaiknya bentuk *probe* tidak dijadikan kriteria kritis saat mendesain bentuk optimal dari *Multiport averaging Pitot-tube*, sebab bentuk optimal harus sederhana dan tidak menuntut teknologi. Selain itu, (Dandan, Lijun, & Liming, 2012) menggunakan simulasi CFD untuk merancang kesulitan dalam aplikasi pemasangan *Anubar flowmeter* dengan mencoba menambah sensor pada suhu dan tekanan untuk memastikan akurasi harga densitas dalam perhitungan laju aliran fluida. Lalu melakukan koreksi *non-linear* untuk menambah tingkat keakurasiannya. Hasil dari koreksi yang digunakan pada simulasi, tekanan dan temperatur dapat meningkatkan akurasi pada *static temperature* sedangkan koreksi *non-linear* membuat hasil pengukuran menjadi lebih presisi.

Parameter penentu dalam mengukur laju aliran massa fluida menggunakan alat ukur merupakan hal yang sangat penting untuk diketahui. Perkembangan teknologi menjadikan simulasi atau penggunaan *software* menjadi pendukung utama dalam penentuan parameter tersebut. Akan tetapi, dalam menghitung laju aliran massa fluida tentu perlu perhitungan secara teoritis berdasarkan standar yang umum digunakan berdasarkan teori sebelumnya. Alat ukur (*Flow meter*)

merupakan alat ukur fluida yang dapat mengukur laju aliran cairan (dalam m^3/s) atau aliran massa fluida gas (dalam kg/s). Terdapat dua kategori utama *fluid flow measurement*, yaitu *Differential pressure flowmeters* dan *Mechanical flowmeters*. Ketika alat ukur tertentu dipasang di jaringan pipa, akan menyebabkan terhalangnya fluida yang mengalir di dalam pipa dengan mengurangi luas penampang pipa dan menyebabkan perubahan kecepatan fluida terhadap perubahan tekanan yang terkait. Perangkat semacam ini dikenal sebagai *Differential pressure flowmeter* (Bird & Chivers, 1993). Biasanya diletakkan di titik tertentu sepanjang jaringan pipa setelah *Separator* pada sumur panas bumi dua fasa. Standar penggunaan yang relevan adalah BSI 1042 (BSI : Section 1.1, 1992) dan setara dengan ISO 5167 (ISO 5167-1, 2015), yang sepenuhnya sudah mencakup standar nasional yang komprehensif. Penggunaan standar pada alat ukur yang sesuai dengan industri telah menjadi perhatian bagi setiap industri yang dapat dibuat sesuai dengan standar dan dimensi yang diukur, dan tidak perlu melakukan kalibrasi menggunakan fluida yang mengalir, karena kepatuhan dalam desain standar memastikan kinerja yang ditentukan (Reader-Harris, 2015). Pentingnya penggunaan alat ukur untuk mengukur secara akurat laju aliran fluida dalam suatu sistem, baik secara keseluruhan atau sebagian dalam industri panas bumi untuk operasi pembangkit listrik. Pemilihan alat ukur yang tepat, secara umum berdasarkan *cost* dan proses kontrolnya sendiri (Miller, 1983). Aliran dua fasa dari sumur produksi lapangan panas bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power dipisahkan menjadi *steam* dan *brine* oleh *Separator* dari kepala sumur. Laju aliran *steam* diukur menggunakan *Venturi flowmeter* atau menggunakan *Anubar flowmeter* dan laju aliran *brine* diukur dengan menggunakan *Orifice flowmeter*.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan merupakan *numerical method*. Studi lapangan yang dilakukan adalah studi literatur serta studi lapangan. Literatur yang digunakan antara lain:

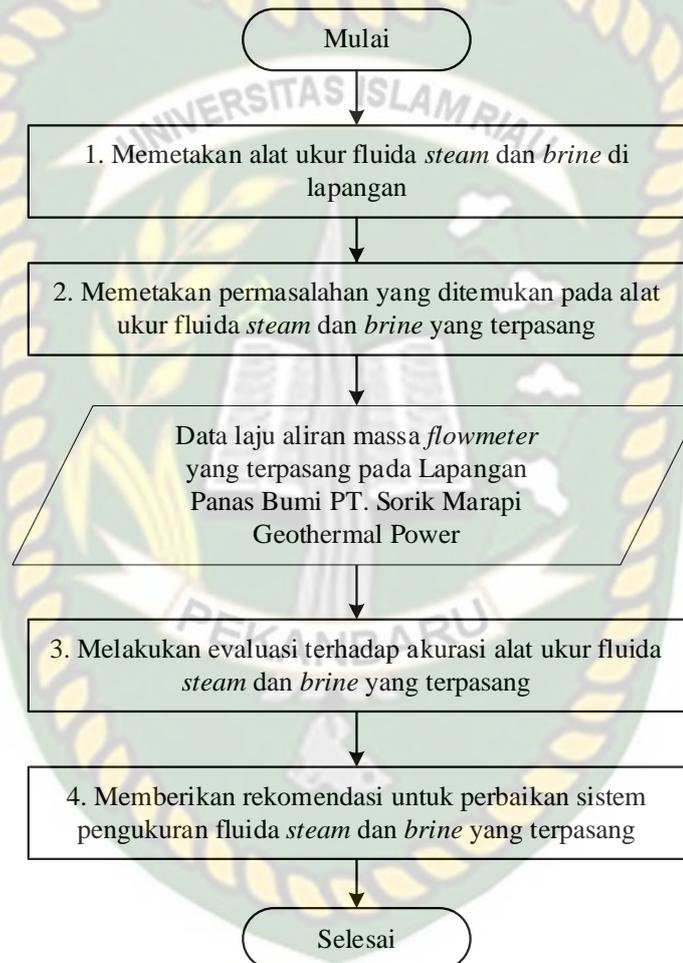
1. Buku Teknik Geothermal sebagai landasan teori panas bumi (Saptadji, 2018).
2. Buku Teknik Instrument sebagai landasan teori penggunaan alat ukur standar industri (Liptak, 2003).
3. Buku Flow Measurement Engineering sebagai landasan teori aliran pada alat ukur (Miller, 1983).
4. Jurnal Internasional sebagai landasan perhitungan laju aliran massa fluida pada *Venturi flowmeter* dan *Orifice flowmeter* (Helbig & Zarrouk, 2012).
5. Jurnal Internasional sebagai landasan perhitungan laju aliran massa fluida pada *Anubar flowmeter* (Seshadri, Gandhi, Singh, & Pandey, 2004).
6. Data lapangan yang diperlukan serta *layout* dari sistem pengukuran lapangan panas bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power.

