

**ANALISIS MIKROSTRUKTUR PORI SAMPEL  
BETON DENGAN AGREGAT BERBEDA SEBAGAI  
*POROUS MEDIUM* BERDASARKAN CITRA  
*MICRO-CT SCAN***

**TUGAS AKHIR**

Untuk memenuhi sebagai persyaratan  
mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Putri Ayu Ningsih

16620010

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA**

**2023**



## PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2315/Un.02/DST/PP.00.9/08/2023

Tugas Akhir dengan judul : ANALISIS MIKROSTRUKTUR PORI SAMPEL BETON DENGAN AGREGAT BERBEDA SEBAGAI POROUS MEDIUM BERDASARKAN CITRA MICRO-CT SCAN

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : PUTRI AYU NINGSIH  
Nomor Induk Mahasiswa : 16620010  
Telah diujikan pada : Jumat, 18 Agustus 2023  
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

### TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Tha'qibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 64e69fc6a9e5



Penguji I

Andi, M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 64e59e4f17171



Penguji II

Nugroho Budi Wibowo, S.Si., M.Sc.  
SIGNED

Valid ID: 64e5c7eac1211



Yogyakarta, 18 Agustus 2023  
UIN Sunan Kalijaga  
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.  
SIGNED

Valid ID: 64e80440146c4



## **SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR**

Hal : Persetujuan skripsi

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

*Assalamu'alaikum wr. wb.*

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : PUTRI AYU NINGSIH

NIM : 16620010

Judul Skripsi : Analisis Mikrostruktur Pori Sampel Beton Dengan Agregat Berbeda Sebagai *Porous Medium* Berdasarkan Citra *Micro-CT Scan*

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alaikum wr. wb.*

Yogyakarta, 09 Agustus 2023

Pembimbing 1

Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, M.Si

NIP. 19771025 200501 1 004

Pembimbing 2

Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, M.Si

NIP. 19801019 000000 1 301

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putri Ayu Ningsih  
NIM : 16620010  
Program Studi : Fisika  
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul "Analisis Mikrostruktur Pori Sampel Beton Dengan Agregat Berbeda Sebagai *Porous Medium* Berdasarkan Citra *Micro-CT Scan*" merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 10 Agustus 2023

Penulis,



Putri Ayu Ningsih

NIM : 16620010

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini saya persembahkan untuk keluarga tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat dan motivasi kepada Penulis.

Mending nenekku tercinta yang telah mendedikasikan waktunya untuk mengurusku sedari kecil, Almh. Tari, Ayahku, Jamal Abdul Ghofir dan Ibuku, Sukesih beserta ketiga adikku, Putri Amirah Latifah, Jamal Abdul Hakim dan Jamal Abdul Hikam.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## MOTTO

*“Barangsiapa dikehendaki Allah kebaikan baginya, maka dia akan diuji dan dicoba dengan suatu musibah”*

- **H.R. Bukhari** -

*“Yakinlah, ada sesuatu yang menantimu setelah sekian banyak kesabaran yang kau jalani dan akan membuatmu terpana hingga kau lupa betapa pedihnya rasa sakit”*

- **Ali bin Abi Thalib** -



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah rabbil 'aalamiin*, puji syukur kehadiran Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* atas segala nikmat, rahmat, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir. Nikmat rasa syukur dengan tulus, penulis mempersembahkan tugas akhir ini dengan judul “Analisis Mikrostruktur Pori Sampel Beton Dengan Agregat Berbeda Sebagai *Porous Medium* Berdasarkan Citra *Micro-CT Scan*” untuk memenuhi syarat mendapatkan gelar sarjana strata satu (S-1) di Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta. Penulisan tugas akhir ini dapat terwujud dengan adanya dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Anis Yuniati, Phd. Selaku Kepala Program Studi Fisika;
2. Bapak Cecilia Yanuarif, M.Sc. Selaku Sekretaris Program Studi Fisika dan Dosen Pembimbing Akademik Program Studi Fisika Angkatan 2016;
3. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si, M.Si. Selaku Dosen Peminatan Geofisika dan Dosen Pembimbing Pertama Tugas Akhir Penulis;
4. Bapak Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief, S.Si, M.Si. Selaku Dosen Pembimbing Kedua Tugas Akhir Penulis dan Dosen Penguji;

Terima kasih atas segala kesabaran, waktu, motivasi positif dan ilmu yang telah diberikan oleh para Dosen Pembimbing Tugas Akhir sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

5. Seluruh Dosen Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmu serta pengalaman selama perkuliahan;
6. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Saintek, terutama Ibu Asih Hidayati Yuli Astari, Ibu Nurul Qomariyah, S.Pd.I dan Ibu Erie Susanti, S.E., MM yang sudah sangat membantu penulis dalam urusan akademik;
7. Ayah dan Ibu sebagai Orang Tua Penulis serta Putri, Hakim dan Hikam sebagai adik-adik penulis yang senantiasa memberikan semangat kepada Penulis;
8. Teman terdekat penulis, yaitu Sekar, Siska, Itsna, Rizka, Dewi, Mutiara, Farida, April, Nanda, Lidya, Rakha, Koddam dan Adi yang selalu ada dalam keadaan sulit selama waktu perkuliahan Penulis;
9. Teman-teman seperjuangan, Fisika 2016 yang telah memberikan dukungan serta semangat kepada Penulis; dan
10. Teman-teman bidang peminatan Geofisika yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada Penulis;

Penulis menyadari bahwa penelitian ini belum memiliki kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Dengan adanya laporan tugas akhir ini, penulis berharap dapat memberikan inspirasi, motivasi serta ilmu dalam mempelajari dan mengembangkan ilmu pengetahuan.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Yogyakarta, 10 Agustus 2023

Penulis



**ANALISIS MIKROSTRUKTUR PORI SAMPEL BETON DENGAN  
AGREGAT BERBEDA SEBAGAI *POROUS MEDIUM* BERDASARKAN  
CITRA *MICRO-CT SCAN***

**PUTRI AYU NINGSIH  
16620010**

**INTISARI**

Bangunan adalah hal yang digunakan untuk memfasilitasi kebutuhan manusia, yang berupa jembatan, gedung perkantoran, rumah tinggal, jalan raya, dan seperti batu. Pembuatan bangunan memiliki bahan penyusun seperti semen, pasir, batu dan air. Batu memiliki sifat yang homogen dengan persebaran yang cukup merata, namun batu mengalami kelangkaan dan diganti dengan bahan penyusun baru yaitu pasir yang memiliki harga cenderung lebih murah. Setelah perkembangan zaman, beton digunakan sebagai bahan bangunan karena memiliki kekuatan yang tinggi, harga yang murah, proses pembuatan yang mudah dan efisien. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik mikrostruktur pori sampel beton dengan agregat yang berbeda menggunakan perangkat Micro-CT Scan. Metode analisis yang digunakan adalah metode *Digital Rock Physics*. Metode digital rock physics memanfaatkan sampel yang telah diubah menjadi citra digital dengan bantuan alat Micro-CT Scan Bruker SkyScan 1173. Dataset berupa citra proyeksi yang dihasilkan dari pemindaian akan direkonstruksi menjadi citra penampang atau sayatan. Selanjutnya, dilakukan analisis pada citra penampang hasil rekonstruksi ini sehingga mendapatkan nilai parameter fisis yang dibentuk plot grafik sehingga karakteristik mikrostruktur pori dapat diketahui. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu pori yang muncul pada keseluruhan sampel cenderung berukuran kecil dan memiliki persebaran yang merata. Berdasarkan centroid X, Y dan Z, keseluruhan sampel memiliki banyak pori yang tersebar di bagian tepi dan atas sampel, meskipun ada beberapa yang berada di bagian tengah dan bawah sampel. Sphericity pori pada keseluruhan sampel memiliki bentuk yang cenderung membulat dan memiliki arah bentuk berupa vertikal dan tegak lurus. Bentuk sphericity pori pada keseluruhan sampel cenderung membulat, memiliki ukuran pori-pori yang kecil, persebaran pori yang merata dan memiliki arah bentuk pori vertikal ke bawah.

**KATA KUNCI** : Agregat, Beton, Citra Digital, *Digital Rock Physics*, *Micro-CT Scan*, Parameter Fisis, Pori.

***ANALYSIS OF PORE MICROSTRUCTURE OF CONCRETE SAMPLE  
WITH DIFFERENT AGGREGATE AS POROUS MEDIUM BASED ON  
MICRO-CT SCAN IMAGES***

**PUTRI AYU NINGSIH**  
**16620010**

***ABSTRACT***

Buildings are things that are used to facilitate human needs, in the form of bridges, office buildings, residential houses, highways, and roads. Building construction has constituent materials such as cement, sand, stone and water. Stone has homogeneous properties with a fairly even distribution, but the stone is experiencing scarcity and is replaced with a new constituent, namely sand, which tends to be cheaper. After the development of the times, concrete is used as a building material because it has high strength, low price, easy and efficient manufacturing process. This study aims to analyze the characteristics of the pore microstructure of concrete samples with different aggregates using the Micro-CT Scan device. The analytical method used is the Digital Rock Physics method. The digital rock physics method utilizes samples that have been converted into digital images with the help of the Bruker SkyScan 1173 Micro-CT Scan tool. The dataset in the form of projected images resulting from the scan will be reconstructed into cross-sectional or incision images. Furthermore, an analysis was performed on the reconstructed cross-sectional images in order to obtain the physical parameter values formed by graphic plots so that the characteristics of the pore microstructure can be identified. The results obtained from this study are that the pores that appear in all samples tend to be small and have an even distribution. Based on the X, Y and Z centroids, the entire sample has many pores scattered at the edges and top of the sample, although there are some that are in the middle and bottom of the sample. The sphericity of the pores in all samples has a shape that tends to be rounded and has a vertical and perpendicular shape direction. The sphericity of the pores in the entire sample tends to be rounded, has small pore sizes, an even distribution of pores and has a downward vertical pore shape.

**Keywords :** *Aggregate, Concrete, Digital Image, Digital Rock Physics, Micro-CT Scan, Physical Parameters, Porous.*

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB I.....	16
PENDAHULUAN.....	16
1.1 Latar Belakang.....	16
1.2 Rumusan Masalah.....	20
1.3 Tujuan Penelitian.....	20
1.4 Batasan Penelitian.....	20
1.5 Manfaat Penelitian.....	21
BAB II.....	22
TINJAUAN PUSTAKA.....	22
2.1 Studi Pustaka.....	22
2.2 Landasan Teori.....	24
2.2.1 <i>Porous Medium</i> .....	24
2.2.2 Beton.....	25
2.2.3 Material Penyusun Beton.....	27
2.2.4 <i>Digital Rock Physics</i> .....	33
2.2.5 <i>Micro-CT Scan</i> .....	34
2.2.6 Teknik Tomografi Sinar-X Pada <i>Micro-CT Scan</i> .....	34
2.2.7 Prinsip Kerja <i>Micro-CT Scan</i> .....	36
2.2.8 Proses Akuisisi Citra Digital.....	37
2.2.9 Parameter Pemindaian.....	38

2.2.10 Rekonstruksi Citra.....	39
2.2.11 Citra Digital.....	40
2.2.12 Citra Keabuan.....	40
2.2.13 Citra Hitam Putih .....	41
BAB III.....	42
METODOLOGI PENELITIAN .....	42
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	42
3.1.1 Waktu Penelitian .....	42
3.1.2 Tempat Penelitian.....	42
3.2 Sampel dan Perangkat Penelitian.....	42
3.2.1 Sampel Penelitian.....	42
3.2.2 Perangkat Penelitian .....	43
3.3 Prosedur Penelitian.....	44
3.3.1 Tahap Rekonstruksi.....	45
3.3.2 Tahap Pemrosesan Citra.....	48
3.3.3 Analisis Data Citra .....	51
BAB IV .....	55
HASIL DAN PEMBAHASAN .....	55
4.1 Hasil Penelitian .....	55
4.1.1 Analisis Pori.....	55
4.2 Pembahasan.....	71
4.2.1 Analisis Kualitatif Awal Berdasarkan Citra Rekontruksi .....	71
4.2.2 Analisis Pori.....	74
BAB V .....	80
KESIMPULAN DAN SARAN .....	80
5.1 Kesimpulan .....	80
5.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA .....	84
LAMPIRAN ANALISIS DATA CT-AN .....	87

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Penelitian-penelitian yang berkaitan .....	22
Tabel 2.2 Komposisi pembuatan semen Portland .....	28
Tabel 2.3 Persentase lolos agregat pada ayakan.....	32
Tabel 3.1 Perangkat keras yang digunakan .....	44
Tabel 3.2 Perangkat lunak yang digunakan.....	44



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Bruker Micro-CT SkyScan 1173. ....	34
Gambar 2.2 Tomografi sinar-X pada Micro-CT konfigurasi cone- beam. ....	36
Gambar 2.3 Proses akuisisi citra pada Micro-CT Scan.....	37
Gambar 2.4 Citra setelah melewati tahapan pemindaian .....	39
Gambar 2.5 Operasi <i>back projection</i> dan <i>filtered back projection</i> .....	39
Gambar 2.6 Citra hasil proyeksi yang dihasilkan dari tahapan pemindaian .....	41
Gambar 2.7 Citra hitam putih setelah peninjauan area <i>Region of Interest</i> melalui proses <i>thresholding</i> .....	41
Gambar 3.1 Sampel yang digunakan .....	43
Gambar 3.2 Alur tahapan penelitian .....	45
Gambar 3.3 Alur tahapan rekonstruksi citra .....	46
Gambar 3.4 Kurva misalignment compensation.....	46
Gambar 3.5 Koreksi <i>misalignment compensation</i> .....	47
Gambar 3.6 Koreksi <i>beam hardening correction</i> .....	47
Gambar 3.7 Koreksi <i>ring artifact reduction</i> .....	48
Gambar 3.8 Alur tahapan pemrosesan citra .....	49
Gambar 3.9 Pemilihan <i>Region of Interest</i> .....	49
Gambar 3.10 Tahapan penggeseran <i>thresholding</i> .....	50
Gambar 3.11 Proses <i>bitwise operation</i> .....	51
Gambar 3.12 Tampak pori menggunakan <i>DataViewer</i> dan <i>CT-Vox</i> .....	54
Gambar 4.1 Plot grafik object volume pori vs frekuensi kemunculan pori .....	56
Gambar 4.2 Plot grafik sauter diameter pori vs frekuensi kemunculan pori .....	58
Gambar 4.3 Plot grafik sauter diameter pori vs frekuensi kemunculan pori .....	59
Gambar 4.4 Persebaran pori terhadap sumbu-x .....	60
Gambar 4.5 Persebaran pori terhadap sumbu-y. ....	61
Gambar 4.6 Persebaran pori terhadap sumbu-z .....	62
Gambar 4.7 Persebaran pori pada beton agregat cangkang kelapa.....	64
Gambar 4.8 Persebaran pori pada beton agregat kertas .....	65

Gambar 4.9 Persebaran pori pada beton agregat daur ulang.....	66
Gambar 4.10 Orientasi phi dan theta pada koordinat X, Y, dan Z.....	68
Gambar 4.11 Plot grafik sphericity pori vs frekuensi kemunculan pori .....	69
Gambar 4.12 Orientasi <i>theta</i> pada pori .....	70
Gambar 4.13 Citra rekonstruksi sampel beton agregat cangkang kelapa. ....	71
Gambar 4.14 Citra rekonstruksi sampel beton agregat kertas.....	72
Gambar 4.15 Citra rekonstruksi sampel beton agregat daur ulang .....	73



STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bangunan merupakan suatu hal yang digunakan untuk memfasilitasi kebutuhan manusia. Bangunan dapat berupa jembatan, gedung perkantoran, rumah tinggal, jalan raya, dan sebagainya. Dalam proses pembuatan bangunan diperlukan bahan penyusun seperti semen, pasir, batu dan air.

Dahulu, bangunan disusun dengan menggunakan batu yang ditumpuk, seperti piramida, stone henge, dan sebagainya. Batu memiliki sifat yang homogen dengan persebaran yang cukup merata. Kemudian, semakin lama batu mengalami kelangkaan dan diganti dengan bahan penyusun baru yaitu semen. Semen juga memiliki sifat yang homogen dengan persebaran yang merata, namun dikarenakan harga semen yang semakin mahal, maka perlu adanya pengganti dari bahan tersebut. Selain semen, pasir juga digunakan sebagai bahan bangunan agar memiliki biaya yang lebih murah. Setelah perkembangan zaman, bahan bangunan mengalami pembaruan dengan memakai beton.

Beton adalah salah satu bahan yang digunakan dalam proses pembangunan yang dapat menjadi bahan alternatif pengganti struktur kuat seperti batu, atau struktur yang lebih ringan seperti bata. Beton telah dikembangkan untuk mengetahui kekuatan strukturnya. Pada struktur yang kuat, bahan yang diperlukan adalah yang memiliki kekuatan sangat baik, tetapi ekonomis. Bangunan-bangunan kuno memiliki kekuatan struktur yang sangat baik sedangkan pembuatan bangunan modern akan sangat sulit, sehingga beton digunakan sebagai penggantinya.



Secara umum, beton tersusun dari campuran beberapa komponen yaitu semen, agregat mineral, air, dan campuran lainnya (Popovics, 1992). Beton dapat membuat bangunan memiliki kekuatan yang lebih tinggi, memiliki harga yang murah, proses pembuatan yang mudah dan efisien. Kekuatan yang dimiliki beton dapat diketahui dari persentase komposisi bahan penyusunnya dan uji kuat tekan untuk mendapatkan besar retakan yang terlihat. Adapun selain itu kekuatan beton dapat dilihat dari persebaran pori yang terbentuk akibat proses pencampuran beton. Beton yang memiliki pori lebih banyak akan membuat beton memiliki kekuatan yang rendah sedangkan beton berpori sedikit dapat membuat beton memiliki kekuatan yang lebih tinggi. Namun, hal lain yang dapat mempengaruhi yaitu keterkaitan atau koneksi antar pori. Pori besar yang terhubung dengan pori yang lainnya akan lebih rentan membuat beton hancur dibandingkan dengan koneksi antar pori yang berjauhan.

Untuk berbagai keperluan lain, dikembangkan berbagai alternatif jenis beton dengan mengganti bahan penyusun pada beton sehingga dapat ditemukan beton alternatif lain yang berbeda dengan beton biasa. Salah satu contohnya adalah beton alternatif yang menggunakan karet bekas, sisa hancuran bahan bangunan, dan cangkang kelapa sebagai agregatnya. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini peneliti akan mengkaji mengenai beton dengan alternatif agregat cangkang kelapa, agregat kertas dan agregat daur ulang. Sebagaimana Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* berfirman dalam Q.S. Al-Ahzab (33) ayat 72 untuk selalu senantiasa menjadi orang yang dapat bermanfaat bagi alam dan seluruh makhluk hidup di bumi ini.

أتأعرضنا الأمانة على السموات والأرض والجبال فأبين أن يحملنها وأشفقن منها وحملها  
الإنسن ۞ إنه كان ظلوما جهولا [٧٢]

Artinya :

“*Sesungguhnya kami telah mengemukakan amanah kepada langit, bumi dan gunung-gunung, maka semuanya enggan untuk memikul amanah itu dan mereka khawatir akan mengkhianatinya, dan dipikullah amanah itu oleh manusia, sesungguhnya manusia itu amat zalim dan amat bodoh*”.

Tugas manusia sebagai *khalifah* adalah untuk menjaga dan bertanggung jawab atas dirinya, antar makhluk hidup dan alam yang menjadi sumber penghidupan. Hal ini dikarenakan manusia yang merupakan *khalifah* di bumi memiliki tiga bentuk *sunatullah* yang harus dilakukan, yaitu kewajiban antara manusia dengan Tuhan, antara sesama manusia itu sendiri dan antara manusia dengan ekosistemnya. Tanggung jawab manusia terhadap moral agama sebagai *khalifah* di bumi yaitu mengelola sebaik-baiknya alam semesta dan kehidupan sosial di dalamnya (Mardiyah dkk., 2018).

Manusia dapat memanfaatkan berbagai bahan yang berada di lingkungan sekitar kita agar dapat bermanfaat sebagaimana Allah SWT kembali berfirman dalam Q.S. Sad (38) ayat 27 yang menjelaskan tentang penciptaan langit dan bumi maupun yang ada diantaranya memiliki manfaat bukan hanya sekedar ciptaan yang sia-sia.

وما خلقنا السماء والأرض وما بينهما بطلا ۗ ذلك ظن الذين كفروا ۗ فويل للذين كفروا من  
النار [٢٧]

Artinya :

“*Dan Kami tidak menciptakan langit dan bumi dan apa yang ada di antara keduanya dengan sia-sia. Itu anggapan orang-orang kafir, maka celakalah orang-orang yang kafir itu karena mereka akan masuk neraka*”.

*Porous medium* yaitu suatu fasa padat yang banyak memiliki ruang kosong atau biasa disebut dengan pori-pori. Di dalam *porous medium* terdapat kumpulan padatan tempat *fluida* melewati rongga di antaranya. Namun demikian, kajian mengenai *porous medium* secara umum telah berkembang, termasuk teknik-teknik analisisnya. Salah satu teknik analisis tersebut adalah *digital rock physics*, yang berdasar pada teknik pengolahan dan analisis citra digital. Dari perkembangan teknik *digital rock physics* tersebut, media berpori lainnya juga dapat dianalisis dengan teknik yang sama. Beton merupakan salah satu jenis media berpori yang juga sudah banyak dianalisis menggunakan metode *digital rock physics*.

Penelitian dalam bidang fisika batuan sudah mengalami peningkatan yang cukup pesat. Sebelumnya, penelitian dilakukan dengan menggunakan metode konvensional yang diperoleh dari perhitungan secara manual sehingga terdapat kesulitan dalam membuat analisis hasil yang kemudian ditemukan metode yang dapat lebih memudahkan penelitian, yaitu seperti yang sudah disebutkan sebelumnya adalah metode *digital rock physics*.

Metode *digital rock physics* merupakan metode yang digunakan untuk mempelajari mikrostruktur pori batuan secara digital. Metode ini menggunakan teknik pencitraan tomografi yang dilakukan pada skala mikro. Alat yang digunakan pada metode ini disebut *Micro-CT Scan*. Alat ini dapat digunakan dalam analisis yang melibatkan pori pada batuan di skala mikro melalui proses digital. Metode *digital rock physics* ini dapat membantu mempermudah penelitian karena memiliki sifat yang lebih efektif, cukup akurat, efisien serta *non-destructive*. Parameter fisis dari batuan yang umum dikaji di antaranya adalah porositas, *specific surface area*,

dan permeabilitas. Dalam perkembangannya, *digital rock physics* dapat menunjukkan properti fisik batuan dalam skala mikro dengan parameter mikrostruktur seperti pori, ukuran butiran, konektivitas pori dan luas permukaan (Latief dkk., 2019).

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, metode *digital rock physics* memanfaatkan sampel yang telah diubah menjadi citra digital dengan bantuan alat *Micro-CT Scan Bruker SkyScan 1173*. Dataset berupa citra proyeksi yang dihasilkan dari pemindaian akan direkonstruksi menjadi citra penampang atau sayatan. Selanjutnya, dilakukan analisis pada citra penampang hasil rekonstruksi ini sehingga karakteristik mikrostruktur pori dapat diketahui.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang tertera, maka didapatkan perumusan masalah mengenai bagaimana karakteristik mikrostruktur pori sebagai porous medium pada sampel beton dengan agregat cangkang kelapa, kertas dan daur ulang berdasarkan hasil analisis citra *Micro-CT*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan pada penelitian ini adalah mengetahui karakteristik mikrostruktur pori sebagai porous medium pada sampel beton agregat cangkang kelapa, kertas dan daur ulang berdasarkan citra *Micro-CT*.

## **1.4 Batasan Penelitian**

Sampel yang digunakan yaitu beton dengan agregat berbeda yang berupa cangkang kelapa, kertas dan bahan daur. Mikrostruktur pori di dalam sampel dianalisis tanpa melalui proses uji tekan dan pemodelan (laju aliran fluida),

sehingga tidak memerlukan parameter tambahan seperti kuat tekan dan retakan untuk menentukan kekuatan beton.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Mempelajari metode *digital rock physics* dapat membantu penelitian menjadi lebih mudah dikarenakan bersifat akurat, efisien, efektif dan *non-destruktif*,
2. Memberikan informasi mengenai metode *digital rock physics* untuk mengetahui karakteristik mikrostruktur pori pada beton melalui analisis citra, dan
3. Memberikan informasi mengenai analisis mikrostruktur pori pada beton.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada bab sebelumnya, maka dapat diperoleh kesimpulan karakteristik mikrostruktur pori sebagai porous medium pada sampel-sampel beton dengan agregat cangkang kelapa, kertas, dan daur ulang adalah sebagai berikut:

##### A. Bentuk Pori

Penelitian ini menganalisis bentuk pori yang diambil dari parameter *sphericity*. Dari keseluruhan sampel terlihat bentuk pori cenderung membulat (tidak membulat sempurna), mendekati nilai 1.

- Sampel beton agregat kertas memiliki paling banyak pori yang berbentuk cenderung membulat.
- Sampel beton agregat daur ulang memiliki banyak pori yang cenderung membulat, tetapi tidak lebih banyak daripada sampel beton jenis agregat lain.

##### B. Ukuran Pori

Pori pada berbagai sampel dianalisis dan dilihat ukuran porinya yang diketahui melalui parameter *object volume* dan diameter pori.

- Pori pada sampel agregat cangkang kelapa cenderung berukuran kecil.
- Pori tersebar ke seluruh bagian sampel, namun terdapat pori yang berukuran besar pada sampel agregat kertas dan daur ulang.

- Diameter pori yang memiliki persen volume besar terletak diantara diameter 1 mm hingga 2 mm, namun pada sampel agregat kertas diameter pori yang memiliki persen volume besar terletak diantara diameter 3 mm hingga 4 mm.

#### C. Arah Bentuk

Pori memiliki arah bentuk, yaitu arah melonjongnya suatu pori menuju ke arah vertikal atau horizontal. Untuk mengetahuinya, perlu melihat dari parameter orientasi.

- Grafik orientasi *theta* pada Gambar 4.12 menunjukkan arah bentuk keseluruhan pori adalah vertikal.
- Keseluruhan pori memiliki nilai  $90^\circ$  atau mendekati  $90^\circ$ , sehingga pori memiliki arah bentuk vertikal ke bagian bawah sampel.

#### D. Persebaran Pori

Pori-pori dalam beton memiliki persebaran di dalamnya. Persebaran pori dapat dilihat dari parameter *centroid*. *Centroid* adalah titik pusat geometri suatu pori sehingga dapat diketahui letak pori dan persebarannya.

- Persebaran pori berdasarkan frekuensi kemunculan pori terhadap *centroid* yaitu pori tersebar secara merata pada keseluruhan sampel. Perbedaan terletak pada beton dengan agregat kertas. Pada beton agregat kertas RB2-A dan RB4-T1-S terlihat bahwa pori banyak berada di bagian tepi (nilai *centroid* X dan Y > 40 mm) dan bagian atas sampel (nilai *centroid* Z > 40 mm).



- Persebaran pori berdasarkan object volume terhadap *centroid* yaitu memiliki pori yang berukuran besar pada keseluruhan sampel terletak di bagian tepi. Adapun pori yang berukuran besar tersebut dapat terlihat di bagian tepi atas, samping dan bagian tepi bawah.
- Gambar 4.7 (a) beton agregat cangkang kelapa AB3-1 menunjukkan pori terbesar terletak di bagian tepi bawah sampel.
- Gambar 4.7 (b) beton agregat cangkang kelapa AB3-3 menunjukkan pori terbesar terletak di bagian tengah atas sampel.
- Gambar 4.8 (a) beton agregat kertas RB2-A menunjukkan pori terbesar di bagian tengah dan sebelah tepi sampel.
- Gambar 4.8 (b) beton agregat kertas RB4-T1-S menunjukkan pori terbesar terletak di bagian tepi bawah sampel.
- Gambar 4.9 (a) beton agregat daur ulang B5-3 menunjukkan pori terbesar terletak di bagian tepi bawah sampel.
- Gambar 4.9 (b) beton agregat daur ulang B5-4 menunjukkan pori terbesar terletak di bagian tengah atas sampel.



## 5.2 Saran

Adapun saran yang diberikan kepada peneliti berikutnya adalah::

1. Penulis berharap agar selanjutnya dapat dilakukan analisis parameter lain seperti konektivitas antar pori untuk mengetahui kekuatan pada beton secara lebih mendalam.
2. Pada penelitian selanjutnya, penulis juga berharap agar sampel beton dengan agregat berbeda ini dapat dilakukan proses uji tekan sehingga dapat dibandingkan dengan hasil uji tekan dari beton lain dengan melakukan analisis pada retakannya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adhiwijna, M. A. 2019. *Karakterisasi Struktur Pori Pada Beton Menggunakan Teknik Pemrosesan dan Analisis Citra Berbasis Micro Computed Tomography*. (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, FMIPA, ITB, Bandung.
- Bayuaji, R. 2013. *Teknologi Beton dan Begisting "Material Penyusun Beton"*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Diakses 23 Juli 2021 dari [https://share.its.ac.id/pluginfile.php/19646/mod\\_resource/content/4/Modul%20Minggu%20ke3%2C%20material%20penyusun%20beton.pdf](https://share.its.ac.id/pluginfile.php/19646/mod_resource/content/4/Modul%20Minggu%20ke3%2C%20material%20penyusun%20beton.pdf)
- Chhabra, R. P., dan Richardson, J. F. 2008. *Non-Newtonian Flow and Applied Rheology* (2<sup>nd</sup> ed). Butterworth-Heinemann Publications. The United Kingdom.
- Ginting, A. 2017. *Perbandingan Kuat Tekan dan Porositas Beton Porous Menggunakan Agregat Kasar Bergradasi Seragam Dengan Gradasi Menerus*. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Janabadra, Yogyakarta.
- Harber, P. J. 2005. *Applicability of No-Fines Concrete as a Road Pavement*. Research Project, Bachelor of Engineering, Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Australia.
- Ismi. 2019. *Analisis Ukuran Butiran dan Porositas Campuran Biner Pasir Berbasis Citra Digital Micro-CT* (Tesis), Jurusan Fisika, FMIPA, ITB, Bandung.
- Kachelrieß, M. 2008. *Micro-CT in Molecular Imaging I*. Springer Berlin Heidelberg. Germany.
- Kementerian Agama. *Ayat Al-Qur'an*. Diakses 30 Maret 2021 dari <https://quran.kemenag.go.id/>

- Latief, F. D. E., Mohammad, I. H, Rarasati, A. D., dan Handika, N. 2019. Pore Structure Characterization of Concrete Mixtures With Different Aggregates Using Digital Image Processing and Analysis. *Journal of Physics: Conference Series*, **Vol.1280 No.2 November 2019** : 1-7.
- Lie, H. A. 2017. *Pengantar Teknologi Beton - Pengertian, Pengujian, Perilaku dan Sifat Mekanik*. Diakses 2 April 2021 dari <https://docplayer.info/60733801-Pengantar-teknologi-beton-pengertian-pengujian-perilaku-sifatmekanik.html>
- Mardiyah, W., Sunardi, dan Agung, L. 2018. Peran Manusia Sebagai *Khalifah Allah* di Muka Bumi: Perspektif Ekologis dalam Ajaran Islam. *JURNAL PENELITIAN*, **Vol.12 No.2 Agustus 2018** : 362–364.
- Neville, A. M. dan Brooks, J. J. 2010. *Concrete Technology (2<sup>nd</sup> ed)*. Pearson Education Limited, Essex, England.
- Obla, K.H. 2007. *Pervious Concrete for Sustainable Development*. Recent Advances in Concrete Technology, Washington DC.
- Poli, R. A., Sumajouw, M. D. J., dan Windah, R. S. 2015. Kuat Tekan Beton Dengan Variasi Agregat yang Berasal Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara. *JURNAL SIPIL STATIK*, **Vol.3 No.3 Maret 2015** : 206–211.
- Popovics, S. 1992. *Concrete Materials - Properties, Specifications and Testing (2<sup>nd</sup> ed)*. Noyes Publications. New Jersey.
- Portland Cement Association - America's Cement Manufacturers. *How Concrete Is Made*. Diakses 25 Februari 2021 dari <https://www.cement.org/cement-concrete/how-concrete-is-made>
- Shamey, R., dan Zhao, X. 2014. *Modeling, Simulation, and Control of the Dyeing Process (1<sup>st</sup> ed)*. The Textile Institute. United Kingdom.

- Sidiq, I. N. 2017. *Identifikasi Besaran Fisis Sampel Core Reservoir Karbonat Berdasarkan Citra  $\mu$ -CT (Micro Computerized Tomography)*. (Tugas Akhir), Jurusan Fisika, SAINTEK, UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Smith, Steven W. 2002. *Digital Signal Processing: A Practical Guide for Engineers and Scientists* (1<sup>st</sup> ed). Newnes. England.
- Standar Nasional Indonesia (SNI 03-2847-2002). 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*. Diakses 16 Juli 2021 dari <https://tekniksipil.usu.ac.id/images/PDF/2002-12-SNI-03-2847-2002-Beton.pdf>
- Tiab, D., dan Donaldson, E. C. 2012. *Petrophysics: Theory and Practice of Measuring Reservoir Rock and Fluid Transport Properties* (3<sup>rd</sup> ed). Gulf Professional Publishing. United Kingdom.
- White, W. B, dan David, C. C. 2012. *Encyclopedia of Caves* (3<sup>rd</sup> ed). Academic Press. United Kingdom.
- Wildenschild, D., dan Sheppard, A. P. 2013. X-Ray Imaging and Analysis Techniques for Quantifying Pore-Scale Structure and Processes in Subsurface Porous Medium Systems. *Advances in Water Resources*, **Vol.51 No.1 Januari 2013**: 5-7.
- Winardhi, C. W. 2016. *Pengembangan Teknik Akuisisi Rekonstruksi dan Analisis Digital Untuk Sampel Core Plug Reservoir Batu Pasir Ukuran Besar*. FMIPA, ITB, Bandung.