

ARTIKEL RISET

Analisa Pengaruh Porositas Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan Andesit dengan Menggunakan Model Regresi Hasselman dan Ryshkewitch Berbasis Matlab

Titah Anggraeni P. K.^{*}, Agung Dimas Prabowo D., Rayhan Farisi R. and Widya Utama

Received: June 02, 2020 | Accepted: July 22, 2020 | Published: Dec. 21, 2020 | DOI: 10.22146/jfi.v24i3.56549

Ringkasan

Telah dilakukan studi analisis untuk mempelajari bagaimana porositas mempengaruhi besarnya kuat tekan dengan meninjau hubungan porositas-kuat tekan yang ada dan dibandingkan dengan hasil eksperimen dari data sekunder pengujian porositas dan kuat tekan batu andesit di Batujajar, Bandung. Didapatkan hasil analisis dengan menggunakan model regresi Hasselman dan Ryshkewitch bahwa semakin besar porositas suatu batuan, maka nilai kuat tekannya semakin menurun. Pada suatu nilai porositas tertentu terjadi transisi mikrostruktur pada pori-pori batuan yang sepenuhnya terisolasi dan tertutup menjadi membuka dan saling berhubungan yang menyebabkan perubahan tiba-tiba pada nilai kuat tekan batuan. Model regresi Hasselman memiliki kelemahan saat porositas mendekati 100%, nilai kuat tekannya menjadi negatif sedangkan pada model Ryshkewitch mampu menginterpretasi nilai kuat tekan pada porositas 0% dan 100% dengan lebih baik. Dengan dibuatnya paper ini diharapkan dapat dilakukan studi lebih lanjut tentang bagaimana usaha-usaha untuk meminimalisir dampak pengaruh porositas terhadap nilai kuat tekannya.

Kata Kunci : Kuat tekan; porositas; regresi

Abstract

Analytical studies have done to learn how porosity affects the magnitude of strong press by reviewing the relationship of porosity-strong press existing and compared with the experimental results from secondary data testing porosity and strong press andesite stone in Batujajar, Bandung. The results of the analysis by using the regression model of Hasselman and Ryshkewitch that the greater the porosity of a rock, the strong value of its strength is decreasing. At a certain value of porosity there is a microstructural transition to the pores of the rocks that are fully isolated and enclosed into open and interconnected that cause sudden change in the string value of the rock press. The regression Model of Hasselman has a weakness as the porosity approaches 100%, the string value of its determination to be negative while the Ryshkewitch model can interpret the strong value of press on porosity 0% and 100% better. With this paper, it is hoped that there will be further studies on how efforts to minimize the impact of porosity influence on its strong values.

Keywords: Compressive strength; porosity; regression

1. Pendahuluan

Fakta bahwa pengurangan porositas pada material padat dapat meningkatkan kekuatan material tersebut

secara umum telah dikenal sejak lama [1, 2, 3]. Porositas sendiri juga memiliki peran dalam hubungan antara sifat mekanik batuan, seperti kuat tekan dan modulus elastisitasnya [4]. Hal ini menjadi suatu yang sangat penting dalam penggunaannya sebagai bahan pembuatan suatu struktur bangunan. Mengambil pendekatan empiris, Powers [5] mampu menyimpulkan persamaan yang

^{*}Correspondence: titahkinasih.18034@mhs.its.ac.id

Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Keputih, Kec. Sukolilo, 60111, Kota Surabaya, Jawa Timur, Indonesia

Full list of author information is available at the end of the article

[†]Equal contributor

menghubungkan kuat tekan tekan kubus mortir dengan fungsi rasio ruang gels. Schiller [6] juga menggunakan pendekatan teoritis menyimpulkan hubungan persamaan kekuatan material dengan porositas. Dia menerapkan persamaan ini pada data eksperimental pada plester gipsum dan memperoleh kecocokan yang baik untuk kekuatan tekan dan tarik. Beberapa ulasan yang menarik [7, 8, 9] tentang pengaruh porositas pada kuat tekan beton disajikan beberapa persamaan empiris dan teoretis yang lebih penting untuk menghubungkan kuat tekan dengan porositas.