3.2 TINJAUAN LAPANGAN

Lapangan panas bumi Sorik Marapi berlokasi di Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara dan secara geografi terletak diantara dua lapangan panas bumi yang sedang dalam pengembangan yaitu lapangan panas bumi Sarulla oleh Sarulla Operation Ltd. (SOL) dan lapangan panas bumi Muara Labuh oleh Supreme Energy (Sagala, Chandra, & Purba, 2016). Lapangan Panas Bumi Sorik Marapi awalnya diperkirakan memiliki potensi lebih dari 240 MW. Suhu maksimum yang tercatat mencapai 290°C dari target menuju gunung berapi Sorik Marapi. Konsesi panas bumi Sorik Marapi mencakup WKP seluas 629 km². Pada tahun 2016, setelah enam tahun sejak pemberian konsesi, pengeboran dimulai dan telah berhasil menyelesaikan tujuh sumur yang keberadaan sumber daya dengan komersial bersuhu tinggi (Sarmiento et al., 2017). Kawasan panas bumi Sorik Marapi dikenali melalui keadaan manifestasi permukaan seperti *fumarole* dan mata

air panas (*Hot Springs*). *Silica Scaling* pada bidang panas bumi dikendalikan oleh sifat kimiawi dan termodinamika silika amorf. Perhitungan *scale* dari sampel air di kepala sumur menunjukkan bahwa sumur Sorik Marapi secara umum tidak memiliki potensi *silica scale*. (Hidayat, Ridha, & Vicky, 2019).

3.3 FLOWCHART



Gambar 3.1 Flowchart

3.4 JENIS PENELITIAN

Pemilihan alat ukur yang sesuai dengan standar industri memiliki banyak faktor, salah satunya mengenai akurasi. Meskipun memilih alat ukur berdasarkan keperluan suatu lapangan saja tanpa membayar untuk akurasi yang lebih tinggi menjadi tidak masalah, tetapi dalam penggunaan akan membuat biaya perawatan

menjadi lebih besar. Alat ukur syarat industri biasanya telah dirancang dan dibuat *suppliers* mengikuti standar penggunaan yang layak dan tepat untuk menentukan laju aliran massa fluida mengikuti standar industri BS EN ISO 5167, Part 1-4: 2003 untuk perangkat jenis *Differential Pressure Flowmeter*. Adapun perkiraan data yang dibutuhkan dalam menyelesaikan studi lapangan evaluasi laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power yang relevan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.1 Data Perhitungan Laju Aliran yang Terpasang

Data yang diperlukan
<i>Inside diameter pipe (D)</i>
<i>Inside diameter orifice (d)</i>
<i>Pressure loss (Δp)</i>
<i>Fluid density (ρ)</i>
<i>Fluid viscosity (μ)</i>

Sedangkan metode pengukuran dengan *Annubar flowmeter* tidak terstandarisasi, produsen yang berbeda memproduksi *probe* dengan desainnya sendiri, dengan distribusi lubang sensor yang berbeda serta bentuk dan ukurannya, yang merupakan subjek dari berbagai paten. Artikel ahli yang menangani tabung ini terutama berkaitan dengan desain bentuk baru *probe*. Sumur produksi lapangan panas bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power diukur dengan alat ukur *Venturi flowmeter* atau *Annubar flowmeter* pada *steam* dan *Orifice flowmeter* pada *brine*. Menurut (Reader-Harris, 2015) persyaratan penting untuk mengukur laju aliran massa perangkat *Differential pressure flowmeter* harus mengetahui nilai dari C_d , ϵ , d , D , ρ , dan Δp . Menurut (Helbig & Zarrouk, 2012) adapun perhitungan laju alir massa satu fasa pada aliran pipa lapangan panas bumi dan menurut (Oliveira et al., 2009) pada lapangan minyak dan gas, yaitu:

$$q = \frac{C_d A \epsilon}{\sqrt{1-\beta^4}} \sqrt{2\rho \Delta p} \quad (1)$$

Sedangkan metode pengukuran dengan *Annubar flowmeter* (Seshadri et al., 2004), yaitu:

$$q = k A \sqrt{2\rho\Delta p} \quad (2)$$

Tentu saja dalam perhitungan pengukuran laju aliran massa yang dilakukan akan dipilih hasil yang paling baik yang paling mendekati kondisi sebenarnya. Jadi, dapat menggunakan dan memproses semua energi tersebut secara efisien dan mendapatkan keuntungan darinya. Meskipun memiliki dasar perhitungan dasar, maksud, dan tujuan yang sama, tempat dan perusahaan yang berbeda cenderung memiliki standar perhitungan yang berbeda sehingga setiap laju aliran massa membutuhkan parameter yang berbeda pula.

3.5 TEMPAT PENGAMBILAN DATA

Teknik pengambilan data yang digunakan adalah menggunakan data primer yang dilakukan di Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power yang berlokasi di Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara.

3.6 JADWAL PENELITIAN

Adapun studi lapangan akan dilakukan selama 3 Bulan (12 Minggu) dari bulan Juni 2021 – September 2021 yang dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 3.2 Jadwal Penelitian

Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Minggu)												
	Juni		Juli				Agustus				September		
	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	
Studi Lapangan													
Pengumpulan data													
Pengolahan Data													
Menyusun Laporan Hasil													

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Lapangan panas bumi Sorik Marapi merupakan lapangan panas bumi dua fasa yang berlokasi di Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara milik PT. Sorik Marapi Geothermal Power (SMGP). Saat ini, Pad A memiliki enam sumur produksi aktif yang melakukan *supply* ke pembangkit Unit I (PLTP). Fasilitas produksi dengan *wellhead power plant*, fluida dua fasa dari beberapa kepala sumur dialirkan ke *Separator* untuk dilakukan pemisahan. Total *Separator* yang digunakan di Pad A sebanyak tiga HP *Separator* dan satu LP *Separator*. Data evaluasi pembacaan *flow metering* periode 31 Juli 2020 menunjukkan adanya perbedaan total hasil *steam* yang terukur dengan total *steam* yang dihasilkan dari ketiga *output* HP *Separator*. Unit SE yang mengukur total hasil *steam* yang terukur terdiri dari lima unit. Unit SE dijadikan sebagai pengukuran aktual MW karena *design* yang digunakan masih terbilang cukup baru untuk mengukur SC *based on design*. Adapun data evaluasi *flow metering* Pad A lapangan SMGP periode 31 Juli 2020 adalah sebagai berikut:

Tabel 4.1 *Pad A Flow Meter Reading Evaluation*

<i>Well</i>	<i>WHP</i>	<i>Separator</i>	<i>P Sep</i>	<i>Steam</i>	<i>Brine</i>	<i>Unit SE</i>	<i>MW</i>
A-261	9.98	HP A	8.88	74.63	173.55	SE 1	
A-263	10.32					SE 2	4.35
A-264	11.00	HP B	9.00	77.40	456.42	SE 3	5.29
A-265	11.42	HP C	9.30	55.57	573.25	SE 4	5.47
A-267	11.43					SE 5	5.45
A-266	7.82	LP A	4.84	85.56		SE 6	3.58

Sumber: Data Lapangan Uni I PT. SMGP (2020)

