



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

Dimas Ragil^{1,2}, Muhammad Abdul Muthofa², Wahyudi², Prawoto², Muh. Arif Mutakim¹,
Eka Oktiviannysa¹, Nandang Tri Aji¹ dan Yogi Haryo Prakoso¹

¹Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS
Jl. Ciledug Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, Indonesia

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

ABSTRAK

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

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 $6,6^{\circ}\text{C}$ dan variasi suhu keseluruhan mencapai $8,9^{\circ}\text{C}$, 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 $0,437^{\circ}\text{C}$. 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 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 to conventional ovens.

Korespondensi:

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

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 & Setyo Wibowo Andy 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 tersebut, 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 digabungkan 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 dapat menghasilkan alat desorpsi gas yang mampu memberikan pengukuran *shale gas* yang lebih akurat dan optimal, baik di laboratorium maupun di lapangan.

HASIL DAN DISKUSI

Model pemanas sebelumnya, yang menggunakan oven berukuran besar, menunjukkan beberapa kekurangan 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. Ketidakterseragaman 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 menunjukkan pemanas tabung yang berisi batuan serpih yang digunakan saat ini. Hasil kalibrasi dari oven tersebut menunjukkan koreksi terbesar dari suhu oven tersebut mencapai $18,1^{\circ}\text{C}$. Gambar 2 menunjukkan hasil kalibrasi dari oven yang dilengkapi 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 diatur. Ketidakesesuaian ini mengindikasikan bahwa keseragaman suhu di dalam oven kurang baik, yang tercermin dari nilai deviasi suhu yang sangat besar dengan keseragaman suhu maksimal di dalam oven mencapai perbedaan sebesar $6,6^{\circ}\text{C}$.

Berdasarkan hasil kalibrasi didapatkan variasi suhu secara keseluruhan yang cukup besar, dimana perbedaan suhu maksimal mencapai $8,9^{\circ}\text{C}$. 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. Ketidaktermerataan 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.

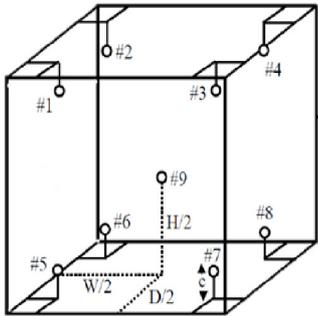


Gambar 1
(a) Model oven pemanas, (b) penempatan tabung berisi batuan serpih

HASIL KALIBRASI

(a) Sebaran Suhu

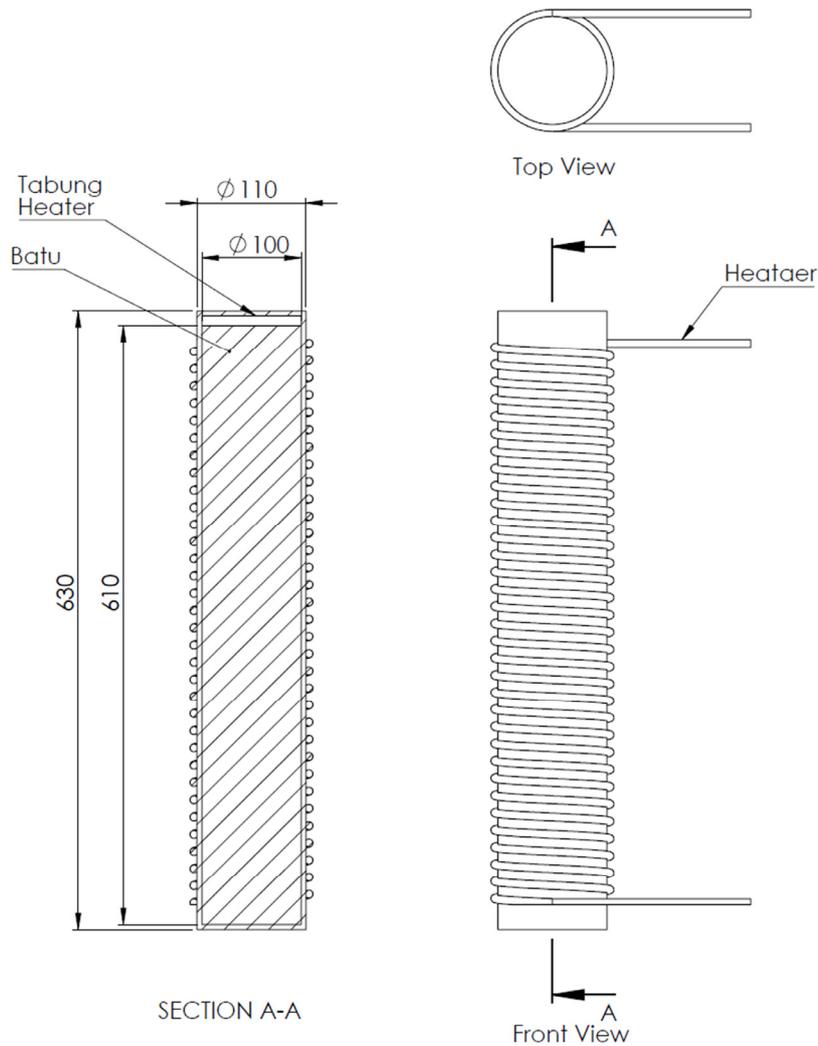
Pembacaan Indikator (°C)	Standar dan koreksi indikator	Sensor no. (no. 9 sensor acuan)									Ketidakpastian Pengukuran (°C)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
104,5	Terukur (°C)	108,6	107,3	109,7	109,0	108,3	109,4	109,0	109,4	108,3	4,1
	Koreksi (°C)	4,1	2,8	5,2	4,5	3,8	4,9	4,5	4,9	3,8	
126,5	Terukur (°C)	143,2	141,9	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

