

ESTIMASI VOLUME ENDAPAN BATUBARA BERDASARKAN BATAS TAMBANG MENGGUNAKAN FEM DAN IDW

ESTIMATED OF COAL DEPOSITS VOLUME BASED OF PIT MINING BOUNDARY USING FEM AND IDW METHOD

Desmawita¹, E. Ibrahim², AK Affandi³

^{1,2}Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

¹ Universitas Muara Bungo

³Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Sriwijaya

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

e-mail: *desmawita999@gmail.com, ²eddyibrahim@ft.unsri.ac.id ³azharka@unsri.ac.id

ABSTRAK

Endapan batubara di PT NAR terdiri dari beberapa lapisan dengan ketebalan yang bervariasi. Endapan batubara yang telah dimodelkan menggunakan perangkat lunak belum divalidasi. Cadangan batubara, perencanaan produksi, sistem penambangan dan umur tambang dipengaruhi oleh ketebalan lapisan batubara, sehingga membutuhkan metode estimasi yang tepat dengan akurasi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi cadangan batubara berdasarkan metode terpilih dengan nilai *error* terkecil. Penelitian ini menggunakan 31 titik lubang bor dengan multi *seam* batubara: *Seam A*, *E seam* dan *splitting seam* yaitu *seam E1* dan *seam E2* dengan *rating* batubara sub-bituminus. Analisis data menggunakan interpolasi metode FEM dan IDW berdasarkan nilai RMSE. Luas *blok* PT NAR 74,91 ha, luas tambang 23,84 ha dengan metode FEM, diperkirakan cadangan batubara 15 juta ton dengan nisbah kupas 3: 1. Interpolasi ketebalan menggunakan metode FEM dan IDW dengan nilai *error* terkecil pada inverse distance kubik sebesar 0,15. *Low wall slope* 30° dan *overall slope* pada *high wall* 45° diperoleh luas penambangan 20,44 ha, cadangan batubara 1.640.180,10 ton, volume lapisan penutup 6.960.892,14 BCM, volume *interburden* 491.320,88 BCM dan SR 4,5: 1. Perbandingan estimasi cadangan batubara dengan metode FEM dan IDW didapatkan hasil yang berbeda sebesar 140.000 ton atau meningkat 9,33%. Hasil tersebut membuktikan bahwa perbedaan metode penghitungan sangat dipengaruhi oleh arah distribusi dan nilai yang dihasilkan.

Kata Kunci: Estimasi, Cadangan, Batubara, FEM, IDW

ABSTRACT

Coal deposits in PT NAR consist of multiple seams and vary in thickness. Coal deposits that have been modeled using software have not been validated. Coal reserves, production planning, mining systems and mine life are affected by the thickness of the coal seam, so it requires precise estimation methods with high accuracy. This research to estimated of coal reserve based on the selected method with the smallest error value. This study used 31 drill hole points with multi seams of coal: A seam, E seam and splitting seam that is E1 seam and E2 seam by sub-bituminus coal ratings. Data analysis using FEM and IDW method interpolation based on RMSE value. Block area of PT NAR is 74.91 ha, pit mining area is 23.84 ha by FEM method, estimated of coal reserve is 15 million tons on 3:1 of stripping ratio. Thickness interpolation using FEM and IDW method with the smallest error value on inverse distance cubic is 0.15. Low wall slope slope is 30 degrees and overall slope on the high wall is 45 degrees obtained a pit mining area is 20.44 ha, coal reserves is 1,640,180.10 tonness, overburden volume is 6,960,892.14 BCM, interburden volume is 491,320.88 BCM and SR is 4.5:1. Comparison of coal reserve estimation using FEM and IDW method obtained different result is 140,000 tonnes or increase by 9.33 %. The result proving that the difference in method calculation is heavily influenced by the distribution direction and the resulting value.

Keywords : Estimated , Reserves, Coal, FEM, IDW

PENDAHULUAN

Endapan batubara ialah *seam* batubara yang mengandung hasil kumpulan material organik dari sisa-sisa tumbuhan yang telah terurai secara kimia dan fisika. Tambang terbuka dipengaruhi oleh kondisi alam sehingga diperlukan perencanaan pertambangan yang baik dari kegiatan eksplorasi, eksploitasi hingga penutupan tambang [1].

Sumberdaya batubara bagian dari endapan batubara mempunyai peluang yang layak untuk ditambang secara ekonomis dalam bentuk dan kuantitas tertentu. Bagian dari sumberdaya batubara tertunjuk dan terukur yang dapat ditambang secara ekonomis disebut dengan cadangan batubara [2].

Menurut SNI klasifikasi sumberdaya dan cadangan batubara [2] adalah sebagai berikut: sumberdaya batubara tereka, sumberdaya batubara tertunjuk, sumberdaya batubara terukur, cadangan batubara terkira, cadangan batubara terbukti

Kualitas batubara dibagi menjadi 2 (dua) tingkatan, yaitu kualitas batubara energi rendah (*brown coal*): lignit sampai dengan subbituminus dan kualitas batubara energi tinggi (*hard coal*): bituminous sampai dengan Antrasit [2].

Batubara terdiri dari satu *seam* atau lebih yang dihasilkan oleh terbelahnya *seam* atau penggabungan *seam* yang dipengaruhi oleh struktur geologi. Setiap *seam* batubara mempunyai ketebalan yang berbeda-beda yang dipisahkan oleh *seam* pengotor (*rock/dirt partings*). Tebal semu lapisan batubara diukur dari *roof* hingga *floor* dari masing-masing *seam* batubara, ketebalan *seam* batubara berpengaruh pada jumlah cadangan karena cadangan batubara berhubungan dengan perencanaan tambang meliputi perencanaan produksi, sistem penambangan, dan umur tambang. Persyaratan kuantitatif ketebalan *seam* batubara dan *seam* pengotor dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan kuantitatif ketebalan *seam* batubara dan *seam* pengotor [2]

Ketebalan (m)	Peringkat Batubara	
	Batubara coklat (<i>brown coal</i>)	Batubara keras (<i>hard coal</i>)
<i>Seam</i> batubara minimal (m)	≥ 1,00 m	≥ 0,40 m
<i>Seam</i> batubara pengotor (m)	≤ 0,30 m	≤ 0,30 m

Konsep keilmuan menghitung sumberdaya batubara semakin berkembang seiring dengan berjalannya kebutuhan energi fosil untuk keperluan bahan bakar. Selain itu, karena tuntutan untuk semakin akurat dalam perhitungan sumberdaya batubara pada suatu daerah penelitian diperlukan analisis perhitungan persamaan matematis. Konsep ilmiah tersebut ditujukan sebagai pengganti metode perhitungan sumberdaya terdahulu yang bersifat sangat sederhana. Salah satu metode matematis yang muncul dalam perkembangan perhitungan volume adalah penggunaan *finite element method* (FEM). Metode ini telah ditransformasi untuk menghitung komponen sumberdaya batubara secara akurat karena melibatkan elemen-elemen geometri pada endapan batubara [3].

Konsep perhitungan FEM ialah penerapan prinsip-prinsip kalkulus di dalamnya melalui dikritisasi suatu benda. Penelitian ini menggunakan elemen berbentuk segitiga dengan fungsi basis orde tiga, sehingga estimasi yang dilakukan dengan elemen segitiga adalah estimasi linier. *Seam* batubara dapat ditaksir secara kuantitatif melalui masing-masing elemen tersebut sehingga diketahui nilai prediksi ketebalan endapan batubara menggunakan alat bantu perangkat lunak.

Inverse Distance Weighted (IDW) merupakan salah satu metode interpolasi yang memprediksi bobot sampel yang tidak tersampelkan. Proses perhitungan IDW lebih sederhana dan mudah dipahami sehingga metode ini banyak digunakan dalam estimasi cadangan [4].

Batubara memiliki ketebalan yang berbeda-beda pada setiap *seam* sehingga, membutuhkan metoda perhitungan yang tepat dengan tingkat ketelitian yang baik. Perbandingan hasil metode FEM dan IDW dalam mengestimasi ketebalan setiap *seam* menghasilkan volume batubara yang sesuai dengan keadaan sebenarnya.

Prasyarat untuk mempertahankan operasi penambangan yang efisien dan aman adalah desain tambang yang tepat dengan mempertimbangkan semua aspek. Langkah pertama dalam desain tambang batubara adalah pemodelan. Data pemodelan didasarkan pada informasi yang diperoleh dari pengeboran, susunan litologi, *sampling*, dan menganalisis sejumlah lubang bor. Data pengeboran disajikan dalam bentuk (x, y, z), koordinat, *dip* dan sudut azimuth lubang bor, definisi litologi dari sampel yang diambil dari lubang bor [5].

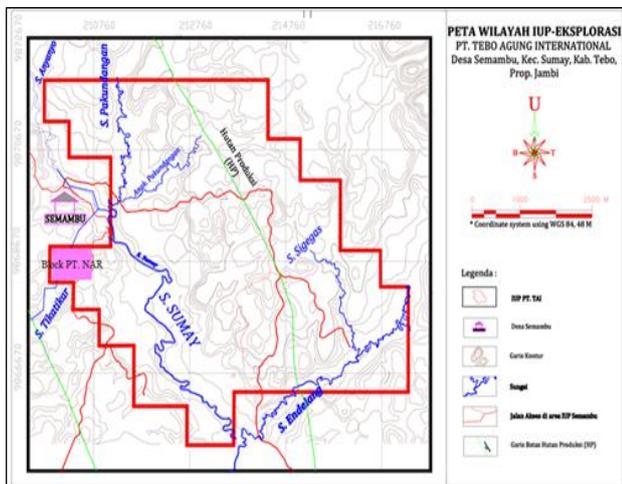
Perhitungan dan pemodelan sumberdaya dan cadangan batubara sebelumnya telah dilakukan antara lain pemodelan matematis menggunakan FEM menghitung sumberdaya [3], estimasi sumberdaya mengkaji pemodelan 3D [5], pemodelan sumberdaya batubara menggunakan geostatistik [6], menghitung sumberdaya terukur menggunakan metode lingkaran dan FEM [7],

estimasi cadangan batubara berdasarkan *stripping ratio* [8], Estimasi sumberdaya menggunakan metode *Nearest Neighbour Point*, *Inverse Distance Weighting*, dan *Kriging* [9].

Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi cadangan batubara berdasarkan metode terpilih dengan nilai *error* terkecil.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di area PT Natural Artha Resource, yang secara administratif berada di Desa Semambu, Kecamatan Sumay, Kabupaten Tebo, Provinsi Jambi. Lokasi ini dapat dicapai melalui jalan darat dari Jambi (ibu kota Provinsi Jambi) ke arah Barat. Peta WIUP PT TAI disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta wilayah IUP PT TAI

Penelitian bersifat kuantitatif yang sistematis, terstruktur, tersusun mantap dari awal hingga akhir penelitian, dan menggunakan analisis angka-angka statistik [10].

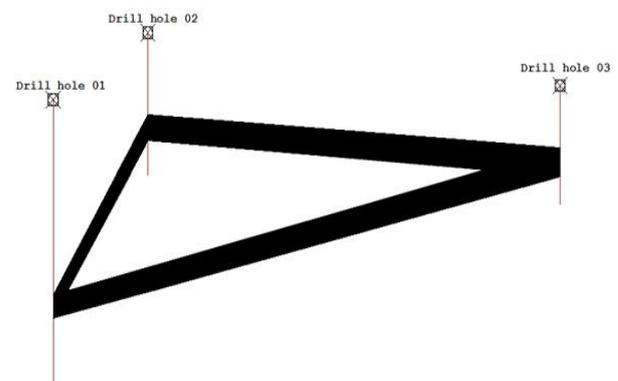
Tahapan penelitian yaitu: studi literatur, observasi lapangan (pengambilan data primer dan data sekunder), pengolahan dan analisis data penelitian hingga kesimpulan akhir.

Hasil pengolahan data penelitian berupa peta kontur struktur batubara *roof* dan *floor*, peta ketebalan batubara, dan *overburden*, peta topografi, *stripping ratio*, model ketebalan *seam* batubara menggunakan metode FEM dan IDW. Analisis data dilakukan untuk menghasilkan batas penambangan dengan estimasi cadangan yaitu melalui perhitungan/estimasi ketebalan batubara menggunakan FEM dan IDW (dipilih RMSE terkecil dari masing-masing metode sehingga didapat metode mana yang lebih tepat digunakan).

Pemodelan Endapan Batubara Dengan *Finite Element Method*

Pada permasalahan *engineering* dapat digunakan pendekatan metode elemen hingga atau FEM untuk membuat model endapan menerus, menipis, menebal bercabang, dengan kelebihan yaitu, menyederhanakan struktur yang rumit dan kompleks menjadi elemen-elemen kecil sehingga fleksibel untuk menghitung volume serta dapat digunakan dalam pembuatan model 3 dimensi pada beberapa *software*.

Permodelan endapan batubara dengan FEM memiliki kekurangan, yaitu pada kondisi heterogenitas tinggi pembobotan cukup beresiko karena hanya menggunakan tiga sampel, belum memperhitungkan arah sebaran yang tidak sama, serta sulit diterjemahkan menjadi system *grid*. Tebal titik yang tidak diketahui dapat diprediksi dengan menggunakan metode interpolasi linear menggunakan elemen segitiga (Gambar 2).



Gambar 2. Tiga titik bor

Persamaan FEM dinyatakan sebagai berikut [3]: Luas segitiga dapat dinyatakan dalam titik-titik kordinat seperti pada Pers.(1), Pers.(2) dan Pers.(3) berikut :

$$A = \frac{1}{2} (x_1y_2 + x_2y_3 + x_3y_1 - x_3y_2 - x_2y_1 - x_1y_3) \quad (1)$$

$$N = \left\{ \frac{1}{\Delta} (a_i + b_i x + c_i y) \right\} \quad (2)$$

$$u = \left\{ \sum_{i=1}^n N_i \cdot u_i \right\} \quad (3)$$

Keterangan:

- A : Luas
- Δ : Determinan
- N : Fungsi Interpolasi
- u : Ketebalan yang dicari
- u_i : Ketebalan di titik ke

Untuk mendapatkan jumlah cadangan maka digunakan Pers.(4) [11].

$$T = A \times t \times d \quad (4)$$

Keterangan:

- T : Tonnase (ton)
- A : Luas Area (m²)
- T : Ketebalan (m)
- D : Density (ton/m³)

Pemodelan Endapan Batubara dengan Metode *Inverse Distance Weighted*

Metode IDW memberikan asumsi bahwa titik bor yang berdekatan memiliki bobot yang akan mendekati dibandingkan dengan titik bor yang berjauhan [12].

Pembobotan menggunakan persamaan IDW mengikuti Per.(5) sebagai berikut [9]:

$$w_i = \frac{1}{d_i^\rho} \quad (5)$$

Pers.(6) digunakan untuk menghitung nilai titik yang ditaksir yaitu sebagai berikut:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n w_i \cdot z_i \quad (6)$$

Keterangan :

- Z₀ : Nilai titik yang ditaksir
- w_i : Faktor bobot dari titik
- Z_i : Nilai dari titik penaksir
- d_i : Jarak antara titik i dengan titik yang ditaksir
- ρ : Faktor eksponen (*power*) 1, 2, 3, 4, 5

Permodelan endapan batubara dengan metode *inverse distance weighted* memiliki kelebihan yaitu, dapat menggunakan satu sampel dalam memprediksi sampel yang belum diketahui nilainya, mudah diterjemahkan dalam *system grid*, dan mudah memperhitungkan anisotrop sehingga sudut pencarian sampel mempengaruhi hasil nilai prediksi.

Selain memiliki kelebihan, permodelan endapan batubara dengan metode *inverse distance weighted* juga memiliki kekurangan yaitu, semakin besar *power* maka pengaruh jarak terhadap bobot semakin besar, pada pemodelan kontur kadang membentuk *bulk eye*.

Root Mean Square Error (RMSE)

Pengujian *cross validation* dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian hasil interpolasi dari beberapa nilai *power*. Persamaan RMSE untuk menghitung nilai *error* mengikuti Pers. (7) [12].

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{z}(x_i) - z(x_i))^2} \quad (7)$$

Keterangan:

- Z (x_i) : Nilai estimasi
- Z (x_i) : Nilai pengukuran
- N : Jumlah prediksi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geologi Regional

Secara regional daerah penelitian termasuk di dalam cekungan Sumatera Selatan. Batuan dasar dari Cekungan ini terdiri dari batuan beku dan metamorf yang berumur Pra-Tersier. Pengendapan batuan sedimen tersier di cekungan Sumatera Selatan terjadi selama periode genang laut yang berlangsung hingga Miosen Tengah dan kemudian disusul tahap susut laut.

Seam Batubara

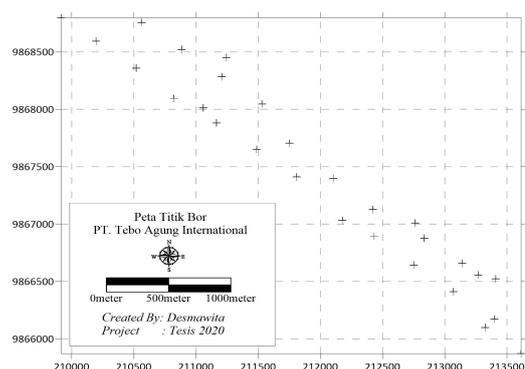
Seam batubara yang dijumpai di daerah penyelidikan mempunyai ketebalan berkisar: seam A ketebalan antara 0,51 – 2,90 m, seam E ketebalan antara 5,84 - 7,43 m yang terbagi menjadi seam E1 dengan tebal 1,70 – 3,60 m dan seam E2 tebal 2,18 – 5,18 m. Batubara berwarna coklat kehitaman, dengan gores coklat, kilap tanah, pecahan sub *conchoidal*, kadang dijumpai resin (damar) pada seam batubara tersebut. Pada beberapa singkapan terdapat struktur kayu (*woody structure*) yang tidak merata.

Kualitas Batubara

Berdasarkan hasil uji laboratorium PT Succofindo dan Geoservices maka kualitas batubara di wilayah IUP PT TAI blok PT NAR termasuk ke dalam peringkat batubara sub-bituminus atau termasuk dalam golongan batubara kualitas rendah (*low calory*) dengan basis adb, dengan rentang kalori rata-rata, seam-A: 5.460 – 5.687 cal/gr dan seam-E: 4.698 – 5.393 cal/gr.

Ketebalan Seam Batubara Daerah Penelitian

Dalam penelitian ini digunakan data bor sebanyak 31 sumur (titik bor) dengan dua seam batubara yang terdiri dari seam A dan seam E, dimana E mengalami percabangan menjadi seam E1 dan E2. Lubang bor memberikan data ketebalan seam batubara yang berbeda-beda. Distribusi titik bor PT TAI dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Peta titik bor PT Tebo Agung International

Data ketebalan batubara pada PT NAR dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5 berikut.

Tabel 2. Ketebalan batubara seam A

No	Titik Bor	Elevasi (m)	Total Dept (m)	Roof (m)	Floor (m)	Tebal (m)
1	DP_1-53B	52	51	24.6	25.11	0.51
2	DP_1-50	52	51	21.6	22.7	1.1
3	DP_1-49	53	55	24.9	25.98	1.08
4	DP_1-48	53	61	29.43	30.63	1.2
5	DP_1-47	54	57	23.95	25.1	1.15
6	DP_2-43	54	117	84.9	86.59	1.69
7	DP_2-44	52	107	72.26	73.55	1.29
8	DP_2-44R	53	80	71.1	73.48	2.38
9	DP_2-45A	53	95	60.9	61.75	0.85
10	DP_2-46	56	97	63.49	64.3	0.81
11	DP_2-47	59	118.45	85.68	87.05	1.37
12	GTP_08	53	127	60.47	62.82	2.35
13	GTP_07	60	150	131.39	133.19	1.8
14	DP_2-39	57	113	81.54	84.44	2.9
15	DP_2-40	60	120	92.3	94.98	2.68
16	DP_2-41R	73	145	118.06	120.16	2.1
17	DP_1-43A	74	75	46.28	48.11	1.83
18	DP_1-43B	68	45	13.22	15.68	2.46
19	DP_1-44	66	60	31.28	32.76	1.48
20	DP_1-45	63	69	40.8	42.39	1.59
21	DP_1-46R	75	93	64.19	64.94	0.75
22	SD_15	59	125	72.04	73.13	1.09
23	DP_1-52A	61	34	8.63	11.1	2.47

Tabel 3. Ketebalan batubara seam E

No	Titik Bor	Elevasi (m)	Total Dept (m)	Roof (m)	Floor (m)	Tebal (m)
1	DP_1-53B	52	51	37.96	45.3	7.34
2	DP_1-50	52	51	38.54	45.77	7.23
3	DP_1-49	53	55	45.5	52.46	6.96
4	DP_1-48	53	61	50.06	57.31	7.25
5	DP_1-47	54	57	44.83	51.48	6.65
6	DP_2-43	54	117	103.88	110.74	6.86
7	DP_2-44	52	107	93.77	100.16	6.39
8	DP_2-45A	53	95	81.87	88.72	6.85
9	DP_2-46	56	97	84.02	90.77	6.75
10	DP_2-47	59	118.45	105.17	112.33	7.16
11	DP_2-48	53	100	85.93	93.36	7.43
12	GTP_08	53	127	80.05	87.32	7.27
13	DP_2-41R	73	145	132.23	139.4	7.17
14	DP_2-42	54	141	124.02	131.38	7.36
15	DP_1-42B	64	27	12.56	18.58	6.02
16	DP_1-44	66	60	48.24	54.92	6.68
17	DP_1-45	63	69	56.19	62.96	6.77
18	DP_1-46R	75	93	82.65	89.47	6.82
19	SD_15	59	125	92.14	99.45	7.31
20	DP_1-41	69.8	27	12.86	18.7	5.84
21	DP_1-52A	61	34	22.1	28.5	6.4

Tabel 4. Ketebalan batubara seam E1

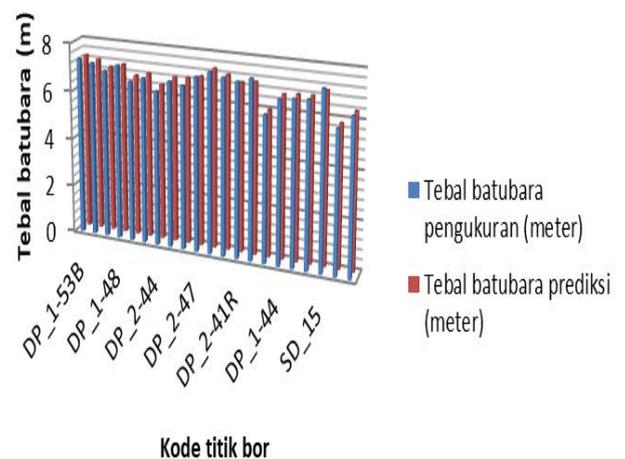
No	Titik Bor	Elevasi (m)	Total Dept (m)	Roof (m)	Floor (m)	Tebal (m)
1	DP_1-54	51	36	21.15	22.99	1.84
2	DP_1-53	51	36	20.96	22.66	1.7
3	DP_2-39	57	113	95.66	99.26	3.6
4	DP_2-40	60	120	107.05	110.48	3.43
5	DP_1-43A	74	75	60.62	64.38	3.76
6	DP_1-43B	68	45	29.54	33.15	3.61
7	DP_1-54R	51	36	21.15	22.94	1.79

Tabel 5. Ketebalan batubara seam E2

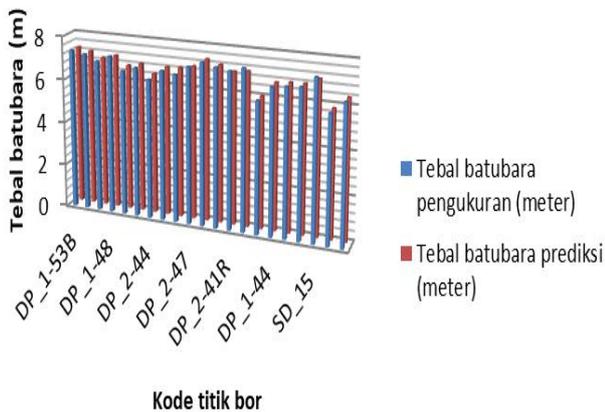
No	Titik Bor	Elevasi (m)	Total Dept (m)	Roof (m)	Floor (m)	Tebal (m)
1	DP_1-54	51	36	23.32	28.45	5.13
2	DP_1-53	51	36	23.16	28.34	5.18
3	DP_2-39	57	113	99.66	102.42	2.76
4	DP_2-40	60	120	111.36	113.54	2.18
5	DP_1-43A	74	75	64.58	67.55	2.97
6	DP_1-43B	68	45	33.36	36.64	3.28
7	DP_1-54R	51	36	23.32	28.45	5.13

Prediksi Ketebalan Seam Batubara Menggunakan Finite Element Method

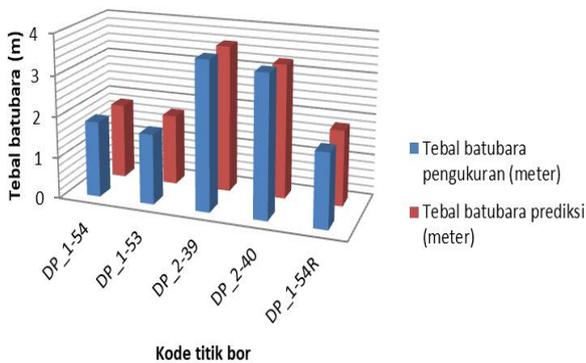
Hasil prediksi ketebalan batubara menggunakan FEM dengan (x) nama titik bor dan (y) tebal batubara dijelaskan pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 7.



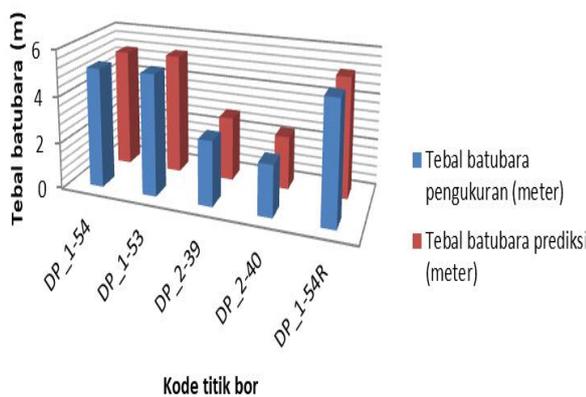
Gambar 4. Prediksi tebal batubara seam A menggunakan FEM



Gambar 5. Prediksi tebal batubara *seam E* menggunakan FEM



Gambar 6. Prediksi tebal batubara *seam E1* menggunakan FEM

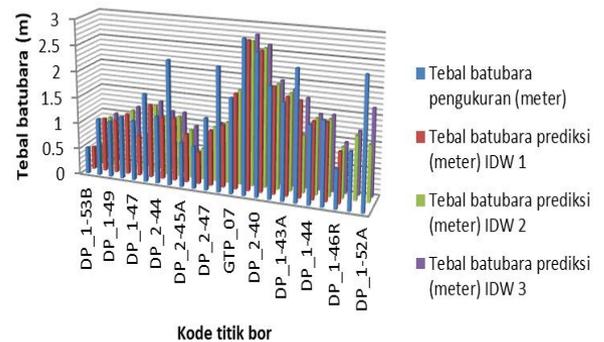


Gambar 7. Prediksi tebal batubara *seam E2* menggunakan FEM

Prediksi Ketebalan Batubara Menggunakan Metode *Inverse Distance Weighted*

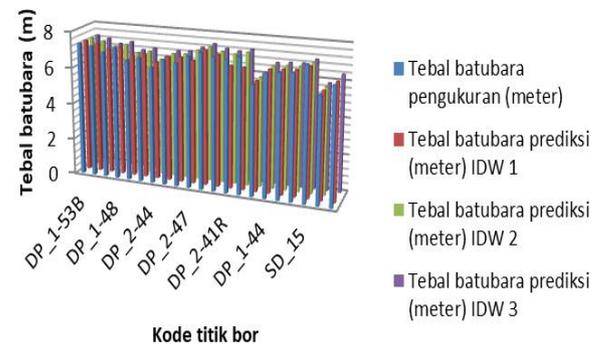
Prediksi ketebalan merupakan teknik penaksiran yang menaksir nilai suatu titik berdasarkan pada nilai titik-titik contoh di sekitarnya.

Prediksi ketebalan batubara menggunakan metode IDW *seam A* dengan (x) nama titik bor dan (y) tebal batubara dapat dilihat pada Gambar 8.



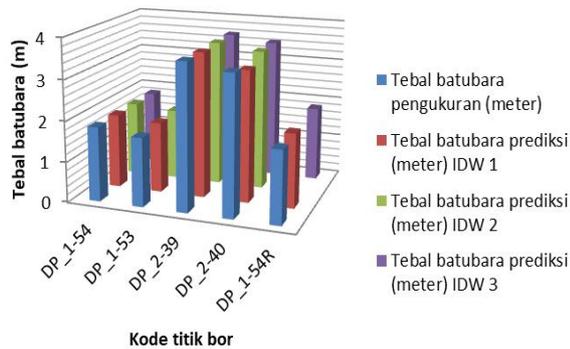
Gambar 8. Prediksi tebal batubara *seam A* menggunakan IDW

Prediksi ketebalan batubara menggunakan metode IDW *seam E* dengan (x) nama titik bor dan (y) tebal batubara dapat dilihat pada Gambar 9.



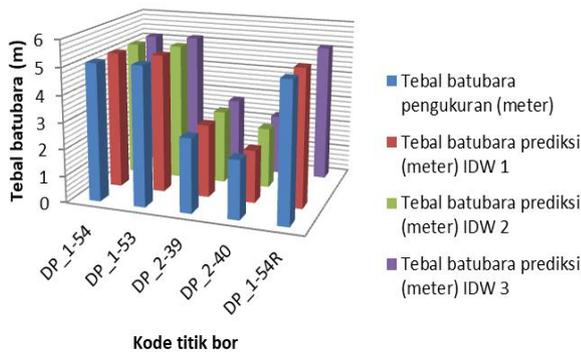
Gambar 9. Prediksi tebal batubara *seam E* menggunakan IDW

Prediksi ketebalan batubara menggunakan metode IDW *seam E1* dengan (x) nama titik bor dan (y) tebal batubara dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Prediksi tebal batubara *seam* E1 menggunakan IDW

Prediksi ketebalan *seam* batubara menggunakan metode IDW *seam* E2 dengan (x) nama titik bor dan (y) tebal batubara dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Prediksi tebal batubara *seam* E2 menggunakan IDW

Root Mean Square Error (RMSE)

RMSE dilakukan untuk mengetahui selisih nilai pengukuran dengan nilai hasil prediksi dengan proses perhitungan *cross validation*, yang mana hasil selisih tersebut merupakan nilai kesalahan (*error*). Metode dengan nilai *error* terkecil yang akan digunakan untuk mengetahui cadangan *block* PT NAR dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai RMSE menggunakan FEM dan IDW

No	Seam	RMSE			
		FEM	IDW1	IDW2	IDW3
1	A	0.52	0.41	0.583	0.46
2	E	0.11	0.22	0.082	0.08
3	E1	0.08	0.09	0.031	0.03
4	E2	0.04	0.1	0.046	0.04
Rata-rata		0.19	0.2	0.19	0.15

Berdasarkan perhitungan RMSE yang dihasilkan FEM 0,19 dan metode IDW nilai RMSE terkecil pada IDW *power* tiga yaitu 0,15. Dari kedua metode FEM dan IDW dapat ditentukan, untuk perhitungan ketebalan sumber daya dan cadangan batubara menggunakan IDW *power* tiga. Hasil perhitungan sumberdaya dan cadangan pada IUP PT TAI *block* PT NAR menunjukkan hasil yang paling akurat menggunakan metode IDW *power* tiga.

Sumberdaya PT Tebo Agung International (PT TAI)

Berdasarkan perhitungan RMSE IDW *power* tiga menggunakan perangkat lunak diperoleh, sumberdaya terindikasi sebesar 16.542.367,64 ton dan sumberdaya terukur sebesar 25.414.987,09 ton Sumberdaya pada WIUP PT TAI yang dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Sumberdaya PT Tebo Agung International

No	Seam	Sumberdaya	
		Terindikasi (ton)	Terukur (ton)
1	A	1,065,246.12	2,607,214.91
2	E	12,060,304.35	19,405,416.50
3	E1	1,250,318.79	1,503,460.09
4	E2	2,166,498.39	1,898,895.59
Jumlah		16,542,367.64	25,414,987.09

Cadangan Batubara Pada *Block* PT Natural Artha Resource (PT NAR)

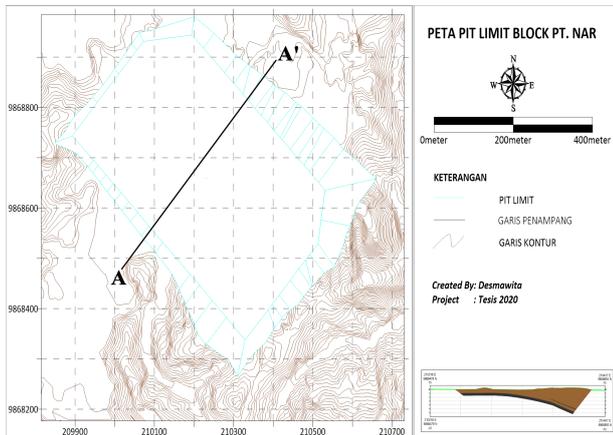
Berdasarkan perhitungan PT NAR menggunakan FEM dengan RMSE 0,19 diperoleh cadangan batubara sebesar 15 juta ton dengan SR 3:1. *Block* PT. NAR dengan luas 74,91 ha berdasarkan interpolasi ketebalan metode FEM dan IDW menggunakan RMSE diperoleh IDW *power* 3 sebesar 0,15, dengan *low wall slope* 30° dan *overall slope* pada *high wall* 45° di peroleh luas *pit limit* 20,44 ha dengan cadangan batubara sebesar 1.640.180,10 ton dengan *overburden* 6.960.892,14 BCM dan *interburden* 491.320,88 BCM, diperoleh SR sebesar 4,5:1. Data cadangan dijelaskan pada Tabel 8.

Tabel 8. Cadangan batubara di *Block* PT NAR

No	Seam	Batubara
1	A	46,841.52
2	E	1,590,069.34
3	E1	2,233.81
4	E2	1,035.43
Jumlah		1,640,180.10

Peta *pit limit* (Batas Penambangan) *block* PT NAR seluas 74,91 ha dengan *low wall slope* 30° dan *overall*

slope pada *high wall* 45° di peroleh luas pit 20,44 ha dapat dilihat pada Gambar 12.



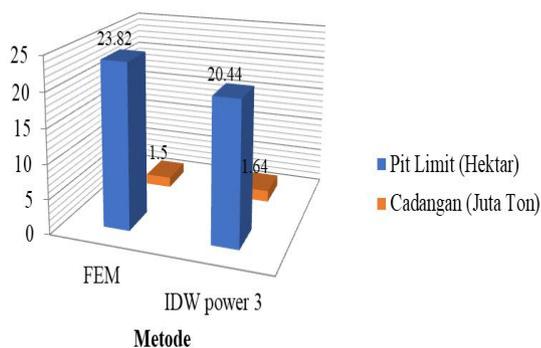
Gambar 12. Peta Pit Limit Block PT NAR

Parameter dalam penentuan batas penambangan (*pit limit*) untuk estimasi cadangan yaitu, SR (*Stripping Ratio*) yang dihitung dengan pendekatan BESR (*Break Even Stripping Ratio*), lereng penambangan, kondisi topografi dan geologi [13].

Proses penentuan batas *pit* dilakukan dengan beberapa tahapan [14] yaitu:

1. Daerah *up dip* ke arah *down dip* dijadikan batas akhir penambangan topografi berdasarkan topografi
2. Memproyeksikan batas-batas yang telah dibuat
3. Bagian atas *pit* dibuat garis batas atau *boundary pit*
4. Menentukan nilai kehilangan (*loss*) dari ketebalan batubara yang akan ditambang sebagai proses kegiatan *coal cleaning*

Berdasarkan hasil perhitungan cadangan yang dilakukan pada PT NAR menggunakan FEM dan peneliti menggunakan IDW *power* 3, dengan (x) metode yang digunakan, (y) luas dalam ha dan jumlah cadangan batubara dalam ton, dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan estimasi cadangan batubara menggunakan FEM dan IDW *power* 3

Perhitungan menggunakan *finite element method* mengubah data menjadi benda yang berukuran kecil menjadi elemen-elemen segitiga, pembobotan berdasarkan tiga titik sampel, tidak memperhitungkan jarak antara titik, tidak memperhitungkan radius sangat beresiko terutama pada heterogenitas tinggi karena belum memperhitungkan arah sebaran yang sama.

Metode perhitungan dengan *inverse distance weighted* lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *finite element method*, karena metode IDW mempertimbangan ketentuan pembobotan yaitu [11]:

1. Letak *grid* atau *blok* yang akan ditaksir terhadap letak data sampel
2. Orientasi setiap sampel yang menunjukkan hubungan letak ruang antar sampel
3. Memperhitungkan arah sebaran yang sama sehingga sudut pencarian sampel mempengaruhi hasil nilai prediksi dengan memperhitungkan radius

Hasil estimasi cadangan batubara yang berbeda antara *finite element method* dan *inverse distance weighted* mencapai 140.000 ton, secara relative naik 9,33 %. Hasil tersebut membuktikan bahwa perbedaan metode penghitungan sangat dipengaruhi oleh arah distribusi dan nilai yang dihasilkan.

KESIMPULAN

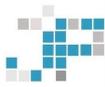
Berdasarkan analisis dan pembahasan data pada penelitian ini dapat diambil kesimpulan yaitu, interpolasi dengan metoda *inverse distance weighted* (IDW *power* tiga dengan RMSE 0,15), lebih baik dari pada *finite element method*. Berdasarkan perhitungan RMSE IDW *power* 3 diperoleh luas *pit limit block* PT NAR dengan *low wall slope* 30° dan *overall slope* pada *high wall* 45° 20,44 ha memiliki cadangan batubara sebesar 1.640.180,10 ton dengan *overburden* 6.960.892,14 BCM dan *interburden* 491.320,88 BCM, maka diperoleh SR sebesar 4,5:1, sementara dengan FEM diperoleh luas *pit* 23,82 Ha dengan cadangan sebanyak 1,5 juta.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih diucapkan kepada pimpinan dan seluruh karyawan PT NAR yang telah memberikan wadah dan bantuan kepada penulis, sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aryanda, D., Ramli, M., & Djameluddin, H. (2014). Perancangan *Sequence* Penambangan Batubara untuk Memenuhi Target Produksi Bulanan (Studi Kasus : Bara 14 *Seam* C PT . Fajar Bumi Sakti , Kalimantan Timur). *Geosains*, 10(02),74–79.
- [2] SNI 5015. (2011). *Pedoman pelaporan, sumberdaya, dan cadangan batubara*. In T.



- Panitia 07-02 Potensi Kebumihan (Ed.)*, Standar Nasional Indonesia. Jakarta.
- [3] Dwiantoro, M., Lilik Eko, W., & Annisa. (2017). Pemodelan Matematis Metode Elemen Hingga untuk Menghitung Sumberdaya Batubara Daerah Pondok Labu, Cekungan Kutai, Kalimantan Timur. *Jurnal Geosapta*, 3(2), 99–105.
- [4] Pramono, G. H. (2008). Akurasi Metode IDW dan *Kriging* untuk Interpolasi Sebaran Sedimen Tersuspensi di Maros, Sulawesi Selatan. *Forum Geografi*, 22(1), 145-158.
- [5] Unver, B. (2018). Fundamentals of 3D modelling and resource estimation in coal mining. *Journal of Mining and Environment*, 9(3), 623–639.
- [6] Pardo-Igúzquiza, E., Dowd, P. A., Baltuille, J. M., & Chica-Olmo, M. (2013). Geostatistical modelling of a coal seam for resource risk assessment. *International Journal of Coal Geology*, 112, 134–140.
- [7] Fikri, H. N. (2017). Perhitungan Sumberdaya Terukur Endapan Batubara Menggunakan Metode Lingkaran dan Metode Elemen Hingga. *Jurnal GEOSAPTA*, 3(2), 111–114.
- [8] Fadly, M. H., & Umar, H. (2018). Estimasi Cadangan Berdasarkan Stripping Ratio pada PT. Dharma Putra Bersama, Kabupaten Kutai Kartanegara Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Teknologi Mineral FT UNMUL*, 6(2), 37–42.
- [9] Kurnianto, A., Setihadiwibowo, A. P., & Giamboro, W. S. (2019). Estimasi Sumberdaya Batubara Menggunakan Metode Nearest Neighbour Point, Inverse Distance Weighting, dan Kriging pada Daerah Muara Bungo, Sumatera Selatan. *Jurnal Geoelebes*, 3(2), 75–82.
- [10] Sugiyono. (2012). *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif R & B* (p. 2012). p. 2012. Bandung: CV. ALFABETA.
- [11] Widodo, S., Anshariah, & Fajar Astaman, M. (2015). Studi Perbandingan Antara Metode Poligon dan Inverse Distance pada Perhitungan Cadangan Ni PT. Cipta Mandiri. *Jurnal Geomine*, 03, 148–154.
- [12] Purnomo, H. (2018). Aplikasi Metode Interpolasi Inverse Distance Weighting dalam Penaksiran Sumberdaya Laterit Nikel (Studi Kasus di Blok R, Kabupaten Konawe-Sulawesi. *Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, Angkasa*, Vol. 10(1), 49–60.
- [13] Aswandi, D., & Yulhendra, D. (2018). Redesain Rancangan Ultimate Pit dengan menggunakan Software Minescape 4.118 di Pit S41 PT. Energi Batu Hitam Kecamatan Muara Lawa & Siluq Ngurai, Kabupaten Kutai Barat, Kalimantan Timur. *Jurnal Bina Tambang*, Vol.4, 4(1), 153–164.
- [14] Heru Cahyo, P., Nurhakim, Riswan, & Karina Shella, P. (2017). Perencanaan Penambangan Batubara *Pit* Timur di PT. Pada Idi Desa Luwe Huku Kalteng. *Jurnal Geosapta*, 3(1), 62-69.