Berdasarkan data evaluasi diatas, *output steam* dari HP *Separator* C kurang dari HP *Separator* lainnya. Jika dilihat dari MW yang dihasilkan, artinya dibutuhkan jumlah *steam* aktual yang lebih besar untuk membangkitkan dua Unit SE yang terpasang. Selanjutnya jika di Pad A saat ini, untuk efisiensi kerja dari

design SC pada Unit SE untuk mengukur MW yang dihasilkan dari *output steam* HP Separator masih dalam keadaan baru, maka untuk membangkitkan MW pada Unit SE 2 dan SE 3 tidak membutuhkan *steam* diluar dari *performance* yang telah di *design*. Adapun hasil *steam calculation* dari *design* SC dengan aktual MW untuk Unit SE adalah sebagai berikut:

Tabel 4.2 *Steam Calculation Based on Design SC and Actual MW*

Unit SE	Design SC	Steam Calculation
SE 1	13.68	
SE 2	13.68	59.51
SE 3	12.58	66.55
SE 4	12.58	68.81
SE 5	12.58	68.56
SE 6	19.6	70.18

Sumber: Data Lapangan Uni I PT. SMGP (2020)

Jika dilihat dari *design* SC untuk setiap Unit SE pada HP Separator, total *steam* yang terukur sebagai pengukuran aktual adalah 263.36 ton/hr, sedangkan dilihat dari total *steam* yang dihasilkan setiap *output* HP Separator adalah 207.60 ton/hr. Artinya, ada perbedaan total *steam* yang terukur dengan total *steam calculation* yang dihasilkan setiap *output* HP Separator sebesar 55.76 ton/hr. Pada lapangan SMGP memiliki tiga alat ukur aktif yang digunakan untuk mengukur jumlah laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* hasil *output* HP Separator. Jenis alat ukur yang digunakan oleh Pad A untuk Unit I adalah *Differential Pressure Flowmeter*. Penggunaan alat ukur jenis ini diatur oleh ISO 5167 untuk perangkat *differential pressure* yang alirannya tunggal dan setiap perangkat ini hanya dapat digunakan dalam batasan ukuran pipa dan Re yang telah ditentukan. Data *steam flow meter* yang telah diperoleh dari lapangan SMGP, dilakukan evaluasi dengan dua tahap di setiap alat ukur yang digunakan untuk menentukan penyebab perbedaan hasil pengukuran laju aliran massa fluida *steam* yang terukur di Unit SE dengan *output* HP Separator yang dihasilkan. Adapun kondisi aktual *Venturi flowmeter* yang

terpasang di Pad A lapangan SMGP pada *outlet* HP *Separator* A dan B adalah sebagai berikut:



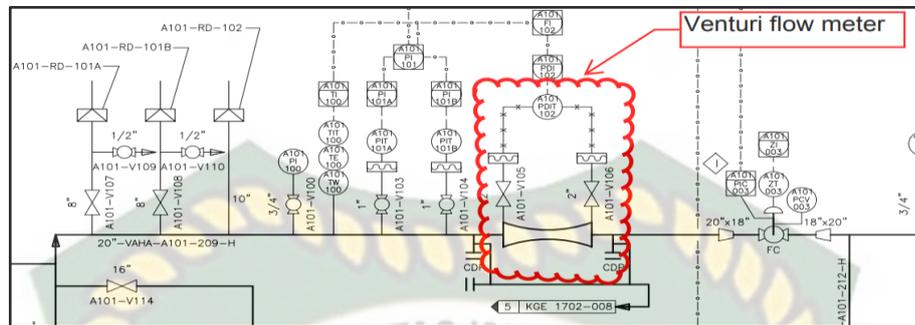
Gambar 4.1 *Venturi flowmeter* yang digunakan sumur A-261/263 pada *output* HP *Separator* A (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2021)



Gambar 4.2 *Venturi flowmeter* yang digunakan sumur A-264 pada *output* HP *Separator* B (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2021)

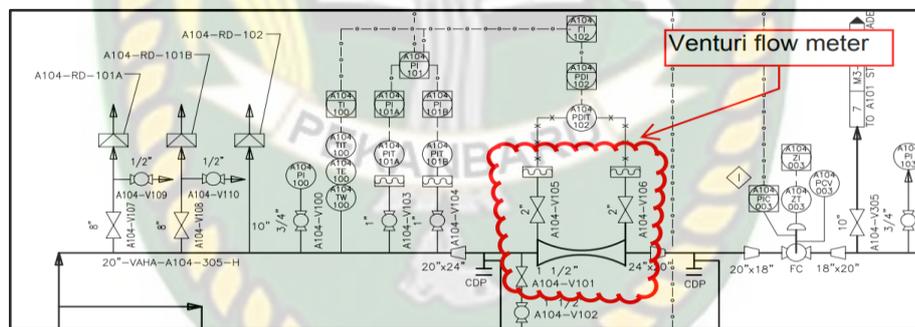
Cara paling sederhana dalam melakukan evaluasi terhadap laju aliran massa fluida yang menggunakan perangkat *Differential pressure flowmeter* adalah berdasarkan *Straight-run requirements* aktual di lapangan SMGP. Kondisi aktualnya yang terpasang adalah *output* HP *Separator* A panjang *upstream* yang terpasang adalah ± 12 m. Sedangkan *output* HP *Separator* B adalah ± 7 m ditambah penggunaan *Reducer* sebelum terkoneksi ke *Venturi tube*. Persyaratan umum instalasi *Venturi tube* yang diatur oleh BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 tanpa menggunakan *Flow conditioner* untuk rasio 0.6β pada kondisi lapangan SMGP

adalah 10D (± 5 m) di *upstream* Venturi tube A-261/263. Adapun P&ID flow sheet A-261/263 Pad A lapangan SMGP adalah sebagai berikut:



Gambar 4.3 Piping and Instrument Diagram Flow Sheet A-261/263 (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2018)

Sedangkan rekomendasi *straight-length* dengan adanya penggunaan *Reducer* yang diatur oleh BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 adalah sama minimal 10D di *upstream* Venturi tube A-264 dengan rekomendasi 8.5D (± 5 m) *Reducer*. Adapun P&ID flow sheet A-264 Pad A lapangan SMGP adalah sebagai berikut:



Gambar 4.4 Piping and Instrument Diagram Flow Sheet A-264 (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2018)

Berdasarkan persyaratan umum instalasi *Straight-run requirements* dengan aktual yang ada di lapangan SMGP sudah termasuk dalam kategori yang di rekomendasikan. Maka, evaluasi terhadap laju aliran massa fluida *steam* di perangkat *Differential pressure flowmeter* yang terpasang aktual dilakukan selanjutnya yang diatur oleh BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 mengenai *Venturi tubes* perlu dilakukan. Adapun data alat ukur *steam* yang digunakan pada *output* HP Separator A adalah sebagai berikut:

