

# Analisis Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dan Deformasi Tanah Menggunakan Metode Analitis Pada Proyek Jalan Tol Medan-Kualanamu-Tebing Tinggi

AGUS DWI M<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, <sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan  
Jl. Muchtar Basri No. 3, Glugur Darat II, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

[agusdwi@gmail.com](mailto:agusdwi@gmail.com)

## ABSTRAK

*Pondasi tiang bor (bored piled) adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada tanah dan batuan yang terletak dibawahnya. Dalam pemilihan pondasi sangat dibutuhkan pengetahuan tentang jenis tanah, daya dukung pondasi yang harus lebih besar dari pada beban yang bekerja pada pondasi baik beban statik maupun beban dinamik, penurunan yang akan ditimbulkan akibat pembebanan tidak boleh melebihi penurunan yang diijinkan dan pengendalian mutu menjadi salah satu kunci penting keberhasilan pondasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya dukung pondasi dan besarnya penurunan yang terjadi pada pondasi. Pada penelitian ini digunakan metode analitis dan penurunan elastis kemudian menggunakan bantuan program analisis (software Plaxis). Data tanah yang diperoleh berupa data Standard penetration test (SPT) yang dikorelasikan kedalam parameter-parameter tanah yang dibutuhkan dalam program analisis. Berdasarkan data Standard penetration test (SPT) dan parameter kuat geser tanah dan dihitung dengan beberapa metode diperoleh hasil perhitungan untuk data Standard penetration test (SPT) dengan menggunakan metode Vesic pada titik BH-1  $Q_{ijin} = 676,7$  ton, BH-2  $Q_{ijin} =$  ton, BH-3  $Q_{ijin} = 640,5$  ton. Untuk parameter kuat geser tanah menggunakan program analisis pada pada titik BH-1 = 620,7 ton, BH-2 = 510,7 ton, BH-3 = 416,7 ton. Sedangkan Untuk penurunan elastis tiang tunggal pada titik BH-1  $S = 12,62$  mm, titik BH-2  $S = 13,11$  mm dan titik BH-3  $S = 12,98$  mm.*

**Kata Kunci:** *Daya dukung, bored pile, penurunan, vesic, davisson.*

# **Analysis Of Bored Pile Foundation And Soil Deformation Using Analytical Methods On Medan-Kualanamu-Tebing High Toll Road Project**

## **ABSTRAK**

*Bored piled foundation is part of an engineering system that transmits the load supported by the foundation and its own weight to the soil and rock that lies below it. In selecting the foundation, knowledge of the type of soil is needed, the bearing capacity of the foundation which must be greater than the load acting on the foundation, both static and dynamic loads, the decrease that will be caused by loading should not exceed the allowable decrease and quality control is one of the keys. critical to the success of the foundation. This study aims to determine the bearing capacity of the foundation and the magnitude of the settlement that occurs in the foundation. In this study used analytical methods and elastic reduction and then using the help of an analysis program (Plaxis software). Soil data obtained in the form of Standard penetration test (SPT) data which is correlated to the soil parameters required in the analysis program. Based on Standard penetration test (SPT) data and soil shear strength parameters and calculated by several methods, the calculation results for Standard penetration test (SPT) data using the Vesic method at the point BH-1  $Q_{ijin} = 676.7$  tons, BH-2  $Q_{ijin} =$  tons, BH-3  $Q_{ijin} = 640.5$  tons. For the parameters of the shear strength of the soil using the analysis program at the point BH-1 = 620.7 tons, BH-2 = 510.7 tons, BH-3 = 416.7 tons. Meanwhile, for the elastic drop of a single pile at point BH-1  $S = 12.62$  mm, point BH-2  $S = 13.11$  mm and point BH-3  $S = 12.98$  mm.*

**Keywords:** *Bearing capacity, Bored pile, settlement, Vesic, Davisson.*

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi dan ekonomi saat ini mengiringi kemajuan pembangunan. Ketersediaan akan sarana infrastuktur yang ada di Indonesia sekarang ini semakin meningkat. Hal tersebut seiring dengan berjalannya waktu dan zaman yang semakin maju dan kebutuhan masyarakat yang semakin meningkat serta berkembang pesat. Dengan adanya pengadaan infrastuktur tersebut dapat menunjang kehidupan Negara Indonesia lebih maju dibandingkan dengan sebelumnya. Jalan tol juga merupakan salah satu alternatif yang digunakan untuk mengatasi kemacetan yang semakin meningkat di Indonesia.

Demi mengembangkan perekonomian di wilayah Sumatera Utara, khususnya Medan dan sekitarnya. Pemerintah pusat terus berupaya menyediakan infrastruktur untuk mendukung pusat perekonomian Sumatera Utara antara lain, Bandara Internasional Kualanamu dan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi. Pembangunan jalan tol Trans-Sumatera dengan ruas Medan – Kualanmu – Tebing Tinggi sepanjang 61,72 kilometer ini terbagi menjadi tujuh seksi. Seksi 1 sampai seksi 6 sepanjang 52,85 kilometer yang terbentang dari Tanjung Morawa hingga Sei Rampah. Sedangkan seksi 7 terbentang dari Sei Rampah hingga Tebing Tinggi. Pondasi tiang bor sebagai pilihan jenis pondasi yang digunakan dalam pembangunan Jalan Tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi ini menjadi pilihan yang tepat karena direncanakan sesuai dengan fungsi pembangunan transportasi untuk kepentingan umum dalam masa

layan yang cukup lama sehingga penting diketahui dan dibahas hal-hal apa saja yang menyangkut daya dukung dan penurunannya, agar dapat dipertimbangkan nilai kegunaanya berdasarkan faktor keamanannya.

