

# PEMODELAN MATEMATIS METODE ELEMEN HINGGA UNTUK MENGHITUNG SUMBERDAYA BATUBARA DAERAH PONDOK LABU, CEKUNGAN KUTAI, KALIMANTAN TIMUR

Mulyono Dwiantoro<sup>1</sup>, Lilik Eko Widodo<sup>2</sup>, Annisa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Kutai Karatnegara Tenggarong

<sup>2</sup> Program Studi Tambang Eksplorasi, Fakultas Teknik Perminyakan dan Pertambangan ITB

<sup>3</sup> Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat Banjarmasin

e-mail: \*<sup>1</sup>mulyonodwiantoro@unikarta.ac.id

## ABSTRAK

Tujuan penelitian yang telah dilakukan adalah menghitung sumberdaya batubara daerah Pondok Labu pada Cekungan Kutai di Kalimantan Timur. Metode pendekatan ilmiah yang digunakan adalah pemodelan matematis metode elemen hingga atau yang dikenal sebagai *finite element method* (FEM). Metode ini merupakan pendekatan matematis deterministik yang mencakup tiga tahapan pemodelan, yaitu: konseptual, matematika, dan numerik. Proses utama pada metode ini adalah diskritisasi yaitu membagi suatu elemen menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk mempermudah dalam pengelolaannya sehingga dapat melibatkan atribut-atribut bobot atau nilai yang ingin diteliti di dalam batubara.

Daerah penelitian terletak pada sayap Antiklin Busang yang memiliki arah lapisan antara N33-25°E dengan kedudukan landai antara 12-15°. Material yang diteliti adalah sebuah lapisan tunggal batubara yang diperoleh dari hasil 23 pengeboran eksplorasi dan singkapan yang muncul dipermukaan. Litologi yang dijumpai dari hasil pengeboran yaitu perulangan batupasir dengan batulempung, dan hadirnya lapisan batubara yang memiliki ketebalan bervariasi antara 0,45-1,5 m. Adapun untuk menghitung luas dan volume dengan cara melakukan diskritisasi pada lapisan batubara (*roof* dan *floor*) menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut *finite element*.

Perhitungan sumberdaya batubara dilakukan menggunakan batasan area pengaruh berjarak 200 meter dari titik terluar pemboran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume sumberdaya batubara yang dihitung sebesar 835.843,35 m<sup>3</sup>.

**Kata-kata kunci:** metode elemen hingga, sumberdaya batubara, Pondok Labu, Cekungan Kutai

## PENDAHULUAN

Konsep keilmuan untuk menghitung sumberdaya batubara semakin berkembang seiring dengan berjalannya kebutuhan energi fosil untuk keperluan industri. Selain itu, adalah tuntutan untuk semakin akuratnya dalam menghitung sumberdaya batubara pada suatu daerah penelitian. Konsep ilmiah tersebut ditujukan sebagai pengganti metode perhitungan sumberdaya terdahulu yang bersifat sangat sederhana, seperti metode sayatan melintang dan poligon. Salah satu metode matematis yang muncul di dalam perkembangan tersebut adalah metode elemen hingga (*finite element method*) atau di singkat sebagai *FEM* (Susatio, 2004; Hadipratomo dan Raharjo, 1985). Metode ini telah ditransformasi untuk menghitung sumberdaya batubara secara akurat karena melibatkan elemen-elemen geometri pada endapan batubara (Widodo, 2004; 2006).

Metode terdahulu yaitu sayatan melintang dan poligon memiliki kelemahan dibandingkan *FEM* karena tidak menyatakan adanya elemen-elemen geometri endapan batubara. Kelemahan kedua metode tersebut yaitu menganggap bahwa lapisan batubara merupakan bidang permukaan datar dan ketebalan lapisannya dianggap konstan pada radius tertentu. Seperti diketahui bahwa lapisan batubara pada bagian permukaan (*roof*) dan dasar (*floor*) mempunyai bidang permukaan tidak rata, sehingga perlu dinyatakan dalam bentuk elemen - elemen geometri endapan batubara menggunakan model matematika yang sistematis.

Penelitian saat ini akan mengekspresikan dan merangkum data-data eksplorasi batubara menjadikan sebuah model konseptual dan matematika agar memudahkan di dalam menghitung sumberdaya batubara di daerah penelitian.

