

OPTIMALISASI TAMBANG PIT C2HU DENGAN METODE *SECANT PILE* PADA AREA RAWA DI SITE SAMBARATA, PT BERAU COAL

¹⁾Arif Rahman Putranto*, ²⁾Dudu Anwar Sanusi ³⁾Ichsan Sebastian ⁴⁾Andre Bharata dan ⁵⁾Lukman Hakim

¹⁾Civil and Structure Engineer, PT Berau Coal,
²⁾Operation and Support General Manager, PT.
Berau Coal, ³⁾FID & CHID Manager, PT Berau
Coal, ⁴⁾ CHID Superintendent, PT Berau Coal,
⁵⁾Geotechnical & Hydrology Manager, PT Berau
Coal

*E-mail: arif.putranto@beraucoal.co.id

ABSTRAK

Sambarata Mine Operation (SMO) merupakan salah satu site penambangan yang dimiliki oleh PT Berau Coal, dimana pada Site ini terdapat 4 pit penambangan aktif yang menjadi prioritas penambangan pada tahun 2022 salah satunya adalah Pit C2HU. Pit C2HU ini memiliki cadangan volume batubara sebesar 6,4 juta ton dengan kalori ≥ 6000 cal/gr., Pit C2HU berada di area rawa yang memiliki kedalaman mencapai 15 meter dan berada dekat dengan Sungai Sambarata yang merupakan Sungai orde 3 dengan lebar sungai ± 20 meter dan memiliki beda tinggi pasang surut hingga 7 m. Dengan kondisi rawa dan kondisi regional Pit C2HU, proses penambangan dengan metode *cut and fill* konvensional membutuhkan lereng yang sangat landai untuk mendapatkan kestabilan lereng yang aman. Hal ini akan berdampak pada hilangnya cadangan Batubara pada Pit C2HU.

Dinding penahan tanah menggunakan metode *Secant pile* merupakan salah satu *improvement* yang dilakukan untuk optimalisasi penambangan batubara di Pit C2HU. *Secant pile* merupakan dinding penahan tanah yang dibentuk dengan menggunakan *bored pile* yang disusun dengan rapat, sehingga beban lateral dari material rawa, *embankment* sungai dan rencana jalan hauling dapat ditahan oleh *Bored pile* berdiameter 1.180 mm yang dikombinasikan dengan dinding utama serta *buttress*.

Dengan metode *secant pile* ini, *overall slope* tambang dapat dibentuk lebih tegak dari rekomendasi awal geoteknik yaitu lereng dibentuk sudut 6 derajat pada material rawa dan dengan adanya *secant pile* lereng material rawa dapat dibentuk menjadi sudut 90 derajat, hal ini juga berperan terhadap optimalisasi cadangan batubara tambahan sebesar 1,13 juta Ton. Pemodelan *secant pile* dilakukan dengan menggunakan program PLAXIS 3D dengan didukung data geologi, geoteknik dan hidrologi sehingga didapatkan desain yang optimal. Selain itu, pelaksanaan pekerjaan juga telah mempertimbangkan aspek keselamatan operasional sehingga aktivitas pada saat konstruksi dapat berjalan dengan aman.

Kata kunci: Material Rawa, *secant pile*, *bored pile*, dinding penahan tanah, optimalisasi, tambang

ABSTRACT

Sambarata Mine Operation (SMO) is one of the mining sites owned by PT Berau Coal, where at this site there are 4 active mining pits in 2022, one of which is the C2HU Pit. The C2HU pit has coal volume reserves of 6.4 million tons with calorific values > 6000 cal/gr. C2HU Pit is located near swamp areas with a thickness of 15 meters and located next to Sambarata River, which is the third order river with the width of the river is 20 meters, and has a high tide difference of up to 7 m. With that swamp characteristics and regional area of C2HU pit, conventional *cut and fill* method needs a shallow and gentle slope to obtain safe slope stability. This also has consequences in the loss of potential coal reserves of C2HU pit.

The retaining wall using the *Secant pile* method is one of the improvements made to optimize coal mining in the C2HU Pit. *Secant pile* is a retaining wall formed by using *bore pile* that is arranged

tightly so that the lateral loads from swamp material, river embankments, and hauling road plans can be resisted by an 1180 mm diameter bore pile combined with the main wall and supports.

With this secant pile method, the overall slope can be shaped more upright / steep than the initial geotechnical recommendation in swamp-based area, from the angle of 6 degrees to 90 degrees, this also contributes to the optimization of additional coal reserves of 1.13 million Tons. The secant pile modeling was carried out using the PLAXIS 3D program supported by geological, geotechnical, and hydrological data so that the optimal design was obtained. In addition, the implementation of the project improvement also considers safety aspect so that activities during construction can run safely.

Keywords: Swampy Material, secant pile, bored pile, retaining wall, optimization, mining

A. PENDAHULUAN

PT Berau Coal merupakan perusahaan batubara, pemegang PKP2B generasi pertama yang berlokasi di Kabupaten Berau, Kalimantan Timur. PT Berau Coal memiliki 4 lokasi (*site*) tambang batubara, antara lain Lati Mine Operation (LMO), Binungan Mine Operation (BMO), Samarata Mine Operation (SMO), dan Gurimbang Mine Operation (GMO). Di tahun 2022, target produksi batubara adalah sebesar 33 juta ton.