Pada paper referensi kami, Ridwan, [10], melakukan sebuah pengujian kuat tekan pada batu andesit untuk menganalisa kualitas batuanannya sebagai bahan bangunan. Pada paper tersebut terdapat data massa jenis, porositas, daya serap air dan nilai kuat tekan. Paper tersebut juga menjelaskan hubungan petrografi batu andesit dan kuat tekannya dengan baik. Namun, analisa mekanika batuanannya, yaitu hubungan pengaruh porositas terhadap nilai kuat tekannya tidak dijelaskan, padahal hal tersebut merupakan suatu hal yang penting dan mempengaruhi kualitas dari batu andesit tersebut, misal penggunaannya pada lingkungan bersuhu dingin yang bisa menyebabkan pembekuan pada pori-pori batuan, yang dapat berpengaruh pada kuat tekan batuan itu sendiri akibat adanya *pore pressure*.

Tujuan dari paper ini adalah untuk mempelajari bagaimana porositas mempengaruhi besarnya kuat tekan dengan meninjau hubungan porositas-kuat tekan yang ada dan dibandingkan dengan hasil eksperimen.

2. Metodologi

2.1 Sumber Data

Sumber data yang kami gunakan berasal dari paper yang berjudul "**Kualitas Andesit di Daerah Batujajar, Kecamatan Batujajar Timur, Kabupaten Bandung Barat Berdasarkan Analisis Petrografi dan Nilai Kuat Tekan, Sebagai Bahan Bangunan**". Paper tersebut melakukan pengujian pada 6 sampel batu andesit untuk menentukan nilai massa jenis, daya serap air, porositas serta kuat tekan batuan andesit. Karena terdapat beberapa data yang nilainya menyimpang dari rata-rata data keseluruhan, kami hanya mengambil 4 dari 6 data sampel untuk menjaga kualitas interpretasi datanya. Pengambilan data porositas dan kuat tekan pada referensi kami diambil dengan menggunakan metode berikut.

2.1.1 Penentuan Porositas

Porositas adalah perbandingan volume rongga-rongga pori terhadap volume total seluruh batuan.

Perbandingan ini biasanya dinyatakan dalam persen. Perbandingan volume tersebut dapat dicari dengan menggunakan berat batuan sampel pada kondisi tertentu. Nilai porositas suatu batuan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$p = \frac{W_{ssd} - W_d}{W_{ssd} - W_w} \times 100\% \quad (1)$$

Dengan p adalah porositas (%), W_{ssd} adalah berat kering sampel dalam kondisi tersaturasi, W_d adalah berat kering sampel, dan W_w adalah berat sampel tersaturasi.

2.1.2 Pengukuran Nilai Kuat tekan

Nilai kuat tekan pada sumber data kami diukur dengan uji mekanik pada batuan menggunakan pengujian *Point Load Test (PLT)* pada ke enam sampel batu andesit. Point load Test merupakan pengujian dari indikasi faktor keterdapatannya bidang lemah. Hasil dari pengujian ini adalah Indeks PLT, maka dari itu perlu dilakukan koreksi data untuk mendapatkan nilai kuat tekan batuan sampel. Menurut Broch & Franklin, [11] Indeks point load suatu contoh batuan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$I_s = \frac{P}{D^2} \quad (2)$$

dengan I_s adalah *Point Load Strength Index* (Index Franklin) dalam satuan MPa, P adalah beban maksimum sampai percontoh pecah dalam satuan Newton, dan D ialah jarak antara dua konus penekan dalam satuan mm.

2.1.3 Tabel Data

Berikut adalah data hasil pengukuran parameter fisika dan mekanik batuan andesit pada paper referensi kami.

Tabel 1: Data porositas dan kuat tekan andesit dari paper referensi.

No. Sampel	Porositas (%)	Kuat tekan (MPa)
PR10	22,54751	424,5585875
PR14 bawah	29,80421	282,9525483
PR14	24,95459	407,7163712
PR07	9,431377	673,828125

2.2 Metode Analisa Data

Analisa data porositas dan kuat tekan batuan andesit dilakukan dengan metode regresi untuk mempelajari bagaimana porositas mempengaruhi besarnya kuat tekan.

Analisis regresi adalah metode yang digunakan untuk memprediksikan seberapa jauh perubahan yang terjadi pada nilai variabel dependen, bila nilai variabel independen di manipulasi atau diubah. Koefisien korelasi adalah pengukuran statistik kovarian antara dua variabel. Besarnya koefisien korelasi berkisar antara (+1) sampai dengan (-1). Koefisien korelasi menunjukkan kekuatan hubungan linier dan arah hubungan dua variabel. Jika koefisien korelasi positif, maka kedua variabel mempunyai hubungan searah, sebaliknya jika koefisien korelasi negatif, maka kedua variabel mempunyai hubungan terbalik. Berikut koefisien korelasi menurut Jonathan Sarwono [12]:

- 0 : tidak ada memiliki korelasi antara dua variabel
- 0 - 0.25 : memiliki korelasi sangat lemah
- 0.25 - 0.5 : memiliki korelasi cukup
- 0.5 - 0.75 : memiliki korelasi kuat
- 0.75 - 0.99 : memiliki korelasi sangat kuat
- 1 : memiliki korelasi sempurna

Cukup banyak hubungan yang melibatkan kekuatan dan porositas suatu batuan dilaporkan dalam literatur [9]. Secara historis, beberapa jenis model umum telah dikembangkan untuk mengetahui relasi antara sifat fisik dan mekanika ini.

2.2.1 Analisis Ryshkewitch

Ryshkewitch [13], dari sebuah studi tentang kuat tekan Al_2O_3 dan ZrO_2 , dengan menggunakan metode analisa regresi, diperoleh hubungan antara porositas dan nilai kuat tekan suatu batuan sebagai berikut:

$$\sigma = \sigma_0 e^{-kp} \quad (3)$$

dengan σ adalah kuat tekan, σ_0 adalah kuat tekan saat porositas nol, k adalah konstanta empiris.

2.2.2 Analisis Hasselman

Hasselman [14] menyarankan persamaan hubungan linear antara kuat tekan suatu batuan dan porositas dengan persamaan:

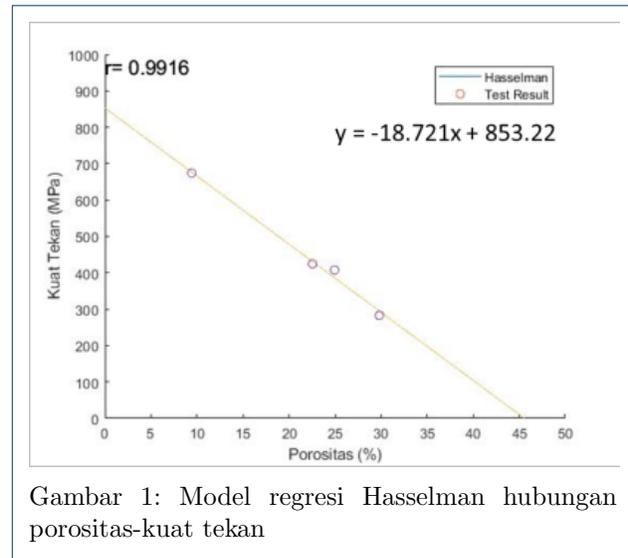
$$\sigma = \sigma_0 - c^p \quad (4)$$

Dengan c adalah konstanta empiris.

3. Hasil

Hasil fitting model Hasselman hubungan kuat tekan dan porositas ditunjukkan dalam Gambar 1.

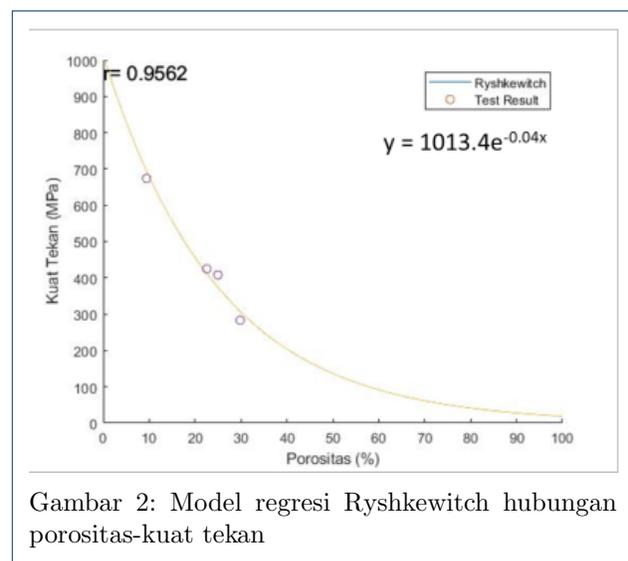
Dari persamaan linear yang dihasilkan oleh model regresi Hasselman, dapat diketahui kuat tekan saat porositas nol (σ_0) dan konstanta empirisnya. Pada saat porositas batu andesit mendekati 0%, kuat tekan yang dimiliki batu andesit mendekati 853 MPa,



Gambar 1: Model regresi Hasselman hubungan porositas-kuat tekan

dengan nilai konstanta empiris - 18,721. Yang artinya nilai kuat tekan cenderung berkurang seiring dengan bertambahnya porositas batu andesit dengan rasio penurunan sebesar 18,721.

Sedangkan, model Ryshkewitch dengan regresi eksponensialnya menunjukkan nilai kuat tekan saat porositas mendekati nol (σ_0) sebesar 1013 MPa dengan konstanta empiris sebesar -0,04.



Gambar 2: Model regresi Ryshkewitch hubungan porositas-kuat tekan

Terlihat dari gambar 2, interpretasi regresi dengan model Ryshkewitch pada nilai ekstrem porositas, terlihat lebih landai daripada model Hasselman. Model Ryshkewitch didasarkan pada asumsi bahwa kuat tekan relatif material berpori sama dengan rasio antara area padat minimum dengan area normal terhadap stress [15]. Rice [16] menyatakan

bahwa model Hasselman telah terbukti kurang akurat daripada dengan pendekatan area padat minimum. Namun, secara umum ditemukan bahwa luas padatan minimum dapat dikaitkan dengan porositas, yaitu volume fraksi relatif yang rendah dari porositas. [17, 18]. Dan juga Ryshkewith dengan model regresinya mengasumsikan bahwa (a) penerapan tekanan hidrostatik dapat mewakili respons *stress* dan *strain* terhadap stress lain dan bahwa tekanan tersebut secara seragam dialami oleh semua pori batuan dan (b) rasio Poisson dapat meningkat dan menurun dengan bertambahnya porositas [19].

4. Pembahasan

Hubungan linier sederhana dari model Hasselman menunjukkan prediksi kuat tekan dengan nilai negatif pada porositas yang lebih tinggi. Hasselman menjelaskan melalui sebuah model kegagalan yang disebabkan oleh pori pada kaca dengan nilai kuat tekan yang rendah pada porositas yang lebih tinggi dalam penjelasan tentang “area bantalan beban” [20]. Untuk mengatasi inisiasi kegagalan ini, Hasselman dan Fulrath [21] menggunakan model silinder yang diselesaikan oleh Bowie [22] dan mengasumsikan bahwa perluasan retakan yang sejajar dengan permukaan sampel memicu kegagalan yang cukup fatal. Oleh karena itu saat porositas batuan andesit mencapai nilai tertentu, nilai kuat tekan batu andesit menjadi nol. Area bantalan beban yang dikemukakan dalam model Hasselman memiliki keterkaitan yang erat dengan konsentrasi stress di sekitar pori-pori. Faktor konsentrasi stress pori-pori tergantung pada geometri dan orientasi pori dengan arah stress yang diterapkan. Sebagai contoh, area bantalan beban berkurang dengan meningkatnya porositas, yang menyebabkan adanya konsentrasi stress di sekitar pori-pori [19, 23].

Kedua model regresi di atas sama-sama menunjukkan bahwa porositas memiliki korelasi yang sangat kuat dengan nilai kuat tekan, dengan nilai r^2 sebesar 0.9916 untuk model Hasselman dan sebesar 0.9562 untuk model Ryshkewith. Namun, penting untuk menunjukkan bahwa model yang dibahas di atas didasarkan pada struktur tertentu. Evolusi mikrostruktur material dengan meningkatnya porositas adalah masalah konektivitas tiga dimensi. Menurut teori perkolasi, ada dua level porositas kritis [18, 24]. Ketika porositas mencapai nilai kritisnya (p_{c1}), terjadi transisi mikrostruktur pada pori-pori yang sepenuhnya terisolasi dan tertutup dengan bentuk hampir bulat atau elipsoidal menjadi membuka dan saling berhubungan dengan bentuk yang kompleks. Akhirnya, kuat tekan efektif atau modulus elastis menghilang ketika porositas mencapai

nilai kritis kedua (p_c). Oleh karena itu, walaupun kedua model sama-sama menunjukkan relasi yang kuat antara porositas dan kuat tekan pada batuan andesit, kedua model regresi memiliki interpretasi pengaruh porositas terhadap kuat tekan yang berbeda.

Selain faktor mikrostruktur batuan, hubungan porositas terhadap nilai kuat tekan juga dipengaruhi oleh air yang mengisi pori-pori batuan, yang mengakibatkan timbulnya *pore pressure* pada batuan. Menurut Powers [25], semakin kecil air yang mengisi ruang dari tiap unit sampel, maka proporsi pori-pori kapiler dalam sampel akan semakin baik (semakin Kecil). Menurut Powers, porositas terbuka terisi oleh *evaporebel water*. *Evaporebel water* adalah air yang dapat menguap dan sebagian besar merupakan air yang berada didalam kapiler atau yang tertahan oleh gaya-gaya permukaan dalam substansi gel itu sendiri. Namun, akibat adanya proses hidrasi, kadar air yang tidak dapat menguap ini akan bertambah jumlahnya sehingga kadar evaporabel water menjadi berkurang, karena rongga-rongga yang ada akan terisi oleh produk hidrasi [26]. Air yang tidak dapat menguap ini tidak mampu keluar yang mengakibatkan *pore pressure* akan meningkat.

Dengan mempelajari bagaimana porositas dapat mempengaruhi nilai kuat tekan batuan andesit, diharapkan dapat dilakukan studi lebih lanjut tentang bagaimana usaha-usaha untuk meminimalisir dampak pengaruh porositas terhadap nilai kuat tekannya, salah satunya yaitu dengan rekayasa mikrostruktur yang dapat diterapkan pada batu rekayasa seperti beton.

5. Kesimpulan

Setelah menganalisa porositas dan kuat tekan batuan andesit pada paper referensi kami, dapat ditarik beberapa kesimpulan:

- Porositas memiliki pengaruh yang kuat terhadap nilai kuat tekan batuan, yaitu semakin besar porositas maka nilai kuat tekannya semakin kecil.
- Model regresi Hasselman memiliki kelemahan saat porositas mendekati 100%, nilai kuat tekannya menjadi negatif sedangkan pada model Ryshkewitch mampu menginterpretasi nilai kuat tekan pada porositas 0% dan 100% dengan lebih baik.

Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada Dr. Widya Utama, DEA karena telah membimbing kami dalam pembuatan paper ini.

PENULIS

- 1 Titah Anggraeni P. K.
Dari :

- (1) Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- 2 Agung Dimas Prabowo D.
Dari :
(1) Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- 3 Rayhan Farisi R.
Dari :
(1) Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- 4 Widya Utama
Dari :
(1) Departemen Teknik Geofisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Pustaka

1. Yudenfreund M HK. Hardened Portland cement paste of low porosity. V: compressive strength. 1972;2:731–743.
2. Auskern A HW. Capillary porosity in hardened cement paste. *J Test Eval.* 1973;1:74–79.
3. Pantazopoulou SJ MR. Microstructural aspects of the mechanical response of plain concrete. *ACI Mater J.* 1995;92(6):605–616.
4. Popovics. Method for developing relationships between mechanical properties of hardened concrete. *J Am Concr Inst.* 1973;70:795–798.
5. TC P. Structure and physical properties of hardened Portland cement paste. *J Am Ceram Soc.* 1958;41(1):1–6.
6. Schiller K. Strength of porous materials. *Cem Concr Res.* 1971;1:419–422.
7. Kendall K HA. The relation between porosity, microstructure and strength, and the approach to advanced cement-based materials. *Philos Trans Roy Soc Lond, SA.* 1983;310(1511):139–153.
8. Kumar R BB. Porosity, pore size distribution and in situ strength of concrete. *Cem Concr Res.* 2003;33:155–164.
9. Li L AM. A general relationship between porosity and uniaxial strength of engineering materials. *Can J Civil Eng.* 2003;30:644–658.
10. Ridwan P. KUALITAS ANDESIT DI DAERAH BATUJAJAR, KECAMATAN BATUJAJAR. In: SEMINAR NASIONAL KEBUMIHAN KE-10; 2017. .
11. Broch E. The point-load strength test. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts.* 1972;9:666–676.
12. Sarwono J. Statistik Itu Mudah: Panduan Lengkap Belajar Komputasi Statistik (Menggunakan SPSS 16). Yogyakarta: Penerbit Andi; 2009.
13. R R. Compression strength of porous sintered alumina and zirconia. *J Am Ceram Soc.* 1953;36(2):65–68.
14. DPH H. Griffith flaws and the effect of porosity on tensile strength of brittle ceramics. *J Am Ceram Soc.* 1969;52:457.
15. Carniglia S. Working model for porosity effects on the uniaxial strength of ceramics. *J Am Ceram Soc.* 1972;55(12):610–618.
16. Rice R. Relation of tensile strength–porosity effects in ceramics to porosity dependence of Young's modulus and fracture energy, porosity character And grain size. *Mater Sci Eng A.* 1989;112:215–224.
17. Krstic V. Porosity dependence of strength in brittle solids. *Theor Appl Fract Mec.* 1988;10:241–247.
18. Winslow DN CM. Percolation and pore structure in mortars and concrete. *Cem Concr Res.* 1994;24:25–37.
19. Rice R. Comparison of stress concentration versus minimum solid area based mechanical property–porosity relations. *J Mater Sci.* 1993;28:2187–2190.
20. Hasselman D. On the porosity dependence of the elastic moduli of polycrystalline refractory materials. *J Am Ceram Soc.* 1962;45:452–453.
21. Hasselman DPH FR. Effect of small fraction of spherical porosity on elastic moduli of glass. *J Am Ceram Soc.* 1964;47:52–53.
22. Bowie O. Analysis of an infinite plate containing radial cracks originating at the boundary of an internal circular hole. *J Math Phys.* 1956;35(1):60–71.
23. Rice R. Comparison of physical property–porosity behavior with minimum solid area models. *J Mater Sci.* 1996;31:1509–1528.
24. Ye G. Percolation of capillary pores in hardening cement pastes. *Cem Concr Res.* 2005;35:167–176.
25. Powers T. Capillary continuity or discontinuity in cement pastes. *Journal of PCA Research and Development Laboratories.* 1959;p. 38–48.
26. Power TC. Studies of the physical properties of hardened cement paste. *Journal of the American Concrete Institute.* 1947;43:101–992.