Pondasi adalah bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang oleh pondasi dan beratnya sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak dibawahnya (Bowles, 1997). Secara umum permasalahan pondasi dalam lebih rumit dari pondasi dangkal. Untuk hal ini penulis mencoba mengkonsentrasikan Tugas Akhir ini pada perencanaan pondasi dalam, yaitu pondasi bored pile. Pondasi bored pile adalah suatu pondasi yang dibangun dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, baru kemudian diisi dengan tulangan dan dicor.

Daya dukung bored pile diperoleh dari daya dukung ujung (end bearing capacity) yang diperoleh dari tekanan pada ujung tiang dan daya dukung geser atau selimut (friction bearing capacity) diperoleh dari daya dukung gesek antara bored pile dan tanah disekelilingnya. Bored pile berinteraksi dengan tanah untuk menghasilkan daya dukung yang mampu memikul dan memberikan keamanan pada struktur atas. Untuk menghasilkan daya dukung yang akurat maka diperlukan suatu penyelidikan tanah yang akurat juga. Ada dua metode yang biasa digunakan dalam penentuan kapasitas daya dukung bored pile yaitu dengan menggunakan metode statis dan metode dinamis. Berdasarkan latar belakang tersebut, maka penulis tertarik untuk meneliti

studi kasus di pembangunan Jalan tol Medan – Kualanamu – Tebing Tinggi seksi 6 (Sei Rampah) Medan Sumatra Utara

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Tanah**

Dalam pandangan Teknik Sipil tanah adalah himpunan mineral, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (loose), yang terletak diatas batuan dasar (bedrock). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap-ngendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara, ataupun keduanya (Hardiyatmo, 2008).

Dalam pengertian teknik secara umum, tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Das, Braja M. 1995).

Dalam bukunya Braja M. Das (1995) menjelaskan ukuran dari partikel tanah adalah sangat beragam dengan variasi yang cukup besar, tanah umumnya dapat disebut sebagai kerikil (gravel), pasir (sand), lanau (silt), atau lempung (clay), tergantung pada ukuran partikel yang paling dominan pada tanah tersebut. Untuk menerangkan tentang tanah berdasarkan ukuran-ukuran partikelnya, beberapa organisasi telah mengembangkan batasan-batasan ukuran golongan jenis tanah (soil-separate-size limits).

### **Penyelidikan Tanah (Soil Investigation)**

Penyelidikan tanah di lapangan dibutuhkan untuk data perancangan pondasi bangunan, seperti bangunan gedung, dinding penahan tanah, bendungan, jalan, dermaga, dan lain-lain. Bergantung pada maksud dan tujuannya, penyelidikan dapat dilakukan dengan cara-cara menggali lubang-cobaan (trial-pit), pengeboran, dan pengujian langsung dilapangan (in-situ test).

Dari data yang diperoleh, sifat-6 sifat teknis tanah dipelajari, kemudian digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam menganalisis daya dukung dan penurunan (Hardiyatmo, 1996). Tuntutan ketelitian penyelidikan tanah tergantung dari besarnya beban bangunan, tingkat keamanan yang diinginkan, kondisi lapisan tanah, dan dana yang tersedia untuk penyelidikan. Oleh karena itu, untuk bangunan-bangunan sederhana atau ringan, kadang-kadang tidak dibutuhkan penyelidikan tanah, karena kondisi tanahnya dapat diketahui berdasarkan pengalaman setempat.

### **Pengujian Penetrasi Kerucut Statis (Sondir)**

Uji Penetrasi Kerucut Statis atau Uji Sondir banyak digunakan di Indonesia. Pengujian ini berguna untuk menentukan lapisan-lapisan tanah berdasarkan tahanan ujung konus dan daya lekat tanah setiap kedalaman pada alat sondir (SNI 2827, 2008).

Hasil penyelidikan dengan Sondir ini digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan perlawanan penetrasi konus atau perlawanan tanah terhadap konus yang

dinyatakan dalam gaya persatuan panjang.

### **Pengujian Penetrasi Standar (SPT)**

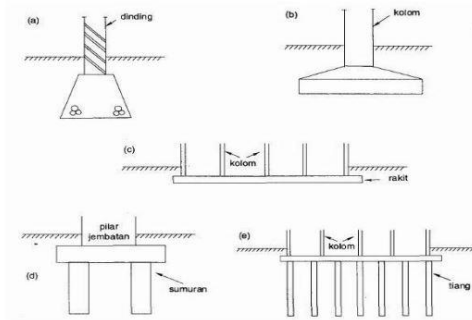
Pengujian Penetrasi Standar (SPT) adalah suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui, baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan.

Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah sedalam 300 mm vertikal. Dalam sistem beban jatuh ini digunakan palu dengan berat 63,5 kg, yang dijatuhkan secara berulang dengan tinggi jatuh 0,76 m. Pelaksanaan pengujian dibagi dalam tiga tahap, yaitu berturut-turut setebal 150 mm untuk masing-masing tahap (SNI 4153, 2008).

#### **Pondasi**

Pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang berada di bawahnya (Hardiyatmo, 1996).

Terdapat dua klasifikasi pondasi, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal didefinisikan sebagai pondasi yang mendukung bebannya secara langsung, seperti: pondasi telapak, pondasi memanjang dan pondasi rakit. Pondasi dalam didefinisikan sebagai pondasi yang meneruskan beban bangunan ke tanah keras atau batu yang terletak relatif jauh dari permukaan, contohnya pondasi sumuran dan pondasi tiang.