Tabel 4.3 Venturi Flowmeter Output HP Separator A Data

<i>Input Data</i>							
<i>Venturi flowmeter A</i>	d (inch)	D (inch)	ρ (kg/m ³)	Δp (KPa)	μ (mPa.s)	β	ϵ
	11.889	19.250	4.551	4.7	0.01483	0.618	0.986

Sumber: Data Aktual Lapangan Uni I PT. SMGP (2021)

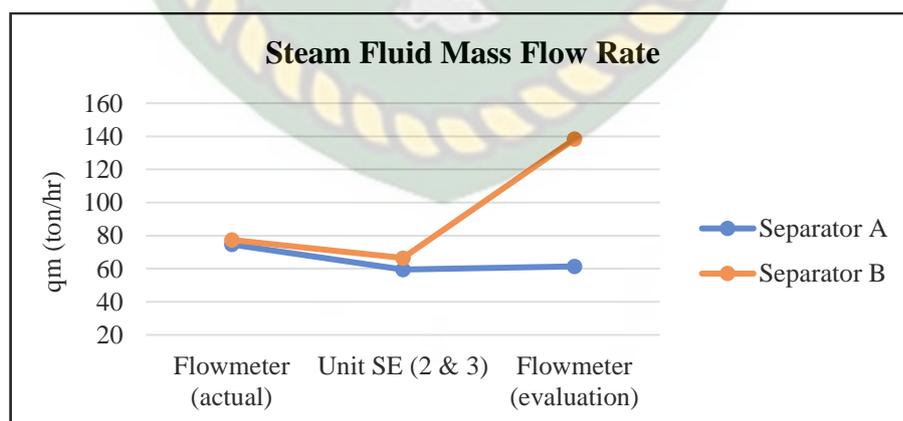
Adapun data alat ukur *steam* yang digunakan pada *output* HP Separator B adalah sebagai berikut:

Tabel 4.4 Venturi Flowmeter Output HP Separator B Data

<i>Input Data</i>							
<i>Venturi flowmeter B</i>	d (inch)	D (inch)	ρ (kg/m ³)	Δp (KPa)	μ (mPa.s)	β	ϵ
	14.435	23.250	4.0573	12.2	0.01466	0.621	0.984

Sumber: Data Aktual Lapangan Uni I PT. SMGP (2021)

dengan menggunakan persamaan (1) dapat ditentukan hasil laju aliran massa fluida *steam* oleh *Venturi tubes* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.5 Grafik laju aliran massa fluida *steam* di *output* HP Separator A dan B (ISO 5167, 2004)

Laju aliran massa fluida *steam* yang dihasilkan menggunakan rekomendasi penggunaan persamaan (1) untuk *Venturi flowmeter* yang terpasang di *output* HP Separator B tidak menunjukkan hasil yang diharapkan sesuai dengan laju aliran massa fluida *steam* yang terukur di Unit SE 2 meskipun persamaan yang digunakan sama sesuai dengan rekomendasi, tetapi untuk *Venturi flowmeter* yang terpasang di *output* HP Separator A menunjukkan hasil pengukuran *steam* yang hampir sebanding dengan fluida *steam* yang terukur di Unit SE 3. Perangkat *Differential pressure flowmeter* jenis *Venturi flowmeter* memiliki syarat penggunaan sesuai dengan BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 untuk lapangan. Tipe *Rough-welded sheet iron convergent* merupakan jenis *Venturi tube* yang digunakan di lapangan SMGP dengan melihat nilai C_d yang ada.

$$200 \text{ mm} \leq D \leq 1200 \text{ mm}$$

$$C_d = 0.985$$

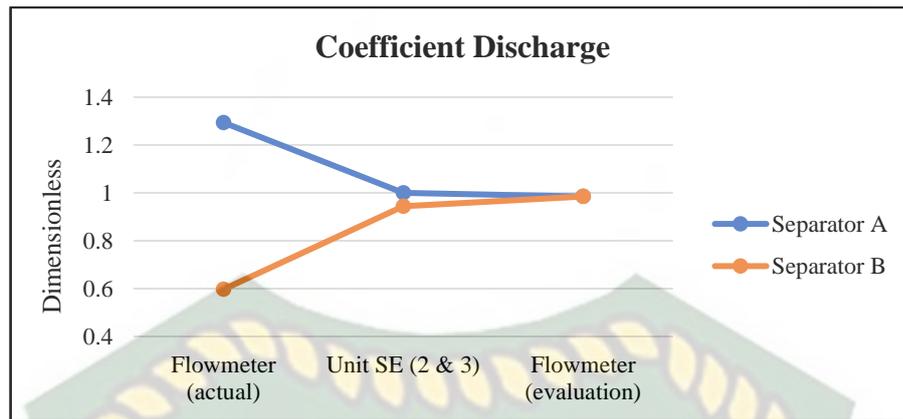
$$2 \times 10^5 \leq ReD \leq 2 \times 10^6$$

Tabel 4.5 *The Result C_d and ReD from Actual Flow Meter*

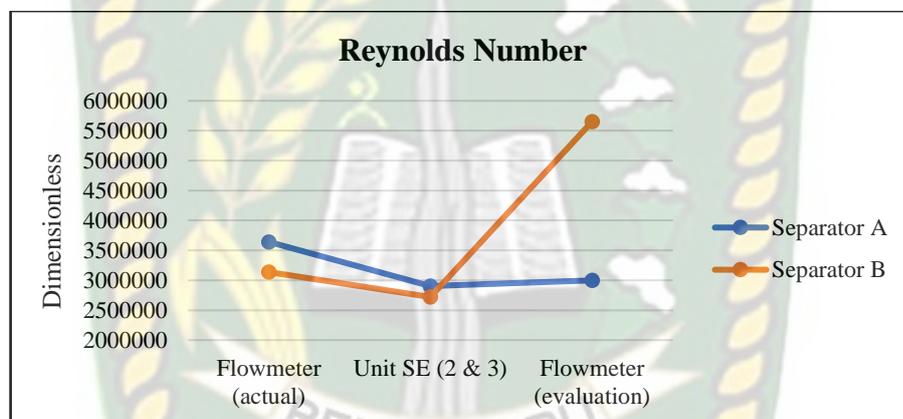
<i>Output Data</i>		
Parameter	C_d	ReD
<i>Venturi flowmeter A</i>	1.294	3641964
<i>Venturi flowmeter B</i>	0.587	3163575

Sumber: Data Hasil Menggunakan ISO 5167 (2021)

Jumlah laju aliran massa fluida *steam* yang dihasilkan oleh *Venturi flowmeter* terpasang aktual di lapangan SMGP dipengaruhi oleh nilai C_d dan ReD . Peningkatan nilai C_d berbanding lurus dengan ReD aliran. Lapangan SMGP memiliki laju aliran massa fluida *steam* yang terbilang skala besar, maka terjadi peningkatan C_d dan ReD dengan syarat instalasi yang terpasang merupakan fasilitas produksi terbaik yang telah dipilih oleh perusahaan saat ini.