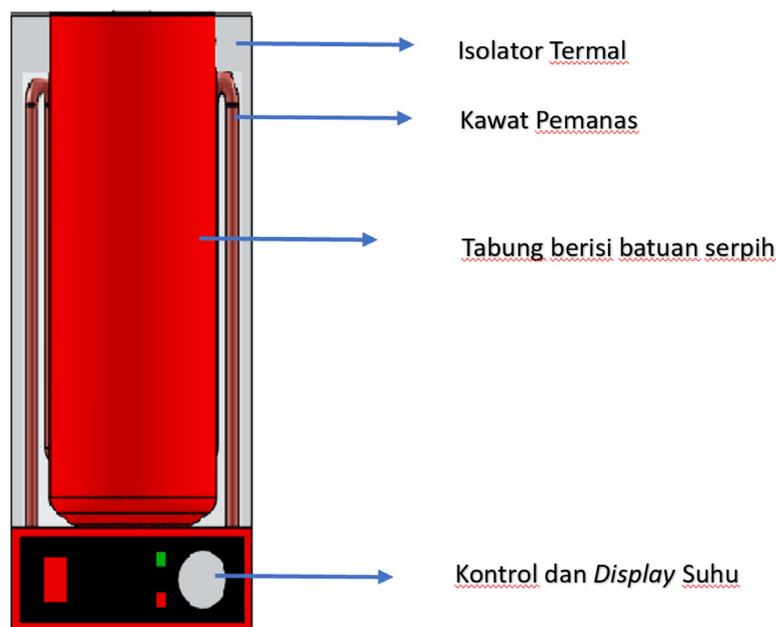
Masalah utama dari perbedaan suhu yang signifikan ini adalah dimensi oven yang besar dan distribusi panas yang tidak merata. Ketidakmampuan oven untuk mempertahankan keseragaman suhu mempengaruhi kualitas pemanasan batuan serpih, karena beberapa bagian dari batuan mungkin menerima lebih banyak atau lebih 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* 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 menunjukkan rancangan disain alat tersebut.

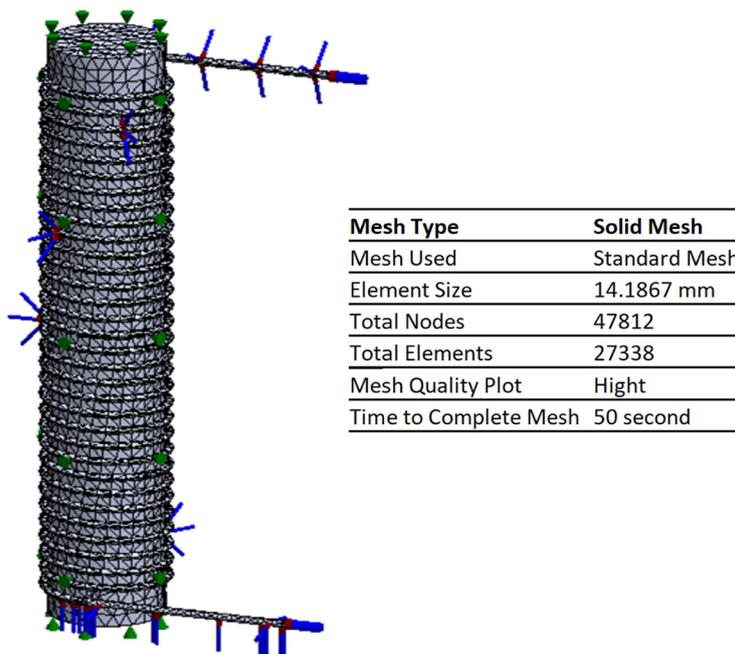
Desain pemanas yang ditunjukkan pada Gambar 3 mengikuti ukuran *core* batuan, dengan tujuan untuk memastikan bahwa panas yang diterima oleh batuan lebih merata dan efektif dibandingkan dengan

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 optimal, menghindari masalah ketidakseragaman suhu yang biasa terjadi pada oven dengan dimensi besar.

