KAJIAN GEOTEKNIK TAMBANG BAWAH TANAH BATUBARA METODE *LONGWALL*

Ratih Hardini Kusuma Putri[1], Diana Pradani[2] ,Recky Tobing[3] ,Sigit Suhardianto[4],Mahpudz Nuzuli[5]

[1]Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
[2]Politeknik Negeri Malang
[3] CV. Triangel Berkah Abadi
[4,5] Dinas ESDM Provinsi Jambi

e-mail: vst_putri@yahoo.com

ABSTRACT

The paper outlines the purpose of panel entries in longwall mining retreat method. Coal seams with a depth of cover 400-550 meters is classified as deep, it is necessary to study a geological model, geotechnical conditions of rock masses on coal pillars as a distribution due to mining in order to maintain stability of an opening tunnel. The study presents a methodology of pillar design based on numerical finite element method (FEM) modeled using Phase2 (Rocscience) software so that the longwall method mine design can be used optimally and take into safety and economically aspect.

Keyword: coal, *underground mining*, *longwall method*

ABSTRAK

Makalah ini menguraikan rencana penambangan batubara tambang bawah tanah dengan metode longwall mundur (retreating). Lapisan batubara dengan kedalaman 400-550 meter digolongkan tambang dalam, perlu mempelajari model geologi, kondisi geoteknik massa batuan pada pilar batubara sebagai distribusi akibat penambangan untuk menjaga stabilitas pada jalan tambang (panel entries). Studi ini menyajikan metodologi desain pilar berdasarkan metode elemen hingga (FEM) yang dimodelkan menggunakan perangkat lunak Phase2 (Rocscience) sehingga desain tambang metode longwall dapat digunakan secara optimal yang mempertimbangkan aspek keselamatan dan ekonomis.

Kata kunci: batubara, tambang bawah tanah, metode longwall

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Dalam rangka rencana penambangan bawah tanah dengan metode *longwall* PT. Bukit Asam, Tbk (Persero) melakukan penyelidikan eksplorasi lanjutan dengan cara pengeboran geoteknik dalam, dalam guna melakukan pengkajian ulang model geologi kemenerusan sebaran endapan batubara, dan kondisi stratigrafi batuan didaerah penelitian, serta untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik batuan utuh sebagai parameter untuk analisis kestabilan pada tambang bawah tanah.

Berdasarkan atas beberapa pertimbangan diantaranya, kondisi geologi area penambangan terutama keberadaan lapisan batubara yang akan ditambang topografi dan morfologi di atas area rencana penambangan, kondisi permukaan bekas Open pit di sekitar rencana mulut tambang, kondisi geoteknik massa batuan atap (*roof*) dan batuan lantai (*floor*), target produksi yang diinginkan dan peralatan yang akan digunakan, maka metode tambang bawah tanah yang dipilih adalah metode Longwall mundur (*retreating*).

Penambangan batuabara dengan metode *longwall* memiliki resiko yang besar terhadap keruntuhan atap lubang bukaan dan panel penambangan. Hal tersebut dipengaruhi oleh faktor kestabilan dari lubang bukaan dan juga pilar batubara sebagai penyangga alamiah pada area penambangan. Dengan permasalahan tersebut diperlukan suatu kajian geoteknik terhadap rancangan pilar batubara bawah tanah, agar kegiatan penambangan dapat dikerjakan dengan aman dan lancar.

Rumusan Masalah

Susunan batuan pada endapan batubara didaerah penelitian terdiri dari perlapisan batupasir, batulempung, batulanau, dan batulempung karbonan, yang termasuk dalam klasifikasi batuan lunak dengan kondisi sangat jelek (very weak rock) dengan kuat tekan < 5 MPa (Bieniawski, 1989). Hal ini mengakibatkan terjadinya potensi resiko keruntuhan atap pada area penambangan yang lebih besar.

Aspek keselamatan dan keamanan (safety) merupakan faktor utama yang harus diperhatikan dalam kegiatan penambangan. Oleh sebab itu, faktor stabilitas dari rancangan penambangan bawah tanah harus diperhitungkan secara komprehensif dan memenuhi batas keamanan yang telah ditentukan. Dalam penelitian ini simulasi pada diselesaikan adalah membuat kajian geoteknik batubara bawah tanah sehingga akan didapatkan stabilitas rancangan lubang bukaan dan pilar yang aman dan sesuai standar yang telah ditentukan.