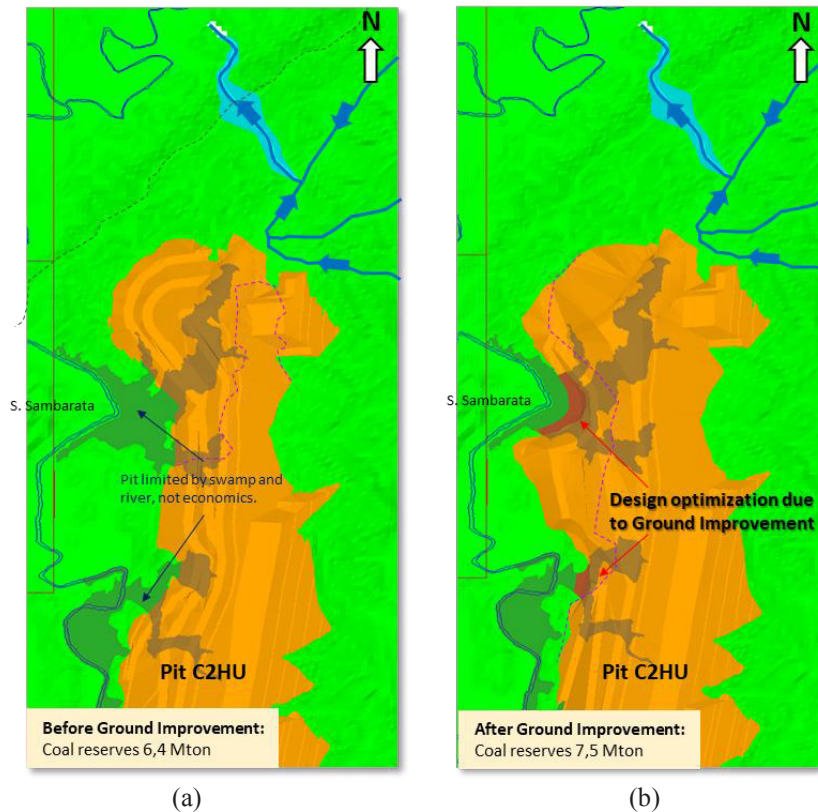
Site Samarata Mine Operation (SMO) saat ini memiliki 4 pit aktif yang menjadi prioritas penambangan pada tahun 2022 yang tersebar pada 3 (tiga) blok penambangan, yaitu Blok B1, Blok B-East, dan Blok B-West. Pit C2H merupakan pit penambangan aktif yang berada di Blok B-East, dimana Pit C2H memanjang utara-selatan dan operasionalnya dibagi menjadi 2 (dua) pit penambangan aktif, yaitu Pit C2HU dan Pit C2HS. Pada penelitian dan *project improvement* ini difokuskan pada Pit C2HU yang berada di sisi utara dari keseluruhan design Pit C2H.

Pit C2HU memiliki cadangan volume batubara sebesar 6,4 juta ton dengan nilai kalori ≥ 6000 cal/gr. Pit C2HU berbatasan dengan perbukitan memanjang di sisi timur (*low wall*) dan Sungai Samarata di sisi barat (*high wall*). Salah satu tantangan terbesar dalam operasional penambangan Pit C2HU adalah terdapat material rawa dengan kedalaman hingga 15 meter dan lokasi Pit C2HU yang berbatasan langsung dengan Sungai Samarata pada jarak 50 m di sisi barat. Sungai Samarata merupakan sungai orde 3 yang berlokasi di Kecamatan Gunung Tabur, membentang utara-selatan sepanjang 39 km (BPS Kabupaten Berau, 2014), rata-rata lebar sungai ± 20 meter, memiliki beda tinggi pasang surut hingga 7 m, dan di hilir akan bermuara menuju Sungai Segah. Keberadaan Sungai Samarata yang berjarak ± 50 meter di sisi barat *pit limit* design Pit C2HU meningkatkan risiko terjadinya ketidakstabilan lereng *high wall* karena adanya potensi faktor hidrogeologi berupa rembesan dari sungai. Dengan kondisi material rawa dan keberadaan sungai di sisi barat pit, metode penggalian *cut and fill* konvensional membutuhkan kemiringan lereng yang sangat landai untuk mendapatkan kestabilan lereng yang aman. Dengan dibentuk landainya lereng *high wall* Pit C2HU, berdampak pada hilangnya cadangan Batubara (*loss coal reserves*) pada Pit C2HU.

Pada bagian utara dari Pit C2HU terdapat area endapan rawa dan juga dibatasi oleh Sungai Samarata. Berdasarkan investigasi geoteknik, karakteristik material rawa memiliki variasi kedalaman 8 hingga 15 meter. Berdasarkan prosedur di PT Berau Coal, sudut galian di area rawa yang direkomendasikan dari aspek geoteknik adalah 6 derajat. Dengan batasan sudut galian tersebut, maka terdapat potensi 1,1 juta metrik ton batubara yang tidak dapat diambil. Selain itu dari segi operasional, penggalian di material rawa memerlukan *layering* dengan material keras untuk mencegah potensi unit *loader* dan *hauler* amblas. Oleh karena berbagai tantangan operasional terkait isu kestabilan lereng *high wall* Pit C2HU, perlu dilakukan alternatif perbaikan tanah atau perkuatan tanah agar operasional penambangan Pit C2HU sisi utara aman dari aspek keselamatan dan tercapainya produksi sesuai target.

Untuk memaksimalkan penambangan cadangan batubara di area rawa yang berbatasan dengan Sungai Samarata di sisi *high wall*, dilakukan analisis kestabilan lereng dengan dikembangkan alternatif sudut lereng pada dinding tambang diperbesar (lereng dibentuk lebih tegak) sehingga batubara dapat ditambang secara optimal namun aman dari aspek keselamatan operasional.

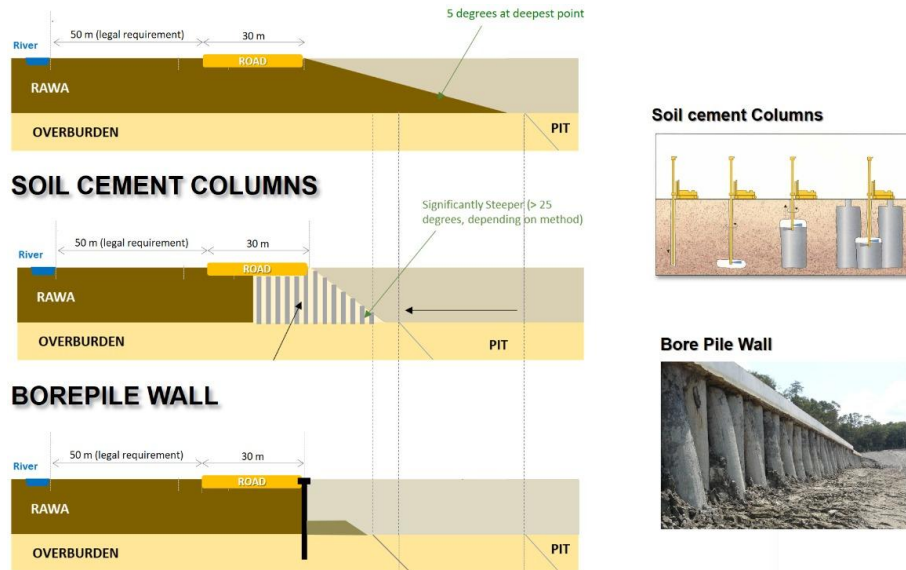
Perkuatan tanah didefinisikan sebagai alternatif yang dikembangkan saat ditemukan kondisi tanah yang buruk di area kerja kemudian dilakukan tindakan perbaikan untuk meningkatkan *material properties* dari tanah tersebut (*ASCE on Conference on Soil Improvement*, 1968). Terdapat 2 alternatif yang dapat dikembangkan untuk perkuatan tanah di area Pit C2HU, antara lain *soil cement column* dan dinding penahan tanah (*retaining wall*). Kedua alternatif perkuatan tanah ini bertujuan untuk mengoptimalkan design Pit C2HU agar boundary pit limit dapat diperlebar ke arah barat (mendekati area rawa dan sungai) sehingga terdapat *opportunity* penambahan tonase batubara. Perbandingan design Pit C2HU sebelum dan setelah dilakukan *ground improvement* ditunjukkan pada Gambar-1.



Gambar 1. Design Pit C2HU (a) Sebelum Perkuatan Tanah, (b) Setelah Perkuatan Tanah
(Sumber: pengolahan data penulis)

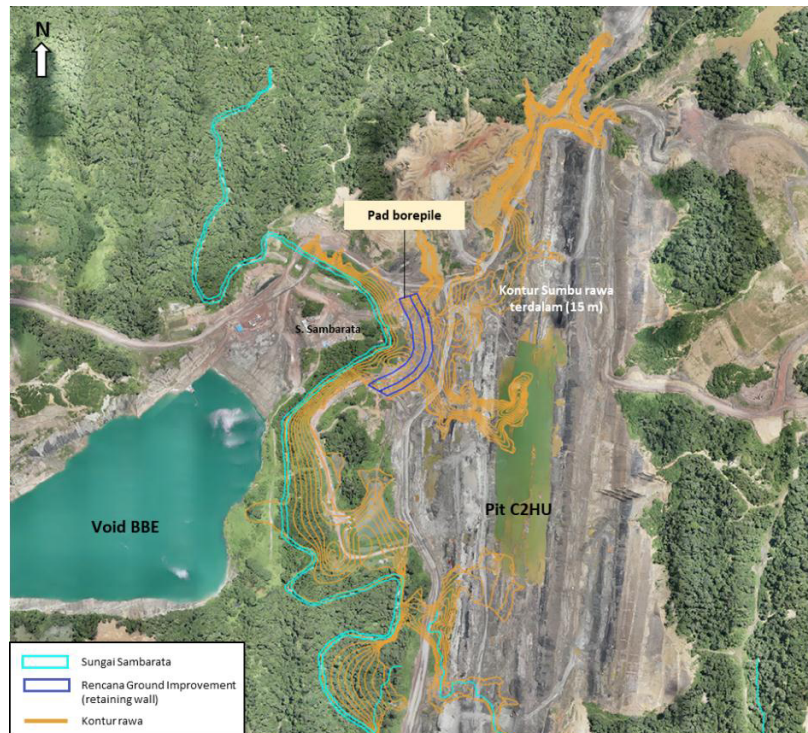
Berdasarkan simulasi optimasi design Pit C2HU, dengan adanya perkuatan tanah berupa dinding penahan tanah (*retaining wall*) berdampak pada pelebaran *pit limit* yang lebih besar dibandingkan *soil cement column* ke arah barat sehingga terdapat *opportunity* peningkatan cadangan batubara sebesar 1,1 juta ton.

