

**HUBUNGAN ROCK MASS RATING (RMR) DENGAN DAYA DUKUNG FONDASI
DALAM DI KAWASAN IBUKOTA NEGARA (IKN), KALIMANTAN TIMUR**

Rafki Vendiza¹, Zulfialdi Zakaria², Reza Muhammad Ganjar Gani³, Thomas Maman Sudirman⁴

¹Mahasiswa Program Sarjana Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, 45363, Indonesia

²Departemen Geologi Terapan, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, 45363, Indonesia

³Departemen Geologi Terapan, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran, 45363, Indonesia

⁴PT. Karsa Yasa Cipta Consult, Bandung, Indonesia

*Korespondensi: rafkivendiza@gmail.com,

ABSTRAK

Daerah penelitian berada pada kawasan Ibukota Negara, Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kondisi geologi teknik berupakualitas massa batuan, daya dukung pondasi dalam, dan hubungan antara keduanya berdasarkan data hasil pemboran dan *Soil Penetration Test* (SPT) sebagai penyelidikan awal dalam perancangan bangunan-bangunan besar pada daerah penelitian. Kualitas massa batuan pada kedua lubang bor berkisar antara 41 – 71, dikategorikan sebagai *poor rock* – *fair rock* (Bieniawski, 1989). Nilai rata-rata daya dukung izin pada BH-1 sebesar 290 ton, sedangkan pada BH-2 sebesar 305 ton. Berdasarkan hasil analisis regresi terhadap nilai *rock mass rating* dan daya dukung izin pada dua lubang bor, didapatkan angka koefisien korelasi sebesar 0,708 termasuk dalam kategori kuat (Sugiyono, 2010). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semakin bagus kualitas massa batuan maka nilai daya dukung izin juga semakin besar, dan sebaliknya.

Kata Kunci : Geologi Teknik, *Soil Penetration Test*, *Rock Mass Rating*, Daya Dukung

ABSTRACT

The research area is in the National Capital area, North Penajam Paser, East Kalimantan. This research aims to determine engineering geological conditions in the form of rock mass quality, deep foundation bearing capacity, and the relationship between the two based on data from drilling results and the *Soil Penetration Test* (SPT) as an initial investigation in the design of large buildings in the research area. The quality of the rock mass in both drill holes ranged from 41 - 71, categorized as *poor rock* - *fair rock* (Bieniawski, 1989). The average permit bearing capacity value on BH-1 is 290 tons, while on BH-2 it is 305 tons. Based on the results of regression analysis of the rock mass rating and permit bearing capacity values for the two drill holes, a correlation coefficient of 0.708 was obtained, which is included in the strong category (Sugiyono, 2010). So, it can be concluded that the better the quality of the rock mass, the greater the permit bearing capacity value, and vice versa.

Keyword : Engineering Geology, *Soil Penetration Test*, *Rock Mass Rating*, Bearing Capacity

PENDAHULUAN

Tanah dan batuan mempunyai peran penting pada suatu kegiatan konstruksi pembangunan yang memiliki peran sebagai pondasi pendukung suatu bangunan atau bahan konstruksi. Suatu bangunan dapat memberikan gaya atau beban terhadap tanah dan batuan dibawahnya. Kestabilan bangunan sangat dipengaruhi oleh pondasi sebagai perencanaan sebuah pembangunan berkelanjutan guna mengantisipasi dan mengurangi perubahan bentuk dan berdampak terjadinya penurunan *seetlement* pada suatu bangunan.

Berbagai jenis bangunan akan didirikan pada kawasan ini, mulai dari lembaga negara, sektor pendidikan, sektor kesehatan, hingga perumahan. Peninjauan terhadap kualitas tanah dan batuan pada kawasan inti pusat pemerintahan sangat penting dilakukan untuk menghindari kesalahan yang tidak diinginkan

Lokasi penelitian berada pada kawasan calon Ibukota Negara, Kalimantan Timur, yang akan terjadi aktivitas pembangunan besar-besaran. Untuk itu, dalam hal ini diperlukan adanya penilaian kualitas massa batuan, analisis daya dukung fondasi, dan bagaimana hubungan antara keduanya.

TINJAUAN PUSTAKA

Formasi Pamaluan

Lokasi penelitian berada pada daerah sepaku, Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur, termasuk dalam Formasi Pamaluan (Tomp) berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Samarinda 1: 250000 (Supriatna dkk, 1995). Formasi ini tersusun oleh batupasir kuarsa sisipan batulempung, serpih

batugamping, dan batulanau, berlapis sangat baik. Batupasir kuarsa merupakan batuan utama, kelabu kehitaman-kecoklatan, batupasir halus-sedang, terpilah baik, butiran membulat-membulat tanggung, padat, karbon dan gampingan. Setempat dijumpai struktur sedimen silang siur dan perlapisan sejajar, tebal lapisab antara 1-25 m. Batulempung tebal rata-rata 45 cm. Serpih kelabu kecoklatan kelabu tua, pada tebal sisipan antara 10-20 cm. Batugamping kelabu, pejal, berbutir sedang-kasar, setempat berlapis dan mengandung foraminifera besar. Batulanau kelabu tua-kehitaman. Formasi pamaluan merupakan batuan paling bawah yang tersingkap di lembar ini dan bagian atas formasi ini berhubungan menjari dengan Formasi Babuluh. Tebal Formasi kurang lebih 2000 meter.

Rock Mass Rating (RMR)

Rock Mass Rating (RMR) merupakan metode klasifikasi massa batuan yang paling umum digunakan karena dianggap memiliki parameter masukan yang paling lengkap serta aplikasi penggunaannya yang cukup luas, Metode *Rock Mass Rating* (RMR) ini dikembangkan oleh Bieniawski pada tahun 1973, kemudian mengalami revisi pada tahun 1989. Metode ini mempertimbangkan parameter berupa *uniaxial compression strength*, *rock quality designation*, *spacing discontinuity*, *condition of discontinuity*, dan *groundwater condition*. Kemudian, dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$RMR = SR + RQD + SJ + CJ + CW \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

SR = *Strength of Intact Rock*

RQD = *Rock Quality Designation*
 SJ = *Spacing of Discontinuities*
 CJ = *Condition of Discontinuities*
 GW = *Groundwater*

Pondasi

Pondasi merupakan bagian paling bawah dari suatu konstruksi bangunan yang berfungsi untuk menyalurkan beban langsung dari struktur bangunan tersebut ke lapisan tanah di bawahnya (Zakaria, 2006). Perletakan fondasi untuk menopang bangunan/infrastruktur merupakan masalah yang dihadapi dalam setiap perencanaan bangunan. Tanpa perencanaan maka beban bangunan yang melampaui daya dukung tanah dapat menyebabkan keruntuhan tanah akibat beban sehubungan dengan pondasi.

Daya Dukung Pondasi

Dalam perancangan pondasi, besar nilai daya dukung tanah melalui perhitungan kekuatan tanah sangat diperlukan sebagai peletakan struktur bangunan. Beban konstruksi bangunan dirancang agar tidak melampaui daya dukung tanah yang bersangkutan.

Kapasitas/daya dukung (*bearing capacity*) adalah kekuatan tanah atau batuan untuk menahan suatu beban yang berkerja padanya yang biasanya disalurkan melalui pondasi. Pada perhitungan *bearing capacity* ini dikenal adanya nilai *qult* (*ultimate bearing capacity*) dan nilai *qa* (*allowable bearing capacity*). Daya dukung batas/*qult* merupakan tekanan maksimum yang dapat diterima oleh tanah atau batuan akibat beban yang bekerja tanpa menimbulkan kelongsoran geser pada tanah pendukung tepat di bawah dan

