

Studi Numerik dan Matematis Pada Pilar Batubara Dengan Metode Pendekatan Analisis Elastis

by Barlian Dwinagara

Submission date: 12-Aug-2021 11:59AM (UTC+0700)

Submission ID: 1630507422

File name: erik_dan_Matematis_Pada_Pilar_Dengan_Metode_Analisis_Elastis.pdf (561K)

Word count: 1764

Character count: 10849

Studi Numerik dan Matematis Pada Pilar Batubara Dengan Metode Pendekatan Analisis Elastis

Oktarian W. Lusantono^{a*}, Barlian Dwinagara^a, dan Prasodo D. Prabandaru^b

^aUniversitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta

^bPT. Studio Mineral Batubara

*oktarian.lusantono@upnyk.ac.id

Abstrak

Stabilitas metode pertambangan bawah tanah batubara bergantung pada kestabilan pilar yang berinteraksi dengan lapisan disekelilingnya. Pada berbagai kasus, pilar dan lapisan disekeliling lubang bukaan tambang diasumsikan sebagai material elastis. Pada studi ini adopsi metode persamaan matematis sederhana dengan asumsi analogi pegas dan metode numerik dalam penentuan perpindahan total pada skenario bukaan tambang bawah tanah. Ada beberapa skenario dalam perbandingan kedua metode tersebut yaitu: (1) rasio lebar-tinggi pilar, (2) lebar *span*, (3) rasio modulus elastisitas, dan (4) kedalaman. Dari hasil analisis pada skenario rasio lebar-tinggi pilar, lebar *span*, dan kedalaman menunjukkan adanya perbedaan hasil perpindahan total dari kedua metode sebesar 0,06 – 16,9%. Sedangkan pada parameter rasio modulus elastisitas pilar dan material disekelilingnya, perbedaan kedua metode dapat mencapai 115%. Hasil penelitian ini menyatakan bahwa metode matematis sederhana dapat digunakan untuk perhitungan perpindahan total hanya pada kondisi-kondisi tertentu. Hal ini dapat membuka peluang dalam pengembangan metode matematis ini sebagai dasar untuk penelitian selanjutnya.

Kata kunci: Tambang bawah tanah, Pilar, Metode matematis, Metode numerik

1. Pendahuluan

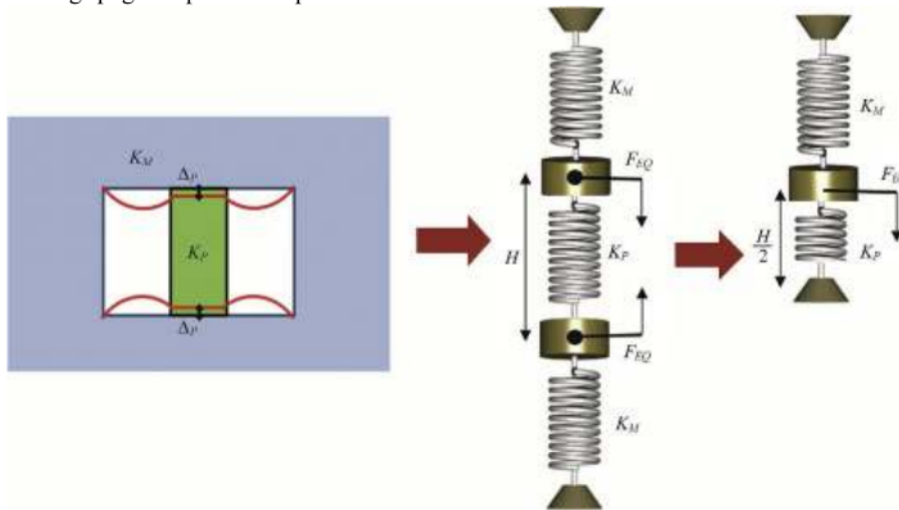
Pertambangan batubara masih merupakan komoditas utama pertambangan di Indonesia. Metode penambangan batubara di Indonesia saat ini didominasi dengan metode tambang terbuka (*surface mining methods*). Dalam perkembangannya, kondisi deposit batubara akan semakin dalam sehingga akan menjadikan perubahan yang signifikan dalam metode penambangan. Berdasarkan premis tersebut, metode penambangan batubara akan dapat berubah menjadi metode penambangan bawah tanah (*underground mining methods*).

