

ESTIMASI NILAI POROSITAS DAN PERMEABILITAS DENGAN PENDEKATAN *DIGITAL ROCK PHYSICS (DRP)* PADA SAMPEL BATUPASIR FORMASI NGRAYONG, CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN UTARA

Benyamin Elilaski Nababan^{1,*}, Eliza Veronica Zanetta², Nahdah Novia³, dan Handoyo⁴

^{1,2,3,4}Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera

Jalan Terusan Ryacudu, Desa Way Hui, Jati Agung, Lampung Selatan 35365, (0721)

8030188/pusat@itera.ac.id

Corresponding author: elilaskinababan@gmail.com

Manuscript received: July 3, 2019; revised: August 21, 2019;

Approved: August 23, 2019; available online: November 11, 2019

Abstrak – Porositas dan permeabilitas batuan reservoir adalah parameter-parameter sifat fisis batuan yang mengontrol kualitas reservoir. Secara konvensional, nilai porositas dan permeabilitas batuan diperoleh dari pengukuran di laboratorium atau melalui data sumur (well log). Saat ini, perhitungan porositas dan permeabilitas dapat dihitung dengan menggunakan pemrosesan gambar digital/Digital Rock Physics (DRP). Sampel data inti diproses dengan difraksi sinar-X menggunakan CT-Scan micro-tomography. Hasilnya adalah model gambar dari sampel inti yaitu gambar 2D dan 3D. Kombinasi pemrosesan teoritis dan citra digital dapat diperoleh nilai porositas dan permeabilitas sampel batuan. Dalam penelitian ini kami menghitung nilai porositas dan permeabilitas menggunakan pendekatan Digital Rock Physics (DRP) pada sampel batupasir Formasi Ngrayong, Cekungan Jawa Timur bagian Utara. Hasil dari simulasi dan pengolahan citra digital pada sampel batupasir Formasi Ngrayong berkisar pada nilai 33.50% dan permeabilitas sekitar 1267.02 mDarcy.

Abstract - Reservoir rock permeability and porosity are physical properties of rocks that control reservoir quality. Conventionally, rock porosity and permeability values are obtained from measurements in the laboratory or through well logs. At present, calculation of porosity and permeability can be calculated using digital image processing / Digital Rock Physics (DRP). Core data samples are processed by X-ray diffraction using CT-micro-tomography scan. The result is an image model of the core sample, 2D and 3D images. The combination of theoretical processing and digital images can be obtained from the value of porosity and permeability of rock samples. In this study, we calculated porosity and permeability values using the Digital Rock Physics (DRP) approach in sandstone samples from the Ngrayong Formation, North East Java Basin. The results of the digital image simulation and processing on the Ngrayong Formation sandstone samples ranged in value from 33.50% and permeability around 1267.02 mDarcy.

Keywords: *CT-Scan, Digital Rock Physics (DRP), Sandstone Ngrayong Formation*

How to cite this article:

Nababan, B.E., Zanetta, E.V., Novia, N., dan Handoyo, 2019, Estimasi Nilai Porositas dan Permeabilitas dengan Pendekatan Digital Rock Physics (DRP) Pada Sampel Batupasir Formasi Ngrayong, Cekungan Jawa Timur Bagian Utara, *Jurnal Geofisika Eksplorasi*, 5 (3) p.193-203. doi: 10.23960/jge.v5i3.34

1. PENDAHULUAN

Porositas dan permeabilitas adalah parameter penting dalam batuan *reservoir* minyak dan gas. Dalam sistem perminyakan, batuan *reservoir* adalah batuan sedimen yang mampu menahan/membawa cairan (minyak, gas, dan air) dalam jumlah tertentu. Kualitas *reservoir* yang baik ditentukan oleh nilai porositas yang baik ditentukan oleh nilai porositas dan permeabilitas yang tinggi. Oleh karena itu, perlu untuk mengukur nilai porositas dan permeabilitas batuan. Dalam pengukuran tambahan di laboratorium (konvensional), metode *digital* kini telah dikembangkan untuk mengukur nilai porositas dan permeabilitas (Andrä, 2013).

