Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi, Vol. 58 No. 2, Agustus 2024 : 103-113
BALAI BESAR PENGUJIAN MINYAK DAN GAS BUMI
LEMIGAS
Journal Homepage: http://www.journal.lemigas.esdm.go.id
ISSN: 2089-3396 e-ISSN: 2598-0300 DOI.org/10.29017/LPMGB.58.2.1630

Perancangan Alat Desorpsi Gas pada Sampel Batuan Serpih Guna Pengukuran Volume Gas pada Skala Laboratorium

Dimas Ragil[1,2], Muhammad Abdul Muthofa[2], Wahyudi[2], Prawoto[2], Muh. Arif Mutakim[1], Eka Oktiviannysa[1], Nandang Tri Aji[1] dan Yogi Haryo Prakoso[1]

[1]Program Studi Logistik Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas
Jl. Gajah Mada No.38, Cepu, Blora, Jawa Tengah, 58315, Indonesia

[2]Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila
Srengseng Sawah, Jagakarsa, 12640, DKI Jakarta, Indonesia

Artikel Info:

Naskah Diterima:
15 Agustus 2024

Diterima setelah perbaikan:
26 Agustus 2024

Disetujui terbit:
28 Agustus 2024

Kata Kunci:
desorpsi gas
shale gas
stabilitas suhu
keseragaman suhu

ABSTRAK

Perancangan alat desorpsi gas pada sampel batuan serpih bertujuan mengukur volume gas di skala laboratorium serta mengatasi keterbatasan alat pemanas besar yang hanya dapat digunakan di laboratorium dan berisiko kebocoran gas saat transportasi. Alat pemanas berupa oven konvensional menunjukkan keseragaman suhu maksimal sebesar 6,6°C dan variasi suhu keseluruhan mencapai 8,9°C, hal ini tidak optimal untuk pengukuran yang akurat. Alat desorpsi gas pada penelitian ini dirancang lebih portabel untuk pengukuran langsung di lapangan, dengan sistem pemanasan yang lebih stabil, pengukur tekanan dan volume gas, serta perangkat pengendali suhu yang lebih akurat. Simulasi menunjukkan performa pemanasan yang lebih baik dengan suhu seragam dan stabil, dan menghasilkan variasi suhu maksimal hanya sebesar 0,437°C. Hasil ini memungkinkan alat desorpsi gas ini mengukur volume gas dengan optimal dan stabilitas suhu lebih baik dibandingkan oven konvensional. Pengembangan alat ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan dalam penelitian dan eksplorasi gas bumi, khususnya pemanfaatan sumber daya gas non-konvensional seperti shale gas, dengan data lebih akurat dan dapat diandalkan, mendukung pengambilan keputusan lebih tepat dalam industri minyak dan gas.

ABSTRACT

The The design of a gas desorption device for shale rock samples aims to measure gas volume at a laboratory scale and address the limitations of large heating equipment restricted to laboratory use, which poses a risk of gas leakage during transport. Conventional heating equipment, such as an oven, achieves a maximum temperature uniformity of 6.6°C and an overall temperature variation of 8.9°C, which is suboptimal for precise measurements. In this study, the gas desorption device is designed to be more portable for direct field measurements, with a more stable heating system, accurate gas pressure and volume gauges, and precise temperature control. Simulations demonstrate improved heating performance with uniform and stable temperatures, yielding a maximum temperature variation of only 0.437°C. This enhanced stability enables the device to measure gas volume optimally, offering better temperature stability compared

Korespondensi:
E-mail: dimas.ragil@esdm.go.id (Dimas Ragil)

to conventional ovens. The development of this device is expected to make a significant contribution to natural gas research and exploration, especially in the utilization of unconventional resources like shale gas, by providing more accurate and reliable data to support better decision-making in the oil and gas industry.

© LPMGB - 2024

PENDAHULUAN

Batuan serpih merupakan salah satu jenis batuan yang memiliki potensi besar sebagai sumber daya energi, terutama dalam konteks gas non-konvensional seperti shale gas (Li et al. 2024) (Ramli Taufik, Hermiyanto Z. M. Heri & Andy Setyo Wibowo 2019). Eksplorasi dan eksploitasi potensi shale gas memerlukan pemahaman mendalam terhadap kandungan gas yang terperangkap di dalam batuan tersebut (Zhao et al. 2024) (Junira & Wibowo 2016). Pengukuran volume gas dalam batuan serpih menjadi krusial dalam penelitian ini, karena informasi ini tidak hanya mempengaruhi estimasi cadangan gas, tetapi juga strategi ekstraksi yang efektif dan berkelanjutan.

Dalam konteks pengukuran volume gas pada batuan serpih, penggunaan alat desorpsi gas di laboratorium menjadi suatu keharusan untuk memastikan keakuratan dan reproduktibilitas data (Surya, Purna & Oktaviani 2022). Namun, masalah-masalah teknis seperti ketidakstabilan suhu dan keseragaman pemanasan pada alat pemanas yang digunakan dapat membatasi kemampuan untuk mendapatkan data yang konsisten dan akurat (Araújo et al. 2019). Oven , yang merupakan alat pemanas yang umum digunakan, seringkali tidak mampu menjaga suhu dengan baik selama proses desorpsi gas. Hal ini dapat, mengakibatkan hasil pengukuran yang tidak konsisten (Fradiana, Widati & Rosyidi 2022).

