



Bulletin of Scientific Contribution GEOLOGY

Fakultas Teknik Geologi
UNIVERSITAS PADJADJARAN

homepage: <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>
p-ISSN: 1693-4873; e-ISSN: 2541-514X



Volume 20, No.3
Desember 2022

PENENTUAN SUDUT KEMIRINGAN LERENG MAKSIMAL BERDASARKAN KUALITAS MASSA BATUAN PADA AREA LOWWALL PIT X PT. BUKIT ASAM TBK SUMATRA SELATAN

Siti Khodijah¹, Utari Sonya Monica², Jodistriawan Ersyari², Nur Khoirullah³ Dan Raden Irvan Sophian³

^{1,3} Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran
Jalan raya Bandung-Sumedang Km 21, Sumedang 45363

² Satuan Kerja Eksplorasi, PT. Bukit Asam, Tbk
Jl. Parigi No. 1 Tanjung Enim, Muara Enim, Sumatera Selatan, 31716
Korespondensi e-mail: siti18019@mail.unpad.ac.id

ABSTRACT

The research area has quite complex geological conditions, including the South Sumatra basin. The Muara Enim Formation is an economical coal-producing formation in the study area. The mining process at PT. Bukit Asam Tbk is an open pit mining method so that the excavation process is related to slope stability and engineering properties. Pit X is interpreted as the north wing of Muara Tiga Besar anticline with rock strike relative to the northwest so that it has a pit shape that is relatively in the same direction as the rock strike. The lowwall area as a designed slope is the same as the rock layer dip is of interest in conducting research due to the high potential for planar failure so it is necessary to analyze the rock mass quality. The Rock Mass Rating method is a rating system to determine the quality of rock mass and can be used to slope stability and recommendations for maximum safety angles that can be applied through Slope Mass Rating. In relation to the quality of rock mass, observations were made at 8 points of rock mass other than coal in the lowwall area of Pit X using a scanline method. Based on Rock Mass Rating, the research area consists of 2 (two) rock mass classes, namely class III (fair rock) and class IV (weak rock). Based on the Slope Mass Rating, the research area consists of bad slopes with unstable stability and normal slopes with partially stable stability. The recommended angle in the lowwall area ranges from 30°-34°.

Keywords: lowwall area, rock mass, RMR, SMR, safe angle slope

ABSTRAK

Daerah penelitian memiliki kondisi geologi yang cukup kompleks yaitu termasuk ke cekungan Sumatra Selatan. Formasi Muara Enim merupakan formasi penghasil batubara ekonomis pada daerah penelitian. Proses penambangan pada PT. Bukit Asam Tbk yaitu metode tambang terbuka sehingga proses penggaliannya berhubungan dengan kestabilan lereng dan sifat keteknikannya. Pit X diinterpretasikan sebagai sayap antiklin utara Muara Tiga Besar dengan jurus perlapisan batuan relatif ke arah barat laut sehingga memiliki bentuk pit relatif searah jurus perlapisan batuan. Area lowwall sebagai lereng yang didesain mengikuti kemiringan perlapisan batuan menjadi ketertarikan dalam melakukan penelitian dikarenakan berpotensi tinggi terjadi longsor bidang sehingga perlu dilakukan analisis kualitas massa batuan. Metode *Rock Mass Rating* merupakan pembobotan bersistem dalam menentukan kualitas massa batuan dan dapat digunakan untuk menilai stabilitas lereng dan rekomendasi sudut aman maksimal yang dapat diterapkan melalui *Slope Mass Rating*. Kaitannya dengan kualitas massa batuan, dilakukan pengamatan pada 8 titik massa batuan selain batubara pada area lowwall Pit X menggunakan metode *scanline*. Berdasarkan pembobotan *Rock Mass Rating*, daerah penelitian terdiri dari 2 (dua) kelas massa batuan yaitu kelas III (*fair rock*) dan IV (*weak rock*). Berdasarkan *Slope Mass Rating*, daerah penelitian terdiri dari lereng *bad* dengan stabilitas tidak stabil dan lereng normal dengan stabilitas stabil sebagian. Adapun sudut lereng yang direkomendasikan pada area lowwall berkisar antara 30-34°.

Kata kunci: area lowwall, massa batuan, RMR, SMR, sudut aman lereng

PENDAHULUAN

Daerah penelitian termasuk ke dalam siklus sedimentasi yang luas yaitu cekungan Sumatra Selatan yang memiliki sumberdaya geologi yang sangat potensial yaitu batubara yang berasal dari Formasi Muara Enim (Nurdijat, 2018). Formasi Muara Enim merupakan formasi pembawa batubara ekonomis yang ditambang oleh PT. Bukit Asam, Tbk. Proses penambangan dilakukan dengan metode tambang terbuka sehingga dilakukan penggalian. Penggalian pada tambang terbuka berhubungan dengan kestabilan lereng dan dilakukan berdasarkan sifat keteknikan materialnya (Pane & Anaperta, 2019). Faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng yaitu geometri lereng, kondisi litologi dan geologi, iklim dan curah hujan, sifat fisik dan mekanik batuan atau tanah (Hasibuan & Heriyadi, 2020).

Kualitas massa batuan memiliki hubungan yang kuat dengan kestabilan lereng, semakin tinggi nilai *Rock Mass Rating* maka lereng tersebut semakin stabil (Nainggolan & Sophian, 2020). Pada penelitian yang lain menyebutkan bahwa massa batuan mempengaruhi sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada suatu lereng tambang (Atmaja, 2014). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Taufiq dkk., 2022) pada lereng andesit, menyebutkan bahwa nilai *Slope Mass Rating* sangat dipengaruhi oleh nilai *Rock Mass Rating*, faktor diskontinuitas dimana semakin tinggi *Rock Mass Rating* maka *Slope Mass Rating* semakin tinggi juga.