Metode *DRP* adalah metode yang memanfaatkan fungsi *CT-Scan* untuk mengidentifikasi geometri pori-pori batuan, retakan, dan memprediksi nilai porositas dan permeabilitas batuan (Fourier, 2014). Hasil gambar *digital* dari metode *DRP* adalah visualisasi gambar dalam *2D* dan *3D*. Metode ini juga dapat memberikan perkiraan waktu yang lebih cepat dan efektif serta menentukan parameter fisik batuan secara lebih rinci. Maka penelitian ini diharapkan dapat membantu para ahli terutama bidang geologi (petrofisika) dan geofisika untuk meneliti lebih detail parameter fisik batuan. Perhitungan parameter fisik batuan menggunakan metode *DRP* dapat diterapkan menggunakan simulasi komputer/*digital*. Pada penelitian sebelumnya (Handoyo dkk, 2014), aplikasi Digital Rock Physics (*DRP*) telah dilakukan tidak hanya untuk menghitung porositas dan permeabilitas, melainkan telah diaplikasikan pula untuk memprediksi nilai parameter elastisitas batuan dan pengaruh keberadaan fluida terhadap sifat fisis batuan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode fisika batuan digital (*DRP*) untuk memvisualisasikan gambar batuan *2D* dan *3D* serta memprediksi nilai porositas dan permeabilitas pada sampel batupasir Formasi Ngrayong.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teoritis

Sampel batuan umumnya terdiri dari dua bagian utama: pori-pori dan matriks batuan padat (Gambar 1). Kuantitas pori batuan dinyatakan oleh nilai porositas. Porositas (\emptyset) adalah rasio antara volume pori (V_{pori}) dari total volume batuan (V_{total}) yang secara matematis ditulis sebagai berikut (Mavko dkk, 2009):

$$\emptyset = \frac{V_{pore}}{V_{total}} = 1 - \frac{V_{matriks}}{V_{total}} \quad (1)$$

Selanjutnya Kozeny Carman memberikan hubungan antara porositas, permeabilitas, permukaan internal spesifik dan turtuositas sebagai (Dvorkin, 2009),

$$k_{absolute} = \frac{1}{2} \frac{\emptyset^3}{S^2 \tau^2} \quad (2)$$

Dengan \emptyset adalah nilai porositas, S adalah luas permukaan internal spesifik dan τ adalah turtuositas.

Pendekatan dengan metode *DRP* merupakan pendekatan alternatif untuk menyelesaikan secara komputasi nilai porositas dan permeabilitas langsung pada model mikro digital (Roberts dan Garboczi, 2000). Memori komputer dan kecepatan pemrosesan data memungkinkan untuk menangani model *3D* besar dan jumlah perhitungan yang dibutuhkan untuk mendapatkan hasil yang bermanfaat.

2.2 Geologi Regional

Secara umum daerah Cepu dan sekitarnya terletak di Zona Rembang, Cekungan Jawa Timur bagian Utara (Van Bemmelen, 1949). Pada Zaman Paleogen Cekungan Jawa Timur bagian Utara telah mengalami regim tektonik regangan yang merupakan akibat dari gerakan mundur (*roll back*) kearah selatan dari jalur magmatik yang ada pada zaman kapur akhir. Busur magmatik berarah barat daya-timur laut menempati posisi di Pulau Karimunjawa dan Pulau Bawean. Busur magmatik tersebut menjadi arah barat timur

pada posisi di pantai selatan Jawa Timur. Sedangkan pada Zaman Neogen posisi busur magmatik berada pada daerah sebelah utara Kabupaten Pacitan-Trenggalek dan menerus ke timur, dengan arah busur magmatik tetap barat-timur. Perubahan gerakan maju dari busur magmatik Zaman Neogen ini menyebabkan terjadinya regim tektonik kompresi yang menghasilkan struktur geologi lipatan dan sesar di daerah Cekungan Jawa Timur bagian Utara, dimana kedua faktor tersebut merupakan faktor utama didalam pembentukan sistem petroleum (Gambar 2).

Stratigrafi daerah ini termasuk ke dalam stratigrafi mandala rembang (Harsono, 1983), tersusun oleh formasi batuan dari tua ke muda berturut-turut adalah Formasi Kujang, Formasi Prupuh, Formasi Tuban, Formasi Ledok, Formasi Mundu, Formasi Selorejo, Formasi Lidah dan endapan yang termuda disebut endapan Undak Solo dengan tebal total cekungan sedimentasi lebih dari 3000 meter (Gambar 3).

Lokasi pengambilan sampel batupasir adalah singkapan yang berasal dari Formasi Ngrayong yang merupakan salah satu *reservoir* minyak bumi di Blok Cepu (Gambar 4).