Dalam upaya untuk mengatasi tantangan initersebut, penelitian ini memfokuskan pada perancangan dan pengembangan sebuah alat desorpsi gas yang dirancang untuk meningkatkan stabilitas suhu dan keseragaman pemanasan (Vishal et al. 2022). Alat ini tidak hanya mengintegrasikan teknologi pengukuran, tetapi juga mempertimbangkan kemungkinan untuk melakukan pengukuran secara langsung di lapangan (Saghafi 2017). Dengan demikian, penggunaan alat ini memungkinkan untuk memperoleh data yang lebih akurat dan reliabel dalam skala laboratorium, serta memfasilitasi studi lapangan yang lebih efisien dan ekonomis (McGlade, Speirs & Sorrell 2013). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan metodologi pengukuran shale gas yang lebih canggih dan dapat diandalkan. Hasil-hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam eksplorasi sumber daya gas non-konvensional, khususnya dalam konteks shale gas (Shabuur M. Mufarrid Ash & Widi P. Eko 2019).

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengujian sebuah alat desorpsi gas yang dirancang khusus untuk pengukuran shale gas, dengan mempertimbangkan ukuran sampel batuan core. Alat pemanas didesain sesuai dengan ukuran batuan core yang akan diukur, yaitu dengan diameter 4 inci dan panjang 2 kaki. Desain ini bertujuan untuk memastikan bahwa alat pemanas dapat mengakomodasi sampel batuan core dengan ukuran tersebut dan dapat digunakan secara efektif di lapangan. Setelah desain dibuat, prototipe alat pemanas dikembangkan untuk memungkinkan pengukuran desorpsi gas secara langsung di lapangan, sehingga meminimalkan kemungkinan kehilangan gas dari batuan serpih selama proses pengukuran.

Langkah berikutnya dalam penelitian ini adalah simulasi desain alat menggunakan perangkat lunak yang memiliki metode Finite Element Method (FEM) (Harris et al. 2024). Simulasi ini bertujuan untuk memodelkan distribusi panas dan memastikan keseragaman serta stabilitas suhu selama proses desorpsi (Rahman et al. 2023). Perangkat lunak FEM memungkinkan analisis terhadap performa alat pemanas, sehingga dapat memvalidasi desain dengan memastikan alat tersebut mampu mencapai dan mempertahankan suhu yang diperlukan secara seragam di seluruh permukaan batuan core. Hasil simulasi digunakan untuk melakukan penyesuaian dan optimasi desain alat sebelum pembuatan prototipe fisik.

Desain alat pemanas ini juga di gabungkan dengan peralatan pengukuran gas, yaitu sebuah

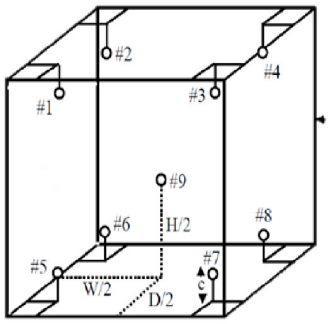
tabung ukur dan air sebagai media. Pengukuran ini berdasarkan metode ASTM D7569-determination of gas content of coal (American Standard Testing and Material (ASTM International 2015). Metode tersebut sudah umum digunakan untuk pengukuran gas pada batuan serpih, hal ini dikarenakan belum ada metode khusus untuk pengukuran shale gas (Surya, Purna & Oktaviani 2022). Dengan pengembangan alat ini, diharapkan penelitian ini dapat menghasilkan alat desorpsi gas yang mampu memberikan pengukuran shale gas yang lebih akurat dan dapat diandalkanoptimal, baik di laboratorium maupun di lapangan.

HASIL DAN DISKUSI

Model pemanas sebelumnya, yang menggunakan oven berukuran besar, menunjukkan beberapa kekurangan signifikan dalam proses desorpsi gas dari sampel batuan serpih. Kekurangan utama terletak pada keseragaman dan kestabilan suhu yang tidak memadai. Oven yang digunakan seringkali tidak mampu menjaga suhu secara konsisten di seluruh area pemanasan, menyebabkan fluktuasi suhu yang dapat mempengaruhi hasil desorpsi gas. Ketidakseragaman suhu ini dapat mengakibatkan kurang akuratnya pengukuran volume gas yang terlepas dari batuan serpih. Selain itu, ukuran oven yang besar membatasi penggunaannya hanya pada lingkungan laboratorium, sehingga pengukuran lapangan tidak mungkin dilakukan secara langsung serta berisiko terjadi kehilangan gas selama transportasi sampel dari lapangan ke laboratorium. Gambar 1 merupakan model pemanas alat desorpsi gas yang digunakan saat ini.

Gambar 1 menunjukan pemanas tabung yang berisi batuan serpih yang digunakan saat ini. Model pemanas iniberupaoven berukuran besaryang memilikibeberapa kekurangan dalam proses desorpsi gas dari sampel batuan serpih. Kekurangan utama terletak pada keseragaman dan kestabilan suhu yang kurangmemadai. Oven yang digunakan seringkali tidak mampu menjaga suhu secara konsisten di seluruh area pemanasan, menyebabkan fluktuasi suhu yang dapat mempengaruhi hasil desorpsi gas. Hal ini terlihat dari hHasil kalibrasi dari oven tersebut yang menunjukan koreksi terbesar dari suhu oven tersebut mencapai 18,1°C. Gambar 2 menunjukan hasil kalibrasi dari oven yang di lengkapi dengan kondisi kinerja. Koreksi yang signifikan antara suhu yang diatur (suhu setting) dan suhu aktual di dalam oven sangat terlihat berdasarkan data pada gambar 2. Perbedaan yang cukup besar ini menunjukkan bahwa oven tidak dapat menjaga suhu dengan akurat sesuai dengan suhu yang diaturtur. Ketidaksesuaian ini mengindikasikan bahwa keseragaman suhu di dalam oven kurang baik, yang tercermin dari nilai deviasi suhu yang sangat besar dengan . Kkeseragaman suhu maksimal di dalam oven mencapai perbedaan sebesar 6,6°C.