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*.



Gambar 4
Desain tabung batuan dengan pengatur suhu



Gambar 5
Tahap meshing model 3D

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 menunjukkan seluruh bagian keliling tabung mendapat panas yang cukup merata, hal ini menunjukkan bahwa rancangan tabung sudah cukup baik. Gambar tersebut juga merupakan simulasi sebaran panas dengan posisi tabung yang disimulasikan terbelah, warna merah yang dominan pada gambar menunjukkan 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.

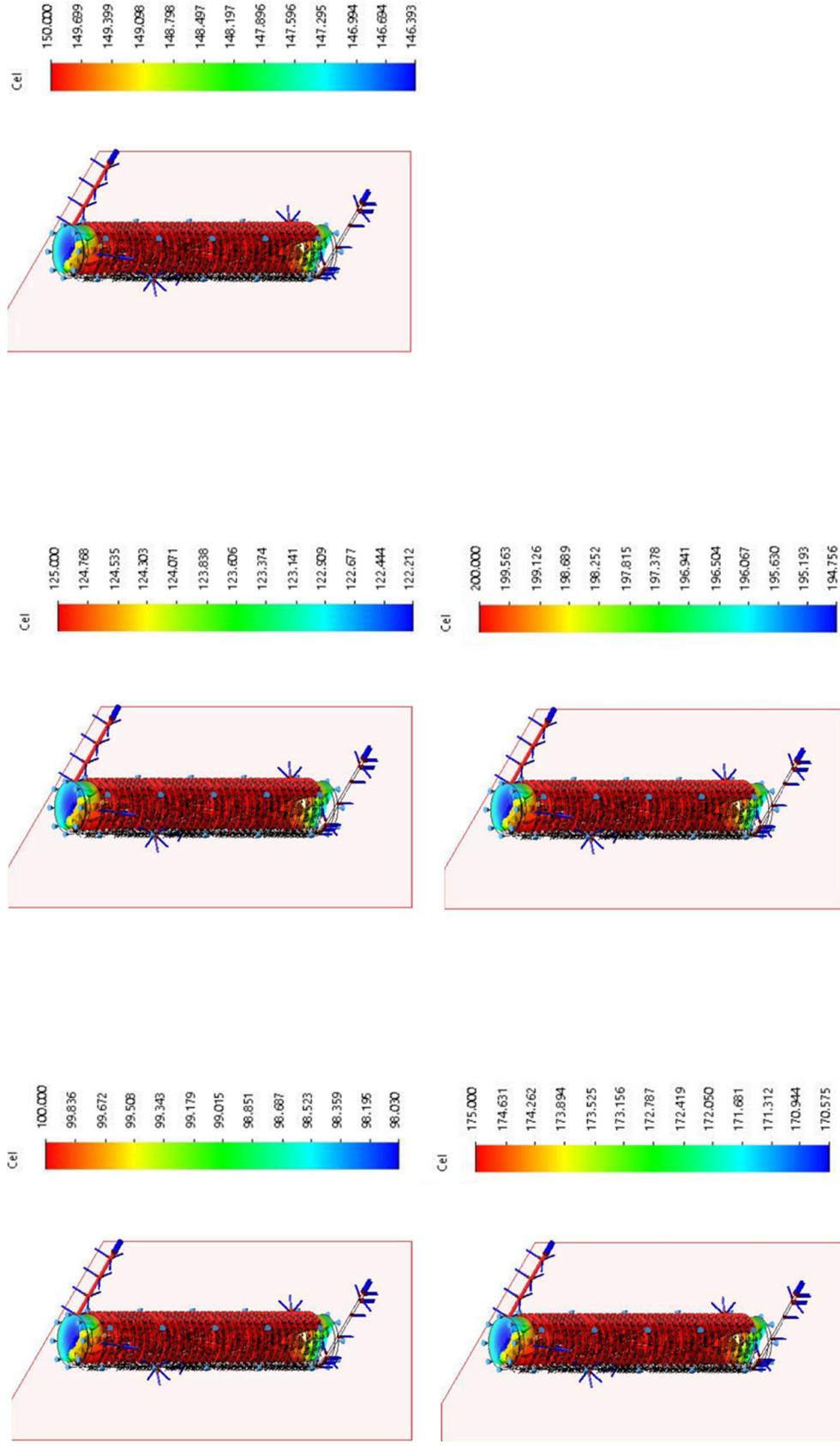
Gambar 7 menunjukkan titik ukur yang akan diambil untuk perbandingan variasi suhu keseluruhan. Penentuan jumlah titik ukur ini mempertimbangkan dimensi pemanasan pada alat. Adapun nilai variasi suhu pada setiap tingkatan pemanasan dapat dilihat pada Tabel 1.