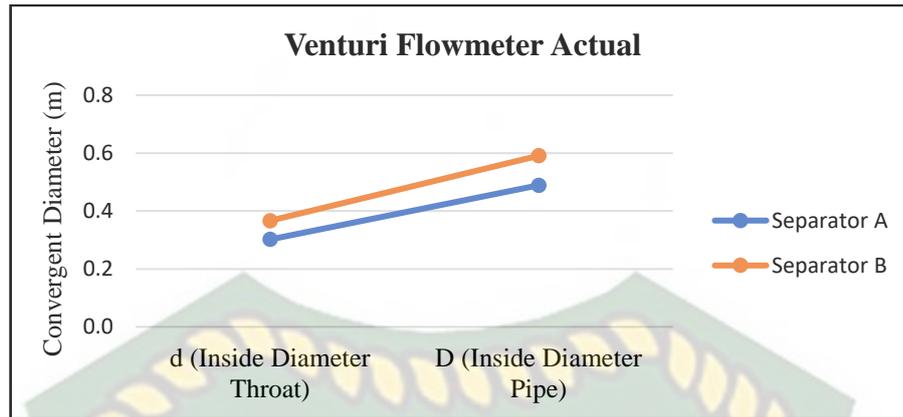


Gambar 4.6 *Coefficient Discharge* di *output* HP Separator A dan B (ISO 5167, 2004)



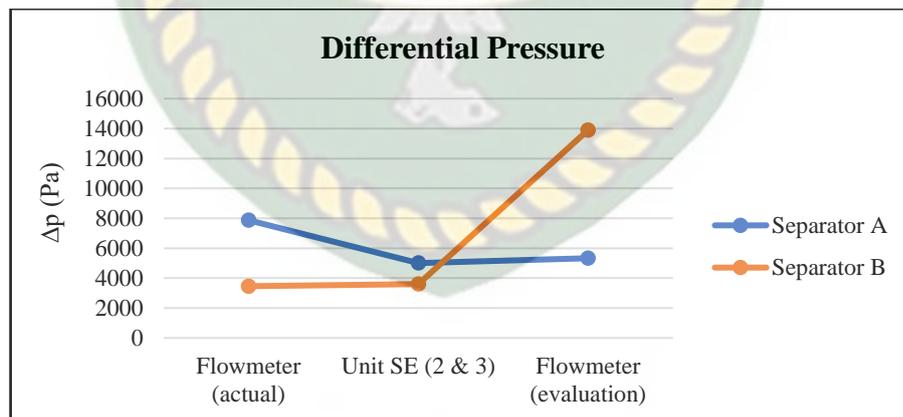
Gambar 4.7 *Reynolds Number* di *output* HP Separator A dan B (ISO 5167, 2004)

Fluida *steam* yang terukur di Unit SE 2 dan 3 dapat dijadikan pembanding jumlah ReD aliran pada pipa dan dapat dibandingkan dengan jumlah ReD yang mengalir aktual di *output* HP Separator. Jika menggunakan persamaan (1), *output* HP Separator A nilai ReD aliran dalam pipa berbanding lurus dengan jumlah q_m yang dihasilkan Unit SE 2, sedangkan dengan menggunakan alat ukur aktual terlihat jumlah ReD aliran yang lebih besar tanpa ada peningkatan dari nilai C_d . Berdasarkan hal ini, artinya dengan rekomendasi persamaan (1) hasil laju aliran massa fluida *steam* di *output* HP Separator A sudah mendekati yang terukur di Unit SE 2. Namun, penggunaan persamaan (1) jika dilihat berdasarkan C_d di *output* HP Separator B tidak berlaku sebaliknya, karena adanya peningkatan nilai ReD aliran.



Gambar 4.8 Grafik perbandingan *convergent diameter* di output HP Separator A dan B (Hasil Menggunakan Perhitungan Perbandingan, 2021)

Jika dilakukan perbandingan untuk memperoleh *convergent diameter Venturi flowmeter* aktual, dapat diketahui ukuran diameter pipa output HP Separator B lebih besar, maka nilai Δp yang terbaca menjadi rendah tetapi tidak lebih rendah dibandingkan diameter pipa output HP Separator A. Namun, *Venturi flowmeter* aktual yang terpasang di lapangan SMGP mencatat hal yang sebaliknya. Nilai Δp berada di 12200 Pa untuk output HP Separator B sedangkan untuk output HP Separator A berada di 4700 Pa. Maka, rekomendasi penggunaan persamaan (1) dilihat dari nilai Δp sebagai berikut:

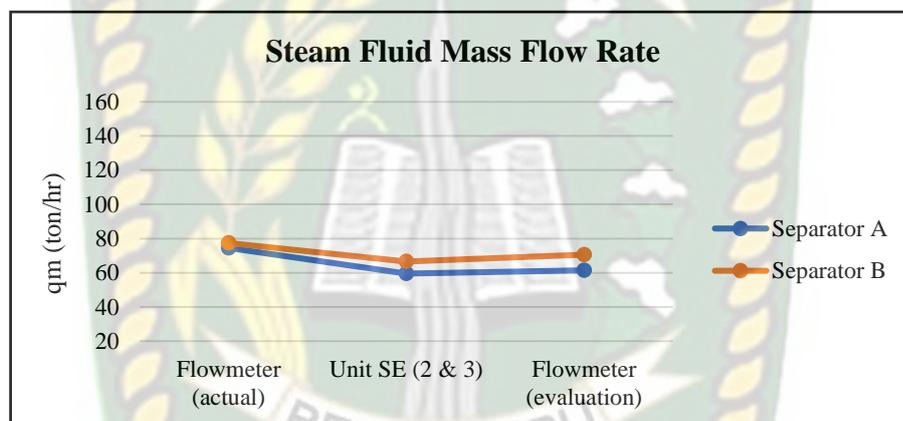


Gambar 4.9 Grafik perbandingan nilai Δp di output HP Separator A dan B (Reader-Harris, 2015)

Teori pengukuran *Differential pressure* yang diambil dari *Bernoulli's Theorem* dapat menentukan nilai Δp di *upstream line* dari *Venturi flowmeter* yang terpasang aktual di lapangan SMGP saat ini. Berdasarkan persamaan tersebut nilai

Δp di *output* HP Separator A A-261/263 dengan menggunakan persamaan *Bernoulli* mendekati yang terukur di Unit SE 2 sedangkan di *output* HP Separator B A-264 jumlah Δp meningkat signifikan terhadap Unit SE 3, namun nilai Δp untuk hasil laju aliran massa fluida aktual hampir sama dengan yang ada di Unit SE 3. Maka, dapat disimpulkan nilai Δp yang terbaca *Venturi flowmeter* di *output* HP Separator B tidak akurat.