2.3. Data Laboratorium Petrofisika

Pada hasil uji laboratorium petrofisika yang telah dilakukan pada sampel batuan yang sama pada penelitian ini, menunjukkan nilai porositas berkisar 33.24%, dan permeabilitas berkisar 1150 mDarcy.

3. METODE PENELITIAN

Adapun metodologi pengerjaan pada penelitian ini yaitu:

3.1 Akuisisi data

Akuisisi data dalam hal ini pengambilan sampel data *core* batupasir dilakukan dipermukaan pada singkapan batupasir Formasi Ngrayong. Kemudian dilakukan perekaman menggunakan *CT-*

Scan SKYSCAN 1173 dengan perekaman resolusi tinggi-tunggal (*scan high resolution-single*). Hasil perekaman menghasilkan lebih dari 1000 gambar *2D slice* batuan. Kemudian irisan *2D* batuan tersebut direkonstruksi untuk meningkatkan kualitas citra gambarnya menggunakan perangkat lunak *NRecon (Bruker Micro-CT)* dan *GPUReconServer* untuk mempercepat rekonstruksi inti (Gambar 5).

3.2 Pemrosesan data

Pemrosesan data citra *digital* menggunakan perangkat lunak *Fiji*. Perangkat lunak ini dapat digunakan untuk menentukan model *2D* dan *3D* dari data hasil *scanning*. Kemudian nilai porositas dan permeabilitas akan dihitung menggunakan kombinasi antara hasil komputasi dan perangkat lunak *Fiji* dan perhitungan manual menggunakan *Microsoft excel* atau *Matlab* (Gambar 6).

3.3 Interpretasi dan analisis

Adapun tahapan interpretasi dan analisis data yang dilakukan ditunjukkan pada gambar 7. Pada tahapan ini nilai porositas dan permeabilitas yang didapat dihubungkan dengan klasifikasi nilai porositas menurut (Harsono, 1997) pada tabel 2, dan klasifikasi permeabilitas menurut (Koesoemadinata, 1978) pada tabel 3.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Pada penelitian ini menggunakan sampel data inti/*core* singkapan batupasir dengan ukuran 3x4.5cm (Gambar 8a) yang direkam menggunakan *CT-Scan* dengan perekaman resolusi tinggi-tunggal. Hasil perekaman menghasilkan citra *digital* sampel batuan secara *3D* (Gambar 8b). perlu dilakukan rekonstruksi untuk menghilangkan efek-efek bising/*noise* yang ikut terekam pada saat proses *scanning* berlangsung. Rekonstruksi ini menghasilkan citra gambar *2D* (Gambar 9).

Pada pemrosesan data, hasil rekonstruksi (*reconstruction image*) digunakan sebagai data inputan untuk pemilihan *ROI* (*Region of Interest*) dengan ukuran 400x400x400 *pixel*. Pemilihan *ROI* ini dilakukan untuk menentukan wilayah ideal pada *slice* gambar hasil perekaman untuk dijadikan bentuk 3D (Gambar 10). Kemudian dilakukan proses *thresholding* untuk membedakan antara pori dan matriks pada sampel batuan (Gambar 11). Proses *thresholding* masih memiliki noise yang dicirikan dengan adanya bintik atau pepper. Hal ini perlu dilakukan *filtering* (*despackle*) (Gambar 12).

Pada penelitian ini visualisasi secara 3D berjumlah 16 bagian kubus dapat mewakili hasil perekaman seluruhnya pada sampel batupasir Formasi Ngrayong (Gambar 13). Dengan memasukkan perhitungan matematis dari hasil pemrosesan data tersebut, dihasilkan nilai perhitungan porositas dan permeabilitas (Tabel 1).

Dengan menggunakan metode *DRP* pada sampel menunjukkan nilai porositas sebesar 33.50% dan nilai permeabilitas sebesar 1267.02 mDarcy. Hasil yang didapat pada penelitian ini tidak jauh berbeda dengan nilai yang didapat pada data hasil uji laboratorium petrofisika yang sudah dilakukan pada sampel yang sama.

Dari hasil visualisasi 2D dan 3D dengan metode *DRP* ini menunjukkan hasil bahwa sampel batuan termasuk kategori batupasir berporos dan memiliki kemampuan meloloskan fluida dimana antar matriks memiliki hubungan yang sangat baik sehingga memungkinkan batuan ini memiliki kemampuan yang baik untuk mengakumulasi fluida seperti minyak bumi, gas, dan air (Gambar 14).