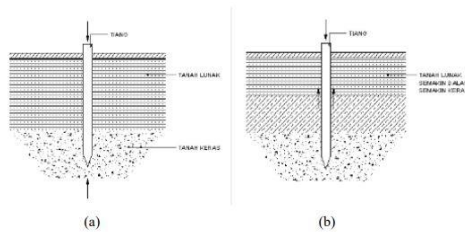
Gambar 2.4: Macam-macam tipe pondasi:

(a) Pondasi memanjang, (b) Pondasi telapak, (c) Pondasi rakit,  
(d) Pondasi sumuran, (e) Pondasi tiang.

### **Kapasitas Daya Dukung Tiang Dukung Ujung dan Tiang Gesek**

Ditinjau dari cara mendukung beban, tiang dapat dibagi menjadi 2 (dua) macam (Hardiyatmo, 2002), yaitu :

1. Tiang dukung ujung (end bearing pile) adalah tiang yang kapasitas dukungnya ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya tiang dukung ujung berada dalam zone tanah yang lunak yang berada diatas tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras lain yang dapat mendukung beban yang diperkirakan tidak mengakibatkan penurunan berlebihan. Kapasitas tiang sepenuhnya ditentukan dari tahanan dukung lapisan keras yang berada dibawah ujung tiang (Gambar 2.6a).
2. Tiang gesek (friction pile) adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek antara dinding tiang dan tanah disekitarnya (Gambar 2.6b). Tahanan gesek dan pengaruh konsolidasi lapisan tanah dibawahnya diperhitungkan pada hitungan kapasitas tiang.



Gambar 2.6: Tiang ditinjau dari cara mendukung bebannya, Gambar (a) Ujung, (b) Selimut (Hardiyatmo, 2002).

### Persamaan Daya Dukung Kelompok Tiang

Penggunaan kelompok tiang pada pondasi tiang bor didasarkan pada beberapa alasan berikut ini:

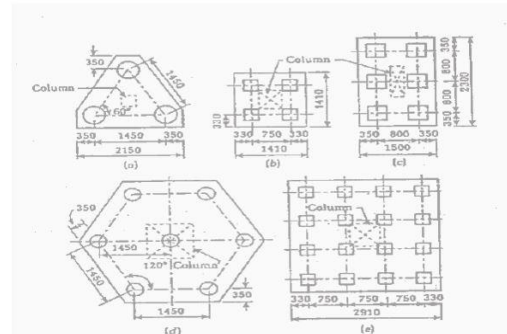
1. Apabila tiang tunggal tidak memiliki kemampuan kapasitas yang cukup untuk menahan beban kolom sehingga pada waktu instalasi yang dapat meleset dari posisinya sehingga dapat terjadi eksentrisitas terhadap pusat beban dari kolom dan ini akan menimbulkan momen tambahan, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang.
2. Apabila beban kolom yang besar dapat dipikul secara merata oleh beberapa tiang dalam kelompoknya, sehingga dapat mengurangi harga eksentrisitas yang terjadi, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang.
3. Apabila terjadi kegagalan dari 1 (satu) tiang yang dapat diminimalisir akibat adanya tiang-tiang lain dalam kelompoknya, maka sebaiknya menggunakan kelompok tiang. Kapasitas dari kelompok tiang yang digunakan tidaklah selalu sama dengan jumlah kapasitas tiang tunggal yang berada dalam kelompoknya apabila tiang bor pada tanah pendukung yang berbeda-beda. Jarak antar tiang bor didalam group tiang

sangat mempengaruhi perhitungan kapasitas daya dukung dari group tiang bor.

Untuk bekerja sebagai group tiang jarak antar tiang (Spacing) "S" ini, biasanya harus mengikuti peraturan bangunan yang berlaku, seperti:

1. Pada umumnya S bervariasi antara 2D (jarak minimum) sampai 6D (jarak maksimum).
2. Jarak tiang berdasarkan fungsi pilenya, apabila pile berfungsi sebagai friction pile maka jarak S minimal adalah 3D. Sedangkan jika sebagai End Bearing minimum jarak minimum S adalah 2,5D.
3. Jarak tiang berdasarkan jenis tanahnya, apabila pile terletak pada tanah liat keras jarak minimum S adalah 3,5D. Sedangkan apabila terletak ada daerah lapis padat jarak S minimum adalah 2D.

Pengaturan tiang disuatu poer (Kepala Tiang) dapat dilihat pada Gambar 2.7:



Gambar 2.7: Tipikal Pengaturan Kelompok Pondasi Tiang (Tomlinson, 2001).

Apabila pengaturan tiang pada suatu poer telah mengikuti persyaratan maka kapasitas daya dukung group tiang tidak sama dengan kapasitas daya dukung satu tiang dikalikan dengan banyaknya tiang pada group tersebut. Tetapi didefinisikan sebagai perkalian antara kapasitas daya dukung satu tiang dengan

banyaknya tiang dikalikan lagi efisiensi group tiang, atau dapat dituliskan sebagai Pers. 2.18 berikut:

$$Q_{ug} = Q_u \text{ 1 tiang} \times n \times \eta_g$$

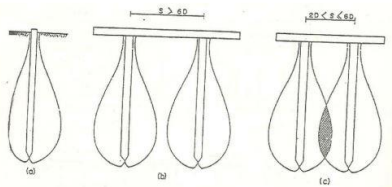
Dimana :

$Q_{ug}$  = kapasitas daya dukung kelompok tiang

$Q_u \text{ 1 tiang}$  = Kapasitas daya dukung ultimate 1 tiang

$n$  = Jumlah tiang dalam kelompok

$\eta_g$  = Efisiensi kelompok tiang Pada persamaan daya dukung kelompok tiang mengandung suatu efisiensi grup tiang yang mana dapat diterangkan seperti Gambar 2.8:



Gambar 2.8: Skematik Mobilisasi Tekanan yang Digambarkan Dalam Bentuk Diagram Tegangan Berupa Gelembung (Rekayasa Fundasi II : Fundasi Dangkal dan Fundasi Dalam, Gunadarma : Jakarta, 1997).