sekeliling pondasi. Sedangkan, daya dukung izin/*qa* merupakan nilai daya dukung batas dibagi dengan faktor keamanan. Nilai faktor keamanan yang digunakan berkisar antara 1 hingga 3, namun agar lebih aman penelitian ini menggunakan nilai faktor keamanan sebesar 3. Nilai daya dukung izin harus lebih kecil dibandingkan dengan nilai daya dukung batasnya, karena jika nilai daya dukung batas terlampaui, maka akan terjadi keruntuhan (Terzaghi, 1948). Hubungan nilai daya dukung batas, daya dukung izin dan faktor keamanan dapat dijelaskan melalui persamaan berikut:

$$qa = \frac{qult}{F} \dots \dots \dots (2)$$

Dalam penelitian ini digunakan persamaan yang dikemukakan oleh Mayerhoff (1976) berdasarkan hasil SPT. Berikut merupakan persamaan tersebut,

$$Qu = Qp + Qs \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

Qu = daya dukung ultimit tiang (ton)

Qp = daya dukung ujung tiang (ton)

Qs = daya dukung selimut tiang (ton)

Daya dukung ujung dinyatakan sebagai persamaan berikut,

$$Qp = \frac{0,4 \cdot Nb \cdot Lb \cdot Ap}{d} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan syarat :

$$0,4 \cdot Nb \cdot \frac{Lb}{d} \leq 40 \cdot Nb \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

Nb = rata-rata nilai SPT dari 10D di atas sampai 4D di bawah ujung tiang

Lb = panjang tiang (m)

Ap = luas alas tiang bor (m²)

D = diameter tiang (m)

Sedangkan, daya dukung ujung selimut dinyatakan sebagai persamaan berikut,

$$Q_s = \sum q_s \cdot A_s \dots \dots \dots (6)$$

Untuk tanah non kohesif:

$$q_s = 0,2 (N1)60 \dots \dots \dots (7)$$

Untuk tanah kohesif :

$$q_s = 0,5 (N1)60 \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan:

q_s = tahanan limit gesek kulit (ton/m²)

A_s = Luas selimut tiang (m²)

(N1)60 = N-SPT terkoreksi

Uji SPT

Standart Penetration Test (SPT) merupakan pengujian untuk memperoleh parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan yang diperoleh dari jumlah pukulan terhadap penetrasi konus. Standart Penetration Test (SPT) dilakukan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan.

Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm

vertical. Dalam pengujian ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m.

Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap. Tahap pertama sebagai dudukan, sementara jumlah pukulan untuk memasukkan tahap ke-dua dan dijumlahkan untuk memperoleh nilai pukulan N atau perlawanan SPT (dinyatakan pukulan/0,3 m) mengacu pada SNI 4153-2008.

Analisis Regresi Linier Sederhana

Analisis regresi digunakan untuk mengukur hubungan fungsional ataupun kausal perubahan nilai variable terikat akibat perubahan variable bebas, sehingga akan mengukur hubungan kedua variable tersebut (Sugiyono, 2010). Persamaan regresi linier sebagai berikut,

$$Y = a + bx \dots \dots \dots (9)$$

Keterangan :

Y = Variabel terikat

X = Variabel bebas

a = Intersep

b = Konstanta regresi

Hubungan variable terikat dengan variable bebas ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (r). Interpretasi nilai koefisien korelasi dapat dilihat pada table berikut,

Tabel 2. Interpretasi Nilai koefisien korelasi (Sugiyono, 2010)

Interval Koefisien Korelasi	Tingkat Hubungan
0 – 0,199	Sangat Rendah
0,2 – 0,399	Rendah
0,4 – 0,599	Sedang
0,6 – 0,799	Kuat
0,8 – 1	Sangat Kuat

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan berupa metode kuantitatif berupa perhitungan rock mass rating (rmr) berdasarkan Bieniawski,1973, perhitungan daya dukung pondasi dalam berdasarkan Mayerhoff, 1976, dan analisis regresi liner sederhana untuk menentukan hubungan antara rock mass rating dengan nilai daya dukung izin .

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian kali ini dilakukan pemboran dan *soil penetration test* (SPT) masing-masing pada 2 titik berbeda dengan kedalaman mencapai 30meter. Sehingga didapatkan data deskripsi tanah dan batuan untuk melakukan perhitungan *rock mass rating*, dan hasil uji spt berupa N-SPT digunakan sebagai data perhitungan daya dukung pondasi dalam.

1. Deskripsi tanah/batuan

Deskripsi tanah/batuan pada 2 titik bor disajikan dalam **Tabel 2** dan **Tabel 3** berikut,

Tabel 3. Deskripsi tanah/batuan BH-1

Kedalaman (m)		Tebal (m)	Litologi	Deskripsi
dari	ke			
0	1,40	1,40	Tanah lempung lanauan	Teguh, kuning kecoklatan, lapuk sempurna, plastisitas sedang, agak lembab, ukuran butir lanau-lempung
1,40	14	12,6	Batulempung (sw)	Cukup lemah-cukup kuat, abu gelap, agak lapuk, kondisi kering, intensitas kekar rendah dengan isian mineral lempung
14	30	16	Batulempung lanauan (F)	Lemah-cukup lemah, abu gelap, segar, kondisi agak lembab-kering, ukuran butir lempung-lanau, terdapat struktur menyerpih pada beberapa bagian, intensitas kekar tinggi dengan isian mineral lempung.

BH-2 memiliki tebal lapisan tanah 6m dengan ukuran butir lempung hingga lanau, kemudian tersusun oleh batulempung lanauan agak lapuk dan batulempung segar. Daerah ini didominasi oleh batulempung.

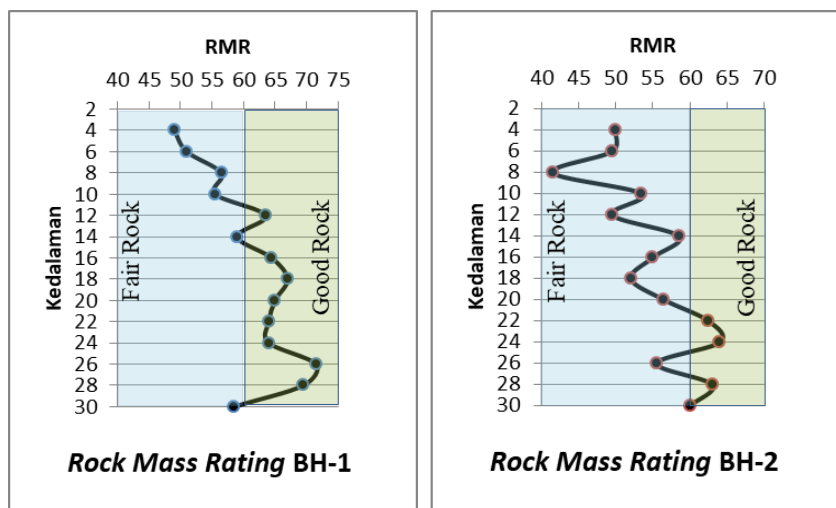
Tabel 4. Deskripsi tanah/batuan BH-2

Kedalaman (m)		Tebal (m)	Litologi	Deskripsi
dari	ke			
0	3	3	Tanah lempung lanauan (CW)	Teguh, kuning kecoklatan, lapuk sempurna, plastisitas sedang, agak lembab, ukuran butir lanau-lempung.
3	6	3	Tanah lempung lanauan (HW)	Kaku, abu gelap, lapuk tinggi, plastisitas rendah, agak lembab, ukuran butir lanau-lempung.
6	14	8	Batulempung lanauan (SW)	Lemah-cukup lemah, abu gelap, agak lapuk, ukuran butir lanau-lempung, agak lembab, intensitas kekar tinggi dengan isian mineral lempung.
14	30	16	Batulempung (F)	Cukup lemah-cukup tinggi, abu gelap, segar, kondisi kering, intensitas kekar tinggi dengan isian mineral lempung.

BH-2 memiliki tebal lapisan tanah 6m dengan ukuran butir lempung hingga lanau, kemudian tersusun oleh batulempung lanauan agak lapuk dan batulempung segar. Daerah ini didominasi oleh batulempung.

2. Rock Mass Rating

Perhitungan kualitas massa batuan dilakukan pada 2 lubang bor dengan kedalaman 30m. Hasil perhitungan *rock mass rating* (rmr) disajikan dalam grafik berikut,



Gambar 1. Grafik hasil perhitungan RMR BH-1 & BH-2

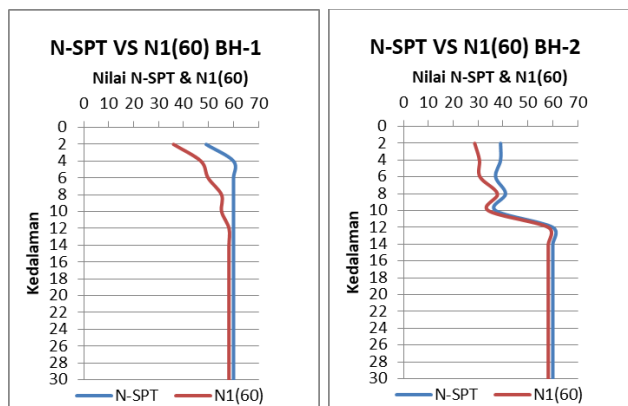
Kualitas massa batuan BH-1 memiliki rentang nilai antara 49- 71,5, termasuk kedalam kelas *Fair Rock* – *Good Rock* (Bieniawski, 1989), nilai RMR terendah berada pada kedalaman 4m dibawah permukaan dengan litologi batulempung agak lapuk, dan nilai RMR tertinggi berada pada kedalaman 26m dibawah permukaan dengan litologi batulempung lanauan segar.

Kualitas massa batuan BH-2 memiliki rentang nilai antara 41,5-64, termasuk kedalam kelas *Fair Rock* – *Good Rock* (Bieniawski, 1989), nilai RMR terendah berada pada kedalaman 24m dibawah permukaan dengan litologi batulempung

lanauan agak lapuk, dan nilai RMR tertinggi berada pada kedalaman 24m dibawah permukaan dengan litologi batulempung segar.

3. Koreksi N-SPT

Nilai SPT yang didapat dari uji lapangan garis dikoreksi terlebih dahulu sesuai SNI 4153-2008. Peralatan bor yang digunakan yaitu bor berdiameter 73 mm, panjang batang <3m, dengan jenis palu donat, dan jenis tabung sampel standard. Koreksi terhadap nilai N-SPT pada 2 lubang bor disajikan dalam **Gambar 2**, Pada dasarnya, setelah dilakukan koreksi pada nilai SPT, nilai tersebut akan menurun pada setiap nilai SPT.



Gambar 2. Grafik koreksi N-SPT

4. Daya Dukung Pondasi Dalam

Perhitungan daya dukung fondasi dalam dilakukan untuk jenis fondasi tiang pancang berdiameter 0,5 m pada setiap kedalaman berdasarkan nilai SPT yaitu setiap kedalaman 2 m sepanjang 30 m dengan angka faktor keamanan 3. Pada dasarnya, nilai daya dukung izin akan meningkat pada setiap kedalamannya dikarenakan tekanan *overburden* yang semakin meningkat disetiap kedalaman, sehingga mengakibatkan semakin tinggi pada tanah dan batuan. Hasil perhitungan daya dukung kedua lubang bor disajikan dalam **Tabel 5** dan **Tabel 6** berikut,

Tabel 5. Daya Dukung Pondasi Dalam BH-1

Depth (m)	N-SPT	N1(60)	Qs	Qp	Qu (ton)	Qa (ton)
2	49	35,9	56,42	14,75	71,17	23,72
4	60	46,9	147,40	32,80	180,20	60,07
6	60	49,8	234,68	51,09	285,76	95,25
8	60	55,2	346,83	69,12	415,95	138,65
10	60	55,2	433,54	86,40	519,94	173,31
12	60	58,2	548,52	103,68	652,20	217,40
14	60	58,2	639,94	120,96	760,90	253,63
16	60	58,2	731,36	138,24	869,60	289,87

18	60	58,2	822,78	155,52	978,30	326,10
20	60	58,2	914,20	172,80	1087,00	362,33
22	60	58,2	1005,62	190,07	1195,70	398,57
24	60	58,2	1097,04	207,35	1304,40	434,80
26	60	58,2	1188,46	224,63	1413,10	471,03
28	60	58,2	1279,88	241,91	1521,80	507,27
30	60	58,2	1371,31	259,19	1630,50	543,50
Rata-rata daya dukung izin						305,12

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung fondasi, rata-rata daya dukung izin yang diperoleh pada BH-1 ialah 305,12 ton.

Tabel 6. Daya Dukung Pondasi Dalam BH-2

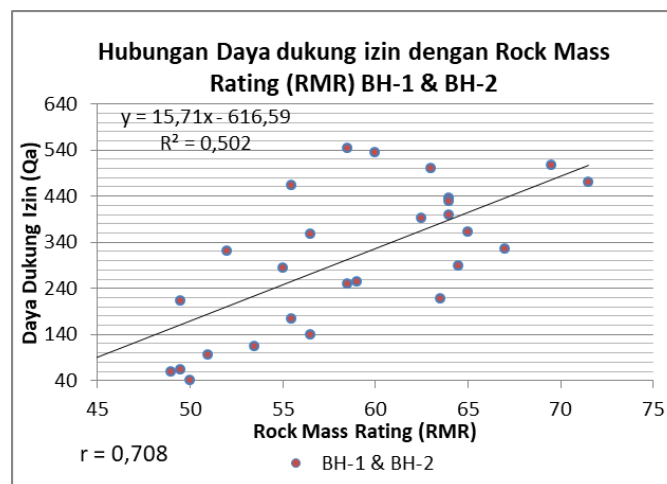
Depth (m)	N-SPT	N1(60)	Qs	Qp	Qu (ton)	Qa (ton)
2	39	28,5	44,90	10,02	54,92	18,31
4	39	30,4	95,81	26,40	122,21	40,74
6	37	30,7	144,72	44,69	189,40	63,13
8	41	37,7	237,00	62,29	299,29	99,76
10	37	34	267,35	77,86	345,21	115,07
12	60	58,2	548,52	93,44	641,96	213,99
14	60	58,2	639,94	109,01	748,95	249,65
16	60	58,2	731,36	124,58	855,95	285,32
18	60	58,2	822,78	140,16	962,94	320,98
20	60	58,2	914,20	155,73	1069,93	356,64

22	60	58,2	1005,62	171,30	1176,93	392,31
24	60	58,2	1097,04	186,88	1283,92	427,97
26	60	58,2	1188,46	202,45	1390,91	463,64
28	60	58,2	1279,88	218,02	1497,91	499,30
30	60	58,2	1371,31	233,59	1604,90	534,97
Rata-rata daya dukung izin						290,42

Berdasarkan hasil perhitungan daya dukung fondasi, rata-rata daya dukung izin yang diperoleh pada BH-2 ialah 209,42 ton.

