

PENINGKATAN SPESIFIKASI GAS PADA UNIT GAS WASH DRUM DENGAN MENURUNKAN KADAR HIDROGEN SULFIDA (H₂S)

Narendra Indika Irawan¹, Ikhlas Aulia Rahman¹, Rizka Zahrary¹, Tun Sriana^{1*}

¹Teknik Pengolahan Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jalan gajah mada No. 38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315

*E-mail: tun.sriana@gmail.com

ABSTRAK

Kualitas spesifikasi gas merupakan faktor utama yang menentukan harga jual di pasar energi. Salah satu parameter kritis dari kualitas spesifikasi gas adalah kandungan hidrogen sulfida (H₂S), karena konsentrasi H₂S yang tinggi tidak hanya menurunkan kualitas gas, tetapi juga menimbulkan risiko korosi peralatan dan masalah lingkungan. Studi ini bertujuan untuk meningkatkan spesifikasi gas dengan mengurangi kadar H₂S di unit drum pencucian gas melalui optimasi variabel aliran molar air di inlet. Metode penelitian menggunakan simulasi proses dengan perangkat lunak *Aspen HYSYS V14* dengan menggunakan model *fluid package* Peng-Robinson, di mana variasi laju aliran molar air dilakukan untuk mengevaluasi dampaknya terhadap efisiensi penyerapan H₂S. Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan laju aliran molar air dari 800 kmol/h menjadi 1100 kmol/jam memperbaiki proses penyerapan H₂S, di mana konsentrasi H₂S dalam gas keluaran berkurang dari 0,000549554 menjadi 0,000510637 (menurun sekitar 7,1%) hingga memenuhi standar spesifikasi (<4 ppm). Dengan mencapai standar yang ditetapkan, gas tidak hanya lebih aman untuk distribusi dan penggunaan, tetapi juga memiliki nilai jual yang lebih tinggi sesuai dengan standar komersial industri energi. Penelitian ini membuktikan bahwa mengoptimalkan kondisi operasi drum pencucian gas dapat menjadi strategi teknis dan ekonomi untuk meningkatkan daya saing produk gas kilang.

Kata kunci: *Gas wash drum*, H₂S, Spesifikasi gas, Aspen HYSYS, *molar flow water*, optimasi ekonomi

1. PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas memiliki peran yang sangat penting dalam penyediaan energi dan mendorong pertumbuhan ekonomi nasional [1]. Sektor ini tidak hanya menghasilkan bahan bakar untuk transportasi dan pembangkit listrik, tetapi juga memasok bahan baku penting bagi berbagai industri seperti petrokimia dan manufaktur. Salah satu produk utamanya adalah gas alam, yang digunakan secara luas sebagai sumber energi bersih, efisien, dan ramah lingkungan [2].

Kualitas gas alam menjadi salah satu faktor utama yang menentukan nilai jualnya di pasar energi dunia. Gas dengan kemurnian tinggi memiliki nilai kalor yang besar dan efisiensi pembakaran yang baik. Sebaliknya, keberadaan senyawa pengotor seperti karbon dioksida (CO₂), nitrogen (N₂), air, dan terutama hidrogen sulfida (H₂S) dapat menurunkan mutu gas, menyebabkan korosi pada peralatan proses, serta menimbulkan risiko terhadap kesehatan dan lingkungan [3].

Hidrogen sulfida (H₂S) merupakan gas beracun yang tidak berwarna, mudah terbakar, dan memiliki bau khas seperti telur busuk. Gas ini terbentuk dari dekomposisi bahan organik yang mengandung sulfur dalam kondisi tanpa oksigen, serta dapat muncul sebagai hasil samping dari proses pengolahan minyak dan gas bumi [4]. Dalam gas alam, H₂S tergolong *acid gas* karena bersifat asam ketika larut dalam air dan mampu mempercepat proses korosi pada peralatan logam. Paparan gas ini pada konsentrasi rendah dapat menyebabkan iritasi pada mata dan

saluran pernapasan, sedangkan pada konsentrasi tinggi bersifat fatal bagi manusia dan lingkungan [5].