Soil cement column merupakan metode stabilisasi tanah untuk meningkatkan nilai kohesi dan sudut geser, sedangkan dinding penahan tanah (*retaining wall*) merupakan konstruksi sipil yang berfungsi untuk menahan gaya lateral dari tanah. Dari kedua alternatif perkuatan tanah di atas, opsi dinding penahan tanah (*retaining wall*) dipilih karena perkuatan tanah dapat memberikan optimasi design berupa tambahan cadangan batubara yang lebih signifikan dibandingkan opsi *soil cement column*. Perbandingan antara alternatif *soil cement column* dengan dinding penahan tanah terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Simulasi batas Pit C2HU keadaan original, dengan *soil cement column*, dan dinding penahan tanah *bored pile*
(Sumber: pengolahan data penulis)

Rencana desain *retaining wall* akan dibentuk di sisi *high wall* Pit C2HU, tepatnya membentang utara-selatan memotong tegak lurus sumbu kontur rawa dan sejajar dengan Sungai Sambarata. Dengan diberikan perkuatan tanah berupa dinding penahan tanah (*retaining wall*) yang memotong tegak lurus sumbu rawa, maka diharapkan *retaining wall* dapat menahan gaya lateral dan bidang lemah dari kontur rawa. *Layout* kontur rawa terhadap rencana lokasi design *retaining wall* di area Pit C2HU ditunjukkan pada Gambar-3 berikut.



Gambar 3. *Layout* kontur rawa pada sisi utara dari tambang C2HU
(Sumber: pengolahan data penulis)

B. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian yang dilakukan adalah analisis teknis yang komprehensif, dimana diawali dengan identifikasi karakteristik rawa melalui soil investigation (uji *Standard Penetration Test* dan *Cone Penetration Test*). Karakteristik dan pemodelan kontur rawa yang didapatkan selanjutnya dijadikan acuan untuk lokasi penentuan rencana dinding penahan tanah (*retaining wall*). Analisis teknis dinding penahan tanah yang digunakan adalah berupa *Secant pile*. Dilakukan analisis struktur pada *Secant pile* menggunakan software *Plaxis 3D* dengan variasi kedalaman (zonasi) rawa dan *buttress*. Hasil analisis struktur dari software *Plaxis 3D* selanjutnya dijadikan sebagai acuan dalam optimasi design Pit C2HU. Sebelum dilakukan implementasi berupa penggalian pit penambangan, dilakukan monitoring pergerakan *bored pile* menggunakan *inclinometer*. Adapun tahapan dalam penyusunan penelitian adalah sebagai berikut.

B.1. Karakterisasi dan Zonasi Rawa di Pit C2HU

Rawa di Pit C2HU sisi barat-utara yang berbatasan dengan Sungai Sambarata memiliki kedalaman yang bervariasi. Rawa akan dibagi menjadi beberapa zonasi yang berfungsi kebutuhan variasi kedalaman *bored pile*. Semakin tebal kedalaman rawa maka dibutuhkan pemancangan *bored pile* yang semakin dalam.

B.2. Analisis Struktur *Secant pile*

Analisis struktur *secant pile* dilakukan dengan pemodelan menggunakan software *Plaxis 3D*. Semua *bored pile* terhubung menjadi satu dengan adanya interlock antar pile dan disambung dengan capping beam pada bagian atas *pile*, selanjutnya disimulasikan kedalaman *bored pile* nya sesuai zonasi rawa.

B.3. Optimasi Design Pit C2HU berdasarkan Analisis *Secant pile*

Dari analisis struktur yang dilakukan, akan diberikan rekomendasi teknis terkait optimasi design Pit C2HU. Dengan struktur *secant pile* yang dibentuk, bagaimana *opportunity* pelebaran pit limit dan pendalaman *bottom* pit untuk mendapatkan optimasi berupa tambahan *coal reserves* di Pit C2HU.

B.4. Monitoring Pergerakan Struktur *Secant pile*

Sebelum dilakukan penggalian optimasi Pit C2HU, perlu dilakukan monitoring pergerakan dinding penahan tanah yang telah selesai dikonstruksi menggunakan *inclinometer*.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

C.1. Hasil Karakterisasi dan Zonasi Rawa di Pit C2HU

Untuk pertimbangan keekonomisan design *secant pile* yang akan dibentuk, perlu dilakukan zonasi rawa di sisi barat Pit C2HU untuk menentukan kedalaman *bored pile* yang akan dipasang sebagai dinding penahan tanah. Semakin tebal kedalaman rawa, maka akan semakin dalam pula pemasangan *bored pile*. Kedalaman *bored pile* harus dibentuk lebih dalam dibandingkan kedalaman rawa, agar fungsi menahan gaya secara lateral dari bidang lemah rawa pada *secant pile* dapat optimal. Zonasi rawa dan kebutuhan kedalaman *bored pile* ditunjukkan pada Tabel-1 berikut.

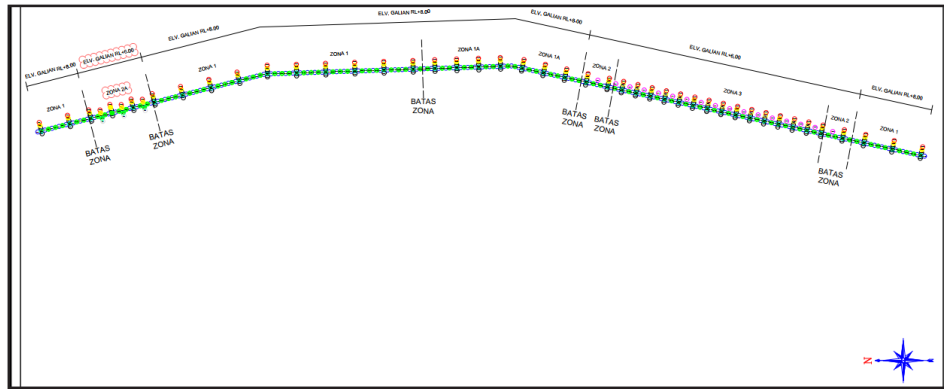
Tabel 1. Zonasi Rawa dan Kebutuhan Kedalaman *Bored pile*

Zona	Kedalaman rawa	Kebutuhan Kedalaman <i>bored pile</i>
1	9 meter	18 meter
2	11 meter	21,5 meter
3	15 meter	25 meter

(Sumber: pengolahan data penulis)

Rawa di area rencana pembentukan *secant pile* dibagi menjadi 3 zona, yaitu Zona 1 dengan kedalaman rawa 9 meter, Zona 2 dengan kedalaman rawa 11 meter, dan Zona 3 dengan kedalaman rawa 15 meter. Variasi kedalaman rawa akan menentukan kebutuhan kedalaman *bored pile*, dimana pada Zona 1 dibutuhkan *bored pile* dengan kedalaman 18 meter, pada Zona 2 dibutuhkan *bored pile* dengan kedalaman 21,5 meter dan pada Zona 3 dibutuhkan *bored pile* dengan kedalaman 25 meter. Diameter *bored pile* yang dibutuhkan untuk dapat menahan beban lateral dari material tanah rawa adalah sebesar 1.180 mm. Layout *secant pile* berdasarkan zonasi rawa dan kedalaman *bored pile* ditunjukkan

pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Layout *Secant pile* Berdasarkan Zonasi Rawa dan Kedalaman *Bored pile*
(Sumber: pengolahan data penulis)

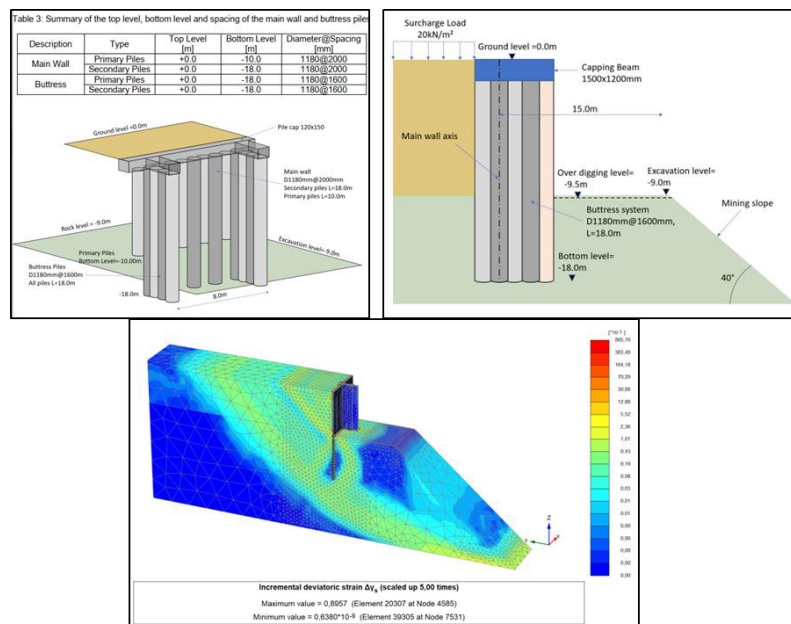
C.2. Hasil Analisis Struktur *Secant pile*

Secant pile atau bisa juga dikenal dengan istilah *retaining wall pile* beruntun adalah jenis dinding penahan tanah yang jarak antar pilenya berdempetan dan saling bersinggungan satu sama lain yang berguna untuk mendapatkan daya tanah terhadap tekanan tanah (gaya lateral). Dinding penahan tanah berupa *secant pile* dipilih karena kebutuhan untuk tahanan lateral yang besar dan mampu menembus tanah keras sebagai *fixity point* berupa lapisan bedrock dengan kategori *mudstone*.

Analisis struktur pada dinding penahan tanah perlu dilakukan agar dinding penahan tanah dapat stabil dan mampu menahan beban. Tambahan titik bor dilakukan untuk memastikan kedalaman tanah rawa pada jalur dinding penahan tanah.. Analisis dinding penahan tanah selanjutnya dilakukan menggunakan software *Plaxis 3D*.

• **Hasil Analisis *Secant pile* Zona 1**

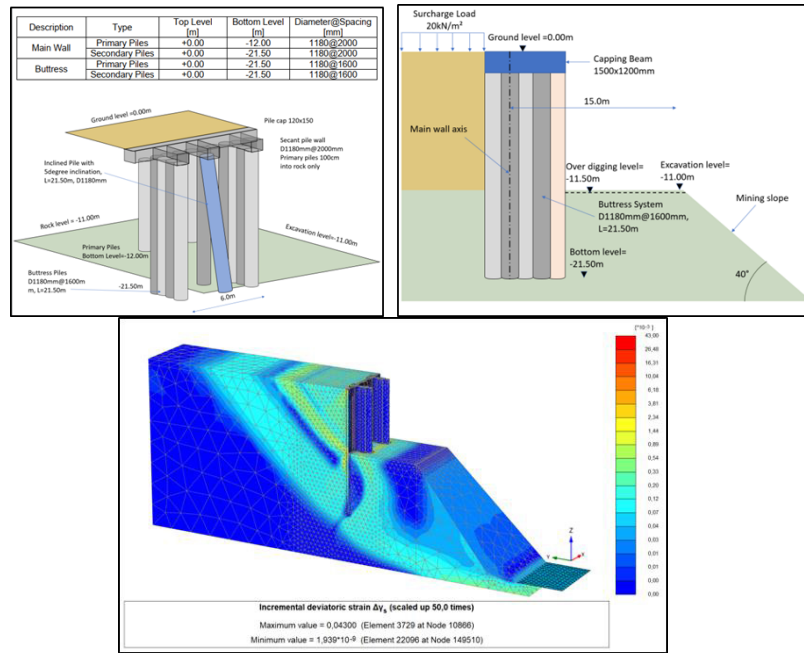
Zona 1 merupakan area dengan kedalaman tanah rawa sedalam 9 meter dari elevasi permukaan tanah di Elevasi +17. Dibutuhkan total kedalaman *bored pile* 18 meter untuk mampu menahan beban dengan kedalaman yang tertanam di lapisan *mudstone* sedalam 9 meter ditambah dengan sistem *buttress* dengan jarak 8 meter antar *buttress* –nya. Semua *bored pile* terhubung menjadi satu dengan adanya *interlock* antar *pile* dan disambung dengan *capping beam* pada bagian atas *pile*. Analisis *secant pile* Zona 1 ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Analisis *Secant pile* Zona 1
(Sumber: pengolahan data penulis)

• Hasil Analisis *Secant pile* Zona 2

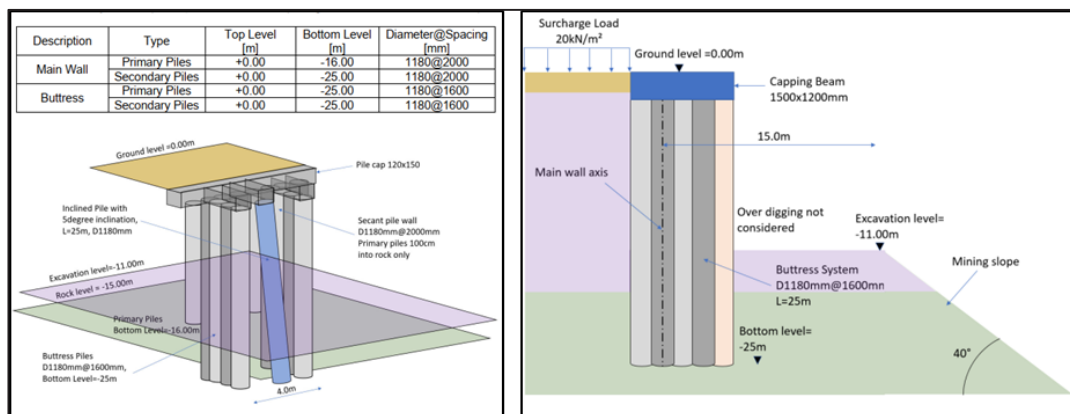
Zona 2 merupakan area dengan kedalaman tanah rawa sedalam 11 meter dari elevasi permukaan tanah di Elevasi +17. Dibutuhkan total kedalaman *bored pile* 21,5 meter untuk mampu menahan beban dengan kedalaman yang tertanam di lapisan mudstone sedalam 10,5 meter, ditambah dengan sistem *buttress* dengan jarak 6 meter antar *buttress* –nya. Selain itu ada tambahan *raked pile* di tengah-tengah antara *buttress*. Semua *bored pile* terhubung menjadi satu dengan adanya *interlock* antar *pile* dan disambung dengan *capping beam* pada bagian atas *pile*. Analisis *secant pile* Zona 2 ditunjukkan pada Gambar 6 berikut.

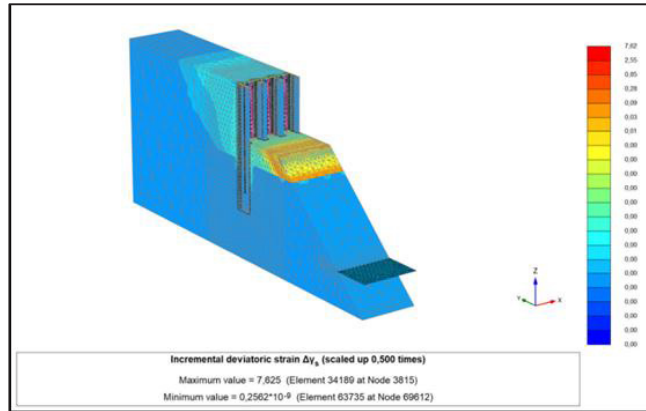


Gambar 6. Analisis *Secant pile* Zona 2
 (Sumber: pengolahan data penulis)

• Hasil Analisis *Secant pile* Zona 3

Zona 3 merupakan area dengan kedalaman tanah rawa sedalam 15 meter dari elevasi permukaan tanah di Elevasi +17. Dibutuhkan total kedalaman *bored pile* 25 meter untuk mampu menahan beban dengan kedalaman yang tertanam di lapisan mudstone sedalam 10 meter, ditambah dengan sistem *buttress* dengan jarak 4 meter antar *buttress* –nya. Selain itu ada tambahan *raked pile* di tengah-tengah antara *buttress*. Semua *bored pile* terhubung menjadi satu dengan adanya *interlock* antar *pile* dan disambung dengan *capping beam* pada bagian atas *pile*. Analisis *secant pile* Zona 3 ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.





Gambar 7. Analisis *Secant pile* Zona 3
(Sumber: pengolahan data penulis)

Dari hasil simulasi kestabilan dinding penahan tanah terhadap kedalaman material tanah rawa yang ditahan, didapatkan kedalaman desain *bored pile*, jarak antar *buttress*, dan kebutuhan *raked pile* untuk setiap zona sesuai dengan kedalaman rawa. Sehingga, batas dinding dan dasar tambang di area pit C2HU bagian utara dapat lebih optimal.

Aktual konstruksi *secant pile* di area Pit C2HU sudah selesai dikonstruksi dengan total jumlah sebanyak 431 *bored pile* sesuai design layout perencanaan *bored pile*. Dokumentasi lapangan *secant pile* Pit C2HU ditunjukkan pada Gambar 8 sebagai berikut.



Gambar 8. Dokumentasi lapangan Dinding Penahan Tanah *Secant pile* Pit C2HU
(Sumber: dokumentasi lapangan)

C.3. Hasil Optimasi Design Pit C2HU terhadap Hasil Analisis *Secant pile*

Sebelum adanya analisis perkuatan tanah menggunakan *secant pile*, design Pit C2HU memiliki beberapa limitasi, di antaranya:

- Kemiringan lereng pada area rawa maksimal 6 derajat, berakibat pada koreksi cadangan batubara / potential loss coal reserves yang tidak dapat ditambang
- Pendalaman lowest point Pit C2HU di sisi paling utara maksimal hingga elevasi -70

Dengan adanya project *ground improvement* berupa konstruksi dinding penahan tanah (*secant pile*) di sepanjang kontur rawa Pit C2HU sisi barat-utara, dapat dilakukan optimasi design karena terdapat peningkatan faktor keamanan kestabilan lereng *high wall*. Adapun *gain* yang didapatkan dari diterapkannya *ground improvement secant pile* antara lain:

- Pelebaran / pengembangan pit limit ke sisi *high wall*, sehingga cadangan batubara yang

- ditambang bertambah sebanyak 1,1 juta ton
- Pendalaman lowest point Pit C2HU di sisi utara maksimal hingga elevasi -110

C.4. Monitoring Pergerakan Struktur *Secant pile*

Setelah dibangun dinding penahan tanah dan sebelum dilakukan penggalian pada tambang Pit C2HU, perlu dilakukan monitoring terhadap pergerakan *bored pile* menggunakan instrumen monitoring *inclinometer*. *Inclinometer* adalah alat instrumen monitoring geoteknik yang memiliki fungsi membaca pergerakan tanah (kemiringan tanah). instrumen ini dipasang didalam pipa inclino dengan panjang lebih dari 20meter, pipa ini bersifat elastis yang mampu melindungi instrumen pada saat ditanam di dalam tanah (<https://www.testingindonesia.com/mengenal-inclinometer-sebagai-instrumen-monitoring-geoteknik-33>, diakses tanggal 05 September 2022).

Inclinometer dipasang di 5 titik sepanjang *line* dinding penahan tanah *secant pile*. Monitoring dilakukan secara periodik setiap 3 hari sekali selama proses kegiatan penggalian di sebelah dinding penahan tanah untuk melihat apakah ada pengaruh saat proses penggalian terhadap pergerakan *bored pile*. Data monitoring tren pergerakan dinding penahan tanah akan dievaluasi setelah periode pengamatan tertentu. Saat proses penggalian di sebelah dinding penahan tanah, pengawas tambang bersama dengan *Geotechnical Engineer* melakukan pengawasan melekat berupa inspeksi dan observasi agar penggalian tidak melewati batas rencana penggalian. Aktivitas monitoring pergerakan struktur *secant pile* ditunjukkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Monitoring Pergerakan *Bored pile* menggunakan *Inclinometer*
(Sumber: pengolahan data penulis)

D. KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini antara lain:

1. Keberadaan kontur rawa dengan kedalaman mencapai 15 meter dan Sungai Sambarata berjarak ± 50 meter di sisi barat *high wall* Pit C2HU merupakan salah satu tantangan dalam operasional penambangan Pit C2HU karena cadangan batubara tidak dapat ditambang dengan optimal
2. Optimasi design Pit C2HU dapat dilakukan dengan cara melakukan perkuatan tanah untuk meningkatkan tingkat keyakinan dari aspek kestabilan lereng *high wall*, berupa pemasangan dinding penahan tanah *Secant pile*
3. *Secant pile* berfungsi untuk menahan tekanan lateral dari material tanah rawa, dimana *Secant pile* dikonstruksi tegak lurus dengan sumbu kontur rawa Pit C2HU. Kedalaman *bored pile secant pile* tergantung dari kedalaman rawa yang dibagi menjadi 3 zona, dimana kedalaman pemancangan *bored pile* harus lebih dalam dibandingkan ketebalan rawa dan dianalisis menggunakan software *Plaxis 3D* untuk analisis struktur *secant pile*
4. Dari hasil analisis simulasi *Plaxis 3D*, didapatkan bahwa dinding penahan tanah berupa *secant pile* efektif dalam menahan beban tanah rawa sehingga dapat dilakukan optimasi design pit limit C2HU
5. Adapun *gain* yang didapatkan dari diterapkannya *ground improvement secant pile* dari aspek

optimasi design Pit C2HU antara lain:

- Pelebaran / pengembangan pit limit ke sisi *high wall* sehingga batubara yang ditambang bertambah sebanyak 1,1 juta ton batubara dengan kualitas ≥ 6000 cal/gr dan *Stripping Ratio* 9.1
 - Pendalaman *lowest point* Pit C2HU di sisi utara maksimal hingga elevasi -110
6. Sebagai kontrol atas risiko pergerakan dari bangunan dinding penahan tanah, perlu dilakukan pengecekan secara periodik baik secara visual maupun dengan menggunakan instrumen monitoring *inclinometer*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami berterimakasih yang sebesar-besarnya atas dukungan semua pihak yang terlibat dalam penelitian ini yaitu PT. Berau Coal pada umumnya, Bapak Feri Indrayana selaku KTT PT Berau Coal dan Pak Ichsan Sebastian, Pak Dudu Anwar Sanusi dan Bapak Arintoko serta keluarga besar tim FID & CHID Department, tim Sambarata Mine Operation dan PT BAUER Pratama Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineers , 1968. *Specialty Conference on Placement and Improvement of Soil to Support Structures*. ASCE Soil Mechanics and Foundations Division, Cambridge, MA, August 26–28, 440 pp.
- Been, K. dan Sills, G.C., (1981): *Self-weighted consolidation of soft soils: an experimental and theoretical study*, *Geotechnique*, **31 (4)**, 519-535.
- Dankers, P.J.T. (2006): *On the hindered settling of suspensions of mud and mud-sand mixtures*.
- DAS, Braja M. (1983): *Advanced soil mechanics*, Mc Graw Hill.
- DAS, Braja M. (2006): *Principles geotechnical engineering*, Stamford Cengage Learning.
- G&H Dept. (2018): *Geotechnical assessment: tebal layering proses loading material rawa Tambang Lati*, PT.Berau Coal.
- G&H Dept. (2019): *Geotechnical assessment: acuan beda tinggi loading material rawa Tambang Lati*, PT.Berau Coal.
- <https://www.testingindonesia.com/mengenal-inclinometer-sebagai-instrumen-monitoring-geoteknik-33>, diakses tanggal 05 September 2022
- <https://beraukab.bps.go.id/statictable/2016/01/13/14/nama-dan-panjang-sungai-menurut-kecamatan-2014.html>. Diakses tanggal 01 September 2022
- Utama, R.A., Baswed, Fathi. 2017. *Metode Pelaksanaan Dan Quality Control Pada Pekerjaan Secant pile* Pada Proyek Underpass Mampang-Kuningan. Universitas Gajah Mada.