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 menunjukkan perbedaan hasil kalibrasi oven dengan simulasi rancangan alat pemanas.

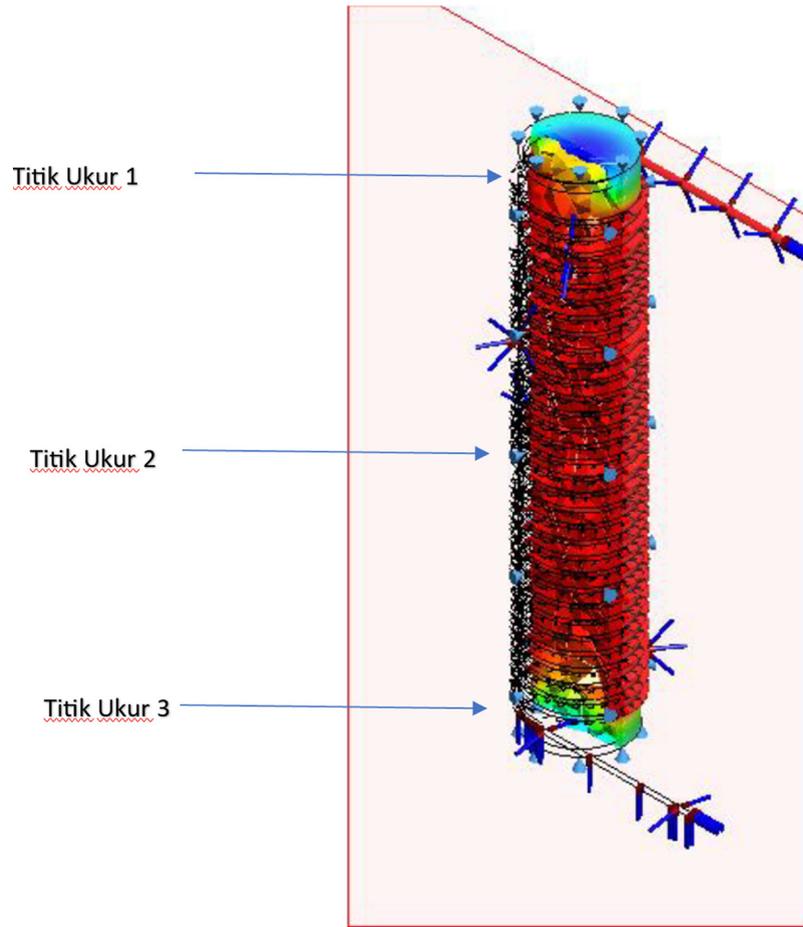
Perbedaan yang signifikan ditunjukkan pada Gambar 8 antara hasil kalibrasi oven dengan rancangan alat pemanas. Rancangan alat desorpsi gas ini juga dilengkapi dengan alat pengukuran gas yang menggunakan gelas ukur dan air sebagai media pembacaannya. Berikut pada Gambar 9 adalah rancangan rangkaian alat desorpsi gas yang dibandingkan dengan rangkaian alat sebelumnya.

Gambar 9 menunjukkan perbedaan dimensi yang cukup signifikan, hal 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

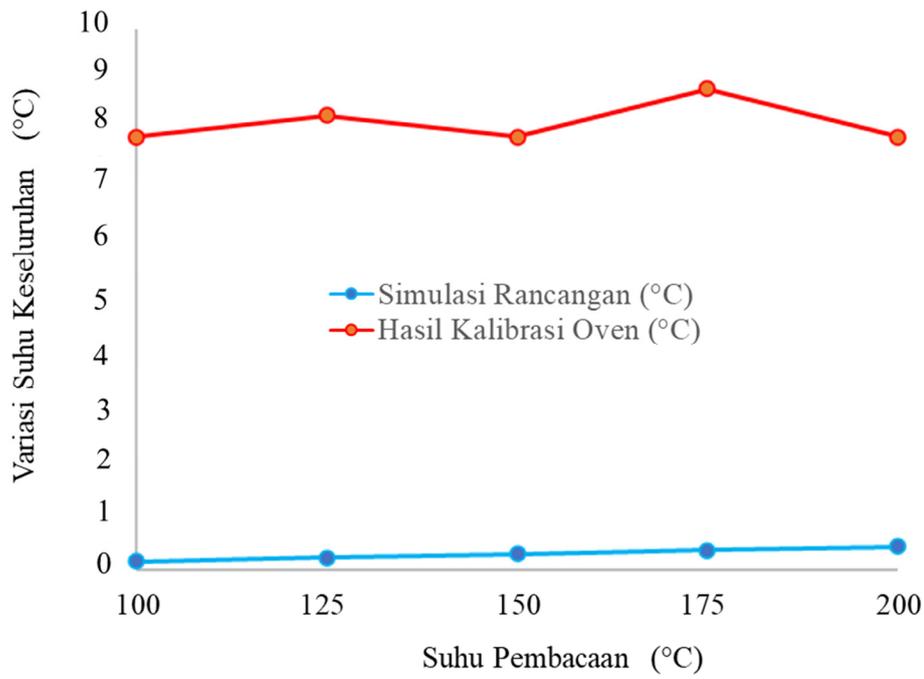
Perancangan Alat Desorpsi Gas pada Sampel Batuan Serpih Guna Pengukuran Volume Gas pada Skala Laboratorium (Dimas Ragil, dkk)



Gambar 6
Simulasi rancangan tabung pemanas

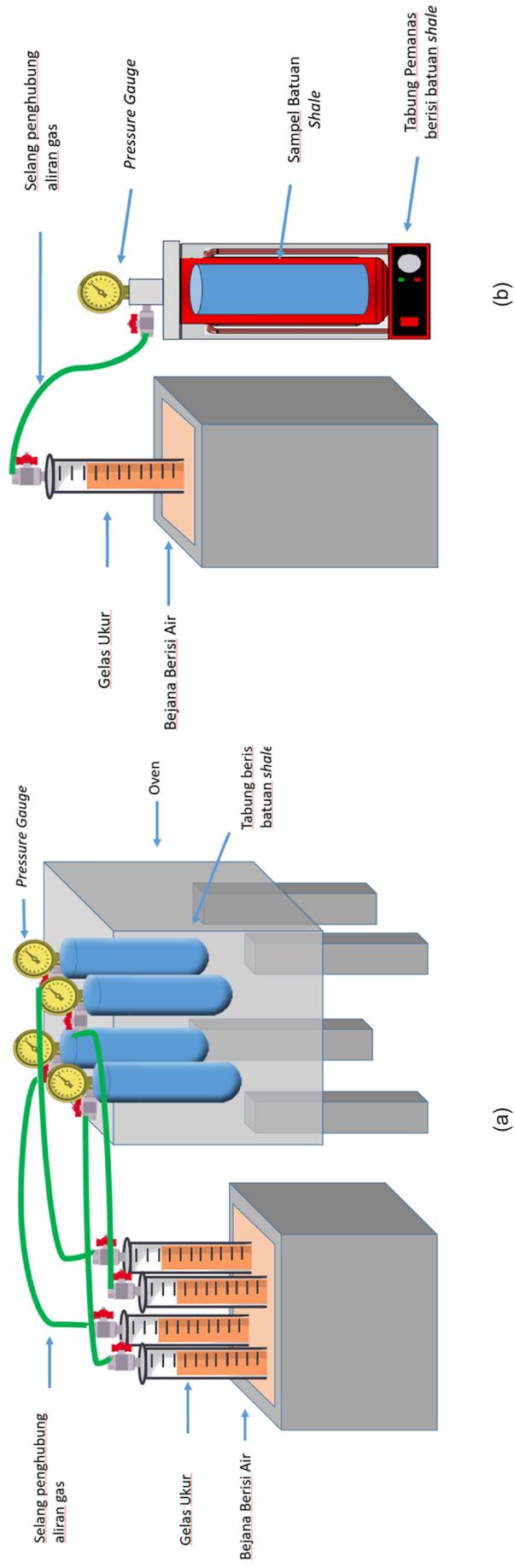


Gambar 7
Posisi titik ukur untuk tabung pemanas



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

Perancangan Alat Desorpsi Gas pada Sampel Batuan Serpih Guna Pengukuran Volume Gas pada Skala Laboratorium (Dimas Ragil, dkk)



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

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.

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.

DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Unit
FEM	Finite Element Method	
ASTM	American Standard Testing and Material	

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 CO₂ 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.egy.2024.03.052>.