Tujuan Penelitian

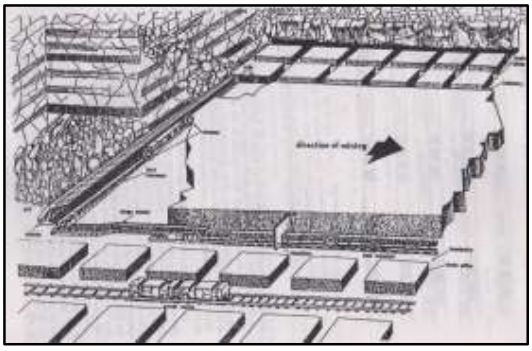
Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah :

1. Melakukan kajian geoteknik terhadap rancangan lubang bukaan (*panel entries*)
2. Melakukan kajian geoteknik terhadap rancangan pilar (*rib pillar)*

TINJAUAN PUSTAKA

Longwall Mining

Longwall mining merupakan penambangan batubara yang rata dan berbentuk tabular. Hal ini memungkinkan untuk penambangan hampir seluruh sumberdaya dapat terambil. Prinsip *longwall* adalah bagian area yang ditambang mengalami keruntuhan (Gambar 2.1). Akses jalan digali di sekitar panel membentuk pilar yang digunakan untuk melindungi atap (roof*)*. Jalan masuknya panel disebut headgate dan keluarnya panel disebut tailgate. Lebar panel penambangan yang dapat dibentuk hingga 260 meter, dengan Panjang panel hingga 2000 meter dan ketinggian panel hingga 2,5 meter (Wenzel,2012).



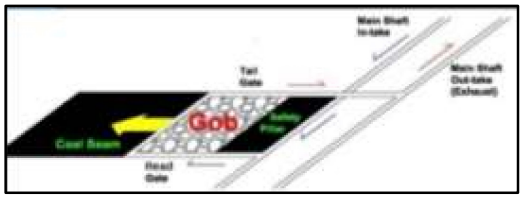
Gambar 2.1 Metode Penambangan Longwall Mining (Eickhoff Co, 1977)

Selama proses ekstraksi batubara akan ditambang oleh *shearer* dengan lebar potongan sekitar 0,76-1,07 meter (Peng, 2006) dan dilakukan secara kontinyu. *Belt conveyor* digunakan untuk mengangkut batubara yang telah ditambang ke lorong samping. Ketika *shearer* mencapai ujung panel dan *shearer* akan menggali pada panel berikutnya. Sementara *shearer* bergerak, *roof support* akan maju menuju ke *face* baru dan menyangga atap di atas untuk mencegah keruntuhan. Atap dibelakang *face* yang aktif dibiarkan runtuh, sebagai dampak tersebut terjadi pergerakan strata yang menyebabkan penurunan permukaan.

Bila ditinjau dari arah kemajuan permukaan kerja (working face), maka terdapat 2 (dua) metode pada *longwall*, yaitu advancing (maju) dan retreating (mundur). Penjelasannya adalah sebagai berikut :

1. Sistem Advancing Longwall

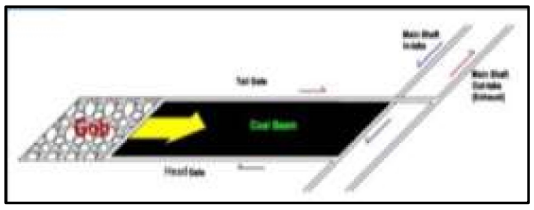
Pada sistem longwall maju, ekstraksi dimulai dari mulut masuk suatu zona ekstraksi batubara, dan diteruskan ekstraksi maju mengarah ke dalam sampai keujung panel ekstraksi, yang dilakukan secara bersamaan untuk lorong ekstraksi batubara dan permukaan kerja, sambil mempertahankan lorong *gob* (Gambar 3.2).



Gambar 3.2
Metode Advancing Longwall

2. Sistem Retreating Longwall

Pada sistem *longwall* mundur, *headgate* dan *tailgate* dibuat terlebih dahulu pada suatu panel penambangan yang akan ditambang, dengan panjang lorong dan lebar area penggalian ditentukan berdasarkan kondisi geologi serta teknik penambangan yang sesuai (Gambar 3.3).



Gambar 3.3
Metode Retreating Longwall

Desain Pilar Batubara

Pilar batubara adalah bagian dari batubara yang disisakan untuk menyangga overburden dan menjaga kestabilan lubang bukaan. Sejak pilar ditetapkan sebagai penyangga, keruntuhan sangat berpengaruh terhadap masalah *ground control.* secara tradisional pilar ditentukan dengan

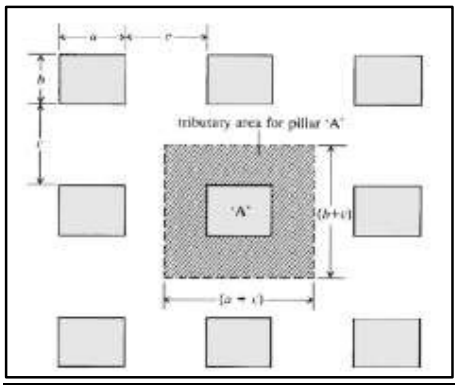
mencocokkan beban pilar dengan kekuatan pilar. Beberapa faktor yang harus diperhatikan untuk desain pilar, yaitu :

1. Sejarah pembebanan yang diharapkan, mencakup pembebanan pilar sebelum dan saat penambangan yang terimbas tekanan abutment.
2. Distribusi tegangan dalam pilar
3. Kekuatan pilar
4. Interaksi antara atap, lantai, dan pilar

Oleh karena itu permasalahan pilar adalah masalah tiga dimensi, yang mana menjelaskan bahwa tidak ada satupun rumusan yang telah berhasil diterapkan di semua kondisi. Masalahnya hanya dapat diselesaikan dengan mempertimbangkan semua empat elemen yang disebutkan di atas secara bersamaan dalam rancangan pilar. Untuk tujuan ini analisis struktur simulasi tiga dimensi urutan penambangan yang sebenarnya adalah langkah utama ke depan.

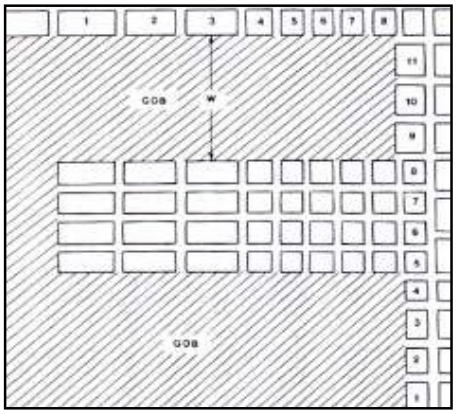
Pembebanan pilar

Pada tambang batubara bawah tanah ada dua jenis kondisi pembebanan yaitu menyangga dengan seragam beban dari perlapisan pada pilar serta satu setengah lebar entry di setiap sisi pilar (Gambar 3.3)



Gambar 3.3
Tributary Area (Obert and Duval, 1967)

Jadi dalam letak room and pillar tegangan rata-rata pilar adalah (Gambar 3.4) untuk pilar persegi.



Gambar 3.4

Kondisi pembebanan pilar (Obert dan Duvall, 1967)

$$\frac{P}{W_p^2} = \frac{(W_o+W_p)^2 \gamma h}{W_p^2} \qquad (3.4.1)$$

$$\sigma_a = (1 + W_o/W_p)^2 \sigma_v \qquad (3.4.2)$$

Dimana $\sigma a = P/Wp^2$ adalah tegangan rata-rata pilar, P adalah beban total pada pilar, Wp adalah Panjang dan lebar dari pilar dan Wo adalah lebar dari entry atau room. Mengacu pada keberadaan dari area gob pada satu atau dua sisi, secara berturut-turut. Besarnya batas tekanan abutment mulai 0,2 sampai 6,4 kali dari berat overburden (Peng dan Chiang, 1984), tergantung karakteristik dari lapisan roof dan urutan batuannya.

Kekuatan pilar

Kekuatan pilar batubara tergantung pada ukuran dan bentuk dari specimen yang diuji. Hubungan tersebut antara lain :

1. Size Fffect

   Kekuatan batubara dapat ditentukan dari laboratorium dan uji in-situ. Kekuatan batubara diperoleh dari uji laboratorium biasanya lebih besar ketika ukuran specimen makin kecil. Hal ini menunjukan fakta bahwa umumnya semakin besar specimen, maka semakin banyak kekar atau fractures, itu menunjukan hasil kekuatan yang lebih kecil. Uji kekuatan in-situ dari pilar bawah tanah, dapat menghilangkan atau mengurangi masalah ukuran dan hasilnya lebih mewakili, tetapi itu sangat mahal dan memakan waktu. Oleh karena itu memerlukan usaha yang lebih untuk memprediksi kekuatan in-situ pilar dari hasil uji laboratorium. Hubungan antara ukuran dan kekuatan dari specimen dapat digeneralisasikan oleh persamaan (Evans et al., 1961).

   $$S_1 = k_1 d^{-a} \qquad (3.4.3)$$

   Dimana S_1 adalah Uniaxial compressive strength dari kubikal pilar, d adalah panjang sisi dari specimen, k_1 dan a adalah konstanta. Nilai dari konstanta a mulai dari 0,38 sampai 0,66 (Peng, 1978), dengan rata-rata 0,5. Bienawski (1969) menunjukan beberapa rangkaian dari uji in-situ dan menemukan bahwa untuk kubikal specimen, kekuatan menurun dengan bertambahnya ukuran specimen.

2. Shape effect

   Pada penambahan efek ukuran, kekuatan batubara juga tergantung pada geometri specimen dan efek bentuk. Bahwa rasio dari diameter atau lebar dan tinggi dari specimen (Evans et al., 1961; Obert dan Duvall, 1967). Banyak perumusan kekuatan pilar rata-rata puncak itu telah memperkenalkan efek bentuk. Hal tersebut dapat dikelompokkan kedalam dua tipe, yaitu :

$$S_2 = S_1 \left(A + B \frac{W_p}{H}\right) \qquad (3.4.4)$$

Dan

$$S_2 = S_1 \frac{W_p^{\alpha}}{H^{\beta}} \qquad (3.4.5)$$

Dimana S_2 adalah kekuatan pilar dan akibat efek bentuk, S_1 adalah UCS dari kubikal pilar yang diperoleh dari persamaan 3.4.3 *A, B, α, β* adalah konstanta yang tergantung pada karakteristik dari seam batubara, W_p adalah lebar pilar, dan H adalah tinggi pilar. Tinggi pilar, H biasanya tinggi seam, kekuatan pilar S_2 ditentukan oleh lebar itu.
Berdasarkan Bieniawski (1983), dari semua rumusan kekuatan pilar yang tersedia, persamaan yang telah diaplikasikan pada tambang batubara U.S.

Kriteria Runtuh Mohr-Coulomb

Untuk mempermudah perhitungan didalam mekanika batuan maka selubung Mohr dianggap sebagai garis lurus dan persamaannya dinyatakan sebagai Mohr-Coulomb.

$$\tau = C + \mu\sigma$$

keterangan :
τ = Tegangan geser
σ = Tegangan normal
C = Kohesi
μ = Koefisien gesek dalam dari batuan = tan ϕ

Metode Elemen 2D : Plane Strain dan Plain Stress

Unsur-unsur yang sejauh ini dijelaskan belum merupakan elemen hingga yang benar karena mereka telah digunakan untuk menyelesaikan persamaan diferensial dalam satu variabel ruang saja. Dengan demikian masalah nyata yang melibatkan dua atau tiga variable ruang telah digantikan oleh masalah satu dimensi yang hipotesis dan ekuivalen sebelum solusi. Unsur-unsur yang telah kita pertimbangkan dapat digabungkan Bersama di titik (node) dan kesinambungan lengkap (kompatibilitas) dan kesetimbangan tercapai. Dengan cara ini kita kadang-kadang bisa mendapatkan solusi tepat untuk masalah hipotesis kita (terutama pada node) di mana solusi tidak akan terpengaruh oleh jumlah elemen yang dipilih untuk mewakili segmen garis seragam.
Situasi ini berubah secara radikal ketika masalah dalam dua atau tiga dimensi ruang dianalisis. Misalnya, perhatikan dinding geser bidang dengan bukaan yang ditujukan.

METODOLOGI PENELITIAN

Analisis Kekuatan Pilar

Terdapat lima persamaan kekuatan pilar yang telah diterapkan secara luas pada tambang bawah tanah batubara US. Batubara yang digunakan pada daerah penelitian Airlaya memiliki nilai k = 425,75 yang akan digunakan pada persamaan (3.11). dengan demikian besar kekuatan batubara insitu seam Airlaya diperkirakan 161,607 psi. Nilai tersebut digunakan berdasarkan lima persamaan kekuatan pilar, besar kekuatan pilar batubara dari seam Airlaya dapat diperkirakan sebagai berikut :

1. Obert and Duvall Formula
$$\sigma_p = 161{,}607\left[0{,}778 + 0{,}222\left(\frac{w}{h}\right)\right]$$
2. Holland and Gaddy Formula
$$\sigma_p = 425{,}75\left[w/h^{1/2}\right]$$
3. Holland Formula
$$\sigma_p = 161{,}607(w/h)^{1/2}$$
4. Salamon and Munro Formula
$$\sigma_p = \frac{425{,}75w^{0{,}46}}{12H^{0{,}66}}$$
5. *Bienawski Formula*
$$\sigma_p = 161{,}607\left[0{,}64 + 0{,}36\left(\frac{w}{h}\right)\right]$$

Analisis Lubang Bukaan

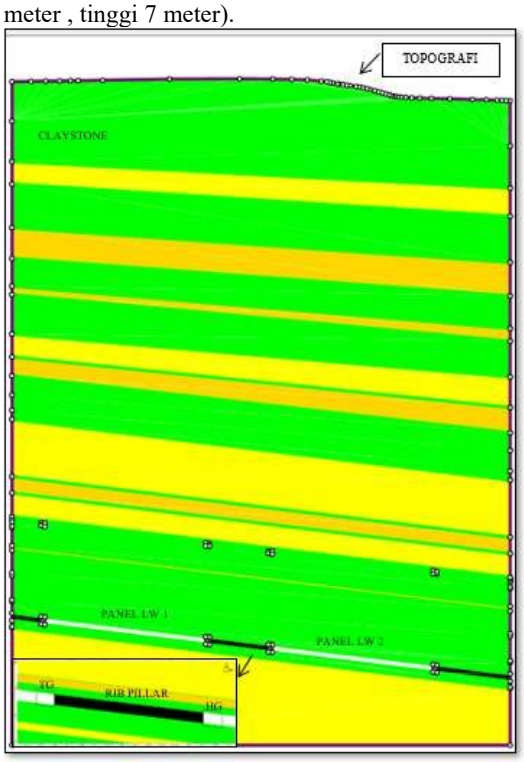
Analisis kestabilan lubang bukaan pada satu panel penambangan *longwall* terdiri dari atas analisis *tailgate* dan *headgate*. Analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) dengan kriteria keruntuhan menggunakan kriteria runtuh Mohr-Coulomb 1779. Penentuan nilai faktor keamanan (FK) mengikuti Hoek. E, Kaiser.P.K dan Bawden.W.F., 1993. Untuk keadaan aman nilai FK > 1,3 umumnya digunakan pada *tailgate* dan *headgate* karna bersifat sementara.
Dalam menganalisis lubang bukaan terowongan ini menggunakan software Phase2 dengan kriteria Mohr Coulomb. Analisis yang dilakukan meliputi sigma1, sigma3, strength faktor dan total displacement. Hasil analisis ini adalah untuk mengetahui apakah terowongan diperlukan penyanggaan atau tidak untuk memperkuat lubang bukaan yang akan dibuat. Data masukan untuk analisis berdasarkan hasil pemboran geoteknik dan disajikan dalam table berikut :

Tabel 4.1
Input Data Define Material

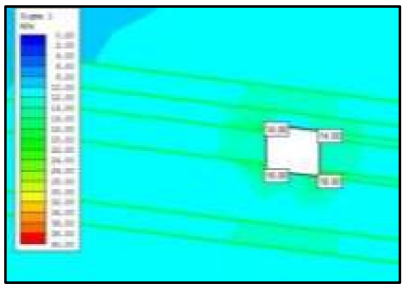
Properties	*Coal Seam D*	*Coal Seam E*	*Sandstone*	*Siltstone*	*Claystone*
Unit Weight (MN/m^3)	0,023	0,023	0,021	0,024	0,026
Cohesion (MPa)	0,344	0,419	1,18	0,59	0,37
Friction Angle (^{O})	11,82	24,33	34,47	27,79	19,25
Tensile Strength (MPa)	1,03	1,03	0,71	0,42	0,34
Young Modulus (MPa)	139	348,19	504,47	505,85	302,00
Poisson's Ratio	0,321	0,30	0,31	0,33	0,28
Intact Compression Strength (MPa)	1,91	4,35	5,10	3,79	1,91

Sumber : data laboratorium pengujian tekMIRA

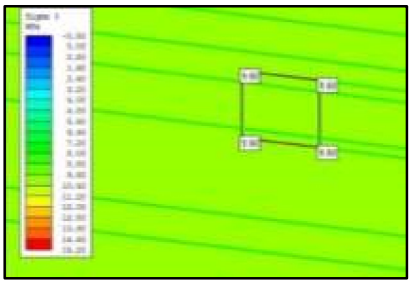
Geometri main entries pada level 1 seam D (lebar 3,5 meter, tinggi 3 meter), level 2 seam E (lebar 3,5 meter , tinggi 7 meter).



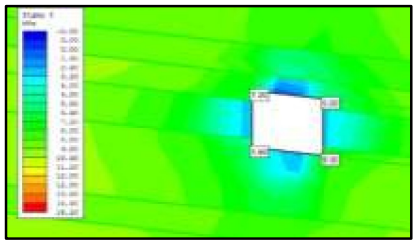
Gambar 4.1
Permodelan Litologi Tampak Depan



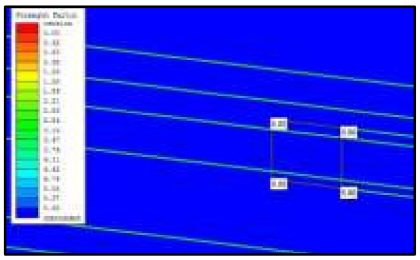
Gambar 4.2
Sigma 1 After Excavation



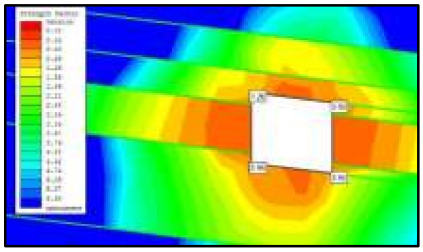
Gambar 4.3
Sigma 3 Before Excavation



Gambar 4.4
Sigma 3 After Excavation



Gambar 4.5
Strength Factor Before Excavation

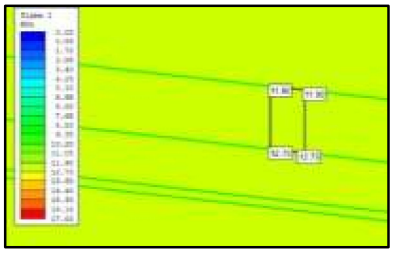


Gambar 4.6
Strength Factor After Excavation

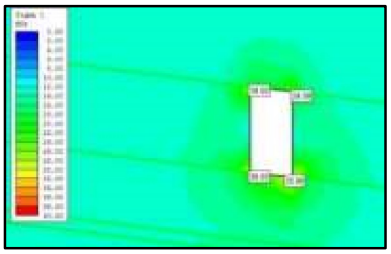
Tabel 4.2
Hasil Analisis Seam D

Position	*Sigma 1 (MPa)*		*Sigma 3 (MPa)*		*Strength Factor*		*Total Displacement (m)*	
	Before	*After*	*Before*	*After*	*Before*	*After*	*Before*	*After*
Corner Right Roof	10,20	14,00	9,60	5,60	6,00	1,39	0,0055	0,125
Corner Left Roof	10,20	14,00	9,60	7,20	6,00	1,26	0,0055	0,125
Corner Right Floor	10,20	16,00	9,60	8,00	6,00	1,40	0,0055	0,125
Corner Left Floor	10,20	16,00	9,60	5,60	6,00	1,32	0,0055	0,225

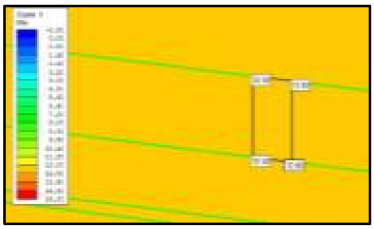
- Analisis Seam E



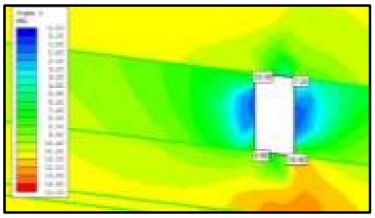
Gambar 4.7
Sigma 1 Main Entry Before Excavation



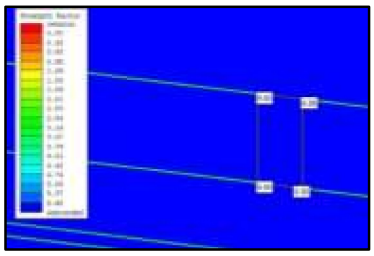
Gambar 4.8
Sigma 1 Main Entry After Excavation



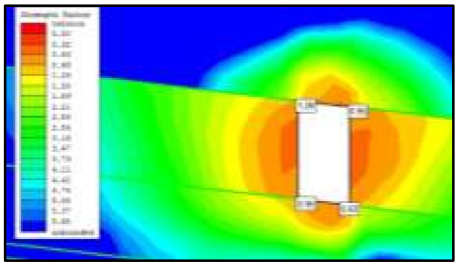
Gambar 4.9
Sigma 3 Main Entry Before Excavation



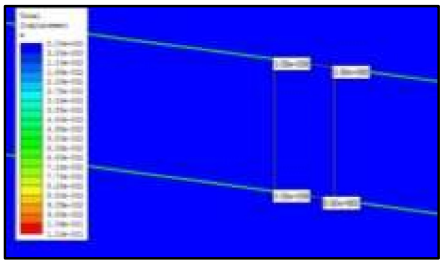
Gambar 4.10
Sigma 3 Main Entry After Excavation



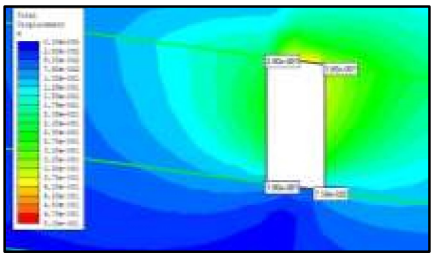
Gambar 4.11
Strength Factor Main Entry Before Excavation



Gambar 4.12
Strength Factor Main Entry After Excavation



Gambar 4.13
Total Displacement Main Entry Before Excavation



Gambar 4.14
Total Displacement Main Entry After Excavation

Tabel 4.2
Hasil Analisis Seam E

Position	*Sigma 1 (MPa)*		*Sigma 3 (MPa)*		*Strength Factor*		*Total Displacement (m)*	
	Before	*After*	*Before*	*After*	*Before*	*After*	*Before*	*After*
Corner Right Roof	11,90	24,00	12,00	7,20	6,00	1,32	0,000	0,350
Corner Left Roof	11,90	18,00	12,00	10,40	6,00	1,26	0,000	0,200
Corner Right Floor	12,75	30,00	12,00	10,40	6,00	1,40	0,000	0,075
Corner Left Floor	12,75	30,00	12,00	9,60	6,00	1,32	0,000	0,100

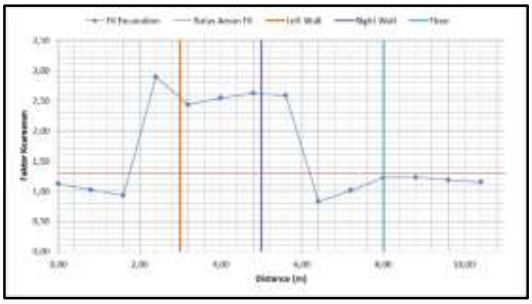
PEMBAHASAN

Pembahasan dalam penelitian ini untuk mengkaji aspek geoteknik pada rancangan penambangan batubara bawah tanah dengan metode *longwall.* Kajian geoteknik yang dilakukan adalah terhadap kestabilan lubang bukaan terhadap rekomendasi lebar pilar dengan menggunakan nilai faktor sebagai acuan keamanan adalah menurut Hoek. E, Kaiser. P.K. dan Bawden W.F., 1993. Untuk keadaan aman nilai FK > 1,5 umumnya digunakan untuk bukaan tambang sementara (temporary) dan FK > 1,3 digunakan untuk bukaan tambang permanen. Untuk *panel entry* (tailgate, headgate) bersifat lubang bukaan sementara sehingga menggunakan FK > 1,3 (Aman). Apabila terdapat nilai faktor keamanan yang lebih kecil dari standar keamanan maka disarankan untuk menggunakan penyangga atau redesain ukuran.

Analisis Kestabilan Lubang Bukaan dan Pilar

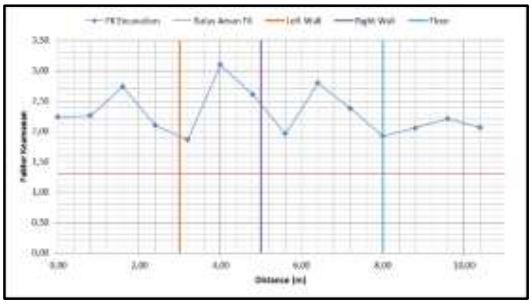
Hasil perhitungan dengan menggunakan *finite element method* didapat bahwa nilai *strength factor* tertinggi pada headgate tahap excavation pada bagian atap (*roof*) dikategorikan aman dengan nilai FK terkecil 1.3. Pada lantai (*floor*) dengan nilai 1.32.

Grafik FK terhadap jarak keliling lubang bukaan dapat dilihat pada Gambar 5.1



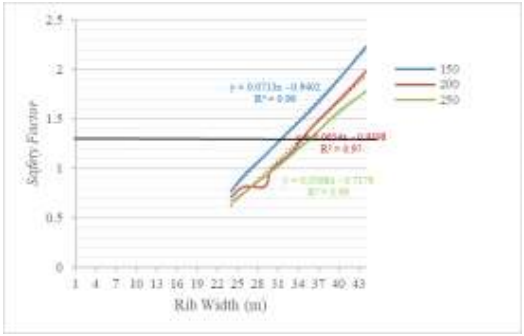
Gambar 5.1
Grafik FK terhadap jarak keliling lubang bukaan pada *Headgate*

Hasil analisis terhadap kestabilan *tailgate*, untuk semua bagian lubang bukaan dikategorikan aman dengan nilai FK terkecil 1,86 pada atap (*roof*)



Gambar 5.2
Grafik FK terhadap jarak keliling lubang bukaan pada *Tailgate*

Berdasarkan analisis diatas penulis juga melihat hubungan lebar pilar terhadap panel penambangan longwall yang sesuai dengan lebar face yang djuga dilihat melalui ketersediaan spesifikasi alat cutting batubara (*shearer)* yang sesuai yang mana menghasilkan minimum lebar rib pillar yaitu sebesar 32 meter pada panel penambangan 150 meter. (Gambat 5.3)



Gambar 5.3
Hubungan lebar pilar dan lebar panel penambangan longwall dengan faktor keamanan

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian bab-bab sebelumnya mengenai kajian geoteknik terhadap rancangan penambangan batubara bawah tanah PT. Bukit Asam, Tbk (Persero), maka dapat disimpulkan :

1. Hasil kajian terhadap kestabilan lubang bukaan (*panel entries*) terdiri dari headgate dan tailgate secara keseluruhan dikategorikan aman (FK>1,3), hanya pada dinding kanan FK 1,26 *failure* disebabkan karena terjadi *undercut* pada lapisan batubara.Direkomendasikan menggunakan penyangga untuk memperkuat lubang bukaan dan mengantisipasi keruntuhan.
2. Hasil analisis pilar menunjukan penentuan ukuran lebar minimum pilar menurut Hoek. E, Kaiser. P.K, dan Bawden. W .F ., 1993 untuk keadaan aman nilai FK > 1,3 pada panel penambangan *longwall* yaitu dengan minimum lebar rib pillar 32 meter.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang mendukung sehingga terciptanya karya tulis ini, antara lain :

1. Pihak LPPM UPN “Yogyakarta”
2. Jajaran manajemen PT.Bukit Asam, Tbk (Persero)
3. Dosen Pembimbing Dr. Ir. Singgih Saptono,. M.T
4. Dan Seluruh Pihak yang terlibat dalam penulisan ini yang tidak dapat penulis tuliskan satu persatu

DAFTAR PUSTAKA

Bieniawski, Z. T.1984.”Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling”.A.A. Balkema. Boston.

Gale, W. J.,1998,”Coal Pillar Design Issues in Longwall mining”.Coal98 Conference, University of Wollongong.

Galvin, J. M.,2015,”Ground Engineering”. NSW, Australia

Peng, Syd S. 1986. “Coal Mine Ground Control”. John Wiley & Sons, Inc. Canada

Rai, Made Astawa. Kramadibrata, Suseno. And Wattimena, Ridho Kresna.2013.”Mekanika Batuan”.Bandung.ITB

W.A.Hustrulid.1976.”A Review of Coal Strength Formula”.Rock Mech.8.pp.115-145.