4.2 Pembahasan

Pada penelitian ini kita mengasumsikan bahwa dengan ukuran citra gambar 2D 400 x 400 x 400 *pixel* sebanyak 16 bagian dapat memberikan hasil yang lebih baik dan akurat dalam perhitungan nilai porositas dan permeabilitas. Hal ini membuat semua

hasil perekaman dapat terpakai seutuhnya dan memperkecil nilai *error* yang didapatkan. Hal lain yang juga harus diperhatikan yaitu perlu adanya ketelitian dalam proses *filtering*. Proses ini harus dilakukan secara teliti karena dapat mengakibatkan informasi pori yang ingin didapat justru dikategorikan sebagai *noise*.

Rekonstruksi citra digital telah dilakukan untuk memodelkan bentuk digital batuan. Dalam beberapa kasus perlu dilakukan interpretasi untuk menentukan sebesar apa perlunya *filtering* pada citra digital, dengan harapan tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara real data dan hasil modeling.

5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menghasilkan citra batuan secara 2D dan 3D dengan menggunakan pendekatan *Digital Rock Physics (DRP)*.
2. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata-rata porositas sampel batupasir Formasi Ngrayong yaitu 33.50% dan nilai rata-rata permeabilitasnya sebesar 1267.02 mDarcy.
3. Nilai porositas dan permeabilitas yang tinggi diinterpretasikan sebagai lapisan batupasir yang ideal sebagai batuan *reservoir* minyak/gas bumi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief S.Si., M.Si. selaku penanggung jawab operasional μCT di laboratorium *Micro-CT Scan* Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Institut Teknologi Bandung yang sudah memberikan pengetahuan mengenai instrumen μCT . Serta kepada

Kemenristekdikti sebagai pihak pendanaan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andrä, H., Combaret, N., Dvorkin, J., Glatt, E., Han, J., Kabel, M., Keehm, Y., Krzikalla, F., 376 Lee, M., Madonna, C., Marsh, M., Mukerji, T., Saenger, E.H., Sain, R., Saxena, N., Ricker, 377 S., Wiegmann, A., Zhan, X., 2013, *a Digital rock physics benchmarks—Part I: imaging and 378 segmentation*. Comp. Geosci. 50, 25–32, USA.
- Bemmelen, R.W.an., 1949. *The Geology of Indonesia*, Vol. IA, Netherland.
- Dvorkin, J., Nur, A., and Yin, H., 1994, *Effective Properties of Cemented Granular Materials, Mechanics of Materials*, 18, 351-366. Dvorkin, J., and Nur, A., 1996, *Elasticity of high porosity Sandstones: Theory for Two North Sea Datasets*, Geophysics, 61, 1363-1370, Stanford University, UK.
- Fourier, D.E.L., 2014. *Analysis of Permeability and Tortuosity of Fontainebleau Sandstone and its Models Using Digital Rock Physics Approach*. Physics of Earth and Complex System, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Bandung Institute of Technology, Indonesia.
- Hampson, D. dan Russel, B., 2011, *AVO: Workshop Part-1. Hampson-Russel Software Service,Ltd*.
- Han, D., 1986, *Effects of porosity and clay content on acoustic properties of sandstones and unconsolidated sediments: Ph.D. dissertation*, Stanford University, UK.
- Handoyo., Fatkhan., Fourier, D.E.L., 2014, *Digital Rock Physics Application: Structure Parameters Characterization, Materials Identification, Fluid Modeling, and Elastic Properties Estimation of Saturated Sandstones, HAGI Proceeding 2014 Solo*, Bandung Institute of Technology, Indonesia.
- Harsono, P., 1983, *Biostratigrafi North East Java Basin*. Disertasi Doktor, Bandung.
- Kusumadinata, R.P., 1978, *Geologi Minyak dan Gas Bumi*, Penerbit ITB, Bandung.
- Mavko, G., and Nur, A., 2009, *The Rock Physics Handbook, Second Edition Tools for Seismic Analysis of Porous Media*. Cambridge University Press The Edinburgh Building, Cambridge CB2 8RU, UK.
- Pringgoprawiro, H., 1985, *Stratigrafi Cekungan Jawa Timur Utara dan Paleogeografinya: sebuah pendekatan baru*, Disertasi Doktor, ITB, Indonesia.
- Roberts, A. P., and Garboczi, E. J., 2000, *Elastic properties of model porous ceramics: J. Amer. Ceramic Soc.*, 83, 3041–3048, USA.