Dalam perkembangan metode penambangan bawah tanah, stabilitas menjadi isu utama yang perlu diperhatikan untuk menjamin kondisi kerja yang aman. Salah satu metode untuk menjaga stabilitas adalah pilar. Kestabilan tambang batubara sangat dipengaruhi oleh integritas pilar terhadap lapisan-lapisan di sekelilingnya (Wagner, 1980). Sebagai simplifikasi, pilar dapat diasumsikan sebagai material elastis yang dapat menahan massa batuan disekelilingnya (Oravesz, 1977; Esterhuizen, Mark, & Murphy, 2010). Dalam studi ini, metode yang akan dianalisis adalah membandingkan metode perhitungan sederhana dengan asumsi analogi pegas (*spring-analogue*) dengan hasil dari pemodelan numerik menggunakan metode elemen hingga.

2. Metodologi

2.1. Teori

Metode analogi-pegas diinisiasi oleh Orasvesz (1977) dan terus dikembangkan sebagai penyerdehanaan pada berbagai aplikasi pilar (Wagner, 1980; van der Merwe, 2003; Galvin, 2015; Mitelman, Elmo, & Stead, 2018). Dalam metode ini pilar batubara dianggap sebagai suatu material elastis yang berfungsi sebagai penahan beban kekuatan massa batuan di sekeliling pilar tersebut. Dalam metode ini, ada beberapa asumsi dasar yang digunakan yaitu: (a) material disekiling pilar merupakan material homogen, (b) model persamaan dilakukan dan dikembangkan pada lapisan batubara (*seam*) horizontal, (c) material pilar dan massa batuan disekelilingnya dianggap material yang isotropis. Oleh karena itu, metode ini disebut sebagai fungsi harmonis sederhana (*single degree of freedom*). Ilustrasi mengenai gambaran pilar dengan metode analogi-pegas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi Metode Analogi Pegas (Mitelman, Elmo, & Stead, 2018).

2.2. Persamaan Analogi-Pegas

Berdasarkan Gambar 1, asumsi sederhana untuk penggalian pada area kerja menggunakan model persegi akan dilakukan pada kedalaman D di bawah permukaan dimana material memiliki bobot isi γ . Oleh karena itu tekanan vertikal sebelum penambangan d bagian atas area kerja dinyatakan dalam:

$$P_0 = \gamma \times D \quad (1)$$

Metode ini juga menggunakan asumsi kondisi perbandingan tegangan (*stress ratio*) secara vertikal dan horizontal (k) kurang dari 1. Sehingga gaya efektif yang bekerja di permukaan kerja adalah sebuah fungsi dari lebar permukaan kerja (L , *span*) dan lebar pilar (w_p). Sehingga tekanan efektif (F_{eq}) dapat dinyatakan dalam:

$$F_{eq} = \frac{L}{w} \times P_0 \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, sebagai pembanding digunakan parameter deformasi baik dari pilar (K_p) maupun dari lapisan batuan disekelilingnya (K_m). Deformasi dalam suatu massa batuan dapat dihubungkan dengan modulus elastisitas (*Young's modulus*), dimana modulus elastisitas pillar dinyatakan dengan E_p dan

modulus elastisitas lapisan batuan disekeliling dinyatakan dengan E_m . Dengan menggunakan asumsi kondisi tegangan konstan maka deformasi tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$K = \frac{F_{eq}}{x} E \quad (3)$$

$$K = \frac{M}{L} \frac{P_0}{x} E \quad (4)$$

Dimana w adalah lebar pilar dan H adalah tinggi pilar. Berdasarkan Gambar 1, kondisi pilar adalah material elastis yang mengacu pada dua pegas secara seri. Oleh karena itu, persamaan deformasi dapat disederhanakan menjadi persamaan ideal dalam fungsi harmonis sederhana (*single degree of freedom*) sebagai berikut:

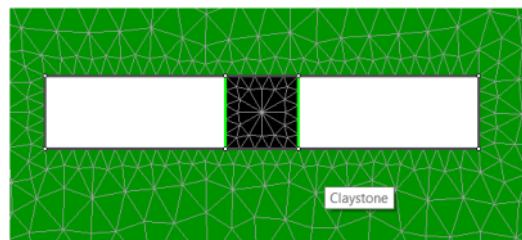
$$\Delta_P = \frac{F_{eq}}{(K_M + 2K_P)} \quad (5)$$