5. Hubungan Rock Mass Rating dengan Daya Dukung Pondasi

Hubungan antara Rock Mass Rating dengan Daya Dukung izin berdasarkan pada analisis regresi linier sederhana, dengan nilai *rock mass rating* (rmr) sebagai variabel bebas dan nilai daya dukung izin (qa) sebagai variabel terikat. Hubungan antara keduanya diuji pada kedua lubang bor dan disajikan dalam grafik berikut,



Gambar 3. Grafik Hubungan RMR dengan qa BH-1 & BH-2

Dari grafik diatas, dihasilkan koefisien korelasi pada **Tabel 7**, kategori korelasi dari kedua lubang bor adalah kuat (Sugiyono, 2010) dengan koefisien korelasi 0,708. Sehingga, dapat diartikan bahwa semakin baik kualitas massa batuan, maka nilai daya dukung izin yang dihasilkan semakin besar, dan sebaliknya. Namun, nilai rock mass rating dengan daya dukung izin tidak selalu sebanding, dilihat dari grafik perbandingan terdapat titik yang jauh dari garis persamaan yang dihasilkan, hal ini berarti pada kedalaman tersebut terdapat frekuensi diskontinuitas yang tinggi, tetapi daya dukung

yang dihasilkan tetap besar berdasarkan uji spt.

Korelasi anatara *rock mass rating* (RMR) dengan daya dukung izin pada kedua lubangbor, menghasilkan persamaan yang dapat digunakan sebagai pendekatan awal untuk memperkirakan nilai daya dukung izin melalui nilai RMR pada daerah penelitian, persemiaan tersebut sebagai berikut,

$$qa = 15,71 (RMR) - 616,59.....(10)$$

KESIMPULAN

Kualitas massa batuan pada kedua lubang bor berkisar antara 41 – 71, dikategorikan sebagai *poor rock* – *fair rock* (Bieniawski, 1973). Nilai rata-rata daya dukung izin pada BH-1 sebesar 290 ton, sedangkan pada BH-2 sebesar 305 ton. Berdasarkan hasil analisis regresi terhadap nilai *rock mass rating* dan daya dukung izin kedua lubang bor, didapatkan angka koefisien korelasi sebesar 0,708 termasuk dalam kategori kuat (Sugiyono, 2010). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa semakin bagus kualitas massa batuan maka nilai daya dukung izin juga semakin besar, dan sebaliknya. Namun, hal ini tidak selalu sebanding dikarenakan kemungkinan adanya frekuensi diskontinuitas yang tinggi pada batuan di kedalaman tertentu yang menyebabkan kualitas batuan buruk, tetapi nilai daya dukung yang dihasilkan tetap besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. (2008). *Cara uji penetrasi lapangan dengan. SNI 4153:2008*.
- Basahel, H., & Mitri, H. (2017). Application of rock mass classification systems to rock slope stability assessment: A case study. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(6), 993–1009.
<https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.07.007>
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley & Sons.
- Bowles, J. E. 1984. Analisis dan Desain Pondasi. Jakarta: Erlangga
- Das, B. M. (1995). Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik. Penerbit Erlangga, 1–300.
- Hardiyatmo, H. C. (2001). Teknik Fondasi 1 Edisi Kedua. In *Gramedia Pustaka Utama*.
- Meyerhof, G. G. (1976). Bearing capacity and settlement of pile foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, 102(3), 197-228.
- Puspita, S. A., Sophian, R. I., & Haryanto, I. (2022). *Daya Dukung Pondasi Dalam Padat Pada Tanah Lapukan Formasi Citalang Berdasarkan N-SPT*. 6(2), 780–785.
- Sugiyono. (2010). Metode Penelitian Administrasi, Cetakan XVIII, Alfabeta, Bandung
- Supriatna, S., Sukardi, & Rustandi, E. (n.d.). *Peta_Geologi_Lembar_Samarinda,_Kalimantan_*.
- Zakaria, Z. (2006). *c dan ϕ untuk DAYA DUKUNG TANAH FONDASI DANGKAL*.