

Kajian Teknis Penyangga Baja *Three Piece Sets* dan *Five Piece Sets* Pada Lubang Buka-an Tambang Batubara Bawah Tanah Pit Central Barat Di PT. Allied Indo Coal Jaya

Redy Pratama^{1*}, Raimon Kopa^{1**}

¹Jurusan Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

*redy.pratama13@gmail.com

**raimon_unp@yahoo.co.id

Abstract. Underground mining require system, design, and mine support capacity planning. The purpose of this research is to study technical part of the use of three piece and five piece steel support at Central Barat PIT underground mine in PT. Allied Indo Coal Jaya. The idea is comparing maximum moment of three pieces structured i-beam with five pieces structured support which almost has arches shape in the same area in the underground mine. This research method is quantitative, which mean getting numeric data, calculating load that apply on mine support, calculating mass of potential rock fall using appropriate empiric equation approach to measure the load that apply on these underground mine support. The research result shows that maximum moment on three pieces bar (BC) = 17.25 kN m and five pieces bar (CD) = 3.99 kN m. Five piece support take less moment compared to three pieces support, due to smaller surface and it distribute the load to each bar. At the same area, five pieces use smaller steel size 80 mm x 42 mm and 5,94 kg/m compared to three pieces with 140 mm x 66 mm and 14,37 kg/m size of steel. This cause the cost for steel use for five pieces support is more economical than three pieces support

Key words; steel support, underground mine, three piece, five piece, and maximum moment

1. Pendahuluan

Segala aktivitas bawah tanah dilakukan dengan membuat lubang bukaan, baik lubang bukaan produksi maupun pengembangan. Lubang bukaan dibuat dengan menjaga kestabilan agar aman bagi pekerja dan peralatan tambang^[1]. Penggalian suatu lubang bukaan pada massa batuan akan mengakibatkan perubahan keseimbangan dari kondisi batuan itu sendiri.

Belum detilnya kajian ilmiah tentang momen maksimal yang terjadi pada penyangga *three piece* lubang bukaan I PT. AICJ membuat perlunya hal ini dilakukan pengkajian agar tidak terjadi kelebihan beban terhadap penyangga *three piece*.

Dalam proses penambangan bawah tanah dibutuhkan perencanaan sistem, desain, dan kapasitas penyangga. Pemilihan bahan material yang sesuai adalah tahapan penting. Kriteria kekuatan dan kekakuan umumnya dijadikan pertimbangan utama para insinyur memilih bahan material penyangga.

Tetapi itu tidak menjamin bahwa material yang unggul pada kriteria tersebut akan mendominasi pemakaiannya, sebagaimana yang terjadi pada pemakaian konstruksi bangunan baja di Indonesia^[2].

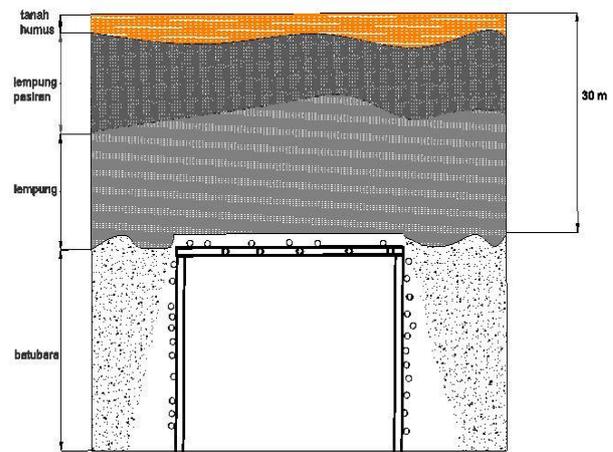
Penyangga yang efektif adalah berbentuk *arches* karena pada *arches* tidak terjadi/kecil momen pada batang baja, namun karena harganya mahal tidak semua perusahaan bisa memakainya.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk menghitung momen maksimal penyangga baja *I-beam* yang disusun *three piece* yang ada saat ini dengan bentuk desain rencana penyangga *five piece* yaitu

potongan baja yang mendekati bentuk *arches* pada lubang yang sama.

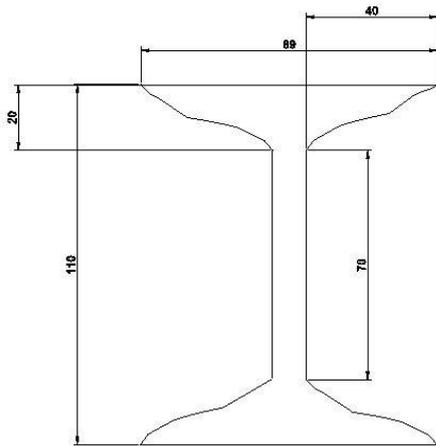
Saat ini susunan penyangga adalah *three piece* dengan jarak antar penyangga rata-rata 1 m, tinggi penyangga 2,27 m, lebar lantai 3,52 m dan lebar atap 2,8 m. Bentuk penyangga tersebut mengikuti bentuk terowongan seperti gambar berikut.

Dengan sistem di atas maka didapat perlu juga kajian pengaruh sudut terhadap kekuatan penyangga. Jarak lubang bukaan dengan lapisan permukaan adalah 30 m yang terdiri dari, lempung pasir, lempung, dan batubara seperti gambar berikut.



Gambar 1. Bentuk terowongan dan lapisan tanah penutup

Dimensi baja yang digunakan adalah sbb:



Gambar 2. Dimensi *I beam*

Seperti gambar di atas dimensi *I beam* yang dipakai memiliki tinggi 11 cm dan lebar 8,9 cm. Terjadinya deformasi batuan atap dan dinding yang mengakibatkan penyangga bergeser, adanya perbedaan jarak antar penyangga, dan dimensi lubang bukaan yang berbeda-beda sehingga dapat mempengaruhi kekuatan penyangga, oleh karena itu agar kegiatan produksi berlangsung aman dan efektif pada sistem dan desain penyangga penulis berkeinginan untuk membahas kajian teknis penyangga baja *three piece* dan *five piece* pada lubang bukaan tambang batubara bawah tanah pit central barat di PT Allied Indo Coal Jaya.

Penelitian ini bertujuan: (1) Memperoleh besaran momen maksimal yang dapat diterima oleh penyangga *three piece* dan *five piece* pada lubang bukaan I di PT AICJ, (2) Mendapatkan ukuran baja *I beam* penyangga yang digunakan jika sistem penyangga diubah menjadi *five piece* dengan beban yang sama, (3) Memperoleh dimensi penyangga *five piece* yang efisien, dan (4) Mendapatkan perbandingan harga/meter baja yang dibutuhkan untuk pemasangan satu rangkaian *three piece* dan *five piece*

2. Kajian Pustaka

Tujuan dasar setiap rancangan untuk penggalian di bawah tanah (*underground excavation*) harus menggunakan batuan itu sendiri sebagai material struktur yang utama, menghasilkan gangguan yang sekecil mungkin selama penggalian dan penambahan sedikit mungkin beton dan penyangga baja. Dalam keadaan sebenarnya dan batuan mengalami tegangan tekan, pada umumnya batuan keras lebih kuat dari beton dan beberapa sama kekuatannya dengan baja. Sehingga tidak akan membuat arti ekonomis dengan menggantikan material yang cukup memadai dengan sebuah material yang mungkin tidak lebih baik. Rancangan rekayasa yang baik adalah rancangan yang seimbang dalam semua faktor yang saling berkaitan, meskipun itu tidak selalu dapat dikuantifikasikan, selalu dimasukkan dalam perhitungan^[3].

2.1 Fungsi dan Tujuan Penyangga

Penyangga berfungsi untuk mengontrol massa batuan di sekitar lubang bukaan yaitu:

- menahan dan mengeliminasi perpindahan tegangan pada dinding lubang bukaan
- menyangga batuan yang berpotensi runtuh dan memperkecil deformasi massa batuan

Tujuan penyanggaan di tambang bawah tanah adalah untuk mempertahankan luas dan bidang penampang yang cukup dan melindungi pekerja dan sarana dari risiko tertimpa reruntuhan. Pada masa yang lalu jumlah kecelakaan akibat ambruk atap dan dinding selalu menduduki peringkat pertama dalam sejumlah kecelakaan yang terjadi di tambang bawah tanah. Meskipun saat ini jumlahnya berkurang karena mekanisasi di permukaan kerja dan penyanggan yang kuat yang terbuat dari baja tetap saja kecelakaan masih terjadi. Tidak bisa dipungkiri bahwa tepat tidaknya pemasangan dan penggunaan penyangga sangat mempengaruhi secara langsung keberhasilan produksi dan efisiensi kerja.

2.2 Distribusi Tegangan

Tegangan alamiah merupakan tegangan dalam massa batuan sebelum penggalian dilakukan. Tegangan alamiah dapat terdiri dari beberapa macam seperti tegangan gravitasi, tegangan tektonik, tegangan sisa, dan tegangan termal.

Menurut asal mulanya tegangan dalam batuan dibagi menjadi dua, yaitu:

- tegangan alamiah (*natural stresses*)
- tegangan terinduksi (*induced stresses*)

Pemahaman mengenai besar dan arah tegangan in situ dan tegangan terinduksi ini merupakan bagian penting dalam perancangan lubang bukaan tambang bawah tanah. Dalam banyak kasus, tegangan terinduksi ini akan melampaui kekuatan massa batuan dan menyebabkan ketidakmampuan lubang bukaan bawah tanah^[4].

Proses mekanik seperti terbentuknya rekahan, geseran antara bidang rekahan dan aliran viskoplastik dalam material akan menghasilkan kondisi tegangan yang kompleks dan heterogen. Beberapa faktor yang mempengaruhi kondisi tegangan in situ adalah; Topografi permukaan, erosi, tegangan sisa, inklusi, aktifitas tektonik, dan bidang diskontinuitas^[5].

2.2.1 Topografi permukaan

Untuk kondisi permukaan yang datar, tegangan vertikal rata-rata mendekati nilai tegangan akibat beban material di atasnya. Semakin jauh dari permukaan, semakin besar pengaruh material di atasnya. Untuk topografi permukaan yang tidak rata, penentuan kondisi tegangan pada suatu titik menjadi lebih kompleks. Beberapa kondisi topografi dapat menyebabkan tegangan horizontal yang lebih besar dibandingkan tegangan vertikalnya. Hal ini dapat menjadi salah satu sebab beberapa pengukuran tegangan in situ menunjukkan tegangan horizontal yang ada pada umumnya lebih besar

daripada tegangan vertikalnya. Pada umumnya dapat dikatakan bahwa pengaruh topografi permukaan akan semakin kecil jika jarak dari permukaan semakin besar^[6].

2.2.2 Erosi

Erosi pada permukaan tanah baik disebabkan oleh air, angin, maupun es akan mengurangi kedalaman batuan pada suatu titik di bawah tanah, sehingga tegangan vertikalnya menjadi lebih kecil. Proses ini akan membawa pada suatu kondisi tegangan dengan nisbah tegangan horizontal dan vertikal yang tinggi, khususnya di tempat-tempat yang dangkal.

Analisis dari permasalahan ini juga menunjukkan bahwa rasio tegangan ini juga menunjukkan bahwa rasio tegangan horizontal dan vertikal akan semakin kecil jika kedalaman meningkat, mendekati nilai sebelum proses erosi terjadi dimana kedalamannya lebih besar daripada kedalaman lapisan tanah penutup yang tererosi.

Pengukuran tegangan in situ di beberapa daerah juga membuktikan hal ini. Pada ilustrasi terlihat bahwa pada tempat-tempat yang relatif dangkal, nisbah tegangan horizontal dan vertikal cenderung besar^[7].

2.2.3 Tegangan sisa

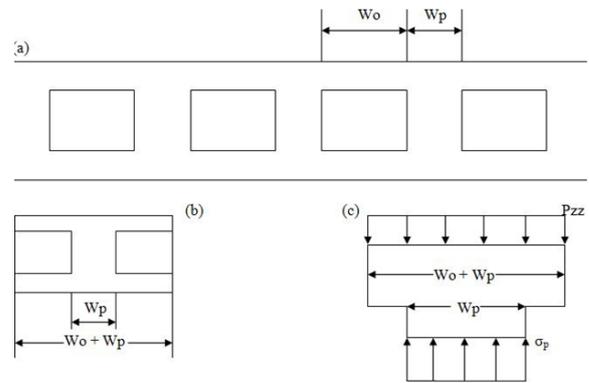
Tegangan sisa adalah tegangan yang masih tersisa, walaupun penyebab tegangan tersebut sudah hilang yang berupa panas atau pembengkakan di kulit bumi.

Tegangan yang masih ada di dalam batuan meskipun penyebab tegangan tersebut sudah tidak ada. Seperti kondisi tegangan pada saat bidang lemah belum bergerak dankondisi tegangan sisa setelah terjadi proses pergerakan bidang lemah tersebut.

Tegangan yang masih ada dalam batuan walaupun penyebabnya sudah tidak ada lagi. Fenomena ini disebabkan oleh beberapa hal yaitu menyatakan bahwa proses pendinginan yang tidak merata dalam suatu material dapat menyisakan tegangan dalam material tersebut^[8]. Pada umumnya tegangan sisa dapat ditimbulkan karena proses fisika dan kimia yang terjadi secara tidak merata dalam material. Sebagai contoh, pendinginan yang tidak merata dalam massa batuan dengan litologi yang berdekatan dan mempunyai koefisien ekspansi termal yang berbeda akan menyebabkan tegangan yang terkunci (*locked-in stress*). Selain pendinginan, perubahan mineralogi lokal dalam batuan seperti rekristalisasi lokal, perubahan kandungan air dalam agragasi mineral karena absorpsi atau proses^[9].

2.3 Beban yang Diterima Penyangga

Beberapa pemahaman mengenai sistem pilar dapat diperoleh dari analisis sederhana berdasarkan pemahaman mengenal kesetimbangan statis. Ini dapat digunakan untuk tegangan rata-rata pada pilar yang kemudian dapat dibandingkan dengan kekuatan massa batuan.



Gambar 3. Dasar metode tributary area untuk penentuan tegangan aksial rata-rata pilar

Gambar 3 (a) memperhatikan penampang melintang batubara mendarat dengan ketebalan sama dengan tinggi penambangan *room and pillar*. Dimensi *room and pillar* adalah W_o dan W_p . Gambar 3 (b) merupakan bagian yang mewakili struktur tambang. Agar terjadi kesetimbangan pada semua komponen struktur yang di dalamnya bekerja gaya-gaya.

2.4 Sistem Penyanggaan

Sistem penyanggaan yang dipakai untuk menyangga lubang bukaan (*room*) pada terowongan 1 adalah sistem *three piece set* yang berbahan dasar *I beam* kombinasi baja pada penyangga dan kayu pada stapling penyangga dari hasil pengukuran jarak rata-rata antar penyangga adalah 1,1 m. Tinggi penyangga 2,27 m, lebar lantai 3,52 m dan lebar atap 2,8 m.

2.5 Faktor Keamanan Sistem Penyanggaan

Faktor keamanan sistem penyanggaan adalah perbandingan beban maksimal yang diizinkan pada penyangga dengan total beban di atas penyangga^[10].

$$FK = \frac{\text{kekuatan baja}}{\text{beban yang dihasilkan}}$$

atau,

$$FK = \frac{\text{beban ultimat}}{\text{beban izin}} \quad (1)$$

Dengan ketentuan sebagai berikut :

$FK < 1$ = penyangga tidak aman

$FK = 1$ = penyangga stabil

$FK > 1$ = Penyangga aman

2.6 Kapasitas Penyangga Baja

Baja dalam penggunaannya sebagai bahan penyangga memiliki beberapa keuntungan antara lain ; (a) dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan, (b) mempunyai modulus elastisitas (E) yang besar, sehingga deformasi yang diakibatkan oleh beban menjadi kecil, dan (c) relatif mudah dalam pelaksanaan

2.7 Perkiraan Tinggi Runtuh

Penentuan *immediate roof* pada penggalian lubang bukaan maupun pada panel penambangan merupakan bagian penting untuk menghitung besarnya tekanan yang diberikan pada sistem penyanggaan yang akan digunakan. Formula yang dapat digunakan untuk menghitung besarnya tinggi atap runtuh pada kegiatan penggalian lubang bukaan antara lain Formula Protodyakonov, tekanan yang terjadi pada penyangga adalah berbentuk kubah parabolik^[11].

$$h = l/f$$

$$f = \sigma c / 100$$

$$\sigma t = \gamma \cdot h$$

$$q_t = \sigma t \cdot a$$

$$P_t = \frac{4}{3} L \cdot h \cdot a \cdot \gamma \quad (2)$$

Keterangan:

h = tinggi parabola sebagai tinggi beban (m)

l = setengah dari panjang cap (m)

f = koefisien kekerasan Protodyakonov

σc = kuat tekan batuan (kg/cm^2)

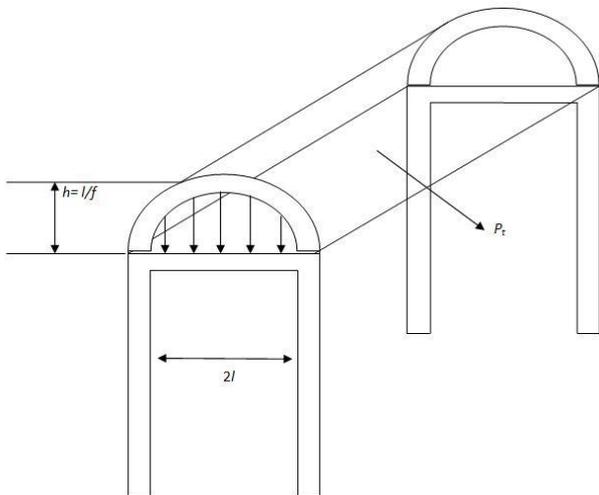
σt = tekanan pada penyangga (t/m^3)

γ = densitas batuan (t/m^3)

q_t = beban per satuan panjang (t/m)

a = jarak antar penyangga (m)

P_t = beban total (t)



Gambar 4. Tinggi parabola beban pada penyangga

2.8 Gaya

Gaya dalam mekanika teknik diartikan sebagai beban yang bekerja pada suatu konstruksi. Gaya merupakan besaran vektor, yaitu suatu besaran yang mempunyai nilai dan arah serta titik tangkap.

Jenis gaya terbagi 3 yaitu^[12]:

a. *terpusat*

b. *terbagi*; (a) rata, (b) teratur, dan (c) tidak teratur

c. *momen*; (a) puntir dan (b) lentur

Tabel 1. Koefisien kekerasan batuan protodyakonov (f) dan sudut geser dalam batuan (ϕ)^[10]

Formasi batuan	f	ϕ
Quartzite, basalt, hardest rocks	20	87° 08'
Hard granite, hard sandstone	15	86° 11'
Quartzite veins, marble, hard gneiss-dolomite	10	84° 16'
Hard limestone, soft granite, gneiss, dolomite	8	83° 31'
Ordinary Sandstone, iron ore	6	80° 32'
Sandy shale, shaly sandstone	5	75° 41'
Shaly schist, soft sandstone-limestone, conglomerate	4	75° 58'
Weak schist, hard marl	3	71° 34'
Soft schist, very soft limestone, salt rock, frozen soil, marl, broken sandstone, tony soil.	2	63° 26'
Gravels, broken schist, soft conglomerate, hard coal, hard shale	1,5	56° 19'
Hard shale, coal	1	45°
Light sandy clay	0,8	38° 40'
Peat, sandy clay, wet sand	0,6	30° 58'
Sand, fine gravel, broken coal, broken soil	0,5	26° 35'
Mud, other earth	0,3	16° 42'

3. Metode Penelitian

3.1 Jenis Penelitian

Penggolongan jenis penelitian sangat bergantung pada darimana peneliti hendak meninjau persoalan dan cara menyelesaikannya. Penelitian ini tergolong dalam penelitian kuantitatif, penelitian ini juga disebut *basic research*, dan diselenggarakan dalam memperluas dan memperdalam pengetahuan dan praktik dan bertujuan untuk menemukan atau membuat suatu generalisasi berdasarkan dalil-dalil atau teori umum yang berlaku.

Dalam melaksanakan penelitian ini, penulis menggabungkan antara teori dengan data-data lapangan, sehingga dari keduanya didapat pendekatan penyelesaian masalah. Pada penelitian ini didapatkan data primer melalui pengamatan secara langsung ke lapangan maupun data sekunder yang didapat dari perusahaan.

Dalam penyelesaian masalah pada skripsi ini penulis menggunakan data yang berbentuk angka atau data kualitatif yang diangkakan, pada umumnya dilakukan pendekatan berdasarkan pengalaman pengalaman yang didapat dari beberapa pekerjaan yang serupa sebelumnya. Menghitung beban pada penyangga, menghitung batuan yang akan runtuh dengan persamaan pendekatan empirik yang paling baik untuk menilai beban yang terjadi pada sebuah lubang bukaan tambang bawah tanah. Setelah mendapatkan nilai maka penulis akan dapat mensimulasikan model penyangga.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel penelitian merupakan suatu atribut dari sekelompok objek yang diteliti yang mempunyai variasi satu dengan yang lain dalam kelompok tersebut.

Adapun yang menjadi objek penelitian ini adalah analisis bentuk penyangga *three piece* dengan *five piece* dengan mempertimbangkan momen yang terjadi di lubang bukaan I PT. AIC Jaya Talawi, Sawahlunto, Sumatera Barat.

3.3 Jenis dan Sumber Data

- Data Primer adalah hasil pengamatan dari lapangan; (1) peta lokasi penelitian, (2) alat ukur (meteran), dan (3) peralatan uji kuat tarik, geser.
- Jenis Data; (1) Studi Kelayakan PT. AIC dan (2) peta rencana bulanan PT. AICJ
- Sumber Data
Sumber data yang diperoleh peneliti berasal dari beberapa laporan awal PT. AICJ dan kegiatan penambangan PT. AICJ.

3.4 Instrumentasi dan Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang dilakukan dalam pengumpulan data adalah pengambilan secara langsung ke lapangan/perusahaan tambang. Pengambilan data berupa data primer dan sekunder. Data primer adalah data yang diambil langsung yaitu sistem penyanggaan dan dimensi penyanggaan di lapangan, sedangkan data sekunder adalah data yang diambil dari literatur atau laporan akhir perusahaan. Urutan pengumpulan data adalah sebagai berikut:

3.4.1 Pengambilan data primer

Mengukur *strike* dan *dip* batubara untuk mengetahui kemiringan searah jurus pada lapisan batubara. Pengambilan data dimensi lubang bukaan dilakukan untuk mengetahui kondisi *displacement* yang terjadi, dimensi penyangga dengan dihitung kekuatan penyangga yang menahan tegangan dan regangan yang terjadi diakibatkan oleh lubang bukaan, sedangkan deformasi batuan akan diamati secara langsung oleh penulis. Untuk mengetahui kekuatan baja dan kayu dari penyangga yang digunakan perlu juga dilakukan pengujian laboratorium seperti kuat tarik dengan grafik *modulus young*, kuat tekan, kuat geser, lengkung tekan, kohesi, *poisson ratio*, jenis kayu dan baja. Setelahnya diambil juga data primer dari perusahaan.

3.4.2 Data sekunder terdiri dari:

(a) data geoteknik lokasi penyanggaan, (b) peta rencana penambangan, (c) data dimensi dan spesifikasi penyangga baja, dan (d) peta penambangan lubang maju bukaan.

3.5 Teknik Pengolahan Data

Dari data primer dan sekunder yang diperoleh kemudian dihitung berapa bobot isi batuan, tinggi batuan yang akan runtuh menggunakan metoda protodyakonov dan unal, menghitung kapasitas penyangga, menghitung momen yang terjadi pada penyangga, dan menghitung nilai ekonomis baja/meter.

Untuk melakukan penyangga dengan aman perlu dilakukan perhitungan kekuatan penyangga dengan metode empiris yang terdiri dari persamaan beberapa perhitungan, analisis kekuatan penyangga yang ada akan dimodelkan dan setelahnya akan didesain penyangga bentuk *five piece set* menurut hasil perhitungan bagaimana desain yang paling ekonomis.

3.6 Teknik Analisis Data

Pemecahan masalah dilakukan berdasarkan pada analisa terhadap data yang diperoleh dilapangan dengan berpegang pada literatur-literatur yang berhubungan dengan masalah tersebut. Diperolehnya data yang akurat maka dapat mendeskripsikan bagaimana menentukan faktor keamanan sebuah lubang bukaan dan penyangga agar manfaat yang diperoleh dari keadaan yang aman pada kegiatan penambangan batubara bawah tanah dengan memperhatikan dampak yang terjadi akibat aktifitas tersebut.

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Klasifikasi Massa Batuan di Lokasi Pengamatan

Klasifikasi massa batuan sistem Q dilakukan dengan menggunakan data hasil penyelidikan geoteknik di lapangan. Berdasarkan studi kelayakan pada tahun 2003, diketahui klasifikasi masa batuan daerah penambangan bawah tanah PT. AICJ sebagai berikut :

Tabel 2. Klasifikasi Massa Batuan Sistem Q dan RMR Lokasi Penambangan

Jenis Batuan	Lokasi Pengamatan	Nilai Q	Nilai RMR
Silt stone	Seam C2	1,2	45
Coal, mudstone, siltstone	Atap seam C2	2,4	52
Siltstone, sandstone	Atap seam C2	7,5	72
Silty clay	Atap dan lantai seam C2	20	79
Coal	Seam C2	0,8	50
Silty clay	Atap seam C2	20	79
Sandstone, siltstone	Interburden seam C1	7,5	64
Sandstone, silty clay, coal	Atap seam C1	2	47
Sandstone, silty clay	Atap seam C2	15	64
Coal	Seam B1	1,6	55

Siltstone, sandstone	Atap dan lantai seam B1	0,53	47
Silty clay, insertio sandstone massif sandstone	Atap seam B1	4,8	60
Siltstone, mudstone with sandstone as insertion	Seam B1	0,53	47
Siltstone and mudstone	Atap seam B1	-	-
Sandstone, mudstone, siltstone	Seam B1	-	-

4.2 Spesifikasi Bahan Penyangga

Tabel 3. Spesifikasi Bahan Penyangga^[10]

												
Symbol	h	b	t1	t2	r1	r2	Incl	Section (cm ²)	Unit Weight (Kg/m)	x-x		
										I _x (cm ⁴)	W _x (cm ³)	i _x (cm)
GI 70	70	68	7	9.5	10	3		16.2	13.0	122	34.7	2.74

Spesifikasi penyangga yang digunakan PT. AICJ pada lubang utama adalah penyangga berbahan Baja *I-beam* steel GI-70 dengan $W_x = 34,7 \text{ cm}^3$.

4.3 Rencana Penambangan PT. AICJ

Berdasarkan pertimbangan kondisi geologis dan geoteknis dari massa batuan *overburden*, *interburden* dan lapisan batubara B1 maka metode penambangan yang dipilih adalah metode *room and pillar*. Panel penambangan direncanakan memanjang searah “*strike*”, sedangkan arah penggalian panel mulai dari ujung searah “*strike*” tegak lurus dengan arah DIP yang miring antara $5 - 17^\circ$, atau dianggap merata 12° .

Area penambangan dibatasi oleh patahan Bulurotan di sebelah Selatan-Timur dan patahan Tamasu di sebelah Utara-Barat, dengan panjang sekitar 1960 m dan lebar 725 m. Untuk mengatasi masalah “*slope stabilitas*” di permukaan bekas *open pit* disikan pilar dengan lebar $\pm 30 \text{ m}$ yang tidak akan ditambang dari luar permukaan di sepanjang dinding lereng.

Penambangan batubara direncanakan akan dimulai dari lapisan batubara B1. Jalan utama tambang dibuat miring mengikuti kemiringan lapisan batubara (*Inclined shaft*) menuju ke panel penambangan, dimensi lubang bukaan disesuaikan dengan peralatan dan target produksi, target produksi batubara metode tambang bawah tanah yang direncanakan adalah 300.000 ton per tahun.

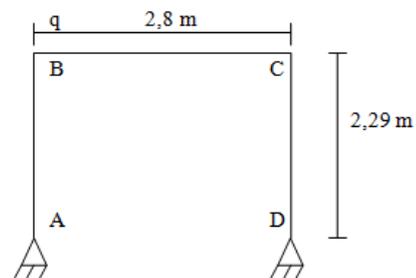
4.4 Kajian Teknis Sistem Penyanggaan PT. AICJ

Pemasangan kepala (*cap*) dimulai dengan mengeser ke dua *girder* (penopang yang terbuat dari besi) yang telah ada ke *front* yang akan disangga. Kemudian besi profil *I-beam* dimasukkan di atas *girder* yang sudah dipasang, kemudian kayu ram dimasukkan pada penyangga kepala yang dipasang dengan penyangga sebelumnya, setelah itu *stapling* dipasang sampai menyentuh bagian atas lubang. Pemasangan tiang kanan dan kiri yang ujung atasnya diletakan di bawah ujung penyangga kepala, kemudian penyangga kepala diikat dengan kawat. Kayu dimasukkan antara tiang yang dipasang dengan tiang sebelumnya (*pol*) dan ikat dengan kawat supaya stabil. selanjutnya *stapling* dipasang dibagian luar kaki kiri dan kanan dan untuk menguatkannya pasang keik/baji.

Perhitungan beban yang bekerja pada penyanggan berdasarkan Protodyakonov^[13]

Beban yang bekerja pada penyanggaan lubang bukaan sangat berpengaruh dengan jarak yang digunakan, dimana jarak semakin rapat maka kekuatan untuk menahan beban yang bekerja pada penyangga sangat kuat. Dalam perhitungan beban yang bekerja pada penyangga dapat digunakan dengan formula Protodyakonov, dimana tinggi kubah parabolic dalam lubang bukaan I , adalah 1,7 m dan tekanan dari *roof* adalah $4,16 \text{ t/m}^2$, untuk beban persatuan panjang dengan jarak rata-rata 1,2 sampai 1,6 adalah 4,9 dan $6,65 \text{ t/m}^2$, sedangkan untuk beban total yang dihasilkan oleh kubah parabolic dengan jarak rata-rata 1,2 sampai 1,6 adalah $18,65 \text{ t/m}^3$ dan $24,87 \text{ t/m}^3$. Untuk beban yang diizinkan penyangga baja *I-beam three piece sets* adalah 25,92 ton.

4.5 Penyangga Three Piece



Gambar 5. Penyangga *three piece*

Nilai q beban merata berdasarkan tipe baja I steel ditambah dengan beban batuan

$$1 \text{ kg} = 0,0098 \text{ kN}$$

$$1 \text{ ton} = 9,8 \text{ kN}$$

$$\text{Tumpuan jepit - jepit } k = 4 EI / L$$

$$\text{Tumpuan jepit - sendi } k = 3 EI / L$$

Profil baja I steel

$$I = 100 \times 75$$

$$d = 100$$

$$bf = 75$$

$$H2 = 66,9$$

$$\text{Unit weight} = 12,9 \text{ kg/m} \times 0,0098 = 0,12642 \text{ kN/m}$$

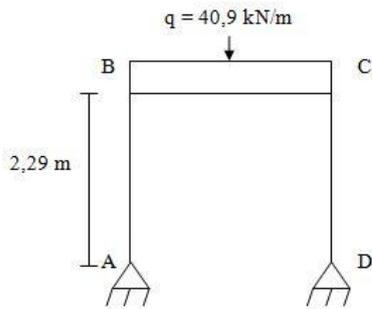
$$\text{Beban batuan} = 4,16 \text{ t/m} \times 9,8 = 40,77 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban} = \text{beban profil baja} + \text{beban batuan}$$

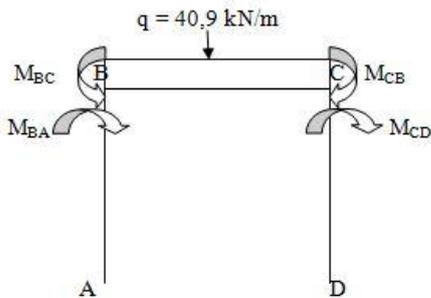
$$= 0,13 \text{ kN/m} + 40,77 \text{ kN/m}$$

$$= 40,9 \text{ kN/m}$$

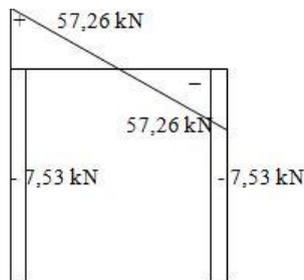
Dari hasil perhitungan diatas maka didapat diagram sebagai berikut;



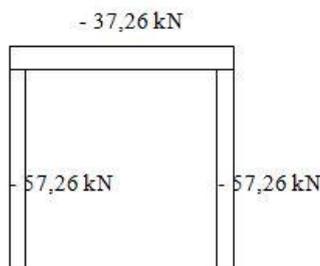
Gambar 6. Nilai beban pada batang BC



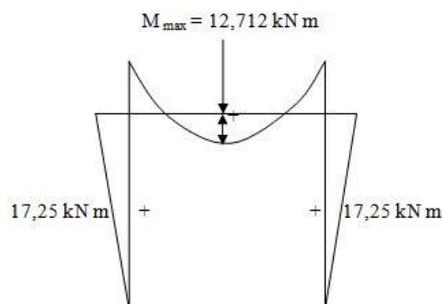
Gambar 7. Momen reaksi pada ujung batang



Gambar 8. Diagram gaya geser

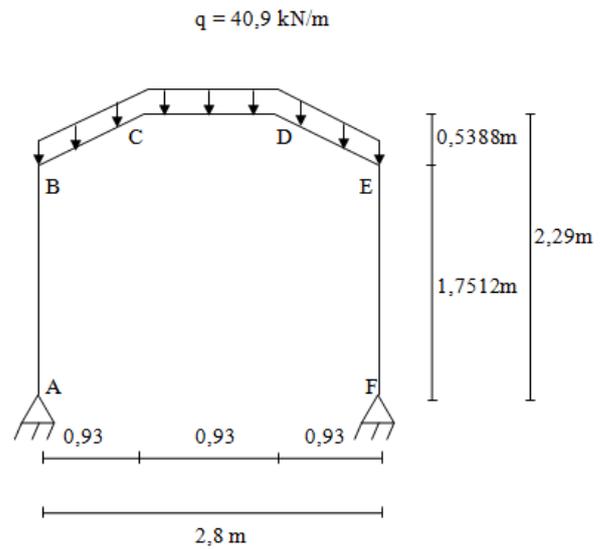


Gambar 9. Diagram gaya normal

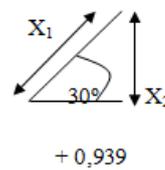


Gambar 10. Momen maksimal

4.6 Desain Five Piece



Gambar 11. Penyangga Five Piece



$$\cos 30^\circ = \frac{0,933}{X_1}$$

$$X_1 = \frac{0,933}{\cos 30^\circ}$$

$$X_1 = 1,0776$$

$$\sin 30^\circ = \frac{X_2}{1,0776}$$

$$X_2 = 1,0776 \sin 30^\circ$$

$$X_2 = 0,5388$$

Nilai q beban merata berdasarkan tipe baja I steel ditambah dengan beban batuan

$$1 \text{ kg} = 0,0098 \text{ kN}$$

$$1 \text{ ton} = 9,8 \text{ kN}$$

$$\text{Tumpuan jepit - jepit } k = 4 \text{ EI} / L$$

$$\text{Tumpuan jepit - sendi } k = 3 \text{ EI} / L$$

Profil baja I steel

$$l = 100 \times 75$$

$$d = 100$$

$$bf = 75$$

$$H2 = 66,9$$

$$\text{Unit weight} = 12,9 \text{ kg/m} \times 0,0098 = 0,12642 \text{ kN/m}$$

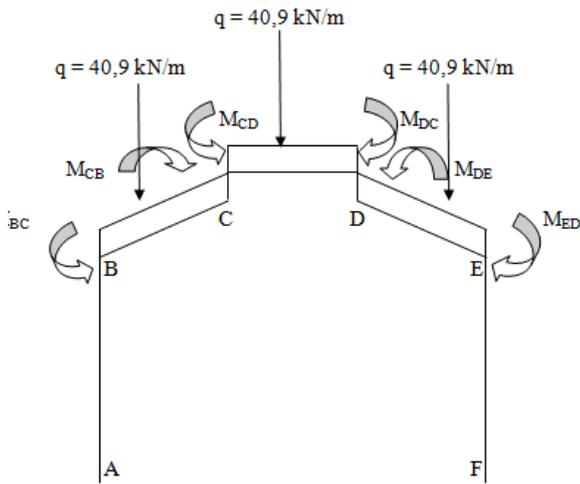
$$\text{Beban batuan} = 4,16 \text{ t/m} \times 9,8 = 40,77 \text{ kN/m}$$

$$\text{Total beban} = \text{beban profil baja} + \text{beban batuan}$$

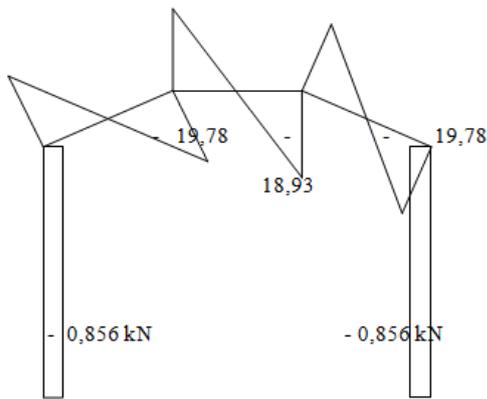
$$= 0,13 \text{ kN/m} + 40,77 \text{ kN/m}$$

$$= 40,9 \text{ kN/m}$$

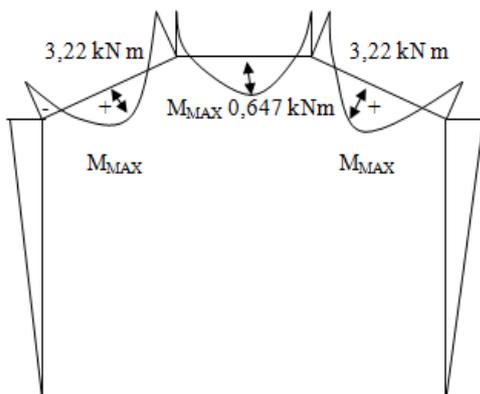
Diagram gaya geser, gaya normal, dan momen lentur hasil analisis.



Gambar 12. Sketsa momen reaksi pada ujung batang



Gambar 13. Diagram gaya geser



Gambar 14. Momen Maksimal

Tabel 4. Momen primer dan momen maksimal

No.	Batang	Three piece (kN m)		Five piece (kN m)	
		M primer	M mak.	M primer	M mak.
1	AB	- 8,63	-	- 0,76	-
2	BC	17,25	12,712	1,56	3,22
3	CD	17,25	-	3,99	0,647
4	DE	-	-	3,99	3,22
5	EF	-	-	1,56	-
Momen maksimal		17,25		3,99	

Material yang digunakan adalah JIS G 3101 – SS 400 dengan $F_y = 2500 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma = 2500 \text{ kg/cm}^2$$

$$1 \text{ kN} = 102,04 \text{ kg}$$

Untuk menentukan profil baja yang dibutuhkan dapat menggunakan persamaan

$$\sigma = \frac{M \text{ mak}}{w}$$

atau;

$$w = \frac{M \text{ mak}}{\sigma} \quad (3)$$

4.7 Menentukan Jenis Baja Pada Penyangga Three Piece Batang BC

$$M \text{ mak.} = 17,25 \text{ kN m} = 1725 \text{ kN cm}$$

$$M \text{ mak.} = 1725 \text{ kN cm} \times 102,04 = 176020,4 \text{ kg/cm}$$

$$w = \frac{M \text{ mak}}{\sigma}$$

$$w = \frac{176020,4 \text{ kN cm}}{2500 \text{ kg/cm}^2}$$

$$w = 70,4 \text{ cm}^3$$

Menurut tabel baja *I beam/steel* yang digunakan nilai *modulus of section* $70,4 \text{ cm}^3$ adalah baja dengan ukuran $I = 140 \text{ mm} \times 66 \text{ mm}$, $A = 82 \text{ cm}^2$ dengan berat $14,37 \text{ kg/m}$

4.8 Menentukan Jenis Baja Pada Penyangga Five Piece Batang CD

$$M \text{ mak.} = 3,99 \text{ kN m} = 399 \text{ kN cm}$$

$$M \text{ mak.} = 399 \text{ kN cm} \times 102,04 = 40713 \text{ kg/cm}$$

$$w = \frac{M \text{ mak}}{\sigma}$$

$$w = \frac{40713 \text{ kN cm}}{2500 \text{ kg/cm}^2}$$

$$w = 16,28 \text{ cm}^3$$

Menurut tabel baja *I beam/steel* yang digunakan nilai *modulus of section* $16,28 \text{ cm}^3$ adalah baja dengan ukuran $I = 80 \text{ mm} \times 42 \text{ mm}$, $A = 19 \text{ cm}^2$ dengan berat $5,94 \text{ kg/m}$

4.9 Harga Pemakaian Baja/Satu Penyangga

Untuk menentukan biaya pemakaian baja/meter pada penyangga maka:

Tabel 5. Perbandingan dimensi penyangga

No.	Design	Modulus of section (cm ³)		Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Berat (kg/m)
		Fy	A			
1	Three piece	70,4	82	66	140	14,37
2	Five piece	16,28	19	42	80	5,94

Baja I *three piece* = 140 × 66 = Rp 35.000/kg

Baja I *five piece* = 80 × 42 = Rp 33.000/kg

Tabel 6. Jumlah penggunaan baja/batang

No.	Batang	Three piece (m)	Five piece (m)
1	AB	2,29	1,75
2	BC	2,8	1,08
3	CD	2,29	0,94
4	DE	-	1,08
5	EF	-	1,75
Jumlah		7,38	6,6
Berat baja		14,37 kg/m	5,94 kg/m
Luas		6,4 m ²	5,9 m ²

4.9.1 Untuk menghitung pemakaian baja pada penyangga *three piece* maka;

Harga pemakaian baja/meter pada penyangga *three piece*
 = panjang pemakaian baja x berat/kg x harga/meter
 = 7,38 m × 14,37 kg/m × Rp 35.000
 = 106.050 kg × Rp 35.000
 = Rp 3.711.700/satu penyangga

4.9.2 Untuk menghitung pemakaian baja pada penyangga *five piece* maka;

Harga pemakaian baja/meter pada penyangga *three piece*
 = panjang pemakaian baja x berat/kg x harga/meter
 = 6,6 m × 5,94 kg/m × Rp 33.000
 = 39,2 kg × Rp 33.000
 = Rp 1.293.000/satu penyangga

5. Penutup

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis dan pembahasan kajian teknis penyangga baja pada tambang batubara bawah tanah PT. AICJ maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Momen maksimal yang terjadi pada penyangga *three piece* batang BC = 17,25 kN m dan *five piece* batang CD = 3,99 kN m. Penyangga berbentuk *five piece* lebih kecil menerima momen daripada bentuk *three piece*, dikarenakan panjang bentang baloknya lebih pendek.

2. Ukuran baja yang digunakan pada penyangga *three piece* 140 mm x 66 mm dengan berat baja 14,37 kg/m sedangkan penyangga *five piece* 80 mm x 42 mm dengan berat baja 5,94 kg/m.
3. Harga pemakaian baja/satu penyangga yang dikeluarkan pada satu rangkaian *three piece* adalah Rp 3.711.700 sedangkan pada *five piece* hanya Rp 1.293.000 disebabkan oleh baja yang dipakai penyangga *five piece* memiliki ukuran dan berat yang lebih kecil dibandingkan penyangga *three piece*.

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Setelah diketahui momen yang terjadi pada penyangga *five piece* lebih kecil dibandingkan dengan penyangga *three piece* maka disarankan PT AICJ dapat melakukannya pada perencanaan penyangga agar dapat meminimalkan biaya pembelian baja penyangga.
2. Baja yang digunakan saat ini dapat diganti dari ukuran 140 mm x 66 mm dengan 80 mm x 42 mm dan mengubah penyangga menjadi *five piece*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambarini, Eli, dkk. Sistem Stabilitas Lubang Bukaan Pengembangan dengan Menggunakan Baut Batuan (*rockbolt*) dan Beton Tembak (*Shotcrete*) di Blok Cikoneng PT Cibaliung Sumberdaya, Kab. Pandeglang, Prov. Banten. *Prosiding Teknik Pertambangan*. ISSN: 2460-6499. Bandung: Universitas Islam Bandung, 2015.
- [2] Dewobroto, Wiryanto. Prospek dan Kendala pada pemakaian Material Baja untuk Konstruksi Bangunan di Indonesia. *Jurnal Teknik Sipil*. Banten: Universitas Pelita Harapan, 2011.
- [3] Made Astawa Rai. *Mekanika Batuan*. Bandung: ITB, 2010.
- [4] Made Astawa Rai, Suseno Kramadibrata, Ridho Kresna Watimena. *Mekanika Batuan*. Bandung: ITB, 2010.
- [5] E. Hoek & J. W. Bray. *Rock Slope Engineering*. Canada: Revised Third Edition, 1981.
- [6] E. Villaescusa & Potuin. *Ground support in mining & underground construction, 2004*
- [7] E. Hoek & J. W. Bray. *Rock Slope Engineering*. Canada: Revised Third Edition, 1981.
- [8] Bieniawski, Z.T. *Strata Control in Mineral Engineering*. New York: John Wiley & Sons, 1987.
- [9] Bieniawski, Z.T. *Engineering Rock Mass Classifications*. New York: John Wiley & Sons, 1989.
- [10] Biron, Cemal and Ergin Arioglu. *Design of Support in Mines*. USA: Departement of Mining Engineering Instambul Technical University, 1983.
- [11] Joseph E. Bowles, Sifat-sifat Fisik & Geoteknis Tanah, 2000.

[12] *E.P.Popov. Mechanics of material, second edition,* Buku Teknik Sipil Sunggono KH Penerbit Nova, Bandung, 1984.

[13] Indra K Wijaksana. *Sistem Penyanggaan Tambang Bawah Tanah Pengetahuan Bahan Dasar Penyangga.* Sawahlunto: BPSDM, 2015.