2.3. Pemodelan Numerik

Pemodelan numerik dilakukan dengan metode elemen hingga (*finite element methods*) menggunakan perangkat lunak Rocscience *Phase2 (RS2) ver. 8.005*. Pemodelan dilakukan secara dua dimensi (2D) sehingga menggunakan pendekatan *plane-strain*. Batas model (*model boundary*) dibuat sebesar 4 (empat) kali dari lebar span (L). Pemodelan dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi untuk mengidentifikasi pengaruh parameter seperti lebar span (L), ratio lebar pilar dan tinggi pilar ($w:h$), modulus elastisitas (E), dan kedalaman (*depth*). Parameter seperti modulus elastisitas dibuat berdasarkan dari *database* pengujian laboratorium mekanika batuan di Laboratorium Mekanika Batuan UPN “Vetera” Yogyakarta dari sampel yang diambil dilapangan berdasarkan formasi geologi yang serupa. Parameter pemodelan dan ilustrasi gambar pemodelan dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 2.

Tabel 1. Parameter Pemodelan

<i>Parameter</i>	<i>Nilai</i>
<i>Stress Ratio (H:V)</i>	1:3
Kedalaman (<i>depth</i> , m)	200, 250, 300, 350, 400, 450, 500
Lebar span (L , m)	24, 28, 32, 36, 40, 48
Lebar pilar (w_p , m)	4, 8, 12, 16, 20
Tinggi pilar (H , m)	4
Modulus elastisitas pilar (E_p , MPa)	500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000
Modulus elastisitas batuan sekeliling (E_m , MPa)	4000

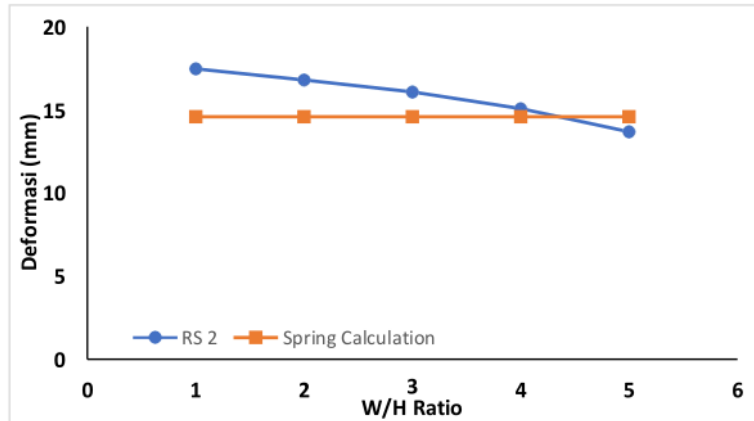


Gambar 2. Ilustrasi Pemodelan Numerik

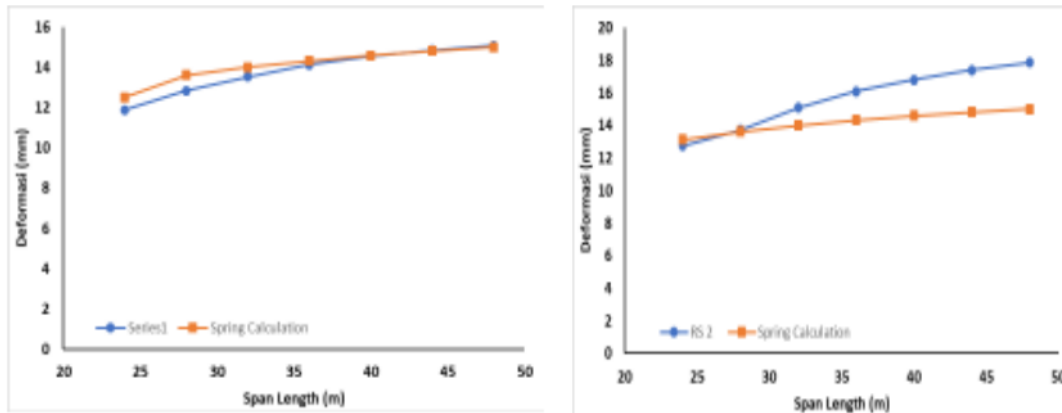
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Perhitungan dengan metode analogi-pegas dan pemodelan numerik dilakukan pada berbagai macam kondisi yaitu: (1) Rasio W:H 1 – 5 dengan lebar span 40 m, (2) Variasi lebar span 24 – 48 pada rasio W:H 1 dan 2, (3) Rasio modulus elastisitas ($E_m : E_p$) 0,8 – 1 pada rasio W:H 1 dan 2, dan (4) Kedalaman 200 – 500 m pada rasio W:H 1 dan 2. Hasil perbandingan dinyatakan dalam grafik seperti pada gambar Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5 dan Gambar 6.



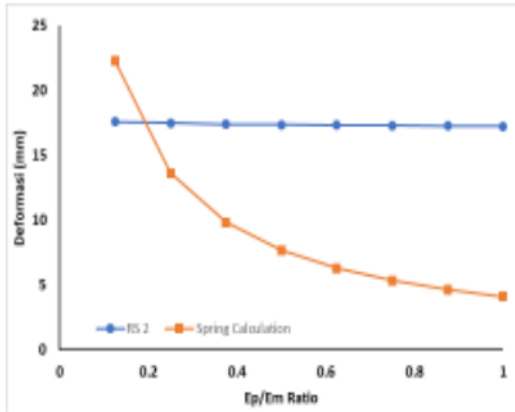
Gambar 3. Grafik Perbandingan Hasil Kondisi 1



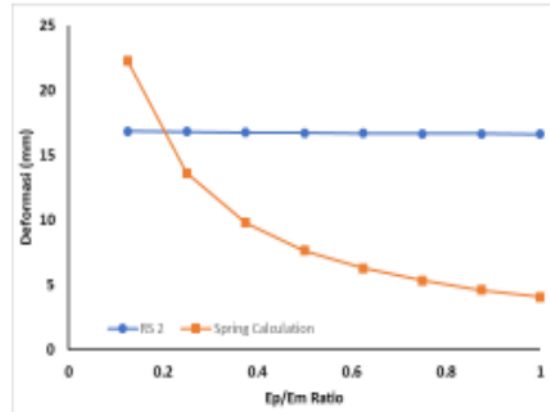
(a) Rasio W:H 1

(b) Rasio W:H 2

Gambar 4. Grafik Perbandingan Hasil Kondisi 2

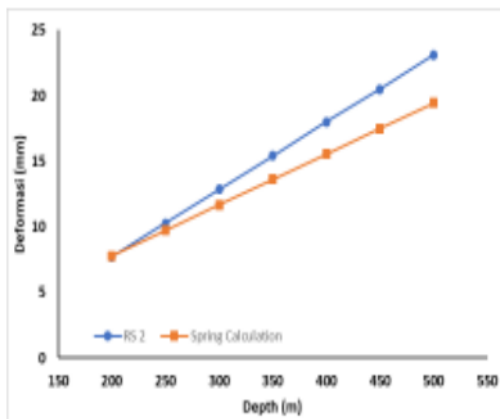


(a) Rasio W:H 1

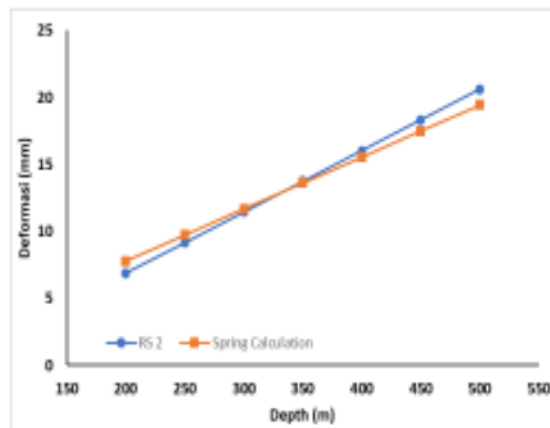


(b) Rasio W:H 2

Gambar 5. Grafik Hasil Perbandingan Kondisi 3



(a) Rasio W:H 1



(b) Rasio W:H 2

Gambar 6. Grafik Hasil Perbandingan Kondisi 4

3.2 Pembahasan

Pada kondisi 1, hasil perhitungan menggunakan pendekatan analogi-pegas menghasilkan nilai yang relatif konstan pada setiap rasio W:H. Sedangkan dari hasil pemodelan numerik, besarnya deformasi mengalami penurunan seiring dengan besarnya rasio W:H. Sehingga hasil perbandingan kedua metode, dinyatakan memiliki perbedaan sekitar 6 – 16%. Hal ini terjadi karena penyederhanaan persamaan dalam metode analogi-pegas terkait dengan tegangan efektif yang merupakan fungsi dari lebar span dan lebar pilar.

Pada kondisi 2, hasil perhitungan menggunakan pendekatan analogi-pegas dan pemodelan numerik memiliki *trend* yang relatif sama pada rasio W:H 1. Hasil tersebut mencapai titik pertemuan pada nilai span 40 m. Kedua metode tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan (0,1 – 6,1%). Pada rasio W:H 2, perbandingan kedua metode memiliki *trend* yang berbeda. Dimana *trend* pada hasil perhitungan analogi-pegas relatif datar, sedangkan dari hasil pemodelan numerik memiliki penunjaman yang tinggi. Perbedaan dari kedua metode pada rasio W:H 2 berkisar antara 0,9 – 15,97%.

Pada kondisi 3 baik pada rasio W:H 1 dan W:H 2, hasil perhitungan menggunakan pendekatan analogi-pegas mengalami perubahan *trend* secara eskponensial. Hal ini dimungkinkan karena penggunaan penyederhanaan persamaan (3) – (5) secara linear. Perbedaan hasil perbandingan kedua metode pada rasio W:H 1 sebesar 22,05 – 76,31%. Sedangkan pada rasio W:H 2 perbedaannya berkisar antara 82,84 – 115,45%.

Pada kondisi 4, hasil perhitungan menggunakan pendekatan analogi-pegas dan pemodelan numerik memiliki *trend* yang relatif sama. Pada rasio W:H 1, kedua metode memiliki perbedaan sebesar 0,06 – 3,69% seiring dengan bertambahnya parameter kedalaman. Pada rasio W:H 2, kedua metode memiliki perbedaan sebesar 0,13 – 1,17%, dengan hasil yang relatif sama.

4. Kesimpulan

Dari hasil perbandingan diatas dapat disimpulkan bahwa metode analogi pegas memiliki kemampuan untuk memprediksi deformasi pilar secara terbatas. Dengan menggunakan pendekatan material elastis, metode tersebut hanya mampu melakukan perhitungan pada kondisi-kondisi tertentu seperti perbedaan lebar span, perbedaan rasio W:H, dan perbedaan kedalaman. Penentuan pendekatan tersebut berdasarkan nilai perbedaan hasil perbandingan kedua metode. Pada penelitian ini perbedaan di bawah 20% masih dianggap sebagai kriteria yang diijinkan. Oleh karena itu, penggunaan metode analogi-pegas dalam kondisi praktis harus dapat memperhatikan keterbatasan-keterbatasan tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penulis utama dalam penelitian ini mengucapkan terima kasih kepada PT. Studio Mineral Batubara atas penggunaan lisensi perangkat lunak Phase2 *ver. 8.005* dengan nomor lisensi 6557A yang digunakan dalam penelitian ini.

Referensi

- Bertuzzi, R., Douglas, K., & Mostyn, G. (2016). An Approach to Model the Strength of Coal Pillars. *International of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 89, 165-175.
- Brady, B. H., & Brown, E. T. (2005). *Rock Mechanics for Underground Mining* (3rd ed.). Dodrecht: Springer.
- ¹ Esterhuizen, E., Mark, C., & Murphy, M. M. (2010). The Ground Response Curve, Pillar Loading and Pillar Failure in Coal Mines. *Proceedings of the 29th international conference on ground control in mining* (pp. 19-27). Morgantown: ICGCM.
- Galvin, J. M. (2015). *Ground Engineering - Principles and Practices for Underground Coal Mining*. Manly: Springer.
- ² Jawed, M., Sinha, R. K., & Sengupta, S. (2013). Chronological development in coal pillar design bord and

2

pillar workings: A critical appraisal. *Journal of Geology and Mining Research*, 5(1), 1-11.

Mitelman, A., Elmo, D., & Stead, D. (2018). Development of spring analogue approach for the study of pillars. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28, 267-274.

Oravesz, K. I. (1977). Analogue Modelling of Stresses and Displacement in Bord and Pillar Workings of Coal Mines. *International Journal of Rock Mechanic Mining Science & Geomechanics*, 14, 7-23.

Salamon, M. D. (1970). Stability, Instability and Design of Pillar Workings. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Science*, 7, 613-631.

Unlu, T. (2001). Critical Dimension Concept in Pillar Stability. *17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey* (pp. 341-347). IMCET.

van der Merwe, J. N. (2003). New pillar strength formula for South African Coal. *The Journal of South African Mining and Metallurgy*, 281-292.

Wagner, H. (1980). Pillar design in coal mines. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 37-45.

Studi Numerik dan Matematis Pada Pilar Batubara Dengan Metode Pendekatan Analisis Elastis

ORIGINALITY REPORT

4%

SIMILARITY INDEX

%

INTERNET SOURCES

%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to University of New South Wales

Student Paper

3%

2

Submitted to University of Leeds

Student Paper

2%

Exclude quotes On

Exclude matches < 2%

Exclude bibliography On