Tabel 1. Hasil perhitungan porositas dan permeabilitas

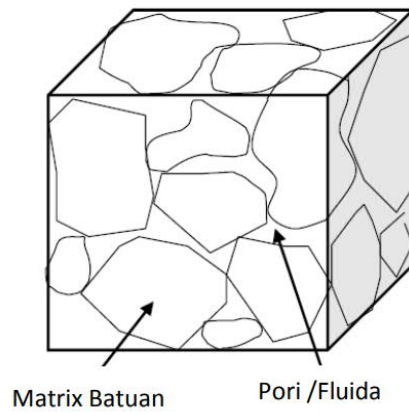
Kode	Porositas (%)	Permeabilitas (mD)
BN_01	38.0794875	1780.828368
BN_02	36.2083525	1483.924711
BN_03	35.4249125	1382.471231
BN_04	32.28858	1074.539317
BN_05	34.04271	1256.757389
BN_06	33.7249375	1191.067531
BN_07	33.9025525	1199.737513
BN_08	33.3581925	1128.450217
BN_09	29.8252875	792.5502371
BN_10	25.738185	506.2111719
BN_11	29.41742	762.0049035
BN_12	34.0697675	1201.188063
BN_13	33.0790125	1194.296824
BN_14	33.030345	1392.949804
BN_15	35.8992375	1751.734984
BN_16	37.9416425	2173.751161
Rata-rata	33.50191391	1267.028964

Tabel 2. Klasifikasi nilai porositas (Harsono, 1997)

Porositas (%)	Klasifikasi
0 - 5	Dapat diabaikan (<i>negligible</i>)
5-10	Buruk (<i>poor</i>)
10-15	Cukup (<i>fair</i>)
15-20	Baik (<i>good</i>)
20-25	Sangat baik (<i>very good</i>)
<75	Istimewa (<i>excellent</i>)

Tabel 3. Klasifikasi permeabilitas (Koesoemadinata, 1978)

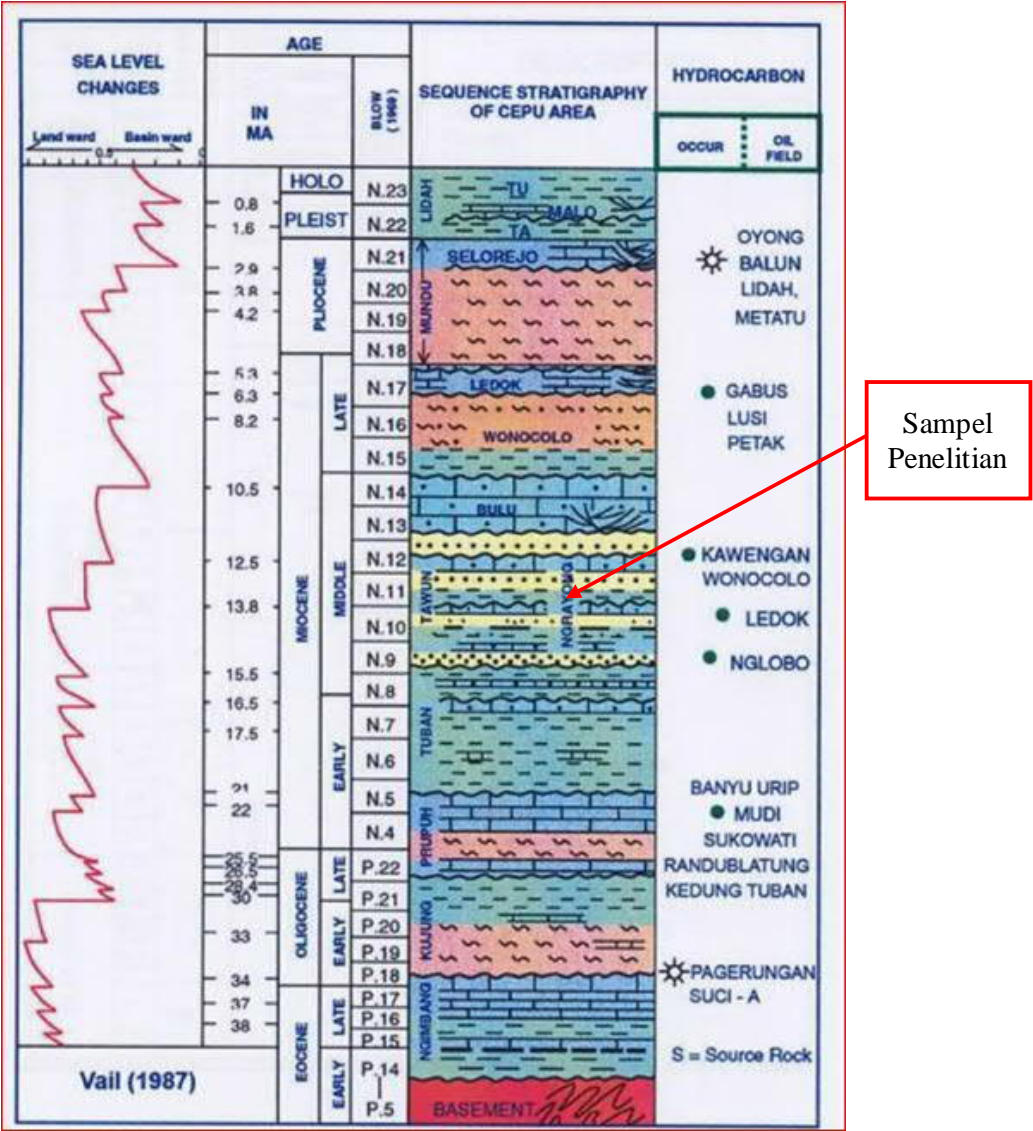
Kualitas	Nilai Permeabilitas (mDarcy)
Sangat buruk	<1
Buruk	1-50
Sedang	50-200
Baik	200-500
Sangat baik	>500