Untuk menjamin mutu dan keamanan produk, lembaga keselamatan seperti OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) menetapkan batas aman paparan H_2S di lingkungan kerja sebesar 10 ppm, sedangkan untuk gas alam komersial kadar maksimum yang diperbolehkan adalah 4 ppm. Gas yang melebihi batas tersebut dianggap tidak memenuhi standar penjualan dan berpotensi menurunkan nilai ekonominya. Oleh karena itu, pengendalian kadar H_2S menjadi hal yang sangat penting dalam menjaga kualitas produk, keandalan peralatan, dan keselamatan operasional [6].

Salah satu unit yang digunakan untuk mengurangi kadar H_2S adalah *Gas Wash Drum*, yaitu peralatan yang berfungsi menurunkan kandungan H_2S melalui proses pencucian (*gas washing*) dengan air demineralisasi [7]. Prinsip kerjanya didasarkan pada kontak langsung antara fase gas dan cair, sehingga molekul H_2S dapat berpindah dari gas ke cairan. Efisiensi proses ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekanan, suhu, waktu kontak, dan laju alir molar air. Pengaturan kondisi operasi yang tepat memungkinkan *Gas Wash Drum* menurunkan kadar H_2S hingga di bawah 4 ppm tanpa mengurangi kandungan metana (CH_4) sebagai komponen utama gas alam [8].

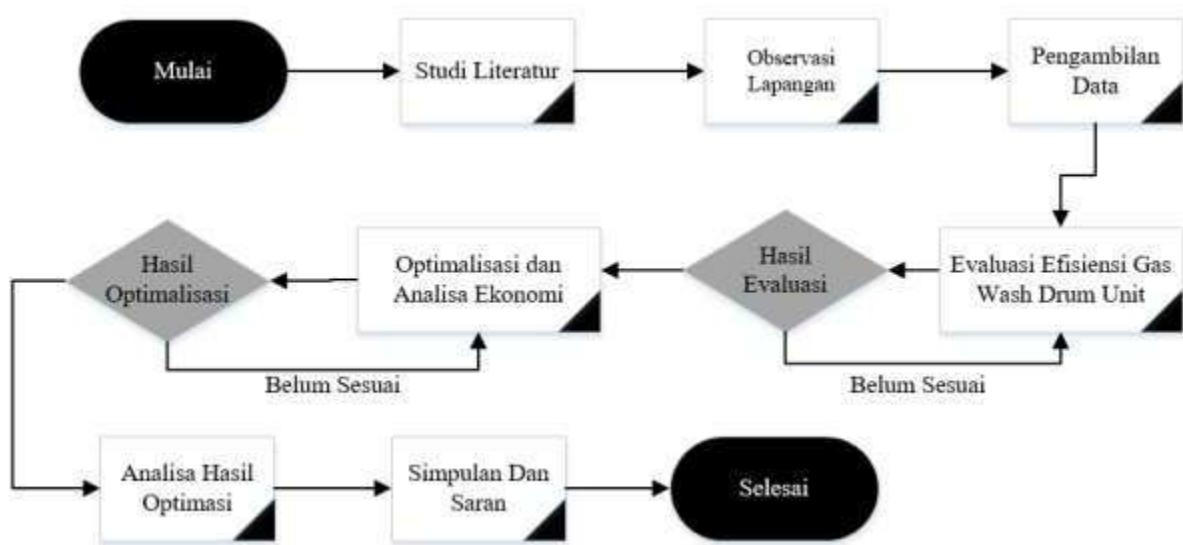
Dalam praktiknya, operasi *Gas Wash Drum* sering kali belum optimal karena pengaturan laju alir air yang kurang sesuai. Jika laju air terlalu rendah, kontak antar fase gas-cair menjadi tidak efektif sehingga penyerapan H_2S tidak maksimal. Sebaliknya, jika laju air terlalu tinggi, sebagian komponen hidrokarbon ringan dapat ikut terbawa air dan meningkatkan beban pada proses pemisahan berikutnya. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan berbasis simulasi proses untuk menentukan kondisi operasi yang paling efisien dan ekonomis [9].