Berdasarkan perhitungan laju aliran massa fluida *steam* menggunakan rekomendasi penggunaan persamaan (1) yaitu perangkat *Differential pressure flowmeter* jenis *Venturi flowmeter* BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 terhadap *output* HP Separator A dan *output* HP Separator B adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik laju aliran massa fluida *steam* di *output* HP Separator A dan B setelah dilakukan evaluasi (ISO 5167, 2004)

Jumlah laju aliran massa fluida *steam* menggunakan persamaan (1) *Venturi flowmeter* lebih mendekati Unit SE 2 dan SE 3. Berdasarkan hal ini dapat diperoleh data evaluasi pembacaan *flow metering* periode 31 Juli 2020 memang mengalami perbedaan total *steam* yang dihasilkan dari *output* HP Separator A dan B terhadap Unit SE yang mengukur total hasil *steam* terukur di Unit SE 2 dan SE 3 sebagai pengukuran aktual MW karena desain yang digunakan masih terbilang cukup baru untuk mengukur SC *based on design*. Sehingga, hasil evaluasi lanjutan terhadap laju aliran massa fluida *steam* yang telah dilakukan menunjukkan 6 ton/hr mendekati Unit SE 2 dan SE 3 dengan akurasi sekitar 89%.

Selanjutnya, berdasarkan hasil MW yang terukur pada Unit SE 4 dan SE 5 diketahui bahwa fluida *steam* yang dihasilkan lebih sedikit untuk aktual MW pada

SE lebih besar dibandingkan Unit SE lainnya. Adapun kondisi aktual *Annubar flowmeter* yang terpasang di Pad A lapangan SMGP pada *outlet* HP Separator A adalah sebagai berikut:



Gambar 4.11 *Annubar flowmeter* yang digunakan sumur A-265/267 pada *output* HP Separator C (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2021)

Data aktual *Annubar tube* di lapangan SMGP yang terbatas mengakibatkan evaluasi lebih terperinci menjadi sulit dilakukan. Hal ini disebabkan manufaktur yang tidak dapat memberikan secara lengkap spesifikasi alat ukur yang telah mereka rekomendasikan. Namun, berdasarkan data hasil laju aliran massa fluida *steam* yang dihasilkan oleh sinyal *output Annubar flowmeter* dapat diketahui ada perbedaan terhadap MW yang terukur saat ini. Maka, data aktual umum yang seharusnya dimiliki oleh *Annubar flowmeter* untuk mendapatkan hasil yang tepat sesuai MW yang terukur di lapangan SMGP saat ini adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 Data Umum Penggunaan *Annubar Flowmeter*

<i>Operating Pressure</i>	<i>Up to 4000 psi</i>
<i>Operating Temperature</i>	<i>Up to 454 °C</i>
<i>Reynold Numbers</i>	$2 \times 10^4 \leq \text{ReD} \leq 5 \times 10^4$

Sumber: Liptak (2003)

Kelemahan *Annubar flowmeter* adalah upaya dalam mengurangi pengaruh ReD pada nilai K . Nilai ΔP yang tinggi antara *upstream* dan *port* pada perangkat sangat diperlukan, sehingga akurasi dari *Annubar flowmeter* dapat diperoleh

diseluruh sensor yang dipasang. Namun, manufaktur harus menentukan semua kondisi penempatan dari perangkat di sepanjang aliran. Manufaktur menyediakan desain tabungnya sendiri yang dilindungi hak paten tetapi belum terstandarisasi. Selain itu, *Annubar flowmeter* juga sangat sensitif terhadap gangguan dari profil kecepatan aliran dalam pipa. Jadi, pemanfaatan kondisi pemasangan digunakan sebagai rekomendasi di beberapa industri saat ini. Sementara itu, persyaratan *Straight-run requirements* di sebagian besar manufaktur tidak diatur secara ketat pada standar penggunaan perangkat *Differential pressure flowmeter*. Oleh karena itu, di setiap kasus memerlukan pertimbangan yang kompleks dengan begitu banyak kombinasi yang dapat mempengaruhi *flow coefficient* aliran.

Evaluasi pada *Orifice flowmeter* yang digunakan di lapangan SMGP sebagai *brine flow meter* juga telah dilakukan, untuk menentukan jumlah total *brine* yang dihasilkan oleh sinyal *output* alat yang terpasang. Pad A lapangan SMGP menggunakan sistem ORC, yaitu pemanfaatan *brine* kembali sehingga diperoleh fluida kerja sebagai pembangkit turbin untuk menghasilkan listrik. Oleh karena itu, evaluasi sebagai efisiensi pemanfaatan dari *brine* sesuai dengan yang diharapkan perlu untuk dilakukan. Adapun kondisi aktual *Orifice flowmeter* yang terpasang di Pad A lapangan SMGP pada *outlet HP Separator A, B dan C* adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12 *Orifice flowmeter* yang digunakan sumur A-261/263 pada *output HP Separator A* (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2021)



Gambar 4.13 Orifice flowmeter yang digunakan sumur A-264 pada output HP Separator B (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2021)

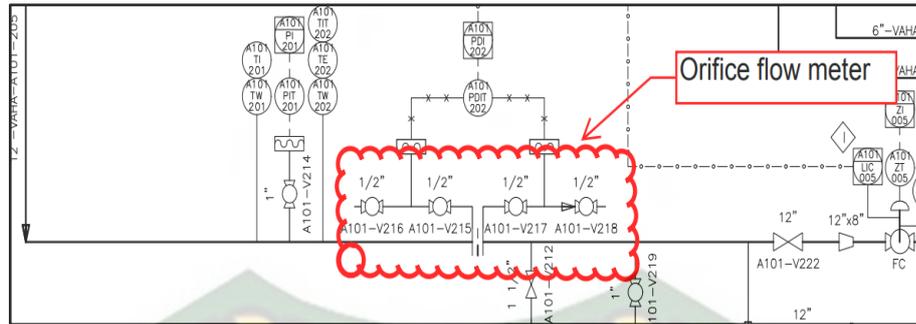
Berdasarkan *Straight-run requirements* untuk pemasangan *Orifice flowmeter* di *brine outlet* HP Separator A dan B terhadap standar pemasangan alat ukur jenis *Differential pressure flowmeter*, kondisi aktualnya yang terpasang adalah output HP Separator A dan B panjang *upstream* yang terpasang adalah 2.074 m.