Gambar 1. Model batuan (Humpson – Russel, 2011)



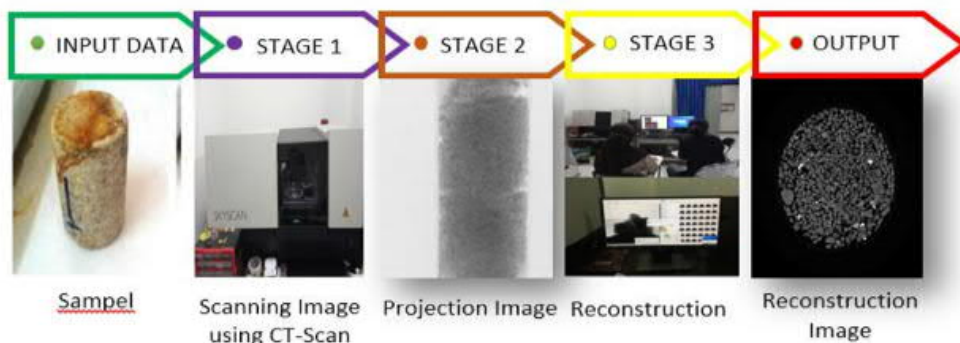
Gambar 2. Peta lokasi geologi regional Blok Cepu (Van Bemmelen, 1949)



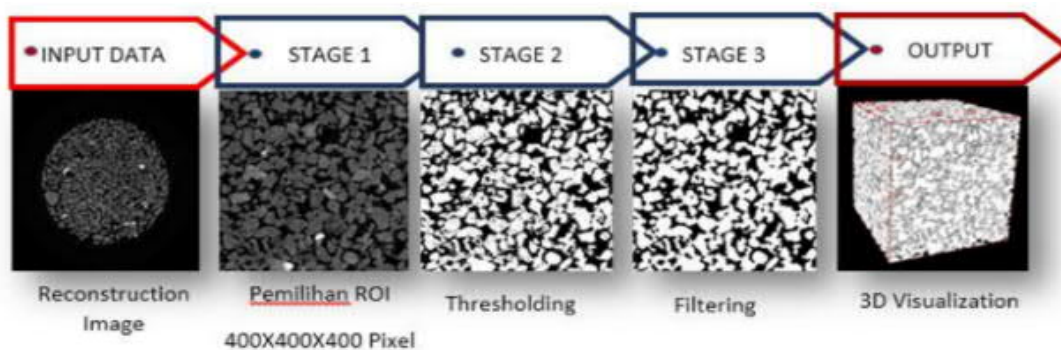
Gambar 3. Stratigrafi Blok Cepu, Mandala Rembang (Harsono, 1985)



Gambar 4. Singkapan batupasir Formasi Ngrayong



Gambar 5. Diagram alir akuisisi data



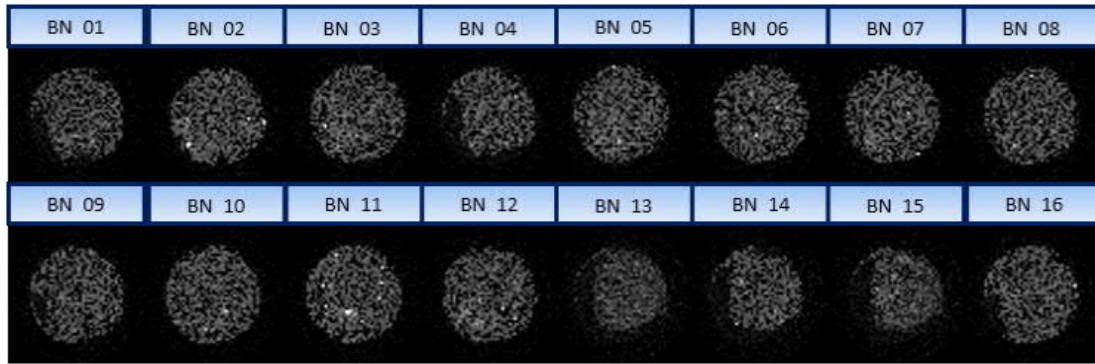
Gambar 6. Diagram alir pemrosesan data



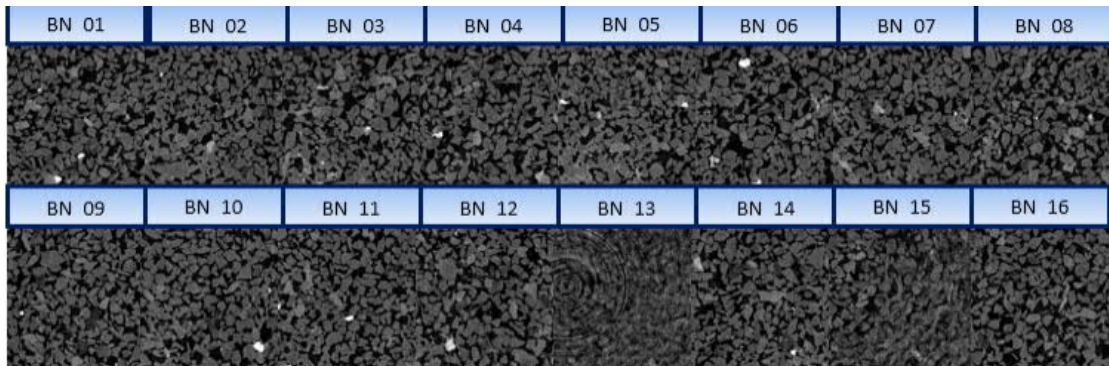
Gambar 7. Diagram alir analisis data



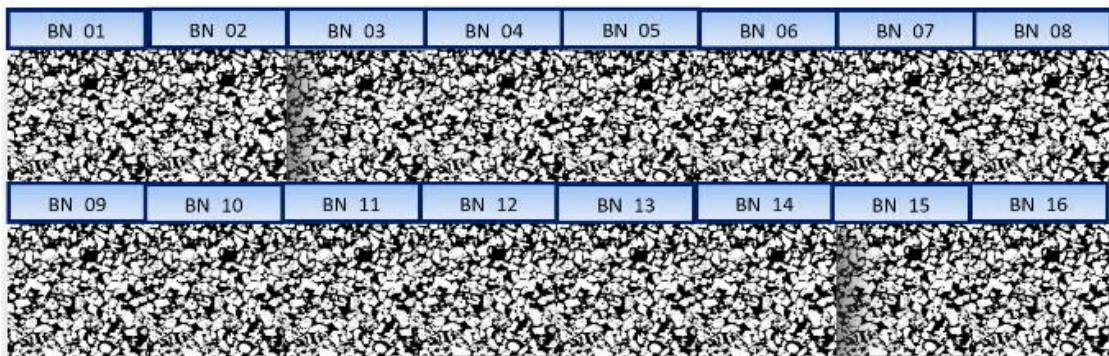
Gambar 8. Sampel *core* batupasir (8a), dan proyeksi gambar 3D perekaman CT-Scan (8b)



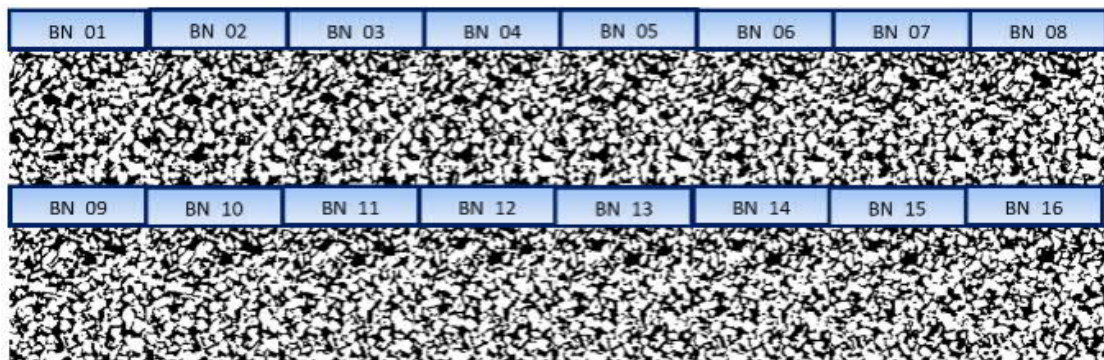
Gambar 9. Hasil rekonstruksi gambar 2D



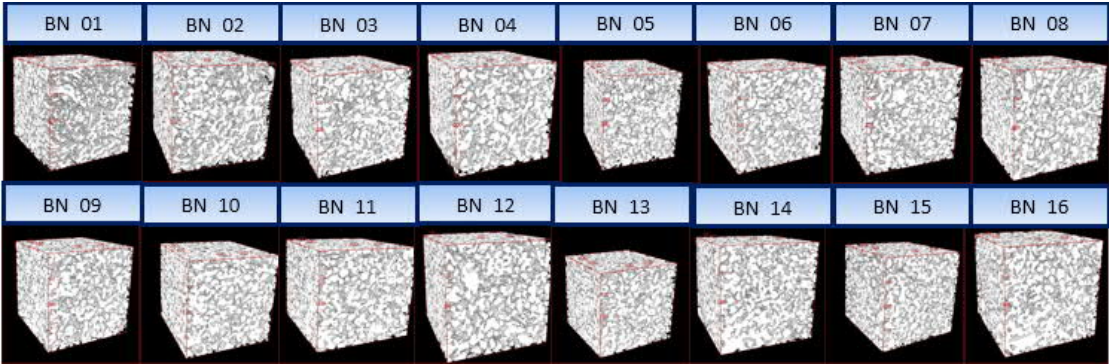
Gambar 10. Hasil pemilihan *ROI* (*Region of Interest*)



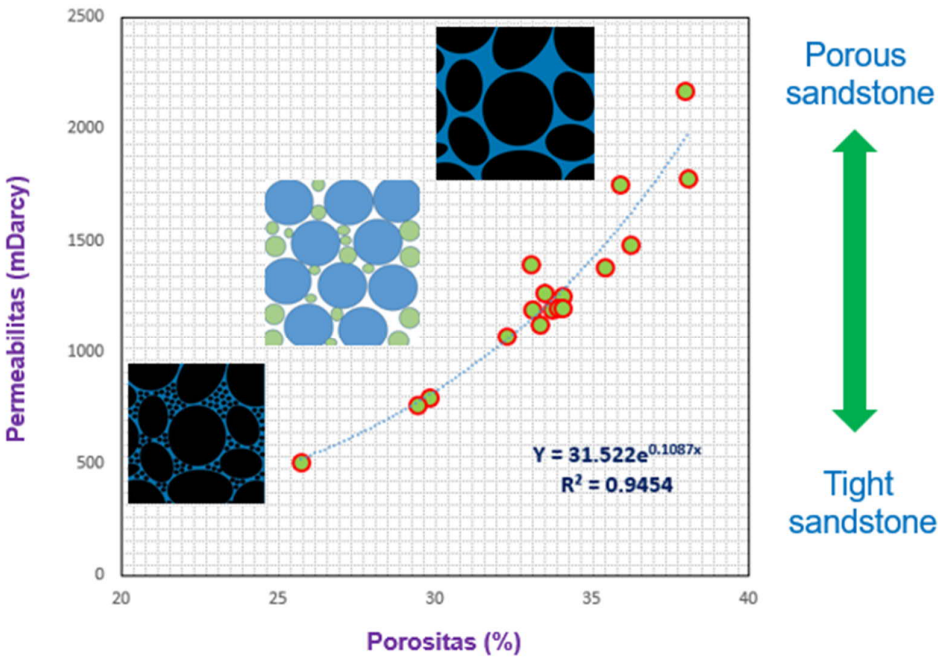
Gambar 11. *Thresholding*



Gambar 12. *Filtering*



Gambar 13. Hasil Visualisasi 3D



Gambar 14. Grafik hubungan antara porositas dan permeabilitas