## Geologi Regional Daerah Penelitian

Berdasarkan sejarah tektonostratigrafinya, Cekungan Kutai dibedakan menjadi dua subcekungan yaitu Kutai Atas dan Kutai Bawah (Moss dan Chamber, 1997; Clay dkk., 2000 dalam Annisa dan Dwiantoro, 2017). Kedua subcekungan tersebut memiliki batuan sedimen sebagai pembawa batubara sebagai sumber energi fosil untuk kebutuhan industri. Cekungan Kutai Bawah merupakan endapan sedimen yang sangat tebal, terbentuk pada lingkungan delta, dan memiliki mega struktur geologi berupa lipatan yang dikenal sebagai Antiklinorium Samarinda (Supriatna dkk., 1995; Bemmelen, 2013). Daerah penelitian terletak di Pondok Labu, Kabupaten Kutai, Kalimantan Timur yang berada pada Formasi Balikpapan (Supriatna dkk., 1995 dalam Annisa dan Dwiantoro, 2017)

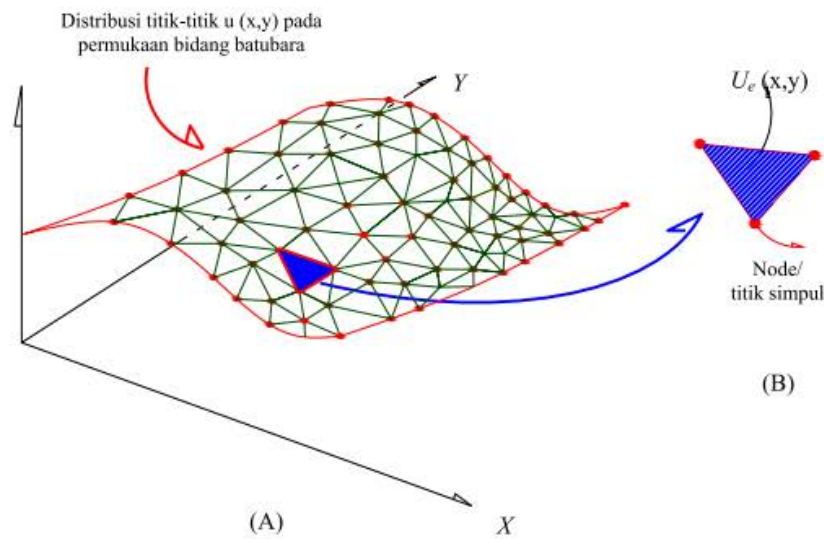
## Material Penelitian

Daerah penelitian terletak pada sayap Antiklin Busang yang memiliki arah lapisan antara N33-25°E dengan kedudukan landai antara 12-15°. Material yang diteliti adalah sebuah lapisan tunggal batubara yang diperoleh dari hasil 23 pengeboran eksplorasi dan singkapan yang muncul dipermukaan. Litologi yang dijumpai dari hasil pengeboran yaitu perulangan batupasir dengan batulempung, dan hadirnya lapisan batubara yang memiliki ketebalan bervariasi antara 0,45-1,5 m. Data lainnya yang digunakan adalah kontur topografi hasil pengukuran dari lapangan yang mana hanya digunakan untuk melihat secara visual permukaan morfologi daerah penelitian dan tidak dilakukannya perhitungan volume lapisan tanah penutup.

**METODOLOGI**

Salah satu solusi dari permasalahan pada latar belakang penelitian adalah melakukan pemodelan matematika dengan menggunakan *FEM* di mana tebal batubara dianggap bervariasi secara spasial dan dilakukannya diskritisasi yaitu membagi suatu elemen menjadi elemen-elemen yang lebih kecil untuk mempermudah dalam pengelolaannya. Pemodelan ini menjadi semakin mudah diterapkan jika menggunakan perangkat lunak berbasis *FEM* yang merupakan salah satu teknik solusi persamaan differensial parsial. Persyaratan yang perlu diperhatikan di dalam diskritisasi domain solusi adalah bahwa kordinat titik-titik pada peta topografi, pemboran, dan lapisan batubara harus diketahui. Selain itu, diskritisasi domain-domain solusi tersebut merupakan elemen-elemen yang tidak harus teratur.

Metode yang digunakan untuk menghitung sumberdaya batubara di daerah penelitian adalah metode elemen hingga (Wirjosoedirjo, 1988; Widodo, 2004; 2006). Prinsip dasar metode ini adalah diskritisasi yaitu memecah suatu luasan elemen tertentu menjadi elemen yang lebih kecil. Selanjutnya metode ini melakukan pendekatan terhadap nilai atau bobot yang tidak diketahui pada setiap titik secara diskrit. Pemilihan elemen yang digunakan tergantung dari karakteristik pada sistem massanya, sebagai contoh adalah elemen batang yang mana elemen yang digunakan adalah elemen garis. Adapun pada massa batubara, misalkan pada lapisan bagian atas (*roof*) yang dianggap sebagai elemen yang kontinu, sehingga elemen yang ditentukan adalah berbentuk luasan yaitu berupa segitiga (Gambar-1).



**Gambar-1.** (A) Diskritisasi dalam elemen segitiga pada suatu permukaan (*roof*) batubara. (B) Distribusi nilai pada titik U pada suatu elemen segitiga (Dwiantoro, 2007)

Diskritisasi tersebut digunakan untuk menghitung sumberdaya batubara yang ditaksir secara kuantitatif, yang mana memiliki besar yang proporsional terhadap dua besaran yaitu volume dan variabel tetap. Variabel ini dapat berupa distribusi titik-titik kordinat, parameter kualitas, dan tebal lapisan batubara. Perhitungan luas dan volume dengan cara melakukan diskritisasi pada lapisan batubara (*roof dan floor*) menjadi bagian-bagian yang lebih kecil yang disebut *finite element*. Perangkat lunak yang digunakan adalah *Groundwater Modelling System* (GMS versi 5). Sebagai bahan informasi bahwa langkah-langkah di dalam melakukan diskritisasi, penentuan elemen, penentuan fungsi pendekatan dan turunannya dapat dilihat pada peneliti terdahulu (Widodo, 2004; 2006; Dwiantoro, 2007).

**Pemodelan Endapan Batubara**

Pemodelan endapan batubara merupakan tahapan kegiatan dalam evaluasi sumberdaya batubara yang bertujuan menggambarkan atau menyatakan endapan batubara secara sistematis untuk memudahkan proses evaluasi terhadap endapan tersebut secara kuantitatif. Endapan batubara dapat digambarkan menggunakan model matematika deterministik. Pemodelan secara deterministik mencakup tiga tahapan yang harus dilakukan yaitu

pemodelan konseptual, pemodelan matematika, dan pemodelan numerik.

**Pemodelan Konseptual**

Pemodelan konseptual merupakan pemodelan endapan batubara yang direpresentasikan secara visual, misalkan pada kontur struktur bidang perlapisan batubara. Pemodelan konseptual dapat dilakukan dengan cara diskritisasi terhadap endapan batubara menggunakan elemen dua dimensi yaitu segitiga. Elemen segitiga karena merupakan elemen dua dimensi yang sederhana di mana endapan batubara diasumsikan sebagai bidang yang kontinu (*steady state*) tanpa mengalami perubahan bentuk kemenerusan seperti hadirnya struktur geologi sesar maupun *washed out*. Diskritasi domain solusi (bidang perlapisan batubara) menjadi elemen-elemen segitiga tidak harus teratur. Elemen segitiga tersebut merupakan jenis elemen yang sangat sederhana di dalam metode elemen hingga di mana mempunyai tiga buah titik (*node*) yang diketahui kordinatnya ( $x,y,z$ ). *Node-node* tersebut akan dirangkai menjadi elemen-elemen segitiga yang menyatu pada endapan batubara.

**Pemodelan Matematika**

Pemodelan matematika perlu dilakukan agar evaluasi sumberdaya batubara menjadi sistematis dan efektif, yang pada prinsipnya merupakan ekspresi simbolik

(matematika) bagi medan distribusi data-data yang umumnya berupa skalar. Contoh yang sederhana adalah garis penyebaran (*cropline*) singkapan batubara yang dapat dinyatakan secara matematika menggunakan persamaan lengkungan, demikian juga halnya terhadap bidang perlapisan batubara yang dapat dinyatakan menggunakan persamaan bidang (Widodo, 2004).