Oleh karena itu untuk memberikan referensi dalam evaluasi kestabilan lereng pada lokasi penelitian maka dilakukan penelitian kualitas massa batuan dalam menilai kestabilan lereng sehingga dapat mendukung proses penambangan yang aman dan ekonomis.

Lokasi penelitian dilakukan pada area pertambangan PT. Bukit Asam Tbk, *Site Tanjung Enim*, area *lowwall* Pit X (Gambar 1). Secara administratif Pit X termasuk ke daerah Merapi Timur, Muara Tiga Besar, Kabupaten Lahat, Sumatra Selatan. Pengambilan data lapangan dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2022.

METODE PENELITIAN

Objek penelitian berupa karakteristik massa batuan selain batubara pada area *lowwall* Pit X PT. Bukit Asam Tbk Sumatra Selatan yang terdiri dari litologi batupasir, batupasir sisipan batulanau, dan perselingan batupasir dengan batulanau (Gambar 3). Pengambilan data dilakukan dengan membentangkan *scanline* sepanjang 10 kali rata-rata spasi kekar atau sesuai kebutuhan (Rai dkk.,

2014) pada 8 titik pengamatan dengan kode: AA, BB, CC, DD(1), DD(2), EE, FF dan GG (Gambar 2) serta data PT. Bukit Asam, Tbk berupa hasil uji kuat tekan uniaksial.

Karakteristik massa batuan didapatkan melalui identifikasi menggunakan metode pembobotan geomekanik sistem *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011) yang terdiri dari parameter kuat tekan batuan utuh yang didapatkan dari uji lapangan (R. Ulusay, 2015) dan uji laboratorium *uniaxial compressive strength*; *rock quality designation* (RQD) yang didapatkan dari persentase hubungan kerapatan kekar dengan spasi diskontinuitas (Priest & Hudson, 1976); spasi diskontinuitas yang didapat dari jarak normal antar 2 bidang diskontinuitas yang memiliki orientasi sama; kondisi diskontinuitas yang terdiri dari parameter kemenerusan, separasi, kekasaran, material pengisi dan pelapukan; kondisi air tanah dan orientasi diskontinuitas dengan arah muka lereng. Identifikasi dilakukan di lapangan pada seluruh titik pengamatan. Hasil identifikasi karakteristik massa batuan kemudian dilakukan pengelompokan kualitas massa batuan (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011) yang didapatkan dari penjumlahan seluruh parameter pembobotan geomekanik sistem *Rock Mass Rating* sehingga didapatkan sebaran kualitas massa batuan pada area *lowwall*.

Kualitas massa batuan kemudian digunakan dalam penilaian kestabilan lereng menggunakan *Slope Mass Rating* yang merupakan pengembangan dari sistem *Rock Mass Rating* dan ditambahkan faktor F1, F2, F3 dan F4 (Romana, 1993 dalam Taufiq dkk., 2022). Berikut merupakan persamaan untuk menentukan SMR :

$$SMR = RMR_{(1989)} + (F1 \times F2 \times F3) + F4$$

Nilai F1 didapatkan dari hasil perhitungan hubungan arah jurus diskontinuitas dengan arah muka lereng, nilai F2 didapatkan dari besar kemiringan diskontinuitas, nilai F3 didapatkan dari hubungan kemiringan diskontinuitas dengan kemiringan lereng. Adapun F4 merupakan metode ekskavasi adapun daerah penelitian menggunakan *blasting* sehingga memiliki bobot 0. Setelah didapatkan nilai SMR kemudian dilakukan pengelompokan kondisi lereng yang dapat mempresentasikan stabilitasnya serta dapat menentukan sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daerah penelitian terdiri dari formasi Air Benakat (Tma) dan formasi Muara Enim (Tmptm) (Gafoer dkk., 1986) dimana formasi pembawa batubara merupakan formasi

Muara Enim (Gambar 3). Karakteristik litologi yang menyusun lereng akan mempengaruhi terhadap kestabilan lereng. Pit X diinterpretasikan sebagai sayap antiklin utara Muara Tiga Besar dengan jurus perlapisan N287E – N292E dan kemiringan batuan 30°-35° dengan urutan stratigrafi dari tua ke muda sebagai berikut.

1. Batupasir (Interburden *Under c*), lapisan ini terdiri dari batupasir dengan ketebalan >100 meter. Terdapat sisipan batulanau yang tipis dengan ketebalan 1-5 cm.
2. Lapisan Petai (Batubara C), lapisan batubara dengan ketebalan 0,8 m – 11,4 m, dicirikan dengan adanya lapisan pengotor sebanyak 1 lapis berupa batulempung atau batulanau karbonan.
3. Lapisan Interburden B – C, lapisan ini mengandung perulangan batupasir dan batulanau dengan ketebalan berkisar 38,5 – 44 meter dan terdapat batupasir yang mengandung glaukonit di atasnya.
4. Lapisan Suban (Batubara B,) lapisan batubara ini memiliki tebal 15,3-20 m, dicirikan dengan adanya lapisan pengotor sebanyak 2-3 lapis berupa batulempung karbonan.

A. Rock Mass Rating

Salah satu metode yang digunakan dalam menentukan kualitas massa batuan secara empiris yaitu pembobotan geomekanik sistem *Rock Mass Rating* (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011). RMR digunakan untuk mengevaluasi ketahanan massa batuan yang dapat digunakan untuk menentukan kemiringan lereng maksimum (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011). Parameter yang digunakan untuk pembobotan RMR yaitu kuat tekan batuan utuh, *rock quality designation*, spasi diskontinuitas, kondisi diskontinuitas, kondisi air tanah dan orientasi diskontinuitas. Adapun kualitas massa batuan didapatkan dengan menjumlahkan seluruh parameter pembobotan.

Kualitas massa batuan pada area *lowwall* terdiri adalah sebagai berikut :

1. Titik AA, diamati pada litologi batulanau dengan karakteristik kompak namun sudah retak pada bidang diskontinuitas, memiliki bobot RMR 31 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas IV atau *weak rock*. Massa batuan kelas IV memiliki rata-rata waktu *stand-up* 10 jam untuk *span* 2,5 meter, kisaran sudut geser dalam 15-25° dan kohesi 0,1-0,2 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 135-45 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 45°

(Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).

2. Titik BB, diamati pada litologi batupasir yang keras namun bersifat rapuh saat dikenakan palu geologi dan memiliki ukuran butir kasar, memiliki bobot RMR 31 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas IV atau *weak rock*. Massa batuan kelas IV memiliki rata-rata waktu *stand-up* 10 jam untuk *span* 2,5 meter, kisaran sudut geser dalam 15-25° dan kohesi 0,1-0,2 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 135-45 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 45° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).
3. Titik CC, diamati pada litologi batulanau dengan karakteristik kompak namun sudah retak pada bidang diskontinuitas, memiliki bobot RMR 49 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas III atau *fair*. Massa batuan kelas III memiliki rata-rata waktu *stand-up* 7 hari untuk *span* 5 meter, kisaran sudut geser dalam 25-35° dan kohesi 0,2-0,3 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 280-135 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 55° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).
4. Titik DD (1), diamati pada litologi batupasir sisipan batulanau memiliki bobot RMR 37 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas IV atau *weak rock*. Massa batuan kelas IV memiliki rata-rata waktu *stand-up* 10 jam untuk *span* 2,5 meter, kisaran sudut geser dalam 15-25° dan kohesi 0,1-0,2 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 135-45 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 45° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).
5. Titik DD (2), diamati pada perselingan batupasir dengan batulanau dengan karakteristik kompak dan pada bagian atasnya terdapat batulempung karbonan, memiliki bobot 58 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas III atau *fair rock*. Massa batuan kelas III memiliki rata-rata waktu *stand-up* 7 hari untuk *span* 5 meter, kisaran sudut geser dalam 25-35°, kohesi 0,2-0,3 MPa (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 55° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).
6. Titik EE, diamati pada litologi batupasir yang mengandung glaukonit dan

kompak, memiliki bobot RMR 39 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas IV atau *weak rock*. Massa batuan kelas IV memiliki rata-rata waktu *stand-up* 10 jam untuk *span* 2,5 meter, kisaran sudut geser dalam 15-25° dan kohesi 0,1-0,2 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 135-45 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 45° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).

7. Titik FF, diamati pada litologi batulanau dengan karakteristik kompak dan memiliki diskontinuitas yang saling berpasangan, memiliki bobot RMR 30 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas IV atau *weak rock*. Massa batuan kelas IV memiliki rata-rata waktu *stand-up* 10 jam untuk *span* 2,5 meter, kisaran sudut geser dalam 15-25° dan kohesi 0,1-0,2 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 135-45 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 45° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).
8. Titik GG, diamati pada litologi perselingan batupasir dengan batulanau yang memiliki bobot RMR 58 dan termasuk ke dalam kelas massa batuan kelas III atau *fair rock*. Massa batuan kelas III memiliki rata-rata waktu *stand-up* 7 hari untuk *span* 5 meter, kisaran sudut geser dalam 25-35° dan kohesi 0,2-0,3 MPa, *allowable bearing pressure* sekitar 280-135 T/m² (Bieniawski, 1993 dalam Singh, B & Goel, 2011) dan pemotongan sudut yang disarankan yaitu 55° (Waltham, 2002 dalam Singh, B & Goel, 2011).

Berdasarkan pembobotan dan klasifikasi RMR (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011) tersebut maka daerah penelitian terdiri dari 2 (dua) kelas massa batuan yaitu kelas III (*fair rock*) dan kelas IV (*weak rock*) (Gambar 4). Kelas massa batuan III umumnya menyebar pada lapisan batuan yang berada di *Interburden B-C* (IB B-C) yang terdiri dari litologi perselingan batupasir dengan batulanau dan batupasir yang mengandung glaukonit.

Hal ini juga didukung dengan karakteristik massa batuan yang umumnya kompak dengan frekuensi kekar yang relatif rendah. Adapun kelas massa batuan IV (*weak rock*) (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011) umumnya tersebar pada lapisan *under c* yang terdiri dari batupasir dan beberapa berupa sisipan batulanau. Kondisi batuan pada lapisan ini tergolong buruk sehingga memiliki nilai kohesi dan sudut geser dalam

yang lebih rendah daripada lapisan IB BC. Hal ini akan mempengaruhi stabilitas lereng pada lapisan *under c*.

B. Slope Mass Rating

Penilaian terhadap suatu lereng menggunakan SMR (Romana, 1993) ini didasarkan dari hasil penentuan kelas massa batuan RMR (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011). Berikut merupakan hasil penentuan SMR pada daerah penelitian.

1. Titik AA, memiliki nilai SMR 31 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 31° (M. Romana et al., 2003).
2. Titik BB, memiliki nilai SMR 31 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 31° (M. Romana et al., 2003).
3. Titik CC, memiliki nilai SMR 49 dan termasuk ke dalam kelas lereng *normal* dengan stabilitas lereng stabil sebagian dan memiliki bidang gelincir relatif baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 49° (M. Romana et al., 2003).
4. Titik DD (1), memiliki nilai SMR 37 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 37° (M. Romana et al., 2003).
5. Titik DD (2), memiliki nilai SMR 34 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 34° (M. Romana et al., 2003).
6. Titik EE, memiliki nilai SMR 39 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 39° (M. Romana et al., 2003).
7. Titik FF, memiliki nilai SMR 30 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng

tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 30° (M. Romana et al., 2003).

8. Titik GG, memiliki nilai SMR 34 dan termasuk ke dalam kelas lereng *bad* atau buruk dengan stabilitas lereng tidak stabil dan memiliki bidang gelincir relatif bidang dan baji (Romana, 1993). Sudut aman maksimal yang dapat diterapkan pada lereng ini yaitu 34° (M. Romana et al., 2003).

DISKUSI

Pada gambar 5, terdapat perbedaan kecenderungan nilai RMR dengan nilai SMR yaitu titik DD (2) dan titik GG, RMR menunjukkan tinggi namun memiliki nilai SMR yang rendah. Hal ini disebabkan karena titik pengamatan DD (2) dan GG memiliki bidang diskontinuitas berupa perulangan perlapisan dan memiliki kemiringan yang lebih kecil daripada kemiringan lerengnya. Hal ini menyebabkan F3 tinggi dan nilai SMR menurun sehingga sudut yang direkomendasikan akan lebih kecil daripada individual lereng yang terdiri dari 1 jenis batuan.

Penilaian kestabilan lereng menggunakan SMR menunjukkan bahwa lereng daerah penelitian pada lapisan *Interburden B-C* yaitu titik EE memiliki rekomendasi sudut lereng 39° dan lapisan *under c* pada titik CC dan DD (1) memiliki rekomendasi sudut aman maksimal yang diterapkan yaitu 49° dan 39°, namun perlu diperhatikan dikarenakan lereng pada penelitian ini berada pada *lowwall* sehingga sudut yang direkomendasikan yaitu <35° untuk menghindari *undercut* yang dapat memicu terjadinya longsor bidang.

Adapun untuk menerapkan sudut lebih dari kemiringan batuan maka perlu dilakukan kajian geoteknik lainnya dan simulasi kestabilan lereng menggunakan kondisi aktual lapangan terlebih dahulu.

KESIMPULAN

1. Pit X area *lowwall* terbagi menjadi 2 (dua) kelas massa batuan (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011) yaitu kelas IV (*weak rock*) yang umumnya berada pada lapisan *under c* dan kelas massa batuan III (*fair rock*) yang tersebar pada lapisan *interburden B-C*. Litologi pada IB B-C yang terdiri dari perselingan batupasir dengan batulanau, dan batupasir yang memiliki kekerasan lebih kompak dibandingkan *under c* yang terdiri dari batupasir dan di beberapa

lokasi terdapat sisipan batulanau yang cenderung mudah rapuh yang disebabkan oleh pelapukan serta ukuran butir yang kasar di beberapa titik. Kualitas massa batuan mempengaruhi karakteristik batuan tersebut. Kondisi batuan *under c* memiliki sedikit lempung sehingga non kohesif dan bersifat *loose* yang ditunjukkan oleh nilai kisaran kohesi lebih rendah dibandingkan dengan batuan pada IB BC. Litologi pada lapisan IB B-C memiliki frekuensi kekar yang lebih rendah sehingga memiliki nilai *rock quality designation* lebih tinggi dibandingkan dengan litologi pada *under c* yang menunjukkan pengendapan batuan lebih banyak dipengaruhi oleh proses sedimentasi.

2. Berdasarkan penilaian kestabilan lereng menggunakan *Slope Mass Rating* (Romana, 1993) menunjukkan bahwa kualitas massa batuan IV termasuk lereng yang buruk sehingga kondisi lereng tidak stabil adapun kelas massa batuan III memiliki lereng yang normal dengan kondisi lereng stabil sebagian namun pada titik DD (2) dan GG termasuk lereng *bad*. Hal ini menunjukkan bahwa bidang diskontinuitas akan mempengaruhi stabilitas lereng. Selain itu, SMR dapat digunakan untuk rekomendasi sudut aman maksimal pada lereng namun tidak boleh melebihi sudut kemiringan batuanannya sehingga sudut yang direkomendasikan yaitu 30°-34°.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Bapak Jodistriawan Ersyari, ST., dan Ibu Utari Sonya Monica, ST serta seluruh pihak yang telah membantu dalam menyusun penelitian ini terutama PT. Bukit Asam Tbk.

DAFTAR PUSTAKA

- Atmaja, D. A. (2014). Kajian Klasifikasi Massa Batuan dan Analisis Stereografis Terhadap Stabilitas Lereng pada Operasi Penambangan Tambang Batubara Air Laya Desa Tanjung Enim Kabupaten Muara Enim. *Geological Engineering E-Journal*, Vol 6(No.2).
- Bieniawski. (1989). Engineering Rock Mass Classification. In *John Wiley and Sons Inc.* <https://doi.org/10.1016/C2010-0-64994-7>
- Gafoer, S., Cobrie, T., & Purnomo, J. (1986). *Peta Geologi Lembar Lahat, Sumatra Selatan, Skala 1:250.000*. Pusat Survey Geologi.
- Hasibuan, S., & Heriyadi, B. (2020). Analisis Balik Kestabilan Lereng Bekas Disposol

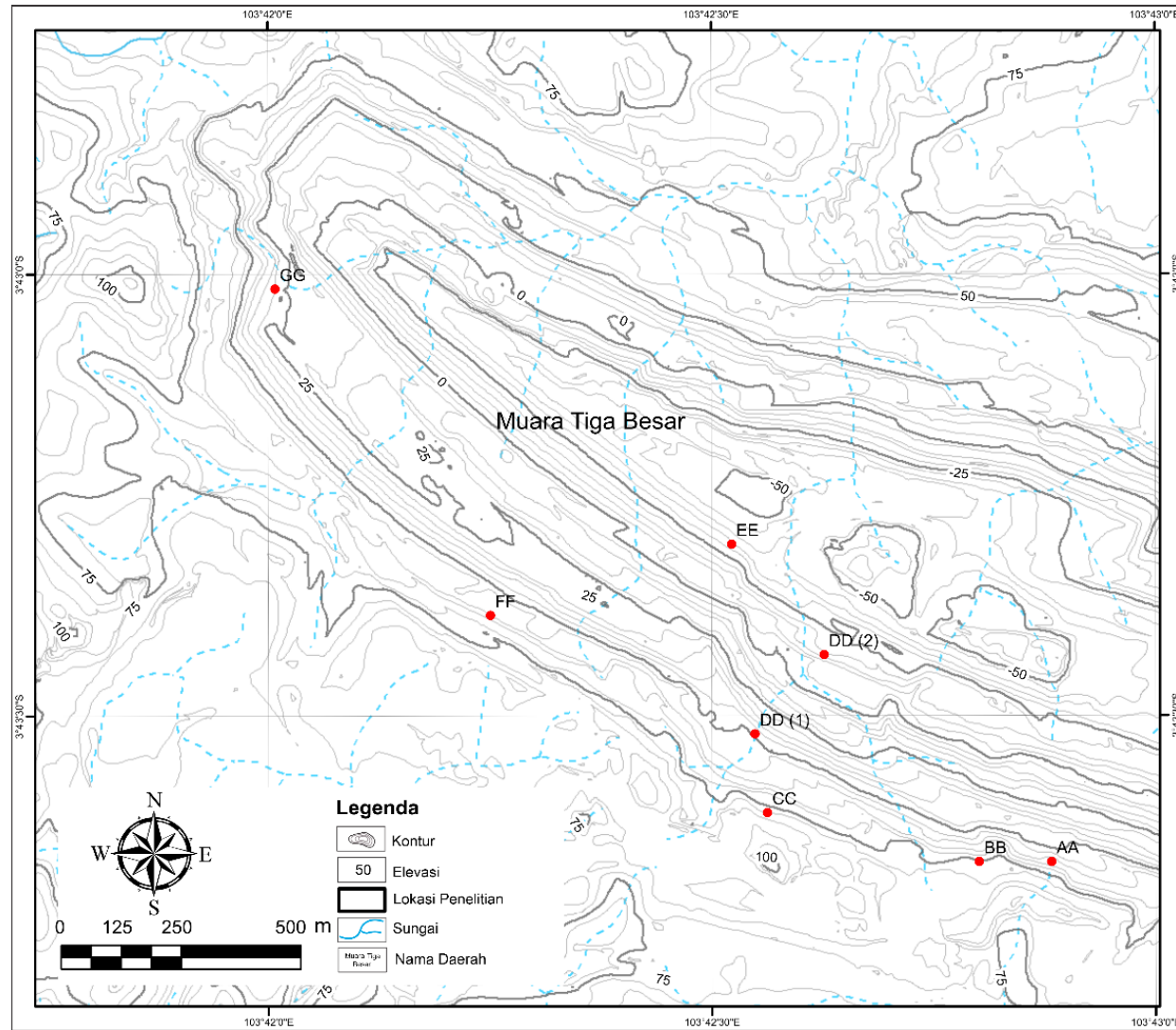
- Area Dengan Menggunakan Metode Bishop di Tambang PT . ISSN: 2302-3333 *Jurnal Bina Tambang*, 5(4), 46–56.
- Nainggolan, A., & Sophian, I. (2020). Pengaruh Rock Mass Rating Terhadap Tingkat Kestabilan Lereng Pada Pt . Holcim Indonesia Unit Narogong. *Geoscience Journal*, 4(1), 35–42.
- Nurdrjat, E. S. N. S. E. A. (2018). Bulletin of Scientific Contribution Geology Karakteristik Batubara Regresi Dan Transgresi Formasi Muaraenim Cekungan Sumatra Selatan. *Bulletin of Scientific Contribution: GEOLOGY*, 16, 221–228. <http://jurnal.unpad.ac.id/bsc>.
- Pane, R. A., & Anaperta, Y. M. (2019). Karakterisasi Massa Batuan dan Analisis Kestabilan Lereng Untuk Evaluasi Geometri Lereng di Pit Barat Tambang Terbuka PT. AICJ (Allied Indo Coal Jaya) Kota Sawahlunto Provinsi Sumatera Barat. *Jurnal Bina Tambang*, 4(3), 219–220.
- Priest, S., & Hudson, J. (1976). Discontinuity Spacings in Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 13(1), 135–148.
- R. Ulusay. (2015). The ISRM Suggested Method for Rock Characterization, Testing and Monitoring : 2007-2014. In *Springer International Publishing Switzerland*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1016/0148-9062\(81\)90524-6](https://doi.org/10.1016/0148-9062(81)90524-6).
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. (2014). *Mekanika Batuan*. Penerbit ITB.
- Romana, M. R. (1993). A Geomechanical Classification for Slopes: slope Mass Rating. In *Comprehensive Rock Engineering. Vol. 3*. Pergamon Press Ltd. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-042066-0.50029-x>
- Romana, M., Serón, J. B., & Montalar, E. (2003). SMR Geomechanics Classification: Application, Experience and Validation. *10th ISRM Congress*, 4(iii), 981–984.
- Singh, B & Goel, R. K. (2011). Engineering Rock Mass Classification: Tunneling, Foundations, and Landslides. In *Elsevier Inc.*
- Taufiq, M. M., Sophian, I., Khoirullah, N., & Zakaria, Z. (2022). Kemampugalian Kuari Andesit Gunung Geulis, Kecamatan Jatinangor, Kabupaten Sumedang, Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Mineral Dan Batubara*, 18(April), 69–79. <https://doi.org/10.30556/jtmb.Vol18.No2.2022.1257>

Tabel 1. Perhitungan *Rock Mass Rating*

Parameter	Titik Pengamatan							
	AA	BB	CC	DD(1)	DD(2)	EE	FF	GG
Uniaxial compressive strength								
<i>Rock Strength</i>	R1	R1	R1	R1	R1	R0	R0	R1
UCS (Mpa)	1-2,5	1-2,5	1-2,5	1-2,5	1-2,5	0,25-1	0,25-1	1-2,5
Bobot	1	1	1	1	1	0	0	1
RQD (%)	88,74	53,22	88,3	99,7	100	89,18	81,84	100
Bobot	17	13	17	20	20	17	17	20
Spacing of discontinuities (m)	0,18	0,061	0,14	1,46	1	0,18	0,13	1
Bobot	8	8	8	15	15	8	8	15
Condition of discontinuities								
<i>Persistence (m)</i>	<1	<1	1-3	3-10	<1	1-3	1-3	<1
Bobot	6	6	4	2	6	4	4	6
<i>Aperture (mm)</i>	0,8	0,8	0,8	0,8	none	1	0,8	none
Bobot	2	2	2	2	6	4	2	6
<i>Roughness</i>	smooth	Slightly rough	smooth	smooth	smooth	rough	slickenside	smooth
Bobot	1	3	1	1	1	5	0	1
<i>Infilling</i>	none	none	none	none	none	none	none	none
Bobot	6	6	6	6	6	6	6	6
<i>Weathering</i>	HW	MW	HW	HW	HW	SW	MW	HW
Bobot	1	3	1	1	1	5	3	1
Groundwater condition	Completely dry	Completely dry	Completely dry	Completely dry	Damp	Completely dry	Completely dry	Damp
Bobot								
Orientation of diskontinuities	Fair	Fair	Favourable	Fair	Favou- rable	Fair	Fair	Favou- rable
Bobot	-25	-25	-5	-25	-5	-25	-25	-5
Total Bobot	31	31	49	37	58	39	30	58
Kelas Massa Batuan (Bieniawski, 1989 dalam Singh, B & Goel, 2011)	IV (Weak Rock)	IV (Weak Rock)	III (Fair Rock)	IV (Weak Rock)	III (Fair Rock)	IV (Weak Rock)	IV (Weak Rock)	III (Fair Rock)

Tabel 2. Perhitungan *Slope Mass Rating*

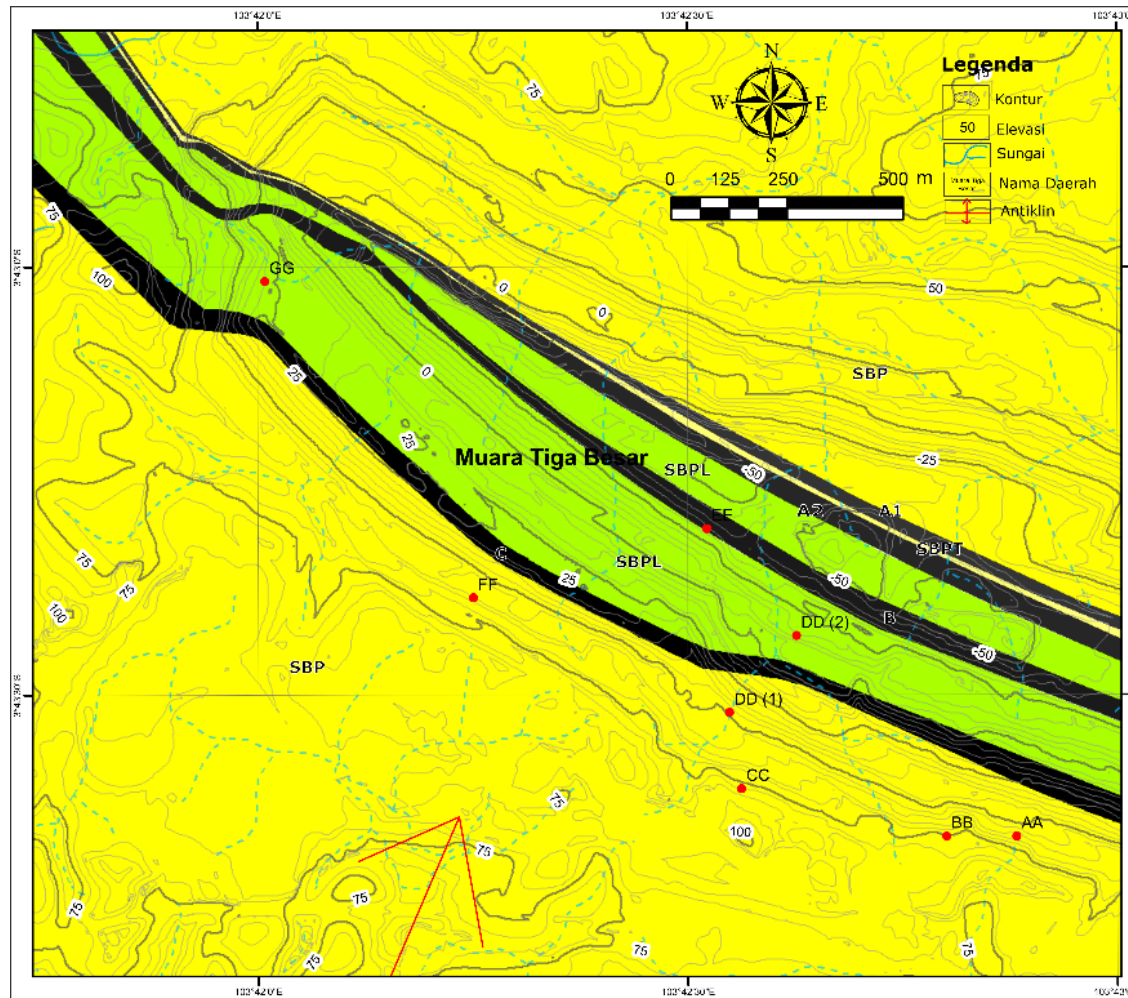
Parameter	AA	BB	CC	DD(1)	DD(2)	EE	FF	GG
F1	23° dan 65°	3° dan 36°	62°, 47° dan 111°	1° dan 88°	2°	34° dan 29°	8° dan 67°	5°
Bobot	0,4	0,7	0,15	0,7	1	0,4	0,7	1
F2	>45	>45	>45	>45	24	36	>45	24
Bobot	1	1	1	1	0,4	0,7	1	0,4
F3	31° dan 38	31° dan 29°	27° dan 36	-1° dan 47°	-3°	12° dan 15°	37° dan 35°	-1°
Bobot	0	0	0	0	-60	0	0	-60
F4	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>	<i>Blasting</i>
Bobot	0	0	0	0	0	0	0	0
SMR (Romana, 1993)	31	31	49	37	34	39	30	34



Gambar 1. Peta lokasi penelitian



Gambar 2. Foto lapangan pada titik pengamatan (AA-GG)



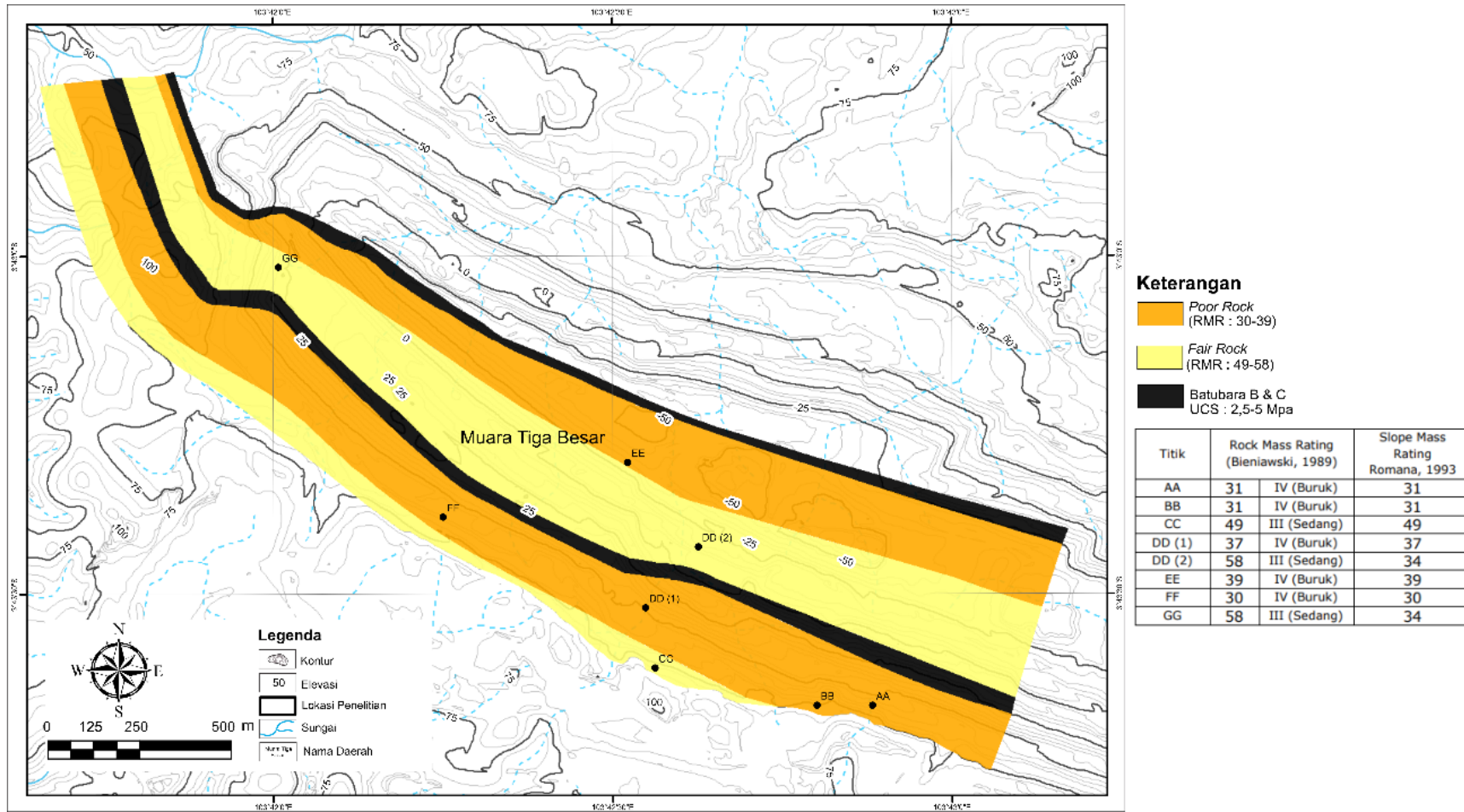
Gambar 3. Peta geologi daerah penelitian

Keterangan

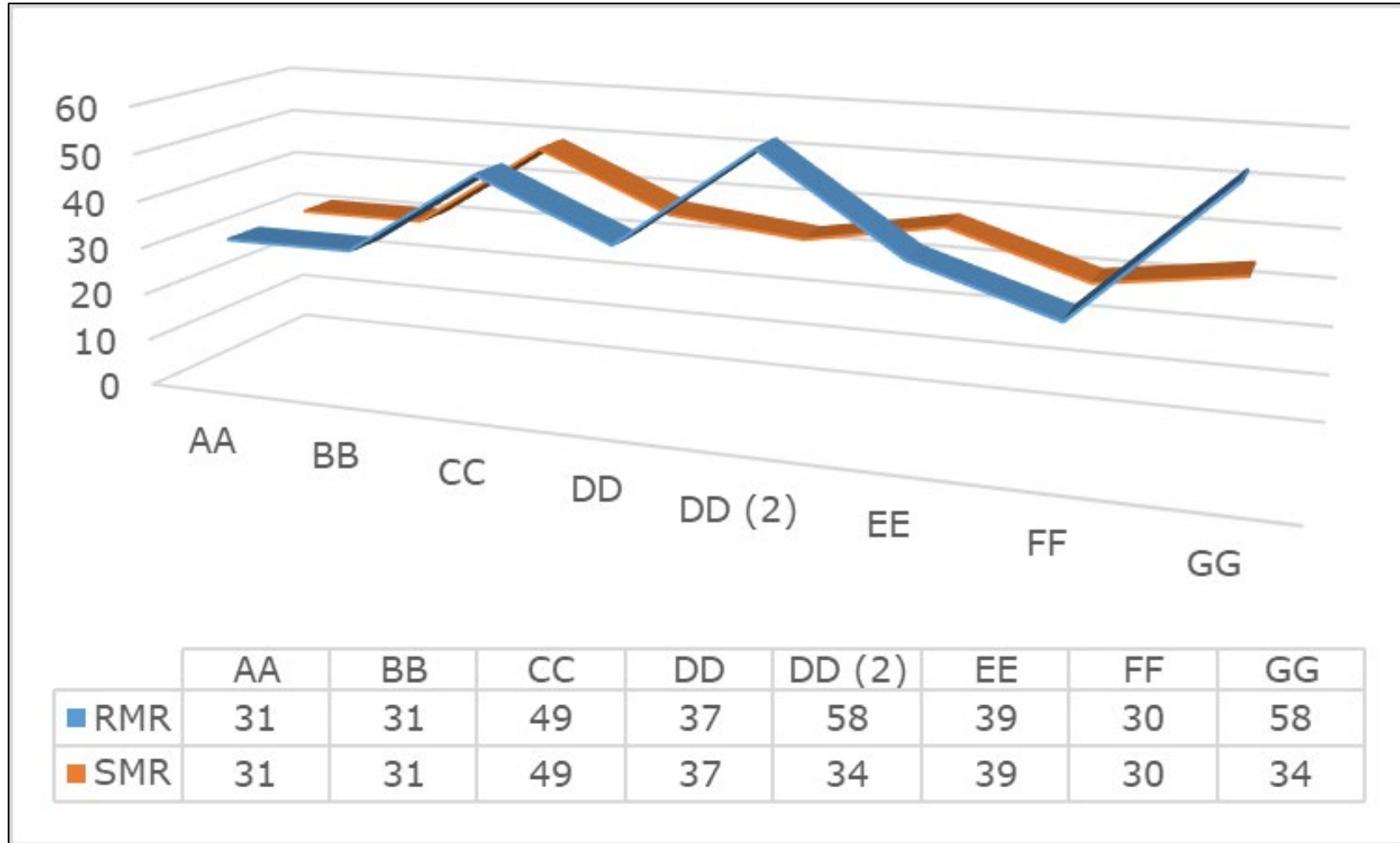
- SBP Satuan Batupasir**
terdiri atas Batupasir, Batupasir sisipan Batulanau dan Batulempung
- SBPL Satuan Batupasir-Batulanau**
terdiri atas Perselingan Batupasir dengan Batulanau, Batupasir dan Batulempung Karbonan
- SBPT Satuan Batupasir Tufaan**
terdiri atas Batupasir Tufaan
- C Batubara C**
- B Batubara B**
- A2 Batubara A2**
- A1 Batubara A1**

Kolom Stratigrafi Area Lowai Pit X (PT. Bukit Asam Tbk, 2007) dengan modifikasi

Batubara B, dijumpai adanya lapisan pengotor batulanau / siltstone / silty claystone dengan tebal 1,5 - 30 cm.	B	Pita pengotor batulanau / silty claystone / siltstone dengan tebal 2 - 15 cm. Dijumpai lensa batulanau / siltstone (kadang-kadang silika) pada 0,25 - 1,12 meter dari "base" dengan tebal 2 - 15 cm.
Interval B - C, perselingan batupasir dan batulanau.		Tebal: 38,5 - 44 meter
Batubara C / C1, dijumpai adanya 1 - 2 lapis pita pengotor berupa batulempung / batulanau karbonan batulempung batulanau kar. Tebal: 7,2 - 11,4 meter	C / C1	Pita pengotor (batulempung / claystone atau batulanau / siltstone yang karbonan) dengan tebal 2 - 10 cm. Dijumpai lensa batulanau / siltstone (kadang-kadang silika) pada 2 - 3 meter dari "base" dengan tebal 2 - 15 cm.
Interval C1 - C2, perselingan batupasir dan batulanau.		Tebal: 0,8 - 3,75 meter
Batubara C, dijumpai adanya 1 lapis pita pengotor berupa batulempung / batulanau karbonan. Tebal: 0,8 - 3,75 meter	C.2	Dijumpai lensa batulanau / siltstone (kadang-kadang silika) pada 2 meter dari "base" dengan tebal 2 - 15 cm.
Interval di bawah C, batupasir dengan tebal > 100 meter		terdapat banyak silika di beberapa lokasi



Gambar 4. Peta sebaran kualitas massa batuan daerah penelitian



Gambar 5. Grafik nilai RMR dan SMR daerah penelitian