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan Aspen HYSYS V14 dengan model *fluid package Peng-Robinson*. Pemilihan Aspen Hysys yang merupakan perangkat lunak didasarkan pada simulasi proses yang banyak digunakan di industri minyak dan gas untuk memodelkan, menganalisis, serta mengoptimalkan sistem pemrosesan fluida. Dalam simulasi ini akan dilakukan beberapa variasi perubahan laju alir molar air pada aliran masuk guna menganalisis pengaruhnya terhadap efisiensi penyerapan H_2S dan kualitas gas keluaran [10]. Selain itu, penelitian ini juga meninjau aspek ekonomi untuk menilai kelayakan penerapan kondisi optimal di skala industri. Analisis meliputi perbandingan biaya operasional tambahan, konsumsi air, serta potensi peningkatan nilai jual gas akibat perbaikan spesifikasi produk [11].

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi industri minyak dan gas dalam mengoptimalkan unit pemurnian gas, khususnya *Gas Wash Drum*. Pengaturan variabel operasi yang tepat diharapkan dapat berperan penting dalam menjaga keseimbangan antara efisiensi teknis dan keuntungan ekonomi. Selain itu diharapkan proses pemurnian gas dapat berjalan lebih efisien, aman, dan berkelanjutan, sekaligus mendukung peningkatan daya saing produk gas alam Indonesia di pasar energi global [12].

2. METODE

Metodologi penelitian ini dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1. Tahapan penelitian dimulai dari studi literatur hingga analisis hasil optimasi dan penarikan kesimpulan. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis untuk memperoleh hasil optimasi yang valid terhadap efisiensi unit *gas wash drum* dalam menurunkan kadar H_2S .



Gambar 1. Diagram alir metodologi penelitian

Tahapan awal penelitian ini diawali dengan studi literatur yang bertujuan untuk memperoleh pemahaman teoritis mengenai proses pemurnian gas, karakteristik hidrogen sulfida (H_2S), serta prinsip kerja gas wash drum unit. Literatur yang digunakan meliputi jurnal ilmiah, buku teks, dan standar industri yang berkaitan dengan batas kadar H_2S pada gas (<4 ppm). Selain itu, penelitian terdahulu yang membahas pengaruh laju alir molar air terhadap efisiensi absorpsi H_2S juga dikaji untuk memperkuat dasar teori penelitian.

Selanjutnya dilakukan observasi lapangan di unit gas wash drum untuk memperoleh gambaran aktual mengenai kondisi operasi serta parameter-parameter yang mempengaruhi proses pemisahan gas. Data operasional seperti tekanan, temperatur, komposisi gas umpan, dan laju alir air dicatat sebagai data masukan (input data) untuk simulasi proses. Tahapan ini juga mencakup verifikasi terhadap validitas alat ukur serta kesesuaian kondisi aktual di plant agar hasil simulasi dapat merepresentasikan keadaan sebenarnya. Data lapangan yang telah diperoleh kemudian digunakan untuk membangun model simulasi menggunakan perangkat lunak Aspen HYSYS. Simulasi ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi unit gas wash drum terhadap kemampuan menyerap H_2S dari gas umpan. Dengan memasukkan data operasi aktual, dilakukan perhitungan terhadap komposisi gas keluaran untuk menilai apakah efisiensi unit telah memenuhi spesifikasi yang diharapkan (<4 ppm). Apabila hasil evaluasi menunjukkan kinerja yang belum optimal, maka dilakukan tahap selanjutnya berupa proses optimasi.

Tahap optimasi dilakukan dengan memvariasikan laju alir molar air (molar flow of water) pada aliran masuk (inlet). Setiap variasi nilai diuji melalui simulasi hingga diperoleh kondisi operasi yang menghasilkan kadar H_2S minimum pada gas keluaran. Selama proses ini, beberapa parameter seperti tekanan operasi, temperatur, dan komposisi gas umpan dijaga tetap konstan. Hasil dari proses optimasi kemudian dibandingkan dengan kondisi awal untuk mengetahui sejauh mana peningkatan efisiensi proses yang dicapai. Setelah kondisi optimal diperoleh, dilakukan analisis terhadap perubahan efisiensi penyerapan H_2S serta peningkatan kualitas gas hasil keluaran. Analisis ini disajikan dalam bentuk tabel dan grafik yang menggambarkan hubungan antara laju alir molar air dan kadar H_2S . Selain itu, pembahasan teknis dilakukan untuk menjelaskan fenomena perpindahan massa dan keseimbangan fase yang terjadi selama proses absorpsi, sehingga hasil optimasi dapat dipahami secara ilmiah.

Tahapan berikutnya adalah analisis ekonomi yang bertujuan menilai kelayakan penerapan kondisi operasi optimal pada skala industri. Aspek yang dihitung mencakup kebutuhan tambahan air, konsumsi energi, biaya operasi, serta potensi peningkatan nilai jual gas akibat menurunnya kadar H₂S. Melalui analisis ini dapat ditentukan apakah skenario optimasi layak diterapkan secara komersial dan menguntungkan bagi operasi plant. Selanjutnya, untuk menilai potensi peningkatan nilai jual gas akibat penurunan kadar H₂S, perhitungan harga jual gas dilakukan berdasarkan aliran molar gas dan fraksi mol komponen-komponen gas yang ada. Rumus yang digunakan untuk menghitung harga jual gas adalah sebagai berikut:

$$\text{Gas Selling Price} = \sum(P_{\text{unit}} \times \text{Molar Flow} \times \text{Mole Fraction}) \quad (1)$$

Di mana:

- *Punit* adalah harga dasar per unit untuk masing-masing komponen gas (misalnya, C1 atau H₂S), yang umumnya diberikan dalam bentuk harga per mol atau per kgmol.
- *Molar Flow* adalah aliran molar gas dalam satuan kgmol/h, yang mengindikasikan jumlah gas yang mengalir melalui sistem per satuan waktu.
- *Mole Fraction* adalah fraksi mol dari masing-masing komponen gas (seperti H₂S, C1) dalam campuran gas. Fraksi mol ini menggambarkan proporsi tiap komponen dalam gas yang dihasilkan.

Dengan menggunakan rumus ini, setiap komponen gas yang dipisahkan dalam proses optimasi dapat dihitung kontribusinya terhadap harga jual gas secara keseluruhan. Potensi pengurangan kadar H₂S di dalam gas yang dijual dapat meningkatkan nilai jual, mengingat harga C1 yang lebih tinggi dibandingkan dengan H₂S. Analisis ekonomi ini memungkinkan untuk memperkirakan apakah skenario optimasi akan memberikan manfaat ekonomi yang signifikan dengan mempertimbangkan biaya operasional dan potensi peningkatan pendapatan dari penurunan kadar H₂S.

Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil evaluasi dan optimasi yang telah dilakukan. Kesimpulan ini mencakup efektivitas peningkatan efisiensi gas wash drum dalam menurunkan kadar H₂S serta dampaknya terhadap nilai ekonomi produk gas. Selain itu, diberikan pula saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, seperti pengujian variasi variabel operasi lainnya atau penerapan model pada unit gas wash drum serupa di fasilitas berbeda.

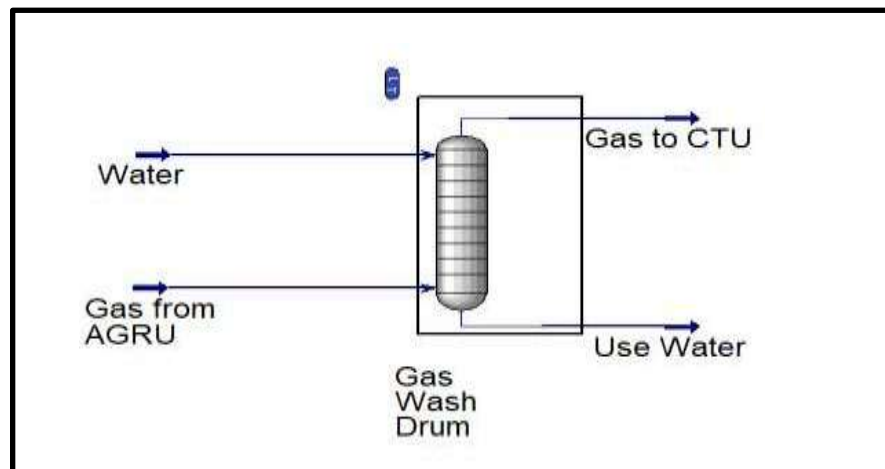
3. PEMBAHASAN

A. Parameter Pengukuran

Untuk mengukur keberhasilan, keakuratan dan reliabilitas pada program simulasi yang digunakan dalam penelitian ini perlu dilakukan perbandingan pengaruh laju *flowrate* dengan jumlah kadar H₂S yang terikat. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat dan mengkonfirmasi bahwa model simulasi yang dibuat mampu mereplikasi kondisi nyata sesuai dengan spesifikasi awal dan menentukan proses yang paling optimal.

Metode perbandingan yang dipilih untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan membandingkan secara langsung pengaruh jumlah demin *water* yang digunakan dengan banyaknya gas H₂S yang terikat pada gas outlet absorber dan pengaruhnya terhadap harga gas untuk setiap satuan MMSCFD dan nantinya bisa diukur nilai ekonomi yang paling tinggi. Detail

aliran proses pada *gas wash drum* dengan menggunakan Aspen HYSYS ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi *Gas Wash Drum* Pada Aspen Hysys

B. Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil pengamatan yang dilakukan terhadap hubungan antara *flowrate demine water* pada unit *gas wash drum* dengan kandungan Hidrogen Sulfida (H_2S) dan harga jual gas. Hasil yang diperoleh menunjukkan adanya pengaruh yang cukup signifikan terhadap kualitas gas yang dihasilkan serta kenaikan dari segi nilai ekonomi. Unit *gas wash drum* berfungsi sebagai salah satu tahap penting dalam proses pemurnian gas alam yang dimana air digunakan sebagai media pencuci untuk menyerap komponen impuritis asam seperti hidrogen sulfida (H_2S) yang bersifat korosif dan beracun. Semakin efektif proses pencucian tersebut maka akan semakin rendah kadar H_2S yang tersisa di dalam gas sehingga kualitas gas yang dihasilkan akan menjadi lebih murni dan harga jualnya akan meningkat. Akan tetapi tetap harus diperhatikan jumlah *flowrate demin water* yang akan digunakan karena jika terlalu banyak justru akan mengikat kadar C_1 terlalu banyak dan justru akan menurunkan harga jualnya. Perbandingan antara *flowrate demin water* pada kadungan H_2S dan methane disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan *Flowrate Demin Water* Pada Kandungan H_2S dan Methane

<i>Water to Gas Wash Drum</i>	<i>Gas from AGRU-2</i>		<i>Gas to CTU</i>		
<i>Molar Flow (Kgmole/h)</i>	<i>Mole Fraction H_2S</i>	<i>Mole Fraction C_1</i>	<i>Mole Fraction H_2S</i>	<i>Mole Fraction C_1</i>	
1500	0,000950048	0,878309325	0,000478492	0,888077294	
1400	0,000950048	0,878309325	0,000486991	0,888071997	
1300	0,000950048	0,878309325	0,000495307	0,888069501	
1200	0,000950048	0,878309325	0,000506313	0,888031344	
1100	0,000950048	0,878309325	0,000510637	0,888023355	<i>Optimal Water Amount</i>
1000	0,000950048	0,878309325	0,000526236	0,888009311	
900	0,000950048	0,878309325	0,000534253	0,888004575	
800	0,000950048	0,878309325	0,000549554	0,88797223	<i>Initial Water Amount</i>
700	0,000950048	0,878309325	0,000557934	0,887966263	
600	0,000950048	0,878309325	0,000575289	0,887957086	
500	0,000950048	0,878309325	0,000589749	0,88794732	

Pada kondisi awal, *gas wash drum* dengan *flowrate demine water* sebesar 800 kgmole/jam, kadar fraksi H_2S pada gas yang terperangkap tercatat sebesar 0,001426406 dari total keseluruhan fraksi pada gas yang terperangkap *demine water*, sedangkan pada gas yang keluar menuju unit *Caustic Treating Unit* (CTU) sebesar 0,000549554 dari total keseluruhan fraksi gas. Nilai ini menunjukkan bahwa sebagian besar H_2S memang telah berhasil diserap, tetapi masih terdapat kandungan yang relatif tinggi yang menandakan bahwa proses pencucian belum berjalan pada tingkat efisiensi maksimum. Di sisi lain kadar (C_1) pada kondisi ini sebesar 0,000533777 untuk gas yang terperangkap *demine water* dan 0,887972230 untuk gas ke CTU. Nilai metana yang tinggi menunjukkan bahwa komponen utama gas alam tetap dominan, namun masih dapat dioptimalkan lebih lanjut untuk memperoleh hasil gas yang lebih murni dan bernilai jual lebih tinggi.

Ketika laju alir air ditingkatkan menjadi 1100 kgmole/jam, terjadi perubahan yang cukup signifikan pada komposisi gas. *mole fraction* H_2S pada gas terperangkap menurun menjadi 0,001149583, sedangkan pada gas ke CTU turun menjadi 0,000510637. Penurunan kadar H_2S masing-masing sekitar 19,4% dan 7,1% dibandingkan kondisi awal. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan aliran air meningkatkan kemampuan sistem dalam menyerap dan menghilangkan gas H_2S dari aliran utama gas alam. Mekanisme ini dapat dijelaskan melalui peningkatan luas kontak antara fase gas dan fase cair di dalam *gas wash drum* yang memperbesar peluang molekul H_2S untuk larut dalam air. Semakin besar laju alir air, semakin banyak molekul H_2S yang dapat terikat dan dikeluarkan dari sistem, sehingga gas yang diteruskan ke unit berikutnya menjadi lebih bersih.

Dari sisi kualitas gas, penurunan kadar H_2S ini sangat menguntungkan. H_2S merupakan senyawa yang tidak hanya menurunkan nilai kalor gas, tetapi juga menyebabkan korosi berat pada peralatan logam dan pipa penyalur gas. Dengan berkurangnya kandungan H_2S , risiko kerusakan peralatan dapat ditekan, umur pakai peralatan meningkat, serta biaya perawatan dapat berkurang secara signifikan. Selain itu, gas yang memiliki kadar H_2S lebih rendah akan lebih mudah memenuhi standar penjualan internasional seperti spesifikasi yang ditetapkan oleh kontrak *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan pasar ekspor lainnya.

Tabel 2 - Perbandingan Harga Gas

<i>Water to Gas Wash Drum</i>	<i>Trapped Gas</i>		<i>Gas Selling Price</i>	
<i>Molar Flow (Kgmole/h)</i>	<i>Mole Fraction H_2S</i>	<i>Mole Fraction C_1</i>	<i>(\$/MMSCFD)</i>	
1500	0,000908972	0,000481819	\$ 6,344490100	
1400	0,000954952	0,000486147	\$ 6,341727925	
1300	0,001007460	0,000491125	\$ 6,339025225	
1200	0,001069497	0,000496909	\$ 6,335448275	
1100	0,001149583	0,000503706	\$ 6,334042975	<i>Optimal Water Amount</i>
1000	0,001212935	0,000511673	\$ 6,329168300	
900	0,001308383	0,000521544	\$ 6,326367775	
800	0,001426406	0,000533777	\$ 6,321394950	<i>Initial Water Amount</i>
700	0,001585015	0,000549323	\$ 6,318671450	
600	0,001774568	0,000569687	\$ 6,313031075	
500	0,001992759	0,000597680	\$ 6,308331575	

Dampak positif lain dari peningkatan laju alir air adalah meningkatnya harga jual gas. Berdasarkan hasil perhitungan, pada kondisi awal (800 kgmole/jam), harga jual gas tercatat sebesar 6,321394950 \$/MMSCFD. Setelah laju alir air dinaikkan menjadi 1100 kgmole/jam, harga gas meningkat menjadi 6,334042975 \$/MMSCFD atau terjadi kenaikan sekitar 0,20%. Meskipun secara numerik kenaikan ini terlihat kecil, namun dalam skala industri migas yang beroperasi dengan volume produksi besar (ratusan juta kaki kubik per hari) perbedaan harga

tersebut dapat menghasilkan tambahan pendapatan yang cukup signifikan setiap harinya. Kenaikan harga ini secara langsung disebabkan oleh peningkatan kemurnian gas dan penurunan kandungan pengotor seperti H_2S yang menjadikan gas lebih bernilai di pasar.

Dari hasil observasi ini dapat disimpulkan bahwa laju alir air sebesar 1100 kgmole/jam merupakan kondisi operasi yang paling optimal bagi proses pencucian gas di unit *gas wash drum*. Pada titik *flowrate demine water* 1100 kgmole/jam kadar H_2S dapat ditekan secara efisien tanpa menyebabkan kehilangan komponen utama seperti metana yang berpengaruh terhadap nilai kalor gas. Selain itu peningkatan laju alir air yang berlebihan di atas nilai ini (misalnya 1200–1500 kgmole/jam) tidak menunjukkan peningkatan harga yang signifikan, bahkan dapat menyebabkan pemborosan air dan peningkatan beban kerja pada sistem pemisahan cair-gas berikutnya. Dengan demikian, 1100 kgmole/jam menjadi titik keseimbangan terbaik antara efisiensi teknis dan keuntungan dari segi ekonomi.

Secara keseluruhan peningkatan laju alir air terbukti mampu menurunkan kandungan H_2S , meningkatkan kualitas gas, serta menaikkan nilai jual gas yang dihasilkan. Hasil ini mengindikasikan bahwa pengaturan jumlah air pencuci pada *gas wash drum* adalah faktor yang sangat penting dalam desain dan operasi sistem pemurnian gas alam. Optimalisasi parameter ini tidak hanya memberikan dampak teknis berupa peningkatan efisiensi pemisahan tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan profitabilitas dan keberlanjutan operasi dalam jangka panjang. Oleh karena itu, pemantauan laju alir air secara berkala dan penyesuaian terhadap kondisi operasi aktual sangat disarankan untuk menjaga performa sistem agar tetap berada pada kondisi optimum dan pastinya tetap menjaga nilai profit dari segi ekonomi.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, peningkatan laju alir air pada unit *gas wash drum* terbukti berpengaruh signifikan terhadap penurunan kadar hidrogen sulfida (H_2S) dalam gas. Pada kondisi awal dengan laju alir 800 kgmole/jam, kadar H_2S pada gas keluaran sebesar 0,000549554, sedangkan setelah laju alir air ditingkatkan menjadi 1100 kgmole/jam, kadar H_2S turun menjadi 0,000510637 atau menurun sekitar 7,1%. Kondisi ini menunjukkan bahwa peningkatan laju alir air mampu meningkatkan efisiensi penyerapan H_2S tanpa mengurangi komponen utama seperti metana (CH_4) yang tetap tinggi sebesar 0,887972230. Dari sisi ekonomi, kenaikan kemurnian gas juga berdampak pada peningkatan harga jual dari 6,321394950 \$/MMSCFD menjadi 6,334042975 \$/MMSCFD, atau naik sekitar 0,20%. Oleh karena itu, laju alir air sebesar 1100 kgmole/jam merupakan kondisi operasi paling optimal karena mampu menurunkan kadar H_2S hingga di bawah batas spesifikasi (<4 ppm), meningkatkan kualitas gas, serta memberikan nilai tambah secara ekonomi. Optimasi ini dapat dijadikan acuan dalam pengaturan operasi *gas wash drum* agar proses pemurnian gas lebih efisien, aman, dan menguntungkan secara berkelanjutan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. De Guido, M. Pirozzi, dan M. F. Mores, "Acid Gas Removal from Natural Gas by Water Washing," *Chemical Engineering Transactions*, vol. 57, no. 1, pp. 1453–1458, Nov. 2017.
- [2] M. Miloud dan Z. Lounis, "The Simulation of Removal of Hydrogen Sulfide from Natural Gas by Aspen HYSYS," *Energy Procedia*, vol. 139, no. 1, pp. 466–471, Dec. 2017.
- [3] A. S. Farooqi, M. Asif, M. S. Khan, dan A. Khan, "Removal of Carbon Dioxide and Hydrogen Sulfide from Natural Gas Using a Hybrid Solvent of Monoethanolamine and N-Methyl-2-Pyrrolidone," *ACS Omega*, vol. 9, no. 8, pp. 7309–7320, Feb. 2024.
- [4] A. Pudi, R. Bhatia, dan V. K. Kothari, "Hydrogen Sulfide Capture and Removal Technologies: A Review," *Environmental Chemistry Letters*, vol. 20, no. 6, pp. 3137–3155, Jun. 2022.
- [5] F. J. Alguacil, "Recent Advances in H_2S Removal from Gas Streams," *Applied Sciences*, vol. 13,

- no. 5, pp. 3217–3235, May 2023.
- [6] M. A. Khodary dan Y. H. Farid, “Steady-State Numerical Simulation of Natural Gas Cleaning Process Using Aspen HYSYS,” *American Journal of Applied Chemistry*, vol. 9, no. 1, pp. 1–9, Mar. 2021.
 - [7] H. N. Moghadam, M. Rezaei, dan S. Khosravi, “Water Scrubbing for Removal of Hydrogen Sulfide in Biogas: Experimental and Simulation Studies,” *Renewable Energy*, vol. 181, no. 3, pp. 253–264, Jan. 2022.
 - [8] A. Georgiadis, D. Karanikolou, dan E. P. Favvas, “Removal of Hydrogen Sulfide from Various Industrial Gas Streams: A Review,” *Journal of Hazardous Materials Advances*, vol. 3, pp. 100–112, Oct. 2020.
 - [9] Aspen Technology, Inc., *Jump Start Guide: Acid Gas Cleaning in Aspen HYSYS®*, Burlington, MA, USA: AspenTech, Jan. 2018.
 - [10] M. Abdirakhimov, M. H. Al-Rashed, dan J. Wójcik, “Recent Attempts on the Removal of H₂S from Various Gas Mixtures Using Zeolites and Waste-Based Adsorbents,” *Energies*, vol. 15, no. 15, pp. 5391–5406, Jul. 2022.
 - [11] P. Singh, R. Kumar, and L. Sharma, “Modeling and Optimization of Acid Gas Removal Unit in Natural Gas Processing Using Aspen HYSYS,” *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, vol. 117, pp. 105–124, Apr. 2023.
 - [12] J. K. Tan, Y. L. Wong, and C. S. Lim, “Simulation and Techno-Economic Assessment of H₂S Removal from Natural Gas Using Physical Solvent Systems,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 197, pp. 341–353, Feb. 2024.