Persamaan matematika pada bidang perlapisan batubara dapat dikonstruksi dari data pemboran batubara. Selain itu pemodelan matematika juga dapat dilakukan terhadap medan distribusi data-data skalar berkaitan dengan *state variable* dalam geometri endapan batubara tersebut. *State variable* tersebut dapat berupa data ketebalan atau kualitas batubara. Pemodelan matematika akan memudahkan realisasi pemodelan numerik untuk estimasi sumberdaya batubara. Pemodelan matematika deterministik pada endapan batubara dapat dilakukan dengan asumsi bahwa:

- a. Endapan batubara digolongkan sebagai endapan yang sederhana dengan *state variable* dianggap kontinu sehingga sesuai dengan pemodelan matematika deterministik.
- b. Model deterministik memungkinkan pemodelan endapan batubara secara menyeluruh, mulai dari pemodelan konseptual, pemodelan matematika, dan pemodelan numerik, sehingga dengan menggunakan metode elemen hingga endapan batubara dapat digambarkan secara diskrit menjadi elemen-elemen dengan volume tertentu.

Metode elemen hingga merupakan solusi numerik persamaan differensial yang didasarkan pada kalkulus dengan fungsi *state variable* yang kontinu. Fungsi *state variable* dapat didefinisikan sebagai ekspresi matematika dari medan distribusi *state variable*, sebagai contoh adalah distribusi titik-titik (koordinat) permukaan lapisan batubara (*roof*), di mana dapat dilekatkan atribut berupa nilai- nilai tertentu seperti ketebalan, parameter kualitas, dan elevasi. Masing-masing *state variable* dapat dinyatakan dengan fungsi satu dimensi maupun dua dimensi.

**Pemodelan Matematika Endapan Batubara Menggunakan FEM**

*Finite element method (FEM)* dapat diterapkan untuk estimasi sumberdaya batubara di mana distribusi *state variable* pada endapan batubara dianggap konstan (kontinu), sehingga fungsi *state variable* pada endapan batubara bersifat *steady state*, untuk penerapan elemen dua dimensi dapat dinyatakan dengan model matematika sebagai berikut (Widodo, 2006):

$$L(t) = \nabla^2 u(x, y) = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

*u* merupakan *state variable* tidak bebas (dapat berupa elevasi, ketebalan, ataupun kualitas batubara), *x* dan *y* adalah *state variable* bebas berupa koordinat. Persamaan ini menyatakan bahwa *state variable u* bervariasi secara spasial. Untuk estimasi sumberdaya batubara diasumsikan tebal batubara bervariasi terhadap ruang atau bervariasi secara spasial, sehingga tebal batubara dapat ditetapkan sebagai *state variable* dengan distribusi spasial berdasar persamaan (1) di atas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$L(t) = \nabla^2 t(x, y) = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Solusi analitik persamaan (2) dapat dikenakan dengan metode elemen hingga yang didasarkan pada metode residual terbobot dengan formula estimasi (aproksimasi) berikut:

$$t' = \sum_{j=1}^n t_j \Phi_j(x, y) \dots\dots\dots (3)$$

*t'* harus memenuhi kondisi batas domain solusi  $\Phi_1(x,y), \Phi_2(x,y), \dots, \Phi_n(x,y)$  yang merupakan fungsi-fungsi basis bebas linier yang besarnya tergantung dari geometri elemen yang digunakan. Pada elemen segitiga dengan 3 titik *vertex*, maka fungsi basis bersifat linier, sehingga persamaan (3) dengan elemen segitiga merupakan estimasi berbasis kombinasi linier. Pada persamaan (3), *t'* hanya merupakan solusi pendekatan dari persamaan (2) atau  $L(t') \neq 0$ , oleh karena itu maka didapatkan:

$$R(x, y) = L(t') \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan (4) disebut residual, yang diperoleh dengan cara mensubstitusi *t'* ke dalam persamaan (2). Agar dapat memperoleh solusi dengan akurasi yang tinggi, maka harga residual ini dalam keseluruhan domain solusi (*R*) harus minimum dan secara matematis dinyatakan.

$$r = \frac{\iint W R \, dx \, dy}{\iint W \, dx \, dy} \dots\dots\dots (5)$$

Persamaan (5) menyatakan residual rata-rata terbobot untuk mengukur residual total dalam domain solusi (*R*). Parameter *W(x,y)* merupakan fungsi pembobot atau *weighting function*. Adapun pada orde *N*, maka akan terdapat fungsi bobot sebanyak:

$$W_1(x, y), W_2(x, y), \dots, W_n(x, y) \dots\dots\dots (6)$$

Substitusi persamaan (2) ke dalam persamaan (7), selanjutnya dengan menggunakan formula Green maka akan didapatkan persamaan berikut:

$$\iint W_i L(t') \, dx \, dy = 0 \dots (i = 1,2,3,\dots n) \dots\dots\dots (7)$$

Selanjutnya, substitusi persamaan (3) ke dalam persamaan (8) sehingga akan diperoleh sistem persamaan linier simultan berikut:

$$\iint_{(R)} W_i L(t') \, dx \, dy = \iint_{(R)} \left[ \frac{\partial W_i}{\partial x} \frac{\partial t'}{\partial x} + \frac{\partial W_i}{\partial y} \frac{\partial t'}{\partial y} \right] \, dx \, dy = 0 \dots (8)$$

*t'* adalah harga *state variable* yang dicari melalui estimasi menggunakan FEM. Matriks [*A*] mempunyai elemen sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} A_{11} & \dots & A_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & \dots & A_{nn} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} t'_1 \\ \vdots \\ t'_n \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (9)$$

Berdasar metode Galerkin, fungsi-fungsi basis dalam persamaan (3) digunakan sebagai fungsi-fungsi pembobot menggantikan persamaan (6), sehingga persamaan (10) dapat dirubah menjadi:

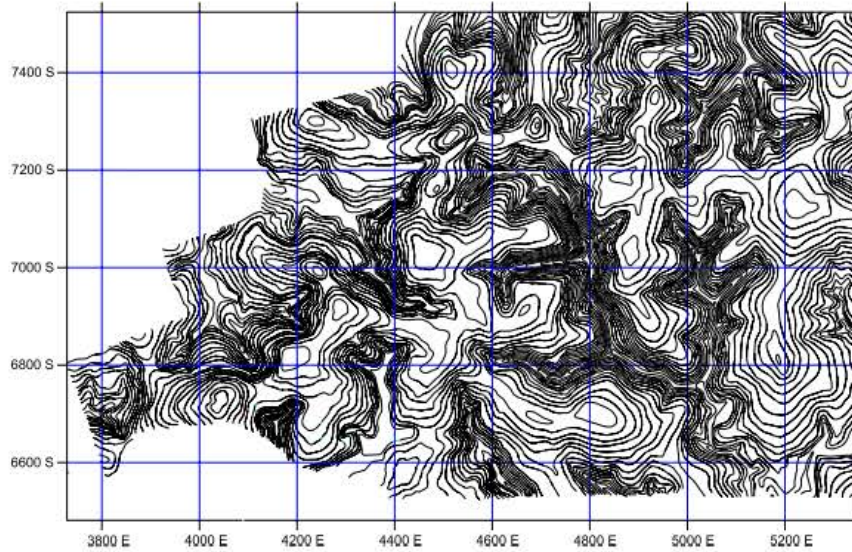
**HASIL DAN DISKUSI**

**Data Eksplorasi**

Kegiatan eksplorasi batubara dilakukan di Daerah Pondok Labu Kabupaten Kutai Kartanegara Propinsi Kalimantan Timur. Data yang dihasilkan dari kegiatan tersebut berupa peta topografi skala 1:2000 (Gambar-2).

$$A_{ij} = \iint_{(R)} \left[ \frac{\partial W_i}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial W_i}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy = 0 \dots\dots\dots(10)$$

$$A_{ij} = \sum_{m=1}^M \iint_{(R_m)} \left[ \frac{\partial W_i}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial W_i}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} \right] dx dy = 0 \dots\dots\dots(11)$$



**Gambar-2.** Peta topografi di daerah penelitian

Jumlah pengeboran sebanyak 23 titik bor dengan jarak antar lubang bor antara 50-100 meter (Tabel-1). Berdasarkan data eksplorasi tersebut di atas, maka kegiatan

eksplorasi yang telah dilakukan dapat dikategorikan dalam tahap eksplorasi detil mengacu pada SNI 1997 (1998).

**Tabel-1.** Data pengeboran batubara di daerah penelitian

No.	Titik Bor	Kordinat		Elevasi Tiik Bor	Elevasi	
		Easthing	Northing	(m)	Roof (m)	Floor (m)
1	PDK-01	4574.2	6993.2	46.5	31.7	30.9
2	PDK-02	4799.4	6851.4	43.3	25.4	24.3
3	PDK-03	4732.9	7006.3	27.6	25.9	25.1
4	PDK-04	4148.4	6686.6	38.0	29.9	28.4
5	PDK-05	4368.8	6780.9	35.2	30.6	29.5
6	PDK-06	4009.6	6754.4	60.9	49.9	49.4
7	PDK-07	4491.2	6923.1	47.1	32.1	30.9
8	PDK-08	4463.3	7134.1	52.1	47.5	46.4
9	PDK-09	4257.8	6970.4	55.5	47.8	47.1
10	PDK-10	4684.4	7194.9	27.1	24.1	23.5
11	PDK-11	4155.2	6838.6	56.4	42.6	41.6
12	PDK-12	4817.4	7302.0	27.8	20.8	20.2
13	PDK-13	5018.8	7012.3	21.0	15.7	14.5
14	PDK-14	4536.2	7356.1	46.1	44.4	43.8
15	PDK-16	4998.1	7224.6	30.9	14.6	13.6
16	PDK-168	4681.4	7121.9	42.9	28.7	28.0
17	PDK-169	4602.0	7246.0	45.4	28.9	28.4
18	PDK-17	5223.4	7285.8	30.1	0.7	0.0
19	PDK-174	5013.3	6777.3	21.8	9.9	8.8
20	PDK-175	4926.2	6881.6	40.0	16.3	15.3
21	PDK-177	4924.3	6928.3	38.6	19.9	18.8
22	PDK-178	4788.2	7359.5	26.5	9.7	9.1
23	PDK-179	4960.6	7387.6	29.5	15.1	14.0

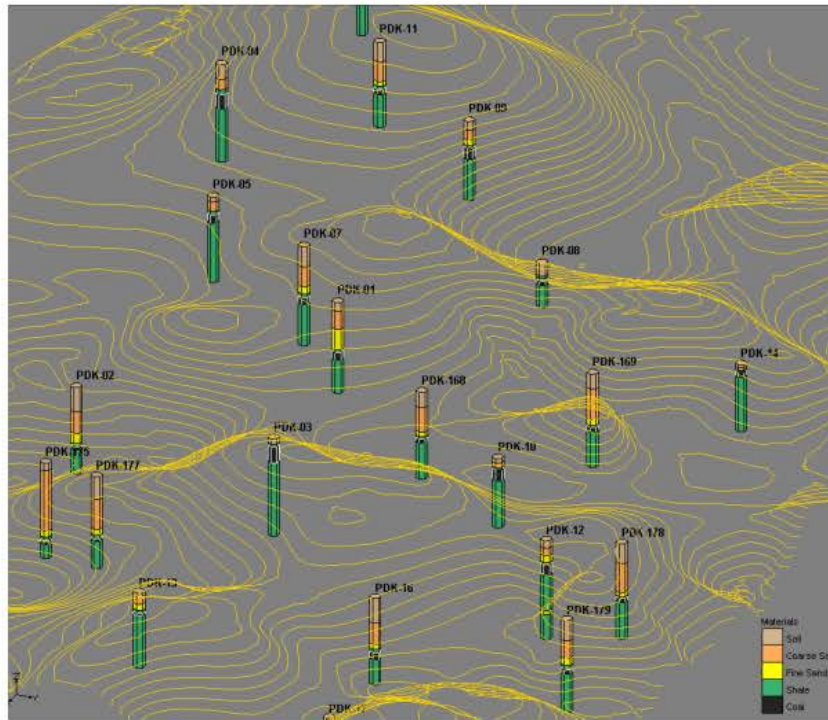
**Tahapan Perhitungan Sumberdaya Batubara Menggunakan GMS 5**

Berikut akan dijelaskan langkah-langkah pengolahan data eksplorasi pada perangkat lunak GMS 5 sampai dengan menghasilkan sumberdaya batubara beserta kenampakan visualnya.

**Pengolahan Data Topografi dan Titik Pemboran**

Garis kontur pada peta topografi dibuat berdasarkan data pemetaan topografi yang menghasilkan

data berupa jarak datar dan data elevasi permukaan tanah. Garis kontur akan menghubungkan titik-titik pengukuran yang mempunyai elevasi permukaan tanah yang sama, sehingga garis kontur tidak akan memotong garis kontur yang lainnya (Gambar-3). Data pemboran yang diolah adalah elevasi pada lapisan atas (*roof/top*) dan lapisan bawah (*floor/bottom*) batubara.



Gambar-3. Kenampakan visual topografi lokasi titik pemboran di daerah penelitian.

**Penentuan Cropline Batubara dan Daerah Pengaruh Penyebaran Batubara**

*Cropline* batubara merupakan garis perpotongan antara kontur topografi dengan kontur struktur batubara, merupakan hasil pengurangan elevasi topografi terhadap elevasi kontur batubara di mana menghasilkan nilai nol (Gambar-4). Daerah pengaruh penyebaran batubara pada titik terluar pemboran sejauh 200 meter.

**Volume Batubara dengan Batas Area Pengaruh**

Proses diskritisasi yang telah dilakukan dengan elemen segitiga linier yang dipilih dan model konseptual serta model matematikanya maka dapat diestimasi sumberdaya batubara di daerah penelitian, di mana sumberdaya batubara ditaksir secara kuantitatif mempunyai besar yang proposional terhadap dua besaran yaitu volume dan *state variable* dalam volume tersebut. Perhitungan sumberdaya batubara dilakukan dengan batas area pengaruh berjarak 200 meter dari titik terluar pemboran. Volume batubara diperoleh sebesar 835.843,35 m<sup>3</sup> (Gambar-4).

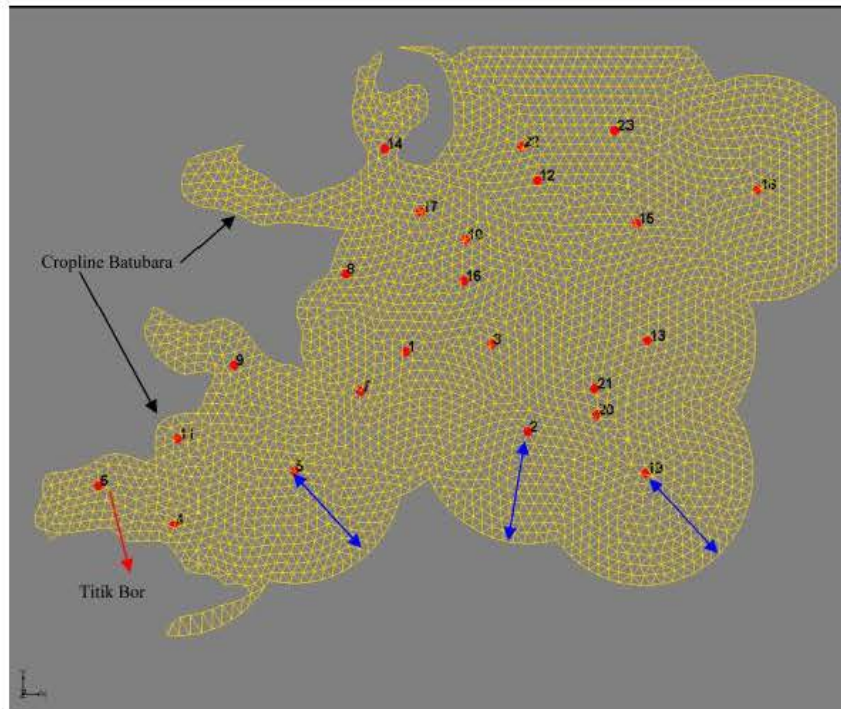
**Hubungan Antara Kondisi Endapan Batubara Dengan Penerapan FEM**

Berdasarkan data singkapan dan 23 titik pemboran batubara menunjukkan bahwa endapan batubara di daerah penelitian merupakan endapan dengan kondisi kontinu. Kondisi kontinu tersebut ditunjukkan oleh kondisi endapan batubara yang melampar secara menerus tanpa indikasi adanya pengaruh struktur geologi seperti sesar maupun washed out. Kondisi endapan batubara yang steady state tersebut dapat dimodelkan secara konseptual dan matematika seperti yang dijelaskan pada bagian metode penelitian.

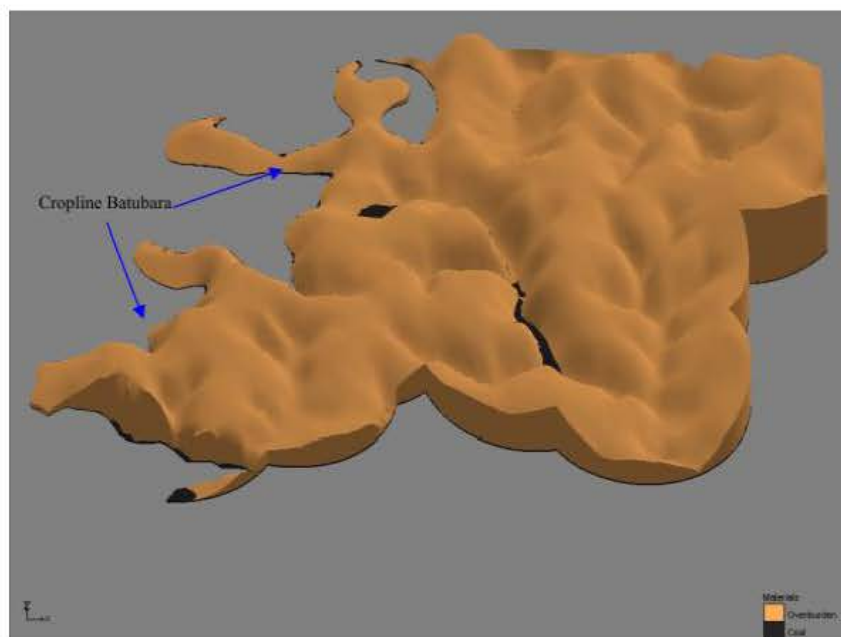
**KESIMPULAN**

Metode elemen hingga ini menyatakan elemen geometri endapan batubara, tidak seperti halnya pada metode penampang melintang ataupun poligon. Perangkat lunak dengan metode elemen hingga yang digunakan mempunyai keunggulan dalam kecepatan perhitungan sumberdaya batubara, selain itu dengan dilakukannya diskritisasi pada domain solusi (endapan batubara) secara menyeluruh.

Saran yang diusulkan untuk penelitian lebih lanjut adalah memodelkan endapan batubara pada kondisi tidak kontinu akibat pengaruh struktur geologi.



**Gambar-4.** Diskritisasi daerah penelitian yang dibatasi oleh cropline batubara dan daerah batas penyebaran batubara dengan jarak 200 meter dari titik pemboran terluar (garis panah warna biru).



**Gambar-5.** Kenampakan tiga dimensi daerah penelitian, di mana warna coklat adalah lapisan tanah penutup dan warna hitam adalah lapisan batubara.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Ucapan terima kasih ditujukan kepada PT. Tanito Coal yang telah bersedia memberikan data eksplorasi batubara di daerah Pondok Labu.

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Annisa dan Mulyono Dwianto (2017): Karakteristik Lingkungan Pengendapan Batubara Formasi Haloq dan Formasi Batuayau, Cekungan Kutai Atas: Pendekatan Organik dan Anorganik. Jurnal Geologi Pertambangan Universitas Kutai Kartanegara, Vol.1, No.21.

[2] Badan Standarisasi Nasional – SNI 1997 (1998):

Klasifikasi Sumberdaya dan Cadangan Batubara, Amandemen 1- SNI 13-5014 tahun 1998.

[3] C.S. Desai., Sri Jatno Wirjosoedirjo (1998): Dasar – Dasar Metode Elemen Hingga. Penerbit Erlangga Jakarta.

[4] Mulyono Dwianto (2007): Perhitungan Sumberdaya Batubara Daerah Pondok Labu Kalimantan Timur Menggunakan Metode Elemen Hingga, Thesis Rekayasa Pertambangan ITB.

[5] GMS 5 (2004): The Tutorial of GMS 5.0, Brigham Young University, Utah USA, 2004.

- [6] R.W. van Bemmelen (2013): Mountain building, A study primarily based on Indonesia region of the world's most active crustal deformations. Springer, 177 hal.
- [7] Supriatna S., Sukardi, E. Rustandi (1995): Peta Geologi Lembar Samarinda Kalimantan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- [8] Widodo, L. E. (2004): Pertimbangan Tentang Prinsip-Prinsip Kalkulus Pada Endapan Batubara Untuk Pengembangan Metode Perhitungan Sumberdaya atau Cadangan Batubara, FIKTM-ITB.
- [9] Widodo, L., E., Anaperta, Y. M., Anggayana, K., (2006): Natural Resources Estimation using Finite Element Method - Case Study : Coal Resources Estimation, Proceeding of 9th ISME, Bandung.
- [10] Winarni Hadipratomo dan Paulus P. Raharjo (1985): Pengenalan Metoda Elemen Hingga Pada Teknik Sipil, Penerbit Nova Bandung.
- [11] Yerri Susatio (2004): Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga, Penerbit Andi, Yogyakarta.