Gambar 1
(a) Model oven pemanas, (b) penempatan tabung berisi batuan serpih



. HASIL KALIBRASI

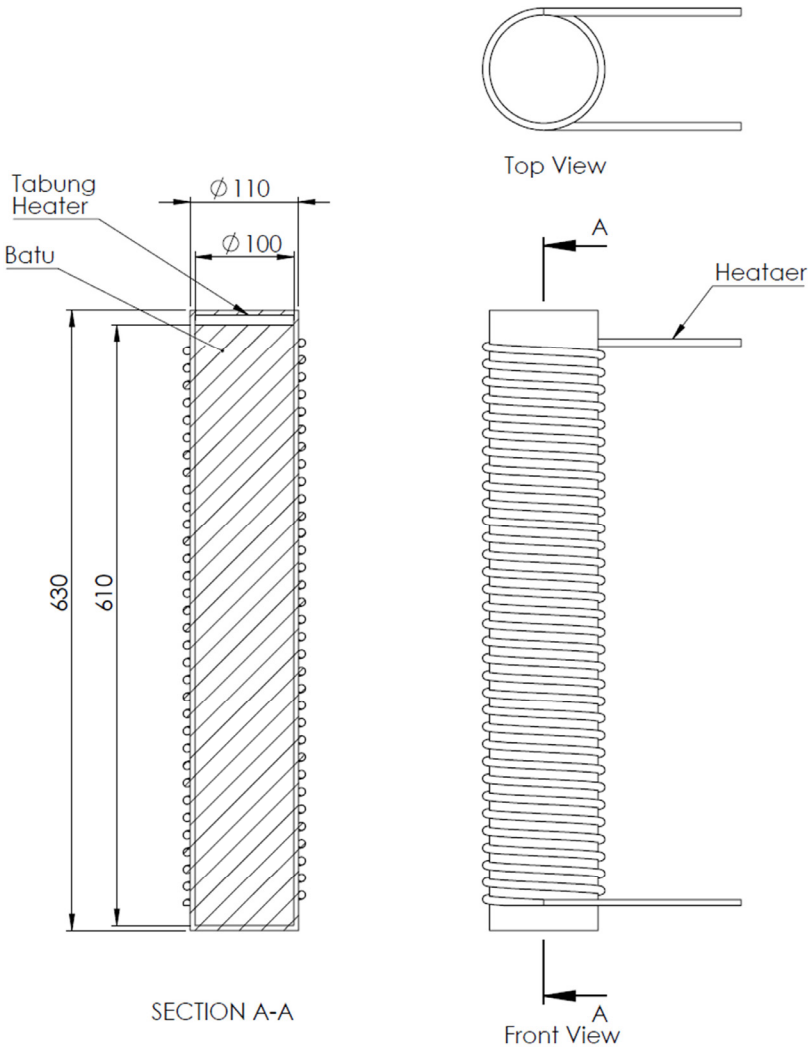
(a) Sebaran Suhu

Pembacaan Indikator (°C)	Standar dan koreksi indikator	Sensor no. (no. 9 sensor acuan)									Ketidakpastian Pengukuran (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
104,5	Terukur (°C)	108,6	107,3	109,7	109,0	108,3	109,4	109,0	109,4	108,3	4.1
	Koreksi (°C)	4,1	2,8	5,2	4,5	3,8	4,9	4,5	4,9	3,8	
126,5	Terukur (°C)	143,2	141,9	144,6	143,4	143,1	144,1	143,3	143,8	142,6	4.3
	Koreksi (°C)	16,7	15,4	18,1	16,9	16,6	17,6	16,8	17,3	16,1	
152,5	Terukur (°C)	167,8	166,4	169,5	167,9	167,7	168,7	167,9	168,3	167,1	4.4
	Koreksi (°C)	15,3	13,9	17,0	15,4	15,2	16,2	15,4	15,8	14,6	
175,5	Terukur (°C)	191,5	189,8	193,2	191,4	191,2	192,4	191,3	191,8	190,7	4.8
	Koreksi (°C)	16,0	14,3	17,7	15,9	15,7	16,9	15,8	16,3	15,2	
198,0	Terukur (°C)	212,2	210,4	213,6	211,9	211,7	213,0	211,9	212,1	211,1	4.7
	Koreksi (°C)	14,2	12,4	15,6	13,9	13,7	15,0	13,9	14,1	13,1	

(b) Kinerja Alat Enklosur

Suhu Setting (°C)	Pembacaan Indikator Enklosur (°C)	Keseragaman Suhu (°C)	Kestabilan Suhu (°C)	Variasi Keseluruhan (°C)
100,0	104,5	5,1	3,3	8,0
125,0	126,5	5,6	3,4	8,4
150,0	152,5	6,2	3,6	8,0
175,0	175,5	6,5	3,8	8,9
200,0	198,0	6,6	3,7	8,0

Gambar 2
Hasil kalibrasi oven/pemanas batuan serpih



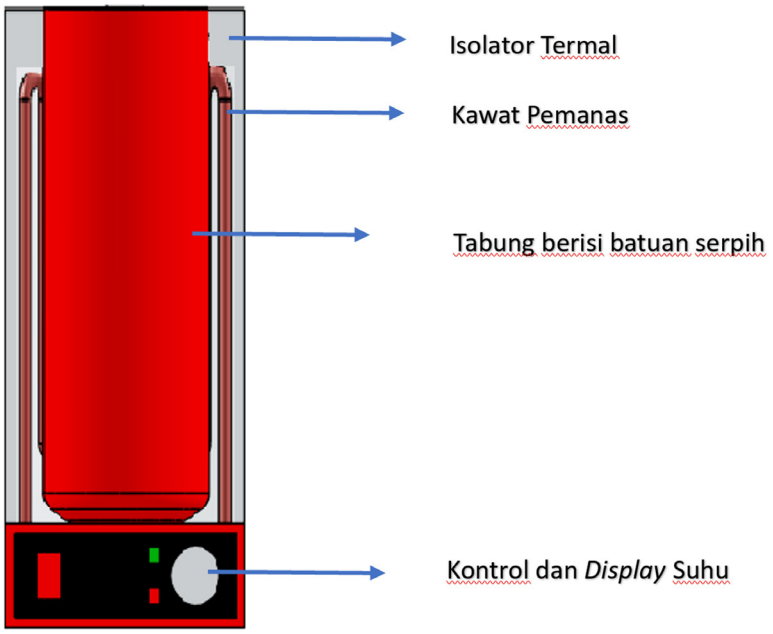
Gambar 3
Desain alat pemanas batuan serpih

Berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan variasi suhu secara keseluruhan yang cukup besar, dimana perbedaan suhu maksimal mencapai 8,9°C. Variasi suhu yang besar ini berarti bahwa ada titik-titik di dalam oven yang jauh lebih panas atau lebih dingin dibandingkan dengan suhu yang diatur, yang berakibat pada pemanasan yang tidak merata pada batuan serpih. Ketidakmerataan ini menyebabkan panas yang diterima oleh batuan serpih tidak optimal dan dapat , mengurangi efisiensi proses desorpsi gas. Suhu yang tidak seragam ini dapat menyebabkan hasil pengukuran volume gas yang kurang optimal.

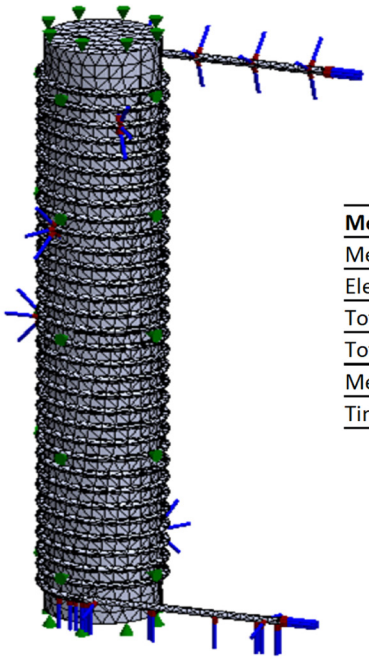
Masalah utama dari perbedaan suhu yang signifikan ini adalah dimensi oven yang besar dan tidak dapat menjamin distribusi panas yang tidak merata. Ketidakmampuan oven untuk mempertahankan keseragaman suhu mempengaruhi kualitas pemanasan batuan serpih, karena beberapa bagian dari batuan mungkin menerima lebih banyak atau lebih sedikit panas dibandingkan dengan bagian lainnya. Ini menunjukkan bahwa penggunaan oven besar untuk proses desorpsi gas dari batuan serpih tidak dapat memberikan lingkungan pemanasan yang konsisten dan seragam.

Untuk mengatasi kekurangan dari model oven tersebut, alat pemanas baru dirancang dengan memperhatikan kebutuhan untuk mencapai dan mempertahankan suhu yang seragam dan stabil. Alat pemanas ini didesain dengan ukuran yang sesuai untuk sampel batuan core dengan yaitu dengan diameter 4 inci dan panjang 2 kaki. Ukuran yang lebih kecil ini , memungkinkan pengukuran dilakukan langsung di lapangan. Rancangan alat ini melibatkan komponen utama seperti elemen pemanas yang lebih efisien, pengendali suhu yang lebih akurat, dan bahan isolasi termal untuk meningkatkan efisiensi pemanasan. Gambar 3 menunjukan rancangan disain alat tersebut.

Desain pemanas yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengikuti ukuran core batuan, dengan tujuan untuk memastikan bahwa panas yang diterima oleh batuan lebih merata dan efektif dibandingkan dengan penggunaan oven konvensional. Hal ini disebabkan oleh dimensi ruang pemanas yang dirancang khusus agar sesuai dengan ukuran core batuan, sehingga memaksimalkan efisiensi pemanasan. Dalam rancangan ini, setiap tabung pemanas dilengkapi dengan alat pengatur panas yang memungkinkan setiap core batuan yang dimasukkan ke dalam tabung tersebut dapat dipanaskan secara langsung dan tepat. Gambar 4 memberikan gambaran tentang kontrol yang diterapkan pada setiap tabung pemanas. Kontrol ini memastikan bahwa suhu dalam setiap tabung dapat diatur dan dipantau dengan akurat, sehingga masing-masing core batuan mendapatkan perlakuan pemanasan yang konsisten dan sesuai dengan kebutuhan pengukuran shale gas. Dengan adanya alat pengatur panas ini, proses desorpsi gas menjadi lebih efisien dan akuratoptimal, menghindari masalah ketidakseragaman suhu yang biasa terjadi pada oven dengan dimensi besar.



Gambar 4
Desain tabung batuan dengan pengatur suhu



Mesh Type	Solid Mesh
Mesh Used	Standard Mesh
Element Size	14.1867 mm
Total Nodes	47812
Total Elements	27338
Mesh Quality Plot	Hight
Time to Complete Mesh	50 second

Gambar 5
Tahap meshing model 3D

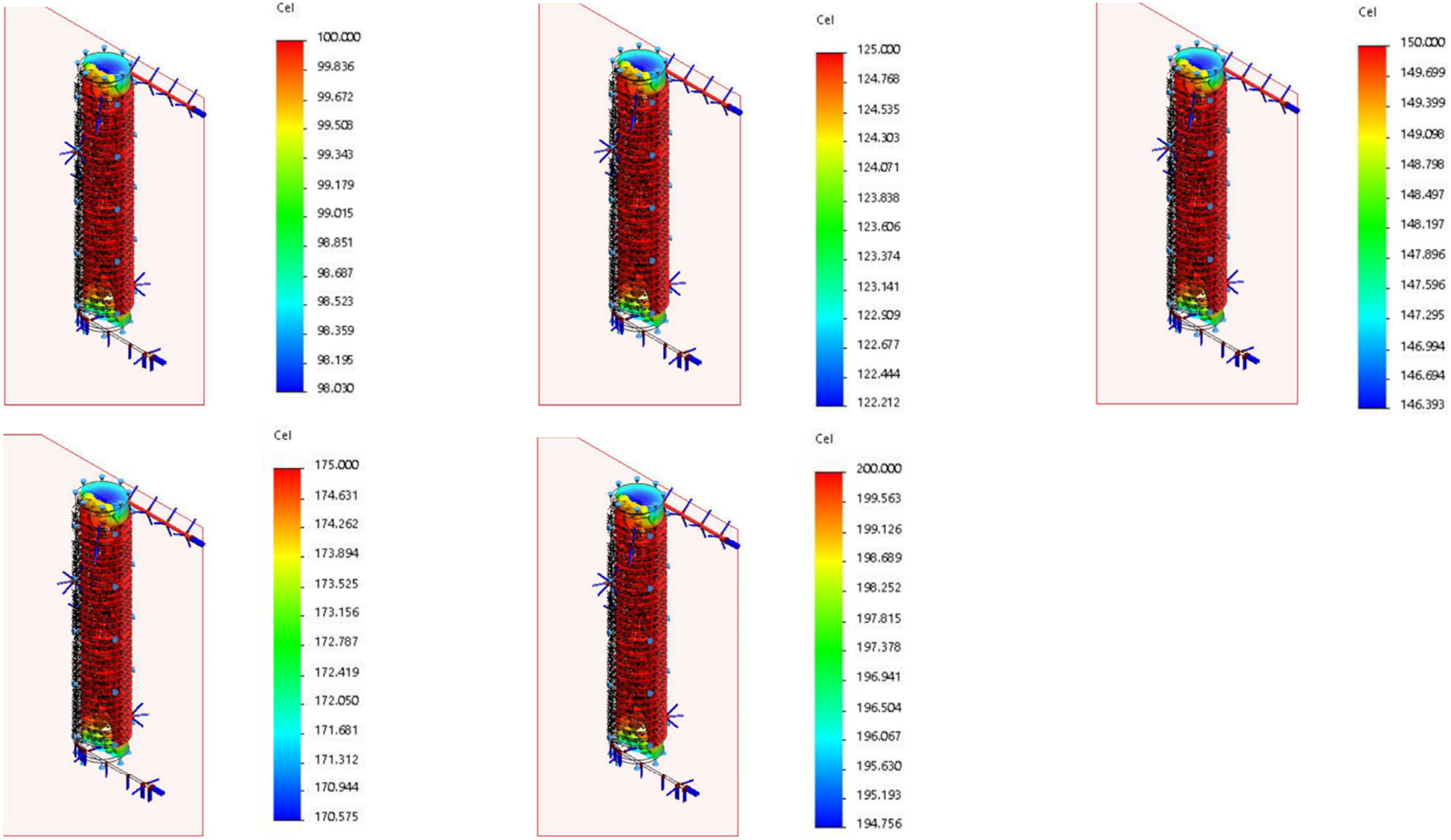
Simulasi alat pemanas dilakukan menggunakan perangkat lunak yang menerapkan metode Finite Element Method (FEM). Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk memodelkan distribusi panas secara detail dan akurat, sehingga dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai bagaimana panas akan tersebar di seluruh permukaan batuan core. Pemodelan 3D yang ditunjukkan pada gambar 3 kemudian dilanjutkan tahap meshing dari komponen pemanas yaitu tabung dan heater.

Proses meshing dilakukan dengan parameter standard mesh dengan tipe Solid Mesh, diperoleh data total nodes berjumlah 47812, total elements 27338 dalam waktu 50 detik. tahap meshing ditunjukkan pada gambar 5.

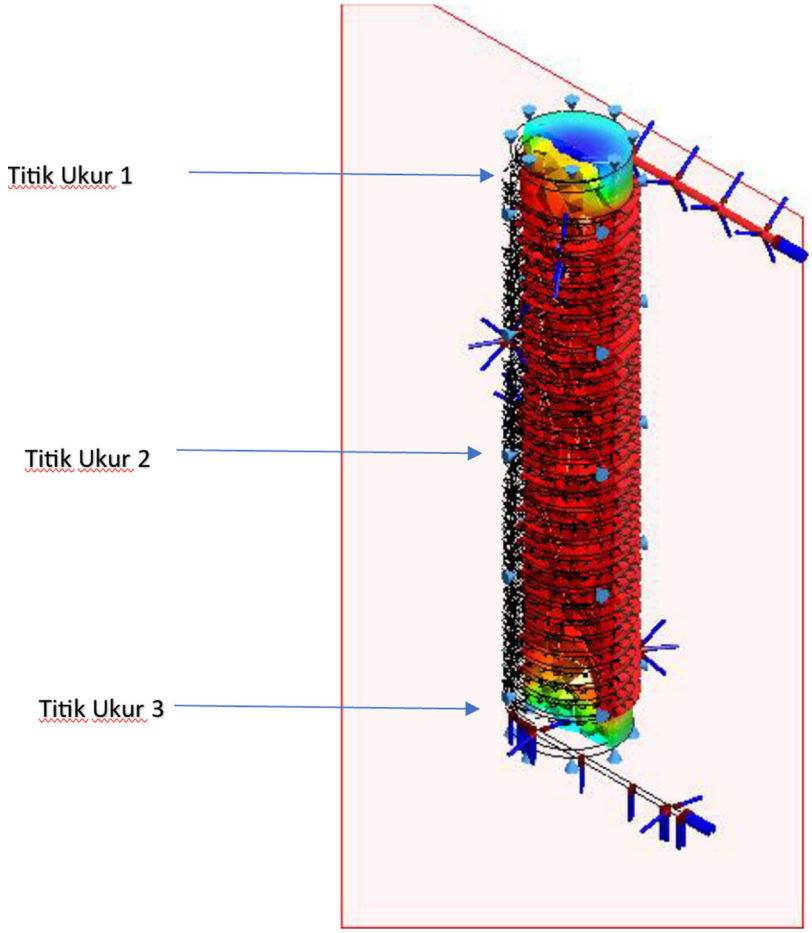
Tujuan utama dari simulasi ini adalah memastikan bahwa alat pemanas yang dirancang mampu mencapai dan mempertahankan suhu yang diperlukan dengan merata. Simulasi ini dapat digunakan dalam mengevaluasi efektivitas desain alat pemanas sebelum dibuat prototipe fisik sehingga dapat menghemat waktu dan sumber daya.

Gambar 6 merupakan hasil simulasi yang dilakukan pada suhu 100°C, 125°C, 150°C, 175°C dan 200°C. Hasil dari simulasi menunjukan seluruh bagian keliling tabung mendapat panas yang cukup merata, hal ini menunjukan bahwa rancangan tabung sudah cukup baik. Simulasi Gambar tersebut juga merupakan simulasi sebaran panas dengan posisi tabung yang disimulasikan terbelah, warna merah yang dominan pada gambar menunjukan bahwa batuan akan mendapatkan panas yang merata. Kestabilan dan keseragaman panas yang baik diharapkan dapat memaksimalkan proses desorpsi gas dari batuan. Untuk melihat perbedaan variasi suhu dari rancangan alat maka dapat dihitung perbedaan suhu dari titik yang akan dilakukan pengukuran (Komite Akreditasi Nasional 2019). Adapun terdapat tiga titik ukur yang akan dilakukan perbandingan dapat dilihat pada gambar 7.

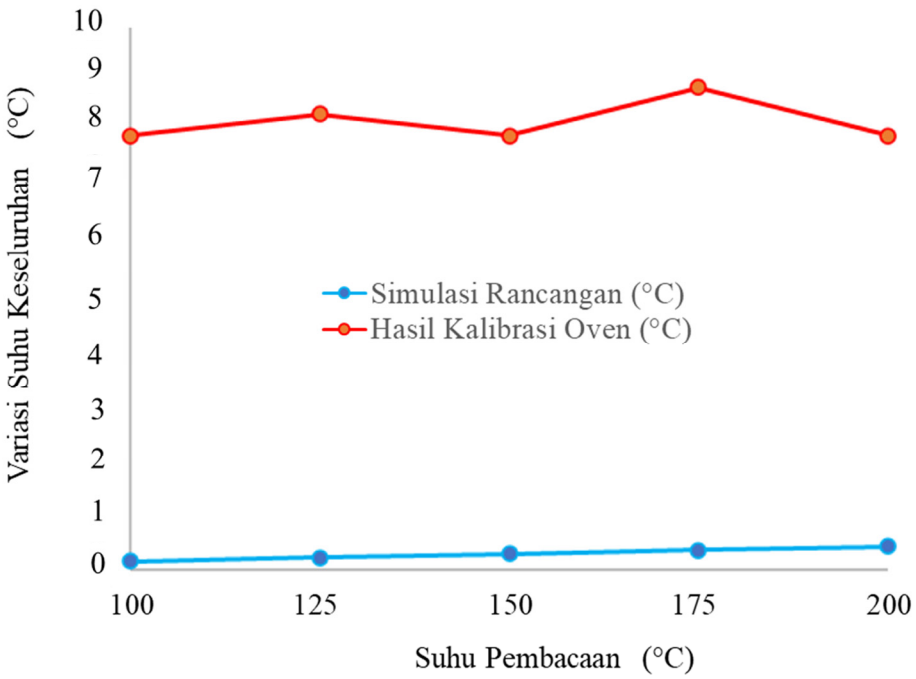
Hasil dari simulasi menunjukan selisih antara ujung tabung dengan bagian tengah tabung. Berdasarkan gambar 6dapatdilihat dari seluruh bagian keliling tabung mendapat panas yang cukup merata, hal ini menunjukan bahwa rancangan tabung sudah cukup baik. Simulasi tersebut juga merupakan simulasi sebaran panas dengan posisi tabung yang disimulasikan terbelah, warna merah yang dominan pada gambarf menunjukan bahwa batuan akan mendapatkan panas yang merata. Panas yang memiliki kestabilan dan keseragaman yang baik maka diharapkan dapat memaksimalkan proses desorpsi gas dari batuan. Untuk melihat perbedaan variasi suhu dari rancangan alat maka dapat dihitung perbedaan suhu dari titik yang akan dilakukan pengukuran(Komite Akreditasi Nasional 2019). Adapun terdapat tiga titik ukur yang akan dilakukan perbandingan dapat dilihat pada gambar 7.



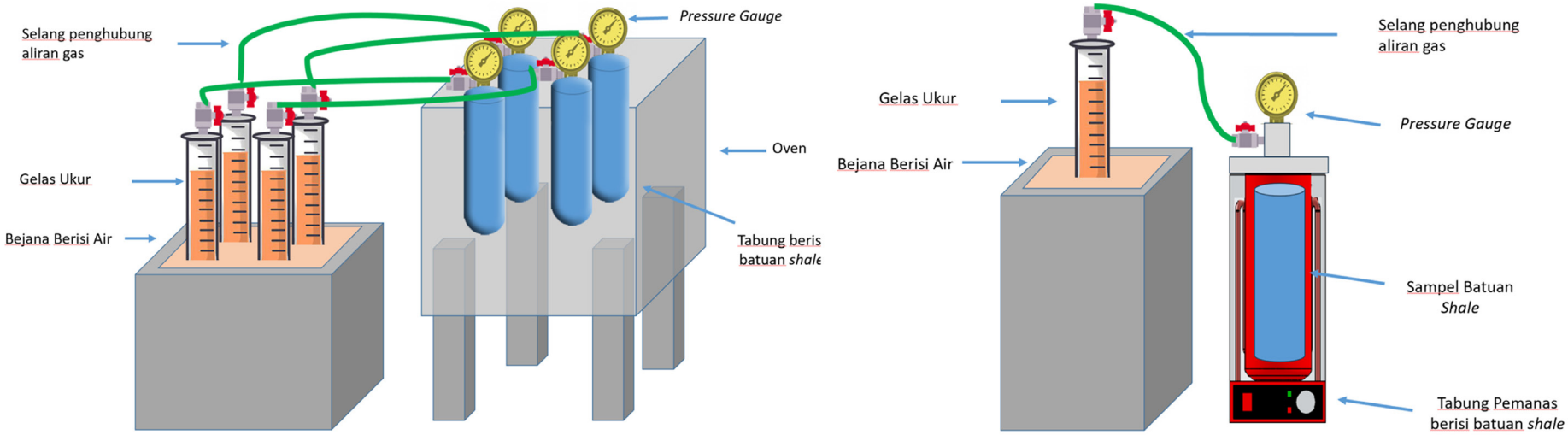
Gambar 6
Simulasi rancangan tabung pemanas



Gambar 7
Posisi titik ukur untuk tabung pemanas



Gambar 8
Grafik perbedaan hasil kalibrasi oven dengan simulasi rancangan alat pemanas



(a) (b)

Gambar 9
(a) Desain alat desorpsi gas dengan pemanas oven, (b) Rancangan alat desorpsi gas dengan tabung pemanas

Gambar 7 menunjukan titik ukur yang akan diambil untuk perbandingan variasi suhu keseluruhan. Penentuan jumlah titik ukur ini mempertimbangakan dimensi ukuran dan pemanas yang kecil jika dibandingkan dengan ovenpemanasan pada alat. Adapun Ketiga titik ukur tersebut maka akan memiliki nilai simulasi suhu yang didapatkan dari gambar 5, sehinggaakan didapatkan nilai variasi suhu pada setiap tingkatan yang pemanasan dapat dilihat pada table tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bahwa terdapat variasi suhu yang sangat kecil jika dibandingkan dengan hasil kalibrasi oven sebelumnya yang terdapat pada gambar 2. Grafik pada gambar 8 menunjukan perbedaan hasil kalibrasi oven dengan simulasi rancangan alat pemanas.

Perbedaan yang siginifikian ditunjukan pada gambar 8 antara hasil kalibrasi oven dengan rancangan alat pemanas. Rancangan alat desorpsi gas ini juga di lengkapi dengan alat pengukuran gas yang menggunakan gelas ukur dan air sebagai media pembacaannya. Berikut pada gambar 9 adalah rancangan rangkaian alat desorpsi gas yang dibandingkan dengan rangkaian alat sebelumnya.

Gambar 9 menunjukan perbedaan antara desain alat desorpsi gas sebelumnya yaitu dengan pemanas oven dan rancangan alat desorpsi gas dengan tabung pemanas. Perbedaan dimensi yang cukup siginifikan, hal ini ini memungkinkan rancangan tabung pemanas akan lebih mudah untuk pengukuran langsung dilapangan. Rancangan pada gambar 9 (b) juga memungkinkan dilakukan pengukuran pada setiap core batuan dengan menggunakan suhu yang berbeda-beda. Hal ini akan mempermudah pengukuran volume shale gas mengingat suhu yang diperlukan pada setiap potongan core dapat berbeda yaitu dikarenakan suhu tersebut mempertimbangkan letak batuan saat diambil untuk sampel. Semakin dalam letak batuan dari permukaan tanah maka pada umumnya akan memerlukan suhu yang lebih tinggi.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menunjukkan keberhasilan rancangan alat desorpsi gas dengan simulasi distribusi panas menggunakan metode Finite Element Method (FEM). Hasil simulasi memperlihatkan rancangan alat mampu menjaga suhu yang seragam pada batuan core dengan deviasi suhu maksimal 0,437°C, jauh lebih stabil dibandingkan dengan alat pemanas konvensional yang memiliki variasi suhu hingga 8,9°C. Desain baru ini memberikan peningkatan signifikan dalam keseragaman dan kestabilan suhu, diharapkan dapat meningkatkan akurasi pengukuran volume gas yang terdesorpsi, dan mempermudah dalam pelaksanaan pengukuran gas dilapangan. Disarankan agar alat ini direalisasikan dalam bentuk prototipe untuk uji coba langsung, guna menilai efektivitasnya.Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa rancangan alat desorpsi gas baru yang menggunakan metode Finite Element Method (FEM) untuk simulasi distribusi panas berhasil mencapai tujuan utamanya. Simulasi ini memperlihatkan bahwa alat pemanas yang dirancang mampu mencapai suhu yang seragam dengan deviasi suhu yang sangat kecil di berbagai titik pada batuan core. Kestabilan suhu selama proses desorpsi gas juga dapat dipertahankan dengan baik, mengatasi masalah fluktuasi suhu yang sebelumnya ditemukan pada model pemanas oven konvensional. Dengan demikian, desain baru ini menunjukkan peningkatan signifikan dalam keseragaman dan kestabilan suhu dibandingkan dengan alat pemanas sebelumnya, dengan variasi suhu maksimal hanya sebesar 0,437°C.

Ketika hasil simulasi dibandingkan dengan hasil kalibrasi dari alat pemanas sebelumnya, jelas terlihat bahwa rancangan baru ini memberikan performa yang jauh lebih baik. Alat pemanas sebelumnya menunjukkan perbedaan suhu yang besar antara suhu setting dan suhu aktual, dengan variasi suhu yang mencapai hingga 8,9°C. Sebaliknya, simulasi alat pemanas baru menunjukkan deviasi suhu yang sangat kecil, memastikan distribusi panas yang merata di seluruh permukaan batuan core. Perbaikan ini sangat penting untuk meningkatkan akurasi dan keandalan pengukuran volume gas yang terdesorpsi dari batuan serpih.

Berdasarkan hasil simulasi yang positif, disarankan agar rancangan alat desorpsi gas ini direalisasikan dalam bentuk prototipe fisik dan dilakukan uji coba langsung. Langkah ini akan memungkinkan perbandingan langsung antara performa alat pemanas baru dengan alat pemanas sebelumnya dalam kondisi nyata. Dengan uji coba lapangan, validitas dan efektivitas alat baru dapat dinilai secara lebih komprehensif, memastikan bahwa alat ini tidak hanya unggul dalam simulasi tetapi juga dalam aplikasi praktis. Realisasi dan pengujian lebih lanjut diharapkan dapat mengkonfirmasi potensi alat ini untuk meningkatkan pengukuran shale gas yang lebih akurat dan dapat diandalkan, baik di laboratorium maupun di lapangan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Universitas Pancasila karena menginspirasi penerbitan jurnal ini. Terimakasih juga pada pimpinan dan rekan-rekan Laboratorium Kalibrasi BBPMGB LEMIGAS yang telah membantu dalam rancangan dan pembahasan alat.

KEPUSTAKAAN

American Standard Testing and Material (*ASTM International*), 2015, *Determination of Gas Content of Coal*. ASTM D7569-10.

Araújo, Morgana de Vasconcellos, Antonildo Santos Pereira, Jéssica Lacerda de Oliveira, Vanderson Alves Agra Brandão, Francisco de Assis Brasileiro Filho, Rodrigo Moura da Silva, & Antonio Gilson Barbosa de Lima, 2019, *Industrial Ceramic Brick Drying in Oven by CFD*. Materials 12 (10). https://doi.org/10.3390/ma12101612.

Fradiana, Avida, A.S. Widati & D. Rosyidi, 2022, *The Effect of Preheating Using Microwave, Steam, and Oven on the Quality of Ponorogo Chicken Satay*. Jurnal Ilmu Dan Teknologi Hasil Ternak 17 (2): 111–22. https://doi.org/10.21776/ub.jitek.2022.017.02.6.

Harris, Mohammad, H. Wu, A. Angelopoulou, W. Zhang, Z. Hu, & Y. Xie, 2024, *Heat Transfer Optimisation Using Novel Biomorphic Pin-Fin Heat Sinks: An Integrated Approach via Design for Manufacturing, Numerical Simulation, and Machine Learning." Thermal Science and Engineering Progress 51 (June)*. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2024.102606.

Junira, Adi, & A.S. Wibowo, 2016, *Shale As Hydrocarbon Reservoirs. Scientific Contributions Oil And Gas. Scientific Contributions Oil And Gas. Vol. 39*.

Komite Akreditasi Nasional, 2019, KAN Pd-02.04 Pedoman Kalibrasi Enklosur Suhu.

Li, Wuquan, J. Cao, Y. Liang, Y. Masuda, T. Tsuji, K. Tamura, T. Ishiwata, D. Kuramoto & T. Matsuoka. 2024. *Evaluation of CO_2 Storage and Enhanced Gas Recovery Potential in Gas Shale Using Kerogen Nanopore Systems with Mesopores and Micropores*. *Chemical Engineering Journal 486 (April)*. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.150225.

McGlade, Christophe, J. Speirs and S. Sorrell, 2013, *Methods of Estimating Shale Gas Resources - Comparison, Evaluation and Implications. Energy 59* (September):116–25. https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.05.031.

Rahman, Md Tauhidur, K. Habib, Md N. Quader, N. Aslfattahi, K. Kadirgama, and Likhan Das, 2023, *Effect of Porous Density of Twisted Tape Inserts on Heat Transfer Performance inside a Closed Conduit. Heliyon 9 (11).* https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21206.

R. Taufik, Hermiyanto Z. M. Heri & A.S Wibowo, 2019, *Shale Gas Sweet Spot Potential Of Tungkal Graben Jambi Subbasin South Sumatra Basin. Scientific Contributions Oil and Gas 42 (3): 2–5.*

Saghafi & Abouna, 2017, *Discussion on Determination of Gas Content of Coal and Uncertainties of Measurement." International Journal of Mining Science and Technology 27 (5): 741–48.* https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.024.

S.M. Mufarrid Ash & W.P. Eko, 2019, Strategi Pengembangan Shale Gas Di Formasi Lahat." Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi 53 (3): 3–5.

Surya, P. Adhi, A. Purna & P. Oktaviani, 2022, Studi Pengaruh Desorpsi N2 Pada Simulasi Reservoir Lapangan Shale Gas N2 Desorption Effect Study on Shale Gas Field Reservoir Simulation. Jurnal Migasian / e-Issn. Vol. VI.

Vishal, Vikram, Mohd Rizwan, B. Mahanta, S.P. Pradhan & T.N. Singh, 2022, *Temperature Effect on the Mechanical Behavior of Shale: Implication for Shale Gas Production." Geosystems and Geoenvironment* 1:78. https://doi.org/10.1016/j.geogeo.2022.10.

Zhao, Suping, Qun Zhao, X. Zhang, X. Jiang, H. Wu & J. Yan. 2024, *Key Policy Needs for the Success of China's Shale Gas Revolution*. *Energy Reports* 11 (June):4015–20. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.03.052.