Tabel 4.7 Orifice Flowmeter Output HP Separator A and B Data

<i>Input Data</i>						
Parameter	d (inch)	D (inch)	ρ (kg/m³)	Δp (KPa)	μ (mPa.s)	β
<i>Orifice flowmeter A</i>	7	11.938	-	5.95	-	0.6
<i>Orifice flowmeter B</i>	8.5	11.938	-	12.67	-	0.7

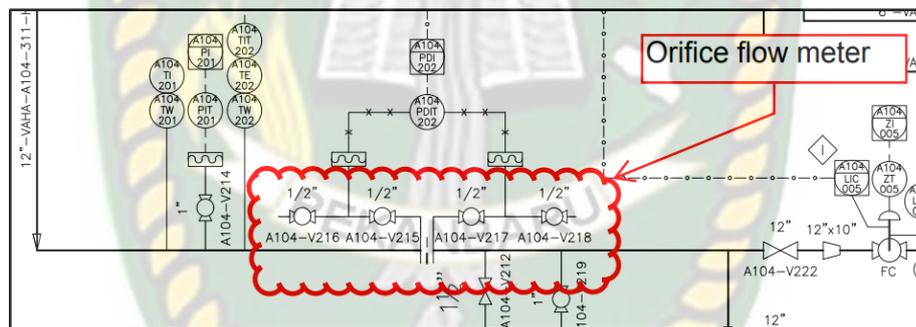
Sumber: Data Aktual Lapangan Uni I PT. SMGP (2021)

Persyaratan umum instalasi *Orifice flowmeter* yang diatur oleh BS EN ISO 5167, Part 2: 2003 tanpa menggunakan *Flow conditioner* untuk rasio 0.6β pada kondisi lapangan SMGP adalah 42D di *upstream Orifice plate* A-261/263. Adapun P&ID *flow sheet* A-261/263 Pad A lapangan SMGP adalah sebagai berikut:



Gambar 4.14 Piping and Instrument Diagram Flow Sheet A-261/263 (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2018)

Sedangkan rekomendasi *Straight-length orifice flowmeter* yang diatur oleh BS EN ISO 5167, Part 2: 2003 tanpa menggunakan *Flow conditioner* untuk rasio 0.7β pada kondisi lapangan SMGP adalah sama $44D$ di *upstream Orifice flowmeter* A-264. Adapun P&ID *flow sheet* A-264 Pad A lapangan SMGP adalah sebagai berikut:



Gambar 4.15 Piping and Instrument Diagram Flow Sheet A-264 (Aktual Lapangan Unit I PT. SMGP, 2018)

Berdasarkan persyaratan umum instalasi *Straight-run requirements* dengan aktual yang ada di lapangan SMGP tidak termasuk dalam kategori yang direkomendasikan karena jumlah *straight length* yang tidak mencukupi jumlah yang direkomendasikan. Maka, yang sesuai dengan BS EN ISO 5167, Part 2: 2003 untuk menentukan jumlah aliran massa fluida *brine* yang dihasilkan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Permasalahan yang ditemukan pada alat ukur fluida *steam* dan *brine* yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power yaitu adanya perbedaan total hasil *steam* yang terukur dengan total *steam* yang dihasilkan dari ketiga *output* HP Separator, yaitu:
 - a. *Output* HP Separator A menghasilkan total *steam* 74.63 ton/hr sedangkan total hasil *steam* yang terukur 59.45 ton/hr.
 - b. *Output* HP Separator B menghasilkan total *steam* 77.40 ton/hr sedangkan total hasil *steam* yang terukur 66.54 ton/hr.
 - c. *Output* HP Separator C menghasilkan total *steam* 55.57 ton/hr sedangkan total hasil *steam* yang terukur 137.37 ton/hr.

Berdasarkan pemetaan permasalahan tersebut beda total *steam* (MW) yang terukur di Unit SE dengan total *steam calculation* yang dihasilkan setiap *output* HP Separator menggunakan *Venturi flowmeter* dan *Annubar flowmeter* sebanyak 55.76 ton/hr. Selain itu, penggunaan sistem ORC yaitu pemanfaatan *brine* kembali sebagai fluida kerja dicurigai mengalami permasalahan di bagian letak alat ukur yang terpasang tidak memenuhi standar pemasangan perangkat *Differential pressure flowmeter* yang digunakan di industri.

2. Evaluasi terhadap akurasi alat ukur fluida yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power untuk mengukur laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* menggunakan standar pengukuran *mass flow rate* jenis perangkat *Differential pressure flowmeter* menunjukkan:
 - a. *Venturi flowmeter* pada Separator A menghasilkan total laju aliran massa fluida *steam* 61.45 ton/hr, yang berbanding terbalik dengan yang dihasilkan Separator B dengan total *steam* 138.28 ton/hr.

- b. *Venturi flowmeter* di *Separator B* dilakukan evaluasi lanjutan lagi dengan mempertimbangkan nilai Δp , dan total laju aliran massa fluida *steam* yang dihasilkan 70.60 ton/hr.
 - c. *Venturi flowmeter* yang terpasang aktual dapat dikatakan tidak terbaca akurat dan berdasarkan evaluasi menggunakan formula persamaan (1), laju aliran massa fluida *steam* dari evaluasi mendekati yang terukur pada Unit SE 2-3 sebagai perbandingan hasil dengan akurasi sebesar 89%.
 - d. *Annubar Flowmeter* yang terpasang tidak dapat dilakukan evaluasi secara terperinci sebab spesifikasi alat ukur yang manufaktur rekomendasikan tidak dapat diperoleh terkendala hak paten yang mereka miliki, namun berdasarkan pemetaan permasalahan yang ditemukan, indikasi *inaccuracy* pengukuran fluida *steam* telah diketahui. Alat ukur *Annubar tube* tidak terstandarisasi sehingga pemanfaatan pemasangan digunakan sebagai rekomendasi penggunaan, sedangkan persyaratan *Straight-run requirements* disebagian besar manufaktur tidak diatur secara ketat pada standar perangkat penggunaan *Differential pressure flowmeter*.
 - e. *Orifice Flowmeter* yang terpasang aktual di lapangan SMGP terindikasi akan mengalami permasalahan pengukuran laju aliran massa fluida *brine* dengan *straight-run requirements* yang tidak termasuk dalam standar industri menggunakan perangkat *Differential pressure flowmeter* BS EN ISO 5167, Part 2: 2003.
3. Rekomendasi perbaikan pada sistem pengukuran fluida *steam* dan *brine* yang terpasang pada Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power berdasarkan hasil evaluasi permasalahan yang ditemukan antara lain:
- a. Kalibrasi fluida mengalir terhadap *Venturi flowmeter* sebaiknya perlu dilakukan, karena terindikasi kepatuhan terhadap perangkat penggunaan *Differential pressure flowmeter* tidak sesuai.
 - b. Selanjutnya, pemantauan terhadap *pressure tapping* di *Venturi flowmeter* yang terpasang perlu dilakukan evaluasi kembali sesuai

dengan syarat BS EN ISO 5167, Part 4: 2003 untuk pemasangan yang akurat.

- c. Pemilihan jenis perangkat yang tepat juga menjadi poin utama, karena perawatan yang diperlukan tidak menjadi lebih besar dibandingkan dengan tahap awal pemilihan perangkat yang akan dipilih untuk digunakan.
- d. Evaluasi *metering* terhadap *straight-run requirements* yang terpasang di *Orifice flowmeter* sangat direkomendasikan untuk dilakukan jika memang perangkat yang terpasang merupakan perangkat yang direkomendasikan untuk digunakan di posisi yang diinginkan tersebut.

5.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, adapun saran untuk *future research opportunities* yang dapat diberikan adalah melakukan tahapan evaluasi lanjutan terhadap laju aliran massa fluida *steam* dan *brine* yang terpasang di Pembangkit Unit I Lapangan Panas Bumi PT. Sorik Marapi Geothermal Power menggunakan teknik eksperimental CFD (*Computational Fluid Dynamic*), karena jenis perangkat *Differential pressure flowmeter* sangat terpengaruh oleh profil aliran dan geometri alat ukur, sehingga penyebab adanya perbedaan total *steam* dan *straight-run requirements* yang akurat dapat diketahui secara lebih rinci dan jelas.

DAFTAR PUSTAKA

- Aichouni, M., Retiel, N., Nehari, D., Laribi, B., Houat, S., & Benchicou, S. (2000). Experimental Investigation of The Installation Effects on The Venturi Flowmeter Performance. *American Society of Mechanical Engineers, Fluids Engineering Division (Publication) FED*, 251(December 2014), 281–285.
- Andika, R. T., Martasari, R. D., & M. Arifiyanto, D. (2017). *Perhitungan Laju Aliran Cairan pada Sumur Panas Bumi dengan Metode Orifice Plate pada Sumur “HCE - XY” Lapangan “Z.”* 1(1), 15–23.
- Basu, S., & Debnath, A. (2014). *Power Plant Instrumentation and Control Handbook: A Guide to Thermal Power Plants* (Vol. 10).
- Beck, S. B. M., & Mazille, J. (2002). A study of a pressure differential flow meter that is insensitive to inlet conditions. *Flow Measurement and Instrumentation*, 12(5), 379–384.
- Bird, J. O., & Chivers, P. J. (1993). Measurement of Fluid Flow. In *Newnes Engineering and Physical Science Pocket Book* (hal. 370–381).
- BSI : Section 1.1. (1992). *Measurement of Fluid Flow in Closed Conduits*. United Kingdom: British Standard Institution.
- Carver, C., & Hidayat, R. (2020). *The Fluid Geochemistry of the Sorik Marapi Geothermal Reservoir*. 44.
- Dandan, N., Lijun, S., & Liming, Z. (2012). Research of Intelligent Integrated Averaging Pitot tube Flowmeter. *Advanced Materials Research*, 588–589, 672–675.
- DiPippo, R. (2016). Geothermal Power Plants. In *Comprehensive Renewable Energy* (Vol. 4).
- Fletcher, S. I., Nicholson, I. G., & Smith, D. J. M. (2000). An investigation into the effects of installation on the performance of insertion flowmeters. *Flow Measurement and Instrumentation*, 11(1), 19–39.
- Furness, R. (2001). Flow Measurement Handbook. In *Flow Measurement and*

Instrumentation (Vol. 12).

Helbig, S., & Zarrouk, S. J. (2012). Measuring Two-Phase Flow in Geothermal Pipelines using Sharp Edge Orifice Plates. *Geothermics*, 44, 52–64.

Hidayat, R., Ridha, H., & Vicky, C. (2019). *An Overview of Geochemistry in Sorik Marapi Geothermal Field*. 1–6.

ISO 5167-1. *Measurement of Fluid Flow by Means of Pressure Differential Devices*. , 1998 § (2015).

Kajugus, S. I., Axelsson, G., & Halldórsdóttir, S. (2015). Geothermal Reservoir Evaluation using Well Testing and Analytical Modelling - Case Example: Reykjanes geothermal system, SW Iceland. *Engineering and Natural Sciences, Master The(2)*, 53.

Liptak, B. G. (2003). *Instrument Engineer's Handbook* (4 ed.). Boca Raton, London, Newyork, Washington, D.C.

Melysa, R., & Fitrianti. (2015). Analisis Potensi Daya Listrik Pada Sumur Produksi Panas Bumi Dengan Menggunakan Metode Back Pressure Pada Unit XY. *Journal of Earth Energy Engineering*, 4(2), 30–77.

Miller, R. W. (1983). *Flow Measurement Engineering Handbook* (3 ed.; M. Hill, ed.). A Division of The McGraw Hill Companies.

Moosa, M., & Hekmat, M. H. (2019). Numerical investigation of turbulence characteristics and upstream disturbance of flow through standard and multi-hole orifice flowmeters. *Flow Measurement and Instrumentation*, 65, 203–218.

Oliveira, J. L. G., Passos, J. C., Verschaeren, R., & Geld, C. van der. (2009). Mass Flow Rate Measurements in Gas-Liquid Flows by Means of a Venturi or Orifice Plate Coupled to a Void Fraction Sensor. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(2), 253–260.

Qomarullah, M. (2014). Lingkungan Dalam Kajian Al-Qur`an: Krisis Lingkungan dan Penanggulangannya Perspektif Al-Qur`an. *Jurnal Studi Ilmu-ilmu Al-*

Qur'an dan Hadits, 15(1), 135.

- Reader-Harris, M. (2015). Orifice Plates and Venturi Tubes. In *Bs 1042-1*.
- Sagala, B. D., Chandra, V. R., & Purba, D. P. (2016). Conceptual Model of Sorik Marapi Geothermal System Based on 3-G Data Interpretation. *Proceedings of IIGCE 2016*, (February), 1–8.
- Saptadji, N. M. (2018). *Teknik Geothermal* (1 ed.; Heru Berian Pratama & Feri Anugrah, ed.). Bandung: ITB Press.
- Sarmiento, Z. F., Bjornsson, G., Licup, A. C., Esberto, M. B., Indra, T., & Baltasar, A. S. J. (2017). Update on the Exploration and Development Drilling at the Sorik Marapi Geothermal Field, North Sumatra, Indonesia. *Proceedings The 5th Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2017*, (Earth Science), 1–8.
- Sediva, S., & Uher, M. (2012). Analysis of The Effect of Body Shape of Multiport Averaging Pitot tube on Permanent Pressure Loss using ANSYS/FLUENT. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 11(PART 1), 322–326.
- Seshadri, V., Gandhi, B. K., Singh, S. N., & Pandey, R. K. (2004). Analysis of The Effect of Body Shape on Annubar Factor using CFD. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 35(1), 25–32.
- Sölken, W. (2012a). Pipe Flow Measurement - Orifice Plates. Diambil dari Explore The World Piping website: [http:// www.wermac.org/ specials/orificeflowmeter.html](http://www.wermac.org/specials/orificeflowmeter.html)
- Sölken, W. (2012b). Pipe Flow Measurement - Venturi Flow Meter. Diambil dari Explore The World Piping website: [http://www.wermac.org/ specials/flownozzle.html](http://www.wermac.org/specials/flownozzle.html)
- Tukimin, A., Zuber, M., & Ahmad, K. A. (2016). CFD Analysis of Flow through Venturi Tube and its Discharge Coefficient. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 152(1).
- Zarrouk, S. J., & Mclean, K. (2019). *Geothermal Well Test Analysis : Fundamental*,

Applications and Advanced Techniques (1 ed.; Adamson Peter, Ed.). New Zealand: Katie Hammon.



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau