

# Studi Porositas Bone Scaffold Berdasarkan Data X-Ray

*by* Dhananjaya Kumarajati

---

**Submission date:** 26-Apr-2021 06:11AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 1569494859

**File name:** ENADI\_-\_Studi\_Porositas\_Bone\_Scaffold\_Berdasarkan\_Data\_X-Ray.pdf (606.95K)

**Word count:** 2246

**Character count:** 14564

## STUDI POROSITAS *BONE SCAFFOLD* BERDASARKAN DATA X-RAY MICROTOMOGRAPHY MENGGUNAKAN MATLAB

Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati

Program Studi Teknik Informatika,  
Fakultas Teknik, Universitas PGRI Yogyakarta

Email: [dhananjaya@upy.ac.id](mailto:dhananjaya@upy.ac.id)

### Abstrak

Menggunakan data x-ray microtomography untuk menganalisis dan mengekstrak pori dan porositas memainkan peranan yang penting dalam menginvestigasi karakteristik pori dari bone scaffold. Pada artikel ini, sebuah metode sederhana dikembangkan untuk mendeteksi pori untuk menganalisa konektivitas dari jaringan pori. Metode otomatis ini memanfaatkan fungsi image processing yang umum dan dapat diakses secara luas oleh peneliti. Pada metode ini, setelah meningkatkan kualitas gambar, dengan menggunakan fungsi city-block distance dan watershed segmentation algorithm, pori dan salurannya dideteksi. Metode ini akan digunakan pada data X-Ray Microtomography dari Bone scaffold.

Kata kunci: porositas, Bone Scaffold, X-Ray Microtomography, Matlab, Watershed segmentation, city-block distance.

### Pendahuluan

*Bone scaffold* merupakan sebuah media yang digunakan untuk mengisi atau menambal kerusakan yang terjadi pada tulang [1]. *Bone scaffold* biasa digunakan pada tulang yang mengalami *nonunion defect*. *Nonunion defect* merupakan jenis kerusakan tulang dimana terdapat celah antar tulang [1]. Pada penanganan *nonunion defect*, *bone scaffold* ditempatkan pada celah antar tulang, untuk menjebatani pertumbuhan sel tulang [1]. Terdapat 3 proses yang dialami oleh *bone scaffold* yaitu, proses pelekatan *bone scaffold* dengan jaringan tulang, proses *osteogenesis*, dan proses pembentukan pembuluh darah dalam *bone scaffold*. Semua proses ini melibatkan dan terjadi pada pori-pori *bone scaffold*. Sehingga studi porositas pada *bone scaffold* sangat diperlukan.

Studi porositas dapat dilakukan dengan *pore network modeling* (pemodelan jaringan pori). Terdapat beberapa metode yang digunakan untuk pemodelan jaringan pori, diantaranya adalah *simple statistical* [2] *external distance map* [3], *maximal ball clustering* [4]. Sedangkan dalam penelitian ini metode yang akan digunakan adalah dengan menggunakan algoritma pemrosesan gambar yang dinamakan *distance function* dan *watershed segmentation* [5]. *Distance function* akan mengkalkulasi jarak antara setiap pixel pada volume void dari media pori [5]. Sedangkan *watershed segmentation* akan mensegmentasikan pori atau benda yang ada di gambar.

Gambar yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dengan menggunakan alat *microCT* (X-

*Ray Microtomography*). Alat *microCT* memindai benda uji selapis demi lapis, sehingga didapatkan gambar penampang melintang dari benda uji. Gambar tersebut kemudian diproses menggunakan *software* pemrosesan gambar, hingga diketahui parameter-parameter morfologi yang diharapkan seperti ukuran pori, porositas, dan interkoneksi antar pori [6].

### Teori

Bone graft merupakan bahan tulang yang ditransplantasikan ke dalam area disekitar tulang yang rusak atau tulang yang cacat untuk membantu penyembuhan [1]. Tulang atau material yang mirip tulang digunakan dalam bone graft dapat berasal dari tulang sehat pasien itu sendiri, donor dari orang lain, diambilkan dari spesies lain, atau dari material buatan (*synthetic materials*) [1]. Sedangkan scaffold dalam aplikasi rekayasa jaringan tulang dapat diartikan sebagai penyokong, sarana pengantar, atau matriks untuk memfasilitasi migrasi, pengikatan, atau transportasi sel atau molekul bioaktif yang digunakan untuk menggantikan, memperbaiki, atau meregenerasi jaringan [7].

Bone scaffold digunakan untuk memperbaiki patah tulang yang sangat kompleks, memiliki resiko yang signifikan terhadap pasien, atau pada tulang yang tidak sembuh. Bone scaffold juga digunakan untuk membantu penyatuan tulang belakang,

memperbaiki cacat atau menyediakan dukungan struktural pada tulang belakang [8]. Prosedur ini dilakukan untuk memperbaiki kerusakan pada tulang yang disebabkan oleh congenital disorders, traumatic injury, dan kerusakan tulang akibat pengangkatan kanker tulang. Bone scaffold juga digunakan untuk rekonstruksi wajah atau cranial [8].

Terdapat tiga cara bone scaffold membantu memperbaiki kerusakan tulang. Yaitu, osteogenesis, pembentukan formasi tulang baru karena sel yang terkandung pada bone scaffold. Osteoinduction, proses kemikal dimana molekul yang terkandung di dalamnya (bone morphogenetic proteins, BMP) menginduksi pembentukan tulang pada bone scaffold. Osteoconduction, bone scaffold berfungsi sebagai media sel tulang untuk tumbuh dan berkembang pada matriks graft [8].

Porositas adalah ukuran fraksi hampa dalam suatu material. *Void* atau fraksi hampa dapat tertutup dan tidak dapat diakses atau terbuka dan terkoneksi dengan *void* yang lain. Total porositas ( $\phi$ ) didefinisikan sebagai rasio dari volume void ( $V_v$ ) dari total atau *bulk volume* dari material ( $V_T$ ) [5].

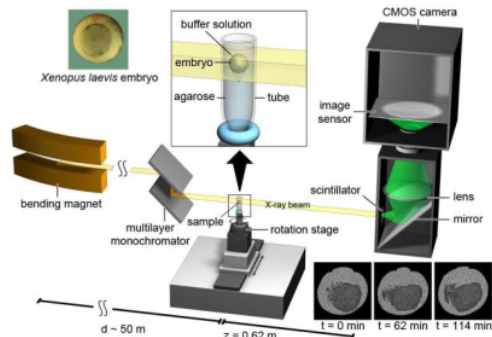
$$\phi = \frac{V_v}{V_T} \quad 1)$$

Pori sangat diperlukan untuk pembentukan jaringan tulang karena dengan adanya pori sel osteoblast dan sel mesenchymal dapat bermigrasi dan berproliferasi ke dalam bone scaffold. Pori juga penting dalam vaskularisasi (pembentukan pembuluh darah) [9]. Selain itu permukaan yang berpori akan meningkatkan interlocking mekanikal antara bone scaffold dengan tulang alami disekitarnya sehingga memberikan stabilitas mekanis yang lebih baik [10].

Porositas dan ukuran pori memainkan peranan yang penting dalam pembentukan jaringan tulang baik secara *in vivo* maupun secara *in vitro*. Secara *in vitro*, porositas yang rendah akan menstimulasi osteogenesis dengan menekan proliferasi sel dan memaksa sel untuk menyatu. Berkebalikan dengan hal tersebut, pada *in vivo*, semakin besar porositas dan ukuran pori akan menghasilkan pertumbuhan tulang yang lebih baik. Akan tetapi besarnya porositas akan menyebabkan semakin berkurangnya kekuatan mekanis dari *bonescaffold*. Oleh karena itu diperlukannya keseimbangan antara besarnya porositas dengan kekuatan mekanis yang diperlukan [9].

X-ray microtomography menggunakan x-ray untuk menghasilkan potongan melintang dari sebuah benda yang dapat digunakan untuk membuat model virtual (3D Model) tanpa menghancurkan benda original. Prefix *micro* digunakan untuk mengindikasikan bahwa ukuran pixel dari gambar

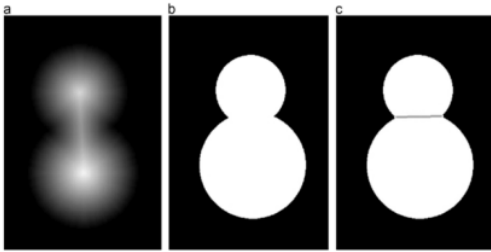
potongan melintang terdapat pada kisaran micrometer [11].



Gambar 1. Aplikasi *x-ray microtomography* pada *xenopus gastrulation* [12]

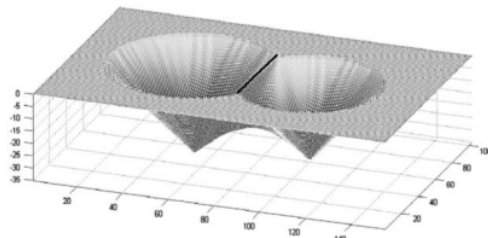
Pada artikel ini akan menyajikan proses ekstraksi karakteristik jaringan pori secara otomatis menggunakan algoritma komputasional yang dilakukan oleh Rabbani *et al* (2014) dengan benda uji berupa purwarupa *bone scaffold*. Algoritma komputasional yang digunakan akan mempresentasikan struktur pori dan salurannya secara realistis. Pada metode ini akan menggabungkan dua algoritma pemrosesan gambar yang sudah dikenal yaitu, *distance function* dan *watershed segmentation*, sehingga pori dan salurannya dapat dideteksi dan dipisahkan. Nomor koordinasi atau konektivitas dari jaringan pori dapat dengan mudah didapatkan dengan menganalisa batas dari pori dan saluran serta menghitung jumlah saluran yang terkoneksi dengan setiap pori. Konektivitas pori merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam menentukan karakteristik *hydraulic* dari media pori. [11][13].

*Distance function* akan menghitung jarak antara setiap pixel pada volume void dari media pori dengan pixel yang berdekatan dengan bagian solid. Untuk mendigitalkan volume pori, gambar biner digunakan dan setiap segmen media berpori diubah menjadi peta biner yang berisi 1 untuk butiran atau padatan dan 0 untuk pori-pori atau rongga [13].



Gambar 2. *Watershed segmentation*: (a) *grayscale distance map*, (b) gambar binari original, (c) pori tersegmentasi [5]

Pada *watershed segmentation*, dinyatakan bahwa secara intuitif, setetes air jatuh pada sebuah topografi akan mengalir pada "terdekat" minimum. "terdekat" minimum adalah minimum yang terletak pada akhir sebuah turunan paling curam. Dalam istilah topografi ini terjadi jika titik terletak pada *catchment basin* minimum itu. Garis *watershed* merupakan alat dasar untuk segmentasi gambar dalam morfologi matematis [14].



Gambar 3. Klarifikasi pendekatan *watershed*, *catchment basin* dan *watershed ridge line* [5]

### Metodologi

Transformasi *watershed* merupakan kunci *building block* untuk segmentasi morfologikal [15]. Pendekatan klasik untuk menghasilkan gambar tepi adalah dengan mengaplikasikan gradien, lalu melakukan *threshold* pada gambar hasil gradien untuk menghasilkan gambar biner. Hal yang paling penting dan sulit dari pendekatan ini adalah bagaimana memilih nilai *threshold* yang sesuai [15]. *Watershed* menyediakan metode yang cepat dan efisien untuk segmentasi dan separasi dari objek [14].

Persiapan titik jarak memainkan peranan yang penting dalam mendeteksi dan membedakan pori yang terkoneksi. Dalam hal ini, untuk setiap pixel di dalam objek diberi koornati  $x_i$  dan  $y_i$ , jarak dari daerah hitam terdekat harus diperhitungkan. Pada Gambar 2(a), area yang lebih cerah merepresentasikan titik terjauh dari daerah hitam. Dengan menganggap titik hitam dengan koordinat  $X_b$  dan  $y_b$ . Untuk menemukan *distance map*, jarak antara satu pixel putih tertentu

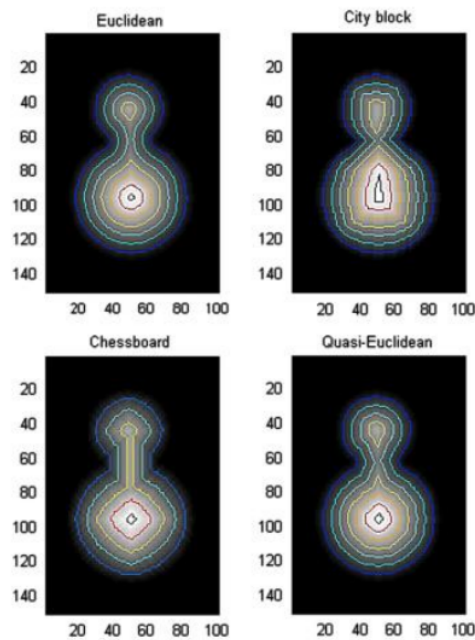
dan pixel hitam sembarang harus diminimalkan. Formula *Euclidean distance* adalah [5]:

$$D_b = \sqrt{(x_b - x_i)^2 + (y_b - y_i)^2} \quad (2)$$

Dimana  $D_b$  adalah jarak antara pixel putih tertentu ( $x_i$ ,  $y_i$ ) dan pixel hitam sembarang ( $x_b$ ,  $y_b$ ). Formula ini dikenal dengan *Euclidean*. Untuk *distance map city block* formula yang digunakan untuk menghitung jarak diekspresikan sebagai [5]:

$$D_b = |X_b - X_i| + |Y_b - Y_i| \quad (3)$$

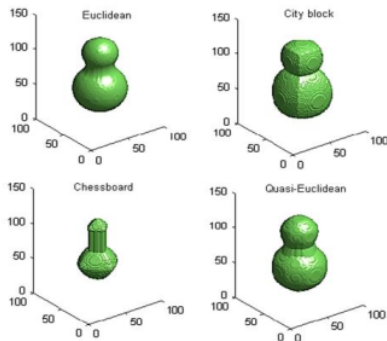
*Watershed segmentation* sensitif terhadap *noise* pada gambar. Pada gambar *noise*, banyak *watershed ridge line* palsu mungkin terdeteksi. Untuk menghindari eror ini, *median filter* untuk mengurangi intensitas *noise* pada gambar disarankan. *Majority morphological transform* merupakan fungsi pemrosesan gambar yang umum digunakan. Fungsi ini digunakan untuk menghilangkan kekasaran minor atau *noise* dari gambar dengan tetap mempertahankan struktur utama. Interval *Majority morphological transform* yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 pixel dan harus diaplikasikan pada gambar sebelum mempersiapkan *distance map*, sedangkan *median filtering* dibutuhkan setelah melakukan *distance map*.



Gambar 4. Empat bentuk *distance function* untuk struktur pori 2D [5]



Pada studi ini, *distance function* yang digunakan untuk membedakan antara pori-pori dan saluran adalah menggunakan *city-block*. Garis kontur pada fungsi ini menunjukkan perubahan yang tajam pada batas antara dua pori. *City-block* menghasilkan kontur angular dan cubical yang mana akan saling berpotongan dengan dinding pori pada batas yang jelas, hal ini akan mengakibatkan adanya perbedaan yang jelas antara pori dan salurannya.



Gambar 5. Empat bentuk *distance function* untuk aplikasi 3D pada sampel pori [5]

Prosedur yang sama juga diaplikasikan untuk analisis gambar 3D nya dengan menggunakan *distance transform* dan *watershed* pada tiga dimensi. Pada 3D, *watershed ridge line* akan berubah menjadi *cortex* melengkung yang kecil. (Gambar 5). Berdasarkan perubahan eksplisit dari bentuk kontur *city block* pada area saluran menyebabkan metode ini lebih cocok digunakan untuk memisahkan antar pori. Pada analisis 3D ini juga mengimplementasikan proses penghilangan *noise* dengan menggunakan *median filter*, hal ini dilakukan untuk mencegah pendeteksian saluran yang palsu. Adapun keseluruhan proses ekstraksi pori dan salurannya dirangkum pada Gambar 6.



Gambar 6. Workflow dari algoritma yang diajukan untuk mendeteksi dan mengekstrak jaringan pori.

**Kesimpulan**

Artikel ini menyajikan proses dan metode untuk mengekstraksi pori dan salurannya, yang akan digunakan untuk analisis pori, porositas dan interkoneksi pori pada *bone scaffold*

**Ucapan terima kasih**

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas PGRI Yogyakarta yang telah memberikan bantuan finansial melalui anggaran dana LPPM 2018.

**Referensi**

[1] Bose, S., Roy, M., Bandyopadhyay, A., 2012, "Recent Advances in Bone Tissue Engineering Scaffolds", *Trends Biotechnol*, Vol.30, No.10, hal.546-554.  
 [2] Rezanezhad, F., Quinton, W.L., Price, J.S., Elrick, D., Elliot, T., Heck, R.J., 2009. Examining the effect of pore size distribution and shape on flow through unsaturated peat using computer tomography. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, 1993–2002

- [3] Homberg, U., Baum, D., Prohaska, S., Kalbe, U., Witt, K.J., 2012. Automatic Extraction and Analysis of Realistic Pore Structures from  $\mu$ CT Data for Pore Space Characterization of Graded Oil. Paper Presented at the ICSE6. Paris
- [4] Dong, H., Blunt, M.J., 2009. Pore-network extraction from micro-computerized tomography images. *Phys. Rev. E* 80 (3) 036307
- [5] Rabbani, A., et al., 2014, An automated simple algorithm for realistic pore network extraction from microtomography images. *J. Petrol. Sci. Eng.*  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.petrol.2014.08.020>
- [6] Buckman, J., Bankole, S.A., Zihms, S., Lewis, H., Couples, G., Corbett, P.W.M., 2017, Quantifying Porosity through Automated Image Collection and Batch Image Processing: Case Study of Three Carbonates and an Aragonite Cemented Sandstone, *Geosciences* 2017, 7, 70; doi:10.3390/geosciences7030070
- [7] Zhou, Wenyu., 2007, "Selective Laser Sintering of Poly (L-Lactide)/Carbonated Hydroxyapatite Porous Scaffolds for Bone Tissue Engineering", *A Dissertation at The University of Hong Kong*, URL : <http://hdl.handle.net/10722/51883>.
- [8] Bergmann, C.J.D., Odekerken, J.C.E., Welting, T.J.M., Jungwirth, F., Devine, D., Bouré, L., Zeiter, S., van Rhijn, L.W., Telle, R., Fischer, H., Emangs, P.J., 2014, "Calcium Phosphate Based Three-Dimensional Cold Plotted Bone Scaffolds for Critical Size Bone Defects", *BioMed Research International, Hindawi Publishing Corporation*, Vol 2014, ID 852610.
- [9] Kuboki, Y., Takita, H., Kobayashi, D., Trusuga, E., Inoue, M., Murata, M., 1998, "BMP-Induced Osteogenesis on the Surface of Hydroxyapatite with Geometrically Feasible and Nonfeasible Structure: Topology of Osteogenesis," *J Biomed Mater Res*, Vol.39, No.2, Hal 190-9.
- [10] Story, B.J., Wagner W.R., Gaisser D.M., Cook S.D., Rust-Dawicki, A.M., 1998, "In vivo Performance of a Modified CSTi Dental Implant Coating." *Int J Oral Maxillofac Implants*, Vol.13, No.6, Hal.749-57.
- [11] Drach, B., Drach, A., Tsukrov, I., 2013, "Characterization and Statistical modeling of irregular porosity in carbon/carbon composite based on X-Ray Microtomography Data", *ZAMM – Z. Angew. Math. Mech.* 93, No. 5, 346-366 , DOI 10.1002/zamm.201100190.
- [12] Moosmann, J., Ershov, A., Altapova, V., Baumbach, T., LaBonne M.S., Xiao, X., Kashef, J., Hofmann, R., 2013, "X-ray phase-contrast in vivo microtomography probes new aspects of *Xenopus* gastrulation", *Nature* 16:497(7449):374-7 (2013)  
 doi: 10.1038/nature12116
- [13] Maurer Jr., C.R., Qi, R., Raghavan, V., 2003. A linear time algorithm for computing exact Euclidean distance transforms of binary images in arbitrary dimensions. *Pattern Anal. Mach. Intell. IEEE Trans.* 25 (2), 265–270.
- [14] Malpica, N., Ortiz de Solorzano, C., Vaquero, J.J., Santos, A., Vallcorba, I., GarciaSagredo, J.M., Pozo, F.d., 1997. Applying watershed algorithms to the segmentation of clustered cells. *Cytometry* 28, 289-297.
- [15] Dougherty, E.R., Lotufo, R.A., 2003. Hands-on morphological image processing.

Dhananjaya Yama Hudha Kumarajati\*  
 Teknik Informatika  
 Universitas PGRI Yogyakarta  
 dhananjaya@upy.ac.id



# Studi Porositas Bone Scaffold Berdasarkan Data X-Ray

---

## ORIGINALITY REPORT

---

12%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

12%

PUBLICATIONS

%

STUDENT PAPERS

---

## PRIMARY SOURCES

---

- 1** Arash Rabbani, Saeid Jamshidi, Saeed Salehi. "An automated simple algorithm for realistic pore network extraction from micro-tomography images", Journal of Petroleum Science and Engineering, 2014 **3%**  
Publication
  - 2** Sidra Waheed, Joan M. Cabot, Petr Smejkal, Syamak Farajikhah et al. "Three-Dimensional Printing of Abrasive, Hard, and Thermally Conductive Synthetic Microdiamond–Polymer Composite Using Low-Cost Fused Deposition Modeling Printer", ACS Applied Materials & Interfaces, 2019 **2%**  
Publication
  - 3** Paulo Jorge Bártolo, Marco Domingos, Tatiana Patrício, Stefania Cometa, Vladimir Mironov. "Chapter 8 Biofabrication Strategies for Tissue Engineering", Springer Science and Business Media LLC, 2011 **1%**  
Publication
-



4

Guoru Zhao, Rongwei Cui, You Chen, Sijie Zhou, Chen Wang, Zhangmei Hu, Xiaoke Zheng, Maohong Li, Shuxin Qu. "3D Printing of Well Dispersed Electrospun PLGA Fiber Toughened Calcium Phosphate Scaffolds for Osteoanagenesis", Journal of Bionic Engineering, 2020

Publication

1 %

5

H.-S. WU. "Segmentation of intestinal gland images with iterative region growing", Journal of Microscopy, 12/2005

Publication

1 %

6

Jacques A. de Chalendar, Charlotte Garing, Sally M. Benson. "Pore-scale modelling of Ostwald ripening", Journal of Fluid Mechanics, 2017

Publication

1 %

7

Trimborn, Barbara, Pascal Meyer, Danays Kunka, Marcus Zuber, Frederic Albrecht, Sascha Kreuer, Thomas Volk, Tilo Baumbach, and Thomas Koenig. "Imaging properties of high aspect ratio absorption gratings for use in preclinical x-ray grating interferometry", Physics in Medicine and Biology, 2016.

Publication

1 %

8

"Characterization and statistical modeling of irregular porosity in carbon/carbon composites based on X-ray microtomography

1 %

data", ZAMM - Journal of Applied Mathematics and Mechanics / Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik, 2013.

Publication

---

9

Piyush Sarkar, Anil Kumar, Kumar Hemant Singh, Ranjana Ghosh, Trilok Nath Singh. "Pore system, microstructure and porosity characterization of Gondwana shale of Eastern India using laboratory experiment and watershed image segmentation algorithm", Marine and Petroleum Geology, 2018

Publication

---

1 %

10

Gloria Díaz, Antoine Manzanera. "chapter 20 Automatic Analysis of Microscopic Images in Hematological Cytology Applications", IGI Global, 2011

Publication

---

1 %

Exclude quotes On

Exclude matches < 1%

Exclude bibliography On