Berarti kapasitas daya dukung total tiang group = kapasitas daya dukung satu tiang dikalikan banyaknya tiang.

Namun pada gambar (c) terdapat potongan antara diagram tegangan antar tiang grup. Dalam hal ini berarti bahwa mobilisasi tekanan tidak dapat sepenuhnya (100%) karena ada satu daerah tegangan yang menjadi milik bersama sehingga perlu adanya yang disebut efisiensi grup tiang.

#### Faktor Keamanan

Daya dukung ijin pondasi tiang untuk beban aksial,  $Q_a$  atau  $Q_{ult}$ , dengan suatu faktor keamanan (FK) baik secara keseluruhan maupun secara terpisah dengan menerapkan faktor keamanan pada daya dukung selimut tiang dan pada tahanan ujungnya.

Untuk menentukan faktor keamanan dapat digunakan klasifikasi struktur

bangunan menurut Pugsley (1966) sebagai berikut:

1. Bangunan monumental, umumnya memiliki umur rencana melebihi 100 tahun, seperti Tugu Monas, Monumen Garuda Wisnu Kencana, jembatan-jembatan besar, dan lain-lain.
2. Bangunan permanen, umumnya adalah bangunan gedung, jembatan, jalan raya dan jalan kereta api, dan memiliki umur rencana 50 tahun.
3. Bangunan sementara, umur rencana bangunan kurang dari 25 tahun.

Faktor-faktor lain kemudian ditentukan berdasarkan tingkat pengendaliannya pada saat konstruksi.

1. Pengendalian baik: kondisi tanah cukup homogen dan konstruksi didasarkan pada program penyelidikan geoteknik yang tepat dan profesional, terdapat informasi uji pembebanan di dekat lokasi proyek dan pengawasan konstruksi dilaksanakan secara ketat
2. Pengendalian normal : Situasi yang paling umum, hampir serupa dengan kondisi diatas, tetapi kondisi tanah bervariasi dan tidak tersedia data pengujian tanah
3. Pengendalian kurang: Tidak ada uji pembebanan, kondisi tanah sulit dan bervariasi, tetapi pengujian geoteknik dilakukan dengan baik.
3. Pengendalian buruk: Kondisi tanah amat buruk dan sukar ditentukan, penyelidikan geoteknik tidak memadai.

Tabel 2.5: Faktor keamanan untuk pondasi tiang (Reese & O'Neil, 1999.; Pugsley, 1996).

Klasifikasi struktur bangunan	Bangunan monumental	Bangunan permanen	Bangunan sementara
FK (Pengendalian baik)	2.3	2.0	1.4
FK (Pengendalian normal)	3.0	2.5	2.0
FK (Pengendalian kurang)	3.5	2.8	2.4
FK (Pengendalian buruk)	4.0	3.4	2.8

Penurunan Tiang Elastis Untuk tiang dengan penurunan segera/ Elastis (Immediate/Elastic Settlement) penurunan yang dihasilkan oleh distorsi massa tanah yang tertekan, dan terjadi pada volume konstan. Termasuk penurunan pada tanah-tanah berbutir kasar dan tanah-tanah berbutir halus yang tidak jenuh, karena penurunan terjadi segera setelah terjadi penerapan beban. Persamaan penurunan segera atau penurunan elastis dari pondasi yang diasumsikan terletak pada tanah yang homogen, elastis dan isotropis pada media semi tak terhingga, dinyatakan dengan Pers. 2.22 sebagai berikut:

Penurunan tiang tunggal akibat beban yang bekerja vertikal

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (2.22)$$

Dimana :

$S$  = Penurunan tiang total

$S_1$  = Penurunan batang tiang

$S_2$  = Penurunan tiang akibat beban titik

$S_3$  = Penurunan tiang akibat beban yang tersalur sepanjang batang

### Penurunan Tiang Kelompok

Beberapa penyelidikan tentang penurunan tiang kelompok yang telah dilaporkan dalam literatur memiliki hasil yang sangat beragam. Hubungan yang paling sederhana untuk penurunan tiang kelompok diberikan oleh Vesic (1977) sebagai Pers. 2.31:

$$sg = s \cdot \sqrt{\frac{Bg}{D}}$$

Dimana :

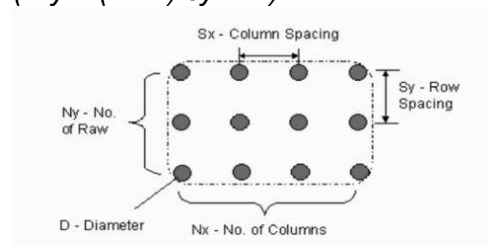
$sg$  = Penurunan elastik tiang kelompok

$s$  = Penurunan elastik tiang tunggal

$D$  = Diameter satu tiang dalam kelompok

$Bg$  = Lebar tiang kelompok, diambil dimensi terkecil antara  $Bx$  dan  $By$

$Bg = (Bx = (n-1) sx + D)$  atau  $(By = (n-1) sy + D)$



Gambar 2.10: Gambar dimensi kelompok tiang (Allpile, 2017).

### Parameter Tanah

Parameter tanah adalah ukuran atau acuan untuk mengetahui atau menilai hasil suatu proses perubahan yang terjadi dalam tanah baik dari sifat fisik dan jenis tanah. Dengan mengenal dan mempelajari sifat-sifat tersebut, keputusan 35 yang diambil dalam perancangan akan lebih ekonomis. Karena sifat-sifat tersebut maka penting dilakukan penyelidikan tanah (soil investigation).

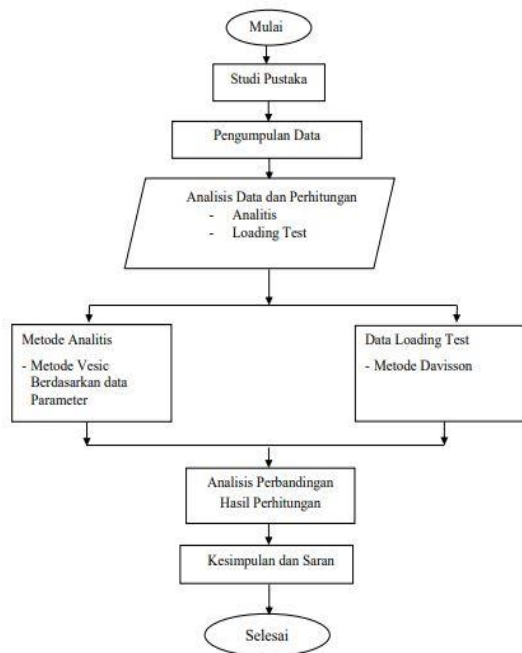
Dari uji lapangan yang dilakukan kita bisa mendapatkan parameter-parameter tanah yang dapat digunakan untuk analisis maupun desain. Interpretasi data geoteknik mempunyai tingkat ketelitian yang berbeda-beda tergantung pada uji yang dilakukan, kompleksitas material alami yang terjadi, perubahan setempat dan asal-usul bahan.



1. Modulus Young (E) Karena sulitnya pengambilan contoh asli di lapangan untuk tanah granuler maka beberapa pengujian lapangan telah dikerjakan untuk mengestimasi nilai modulus elastisitas tanah. Nilai perkiraan modulus elastisitas dapat diperoleh dari pengujian SPT (Standart Penetration Test).
2. Poisson's Ratio ( $\nu$ ) Rasio poisson sering dianggap sebesar 0,2 – 0,4 dalam pekerjaan – pekerjaan mekanika tanah. Nilai sebesar 0,5 biasanya dipakai untuk tanah jenuh dan nilai 0 sering dipakai untuk tanah kering dan tanah lainnya untuk kemudahan dalam perhitungan, ini disebabkan nilai dari rasio poisson sukar diperoleh untuk tanah (Hardiyatmo, 1994).
3. Kohesi (c) Kohesi merupakan gaya tarik menarik antar partikel tanah. Bersama dengan sudut geser tanah, kohesi merupakan parameter kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari kohesi didapat dari engineering properties, yaitu dengan triaxial test dan direct shear test.
4. Berat Isi Tanah Kering ( $\gamma_{dry}$ ) Berat isi tanah kering adalah perbandingan antara berat tanah kering dengan satuan volume tanah. Berat isi tanah kering diperoleh dari pengujian dilaboratorium.
5. Berat Isi Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) Berat isi tanah jenuh adalah perbandingan antara berat tanah jenuh air dengan satuan volume tanah seluruhnya. Di mana berat isi tanah kering juga diperoleh dari pengujian dilaboratorium.
6. Sudut Geser Dalam ( $\phi$ ) Sudut geser dalam bersama dengan kohesi merupakan faktor dari kuat geser tanah yang menentukan ketahanan tanah terhadap deformasi akibat tegangan yang bekerja pada tanah. Deformasi dapat terjadi akibat adanya kombinasi keadaan kritis dari tegangan normal dan tegangan geser. Nilai dari sudut geser dalam didapat dari engineering properties tanah, yaitu dengan triaxial test dan direct shear test.
7. Sudut Dilatasi ( $\psi$ ) Sudut dilatasi,  $\psi$  dinyatakan dalam derajat. Selain tanah lempung yang terkonsolidasi sangat berlebih, tanah lempung cenderung tidak menunjukkan dilatasi sama sekali yaitu  $\psi = 0$ . Dilatasi dari tanah pasir tergantung pada kepadatan serta sudut gesernya (Bakker dkk,2002).
8. Permeabilitas (k) Permeabilitas adalah kecepatan masuknya air pada tanah dalam keadaan jenuh. Penetapan permeabilitas dalam tanah baik vertial maupun horizontal sangat penting peranannya dalam pengelolaan tanah dan air.

#### **METODE PENELITIAN**

Diagram Alir Penelitian Tahapan perencanaan dapat disajikan secara sistematis dalam Gambar 3.1 di bawah ini:



Gambar 3.1: Diagram Alir Penelitian.

Data yang digunakan pada tugas akhir ini, keseluruhannya merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi data hasil loading test, data tanah yang merupakan hasil dari pengujian Standard Penetration Test (SPT) dan data pengujian laboratorium.

Metode yang digunakan pada pemodelan ini adalah Mohr Coulomb. Pada model ini diasumsikan perilaku tanah bersifat plastis sempurna. Adapun parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan ini yaitu, Modulus Young E (stiffness modulus), Poisson's ratio ( $\nu$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), kohesi (c), sudut dilatasi ( $\psi$ ) berat isi tanah ( $\gamma$ ).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Perhitungan Daya Dukung Menggunakan Data Parameter

Menghitung kapasitas daya dukung tiang bor dengan menggunakan data parameter dilakukan per lapisan tanah serta perhitungannya menggunakan

metode VESIC. Adapun data parameter yang digunakan diambil dari BH-1, BH-2 dan BH-3. Jenis tanah pada setiap lapisan bisa berbeda jenisnya. Untuk itu, perhitungan ini menggunakan dua jenis rumus yakni untuk jenis tanah nonkohesif (pasir) dan jenis tanah kohesif (lempung).

### Perhitungan Pada Titik BH-1

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-1.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	No	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	28,0	186,9	0,55	-	11,5	646,1	646,1	1689,4	233,6	77,85
4	22,0	146,3	0,55	-	11,5	505,8	1152,9	1322,6	247,5	82,49
6	28,0	-	-	118	-	234,1	1386,7	3865,4	525,23	175,1
8	24,0	-	-	94,5	-	285,1	1671,8	4159,1	583,1	194,4
10	21,0	-	-	76,0	-	325,5	1997,3	4248,7	624,6	208,2
12	27,0	-	-	93,4	-	340,6	2338,0	6071,5	840,9	280,3
14	37,0	-	-	129	-	343,4	2681,4	9433,9	1211,6	403,8
16	59,0	-	-	191	-	340,8	3022,3	15594,1	1861,4	620,4
18	60,0	-	-	182	-	345,0	3367,4	16935,3	2030,3	676,7
20	60,0	-	-	173	-	341,0	3708,5	18086,7	2179,5	726,5
22	60,0	-	-	165	-	329,3	4037,8	19140,8	2317,9	772,6
24	60,0	-	-	158	-	310,1	4348,0	20104,1	2445,2	815,1
26	60,0	-	-	151	-	284,0	4632,0	20988,5	2562,1	854,1
28	60,0	-	-	145	-	300,5	4932,5	21789,4	2673,1	891,0
30	60,0	-	-	139	-	323,4	5256,0	22540,7	2779,7	926,5

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.1 pada titik BH.1 dengan kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 2030,3 ton dan daya dukung izinnya sebesar 676,7 ton.

### Perhitungan Pada Titik BH-2

Untuk perhitungan daya dukung lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-2.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	No	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,0	17,83	0,55	-	8,39	61,6	61,6	117,4	17,9	59,7
4	8,0	51,66	0,55	-	10,5	178,5	240,1	427,8	66,7	22,2
6	11,0	-	-	66,7	-	219,2	459,3	2024,7	248,4	82,8
8	44,0	-	-	190,7	-	248,2	707,5	7305,7	801,3	267,1
10	49,0	-	-	198,3	-	287,6	995,2	9787,0	1078,2	559,4
12	55,0	-	-	211,0	-	314,8	1310,0	12678,5	1398,8	466,2
14	60,0	-	-	202,7	-	336,2	1646,2	14506,6	1615,2	538,4
16	60,0	-	-	191,1	-	348,2	1994,5	15875,0	1786,9	595,6
18	60,0	-	-	181,1	-	351,6	2346,1	17118,8	1946,5	648,8
20	60,0	-	-	172,2	-	346,8	2693,0	18254,3	2094,7	698,2
22	60,0	-	-	164,2	-	334,3	3027,3	19294,3	2232,1	744,0
24	60,0	-	-	156,9	-	314,5	3341,8	20246,5	2358,8	786,2
26	60,0	-	-	150,3	-	287,6	3629,5	21118,1	2474,7	824,9
28	60,0	-	-	144,2	-	304,0	3933,5	21918,0	2585,1	861,7
30	60,0	-	-	138,5	-	327,0	4260,5	22649,6	2691,0	897,0

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.2 pada titik BH.2 dengan

kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 1946,5 ton dan daya dukung izinnnya sebesar 648,8 ton.

### Perhitungan Pada Titik BH-3

Tabel 4.3: Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data Parameter BH-3.

Depth (m)	N rata-rata	Cu	a	Ns	Nc	Skin Friction (kN)		End Bearing (kN)	Qult (ton)	Q all (ton)
						Local	Cumm			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3,0	17,83	0,55	-	8,39	61,6	61,6	117,4	17,9	5,97
4	6,0	38,13	0,55	-	10,5	131,7	193,7	300,1	49,3	16,4
6	12,0	-	-	67,9	-	219,2	412,6	2062,6	247,5	82,5
8	18,0	-	-	82,6	-	263,2	675,8	3354,6	403,0	134,3
10	44,0	-	-	176,2	-	281,7	957,5	8513,4	947,1	315,7
12	33,0	-	-	189,8	-	310,0	1267,8	11238,2	1250,6	416,8
14	60,0	-	-	204,6	-	327,9	1595,7	14283,9	1587,9	529,3
16	60,0	-	-	192,8	-	340,8	1936,5	15673,1	1760,9	586,9
18	60,0	-	-	182,5	-	345,0	2281,6	16935,3	1921,7	640,5
20	60,0	-	-	173,5	-	341,0	2622,7	18086,7	2070,9	690,3
22	60,0	-	-	165,4	-	329,3	2952,0	19140,8	2209,2	736,4
24	60,0	-	-	158,0	-	310,1	3262,2	20104,1	2336,6	778,8
26	60,0	-	-	151,3	-	284,0	3546,2	20988,5	2453,4	817,8
28	60,0	-	-	145,1	-	300,5	3846,7	21798,3	2564,5	854,8
30	60,0	-	-	139,4	-	323,4	4170,2	22540,6	2671,0	890,3

Adapun penjelasan mengenai tabel 4.3 pada titik BH.3 dengan kedalaman 18 meter dengan panjang bersih tiang 15 meter untuk jenis tanah pasir memiliki nilai NSPT 60 menghasilkan daya dukung ultimate sebesar 1921,7ton dan daya dukung izinnnya sebesar 640,5 ton.

### Perhitungan Daya Dukung Kelompok Tiang

#### Perhitungan Pada Titik BH 1

$$Q_g = Q_{ult} \text{ 1 Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (\phi/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2,5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 20302,54 \times 24 \times 0,41 = 199778,9 \text{ kN} = 19977 \text{ ton}$$

#### Perhitungan Pada Titik BH 2

$$Q_g = Q_{ult} \text{ 1 Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (\phi/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2,5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 19465,01 \times 24 \times 0,41 = 191536,7 \text{ kN} = 19153 \text{ ton}$$

#### Perhitungan Pada Titik BH 3

$$Q_g = Q_{ult} \text{ 1 Tiang} \times n \times \eta_g$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Arc Tan } (\phi/s)}{90} \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n}\right)$$

$$\eta_g = 1 - \frac{\text{Tan}^{-1} (1/2,5)}{90} \left(2 - \frac{1}{12} - \frac{1}{2}\right) = 0,41$$

$$Q_g = 19216,9 \times 24 \times 0,41 = 189098,3 \text{ kN} = 18909 \text{ ton}$$

### Metode Davisson.

a. Gambarkan kurva beban-penurunan.

b. Tentukan penurunan elastis dari tiang dengan Pers. 2.15

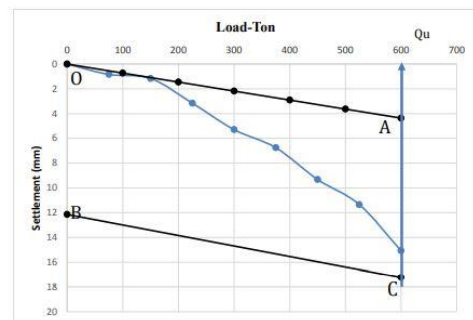
$$\Delta = \frac{5880 \times 15}{0,785 \times 25742900} = 0,00436 \text{ m} = 4,36 \text{ mm}$$

c. Gambarkan sebuah garis OA berdasarkan persamaan diatas

d. Gambarkan sebuah garis BC yang sejajar dengan OA pada jarak sejauh x menggunakan Pers. 2.16

$$x = 0,15 + \frac{39,3701}{120} = 0,478 \text{ in} = 12,1 \text{ mm}$$

e. Beban runtuh ditentukan dari perpotongan garis BC pada kurva beban penurunan (Gambar 4.4)



Gambar 4.4: Interpretasi daya dukung dengan metode Davisson.

Dengan menggambar garis perpotongan antara kurva penurunan dengan garis BC maka diperoleh nilai daya dukung ultimate (Qu) dengan metode Davisson sebesar = 600 ton.

Tabel 4.4: Perbandingan daya dukung ultimate.

Titik	Panjang tiang (m)	Metode Analitis		Analitis dan Davisson (%)	Kelompok tiang (ton)
		Vesic (Ton)	Loading Test Davisson (Ton)		
BH-1	15	676	600	12,667	19,977
BH-2	15	648	600	8,000	19,153
BH-3	15	640	600	6,667	18,909
Rata-Rata				9,111	19,346

## KESIMPULAN

Dari hasil analisis, dapat di ambil kesimpulan bahwa hasil perhitungan daya dukung pondasi bored pile dengan metode analitis (Vesic) & Loading Test metode Davisson pada ketiga titik adalah :

Analitis

- BH 1 = 676 ton
- BH 2 = 648 ton
- BH 3 = 640 ton

Loading Test

- BH 1 = 600 ton
- BH 2 = 600 ton
- BH 3 = 600 ton

Dari hasil perhitungan ada selisih perbandingan antara metode analitis dan Loading Test yaitu BH 1 = 12,667 %, BH 2 = 8,00 %, dan BH 3 = 6,667 %.

Penurunan tiang tunggal yang terjadi pada ketiga titik dengan panjang tiang 15 m adalah:

Penurunan elastis

- BH 1 = 12,62 mm
- BH 2 = 13,11 mm
- BH 3 = 12,98 mm

penurunan Loading test

- BH 1 = 15,07 mm
- BH 2 = 15,07 mm
- BH 3 = 15,07 mm

Maka selisih perbandingan antara penurunan elastis dan penurunan menggunakan metode Loading Test, BH-1= 19,41 %, BH-2= 14,95 %, dan BH-3= 16,10 %

## DAFTAR PUSTAKA

### BUKU

- Bakker, K. J, dkk. (2007) Plaxis Tutorial Manual, 2D Version 8, Delft, Netherlands: Plaxis b.v
- Bowles, J. E. (1997) Analisis Dan Desain Pondasi, Edisi Keempat Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Bridge Menagemen System. (1992) Desain Of Pile Foundation, Indonesia dan Australia.
- Das, B. M. (2007) Principles of Foundation Engineering, SI, Seventh, Edition United States of America: ©2011, 2007 Cengage Learning.
- Das, B. M. (2007) Principles of Foundation Engineering, Sixth Edition, North America: © 2007 by Nelson.
- Das, B. M. (1995) Mekanika Tanah (Prinsi-prinsip Rekayasa Geoteknik), Jilid 1, Jakarta: Erlangga.
- Poulos, H. G. dan Davis, E. H. (1980) Pile Foundation Analysis And Design, Rainbow Bridge Book Co.
- Soedarmo, G. D. dan Purnomo, J. E. (1993) Mekanika Tanah 1, Malang: Kanisius.
- Sosrodarsono, S. dan Nakazawa, K. (2000) Mekanika Tanah Dan Teknik Pondasi, Jakarta: PT. Pradnya Paramita.

### JURNAL

- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M., Harahap, P., & Nasution, M. R. (2019). Analisa Pengaruh Perubahan Kecepatan Angin Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) Terhadap Daya Yang Dihasilkan Generator Dc.
- Adam, M. (2020). Unjuk Kerja Generator Clok Sinyal Low Pass Filter, Pam Multiplexing Pada Rangkaian Percobaan Pulse Code Modulation (PCM) Aplikasi pada Laboratorium Dasar Sistem Telekomunikasi. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 2(2), 51-57.
- Adam, M. (2019, October). Pemanfaat Mikrokontroler Atmega8 Sebagai Pengaman Pintu Menggunakan Metode Sidik Jari (Fingerprint). In Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 279-289).
- Adam, M., & Prabowo, A. (2019). Analisa Penambahan Trafo Sisi Sisi Distribusi 20 Kv Mengurangi Beban Overload Dan Jutah Tegangan Pada Trafo BI 11 Rayon Tanah Jawa Dengan Simulasi Etap 12.6. 0. RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro, 1(2), 62-69.
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah TanggaDi Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT, 2(2), 123-128.
- Asfiati, S., & Mutiara, D. T. (2021). STUDI KESELAMATAN DAN KEAMANAN TRANSPORTASI DI PERLINTASAN SEBIDANG ANTARA JALAN REL DENGAN JALAN UMUM (Studi Kasus Perlintasan Kereta Api Di Jalan Padang, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung). PROGRESS IN CIVIL ENGINEERING JOURNAL, 1(2).
- Affandi, A., Umurani, K., & Siregar, C. A. P. (2020). Perancangan Mesin Pengaduk Bumbu Kripik Ubi Untuk Peningkatan Produksi Industri Rumah TanggaDi Desa Sidodadi Ramunia Kecamatan Beringin. IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT, 2(2), 123-128.
- Ariani, R., & Riza, F. V. (2019, October). Peningkatan Derajat Kesehatan Melalui Sosialisasi Perilaku Hidup Bersih Dan Sehat Sejak Dini. In Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 319-322).
- Azis, Z., Panggabean, S., & Sumardi, H. (2021). EFEKTIVITAS REALISTIC

- MATHEMATICS EDUCATION TERHADAP HASIL BELAJAR MATEMATIKA SISWA SMP NEGERI 1 PAHAE JAE. *Journal Mathematics Education Sigma [JMES]*, 2(1), 19-24.
- Damanik, W. S., Pasaribu, F. I., Lubis, S., & Siregar, C. A. (2021). Pengujian Modul Solar Charger Control (SCC) Pada Teknologi Pembuangan Sampah Pintar. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*, 3(2), 89-93.
- Faisal, A. (2019). Influence of repeated earthquakes on the ductility demand of inelastic RC buildings. *KUMPULAN JURNAL DOSEN UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA*.
- Fitra, M., & Nasution, E. S. (2019, October). Pengembangan Produksi Dodol Mangrove Melalui Penerapan Teknologi Tepat Guna. In *Prosiding Seminar Nasional Kewirausahaan (Vol. 1, No. 1, pp. 350-354)*.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S. (2018). Analisa Portal yang Memperhitungkan Kekakuan Dinding Bata dari Beberapa Negara Pada Bangunan Bertingkat Dengan Pushover. *Kumpulan Jurnal Dosen Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Frapanti, S., Asfiati, S., & Hadipramana, J. (2020). Pendampingan Legalitas Mutu Berstandart SNI Guna Meningkatkan Pendapatan Home Industri Batu Bata Di Desa Sido Urip Kecamatan Beringin Kabupaten Deli Serdang. *JURNAL PRODIKMAS Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5(1), 41-46.
- Gunawan, S., Hasan, H., & Lubis, R. D. W. (2020). Pemanfaatan Adsorben dari Tongkol Jagung sebagai Karbon Aktif untuk Mengurangi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 3(1), 38-47.
- Lubis, S., Damanik, W. S., & Siregar, M. A. (2021, January). DESIGN OF QIBLAT DIRECTION USING HMC 5883L SENSOR. In *Proceeding International Seminar of Islamic Studies (Vol. 2, No. 1, pp. 178-184)*.
- Lubis, S., Pasaribu, F. I., Harahap, P., Damanik, W. S., Siregar, R. S., Siregar, M. A., ... & Batubara, S. S. (2020). Pelatihan Penggunaan Sensor HMC 5883L Sebagai Petunjuk Arah Kiblat Sumatera Utara. *IHSAN: JURNAL PENGABDIAN MASYARAKAT*, 2(2), 229-237.
- Lubis, S. (2018). Analisa Tegangan Keluaran Alternator Mobil Sebagai Pembangkit Energi Listrik Alternatif. *RELE: Rekayasa Elektrikal dan Energi Jurnal Teknik Elektro* <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RELE>.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 8 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(1), 44-53.
- Lubis, S. (2019). Analisis Pengaruh Besar Gesekan Terhadap Tegangan Thermal Pada Sepatu Rem Mobil Ketebalan 2 mm Menggunakan Perangkat Lunak Msc. Nastran V. 9. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 2(2), 104-114.

- Lubis, S., Siregar, I., & Siregar, A. M. (2020). Karakteristik Unjuk Kerja 2 Pompa Sentrifugal Dengan Susunan Seri Sebagai Turbin Pat. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(2), 85-92.
- Lubis, S., Siregar, C. A., Siregar, I., & Hasibuan, E. S. (2020). Kajian Eksperimen Deffoormasi Tekanan Pada Struktur Sarang Lebah Dengan Variasi Ukuran Hexagonal Yang Diuji Secara Statis. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(1), 01-10.
- Lubis, S., Siregar, A. M., Siregar, C. A., & Siregar, I. (2021). Kajian Eksperimen Kemampuan Penyerapan Energi Pada Struktur Sarang Lebah Yang Diuji Secara Statis. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 4(1), 64-72.
- Siregar, M. A., & Riawansyah, R. (2018). Simulasi Perpindahan Panas Pada Heater Injection Molding Menggunakan Software Solidworks. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 1(1), 39-46.
- Lubis, R. D. W., Syam, B., & Gunawan, S. (2020). Simulasi Respon Mekanik Komposit Busa Polimer Diperkuat Serat Tkks Dengan Variasi Konsentrasi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi, 3(1), 29-37.

#### **SNI**

- SNI 4153. (2008) Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan SPT.
- SNI 2827. (2008) Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir.