

ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS TIANG PANCANG TUNGGAL DARI BEBERAPA METODE TERHADAP DATA KALENDERING DI UNDERPASS JALAN LINTAS TIMUR SUMATERA STA 11+140 BINJAI-STABAT

Alwi Aditiya, Darlina Tanjung, Jupriah Sarifah

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara

17101036.alwiaditiya@gmail.com; darlinatanjung@yahoo.com

jupriah.sarifah@gmail.com

Abstrak

Fondasi tiang pancang atau *Spun Pile* dipergunakan untuk mendukung konstruksi bangunan, apabila letak dari lapisan tanah keras sangat dalam. Fungsi dari tiang pancang adalah untuk mentransferkan beban-beban yang berada di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang dalam. Analisis kapasitas tiang memerlukan data kalendering berupa data pemancangan di lapangan yang dilakukan pada saat tiang mencapai tanah keras dengan nilai penetrasi dan rebound diambil untuk 10 kali pukulan. Berdasarkan data kalendering dilakukan analisis kapasitas tiang tunggal menggunakan beberapa metode. Hasil analisis kapasitas dukung dari metode yang satu dibandingkan dengan metode lainnya dan hubungannya dengan penetrasi tiang. Metode Hiley atau metode persamaan Hiley (1930) adalah metode yang tepat digunakan karena metode ini mempertimbangkan luasan penampang tiang (A), panjang tiang (L) dan bantalan kepala tiang (koefisien restitusi) serta tinggi jatuh pemukul (h). Hubungan kapasitas tiang tunggal dengan penetrasi tiang didapatkan bahwa semakin kecil nilai penetrasi tiang, maka kapasitas tiang semakin besar. Hal ini didapatkan pada semua metode yang digunakan, walaupun cara perhitungan dan metode yang berbeda-beda.

Kata Kunci : Kalendering, Kapasitas Tiang, Tunggal, Penetrasi Tiang.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur seperti Jalan Tol sangat membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan fondasi yang kuat. Salah satu infrastruktur Jalan Tol adalah jembatan *underpass* yang bertujuan memperbaiki elevasi permukaan jalan, sehingga didapatkan permukaan jalan yang rata untuk memberikan raya nyaman dan aman bagi pengendara, jembatan *underpass* membutuhkan fondasi bangunan yang kuat dan kokoh untuk memikul seluruh beban bangunan dan meneruskannya ke dalam tanah sampai ke lapangan atau ke dalaman tertentu.

Pembangunan Jalan Tol Binjai-Stabat memiliki beberapa *underpass* salah satunya *underpass* Jalan Lintas Timur Sumatera. Bangunan ini menggunakan fondasi tiang pancang beton pracetak pada ABT-A1 dan ABT-A2. Fondasi tiang pancang berfungsi untuk memindahkan atau mentransferkan beban-beban yang berada di atasnya (*super structure*) ke lapisan tanah yang lebih dalam (Pratama, et al., 2016). Kapasitas tiang pancang dihitung menggunakan data kalendering, data pengujian Kalendering diambil untuk 10 kali pukulan (Lukman, 2017).

Analisis dilakukan dengan beberapa persamaan dari rumus dinamik karena beberapa persamaan ini memiliki kekurangan dalam menganalisa kapasitas tiang pancang tunggal (Q_a) dengan data kalendering, adapun persamaan-persamaan yang akan dilakukan yaitu dengan metode persamaan Hiley (1930), dari

Gates (1957), persamaan *Nevy-Mckay* dan persamaan *Janbu* (1953), dari hasil perhitungan kapasitas tiang pancang tunggal ($Q_{rata-rata}$) dihubungkan dengan penetrasi tiang (s).

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dan penting untuk menganalisis kapasitas tiang tunggal (Q_a) dan hubungan kapasitas tiang pancang ($Q_{antara-rata}$) dengan penetrasi tiang (s) berdasarkan data kalendering, selain itu tulisan ini akan membandingkan metode persamaan yang satu dengan yang lainnya untuk dapat menentukan kapasitas tiang pemilihan metode yang tepat.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan urutan belakang yang telah dipaparkan, maka diambil beberapa rumusan masalah sebagai berikut :

1. Peningkatan pelayanan transportasi yang aman dan nyaman membutuhkan suatu bangunan yang kokoh dengan fondasi yang kuat.
2. Pembangunan jalan tol yang berada diatas *underpass* itu merupakan suatu beban dari pada konstruksi di bawahnya.
3. Kondisi tanah dan kedalaman tanah keras menjadi pertimbangan dalam perencanaan fondasi dalam.
4. Perencanaan fondasi perlu memerlukan kapasitas tiang sebagai dasar pertimbangan seberapa banyak tiang yang mampu memikul beban konstruksi di atasnya.

5. Kapasitas tiang diketahui apabila data-data yang memadai untuk mendapatkan nilai kapasitas tiang tunggal.

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan-batasan permasalahan dalam penulisan tugas skripsi ini adalah;

1. Kapasitas tiang pada tiang pancang salah satunya diketahui berdasarkan data kalendering.
2. Analisis kapasitas tiang pancang tunggal hanya menggunakan metode persamaan *Hiley* (1930), persamaan *Gates* (1957), persamaan *Navy-Mckay* dan persamaan *Janbu* (1953).
3. Hubungan kapasitas tiang dengan penetrasi tiang berdasarkan titik pemancangan.
4. Kapasitas tiang pada tiang pancang hanya ditentukan berdasarkan data kalendering. Fondasi *eksisting* (tiang pancang yang terpasang pada proyek) menggunakan fondasi dengan diameter 60 cm dengan panjang tiang yang memiliki dua variasi panjang yaitu 8 m dan 12 m dan berjumlah 64 tiang.
5. Analisis kapasitas tiang dilakukan pada ABT-A1 dan ABT-A2 Pada *underpass* di Jalan Lintas Timur Sumatera, Karang Rejo, Kecamatan Stabat, Kabupaten Langkat Sumatera Utara.

2.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari Skripsi ini adalah:

1. Mengetahui kapasitas tiang pancang (Q_a) berdasarkan data kalendering.
2. Mengetahui hubungan kapasitas tiang tunggal (Q_a) dengan penetrasi tiang (s).
3. Mengetahui perbandingan analisis kapasitas tiang tunggal dari metode yang digunakan.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian dan Jenis-Jenis Fondasi Tiang Pancang

Tiang pancang adalah bagian-bagian konstruksi yang dibuat dari kayu, beton, dan baja, yang digunakan untuk mentransmisikan benda-benda permukaan ke tingkat-tingkat permukaan yang lebih rendah dalam massa tanah (*Bowles, 1984*).

Menurut *Hardiyatmo (2015)*, fondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Fondasi tiang juga digunakan untuk bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin. Selain itu, tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, di mana pada bangunan ini, tiang-tiang dipengaruhi oleh gaya-gaya benturan kapal dan gelombang air.

1. Tiang Pancang Kayu

Tiang kayu adalah tiang yang dibuat dari kayu, umumnya berdiameter antara 10 - 25 cm. Tiang kayu cerucuk, yang banyak dipakai di Indonesia

untuk perbaikan kapasitas dukung tanah lunak berdiameter antara 8 – 10 cm dan panjang 4 m.

Tiang pancang kayu lebih murah dan mudah penanganannya, permukaan tiang dapat dilindungi ataupun tidak dilindungi tergantung dari kondisi tanah. Tiang kayu ini dapat mengalami pembusukan atau rusak akibat dimakan serangga. Tiang kayu yang selalu terendam air biasanya lebih awet. Untuk menghindari kerusakan pada waktu pemancangan ujung tiang dilindungi dengan sepatu dari besi. Beban maksimum yang dapat dipikul oleh tiang kayu tunggal dapat mencapai 270-300 kN (*Hardiyatmo, 2015*).

2. Tiang Beton Pracetak

Tiang pancang beton precast adalah tiang dari beton yang dicetak di suatu tempat dan kemudian diangkut ke lokasi rencana bangunan. Tiang beton, umumnya berbentuk prisma atau bulat. Ukuran diameter yang biasanya dipakai untuk tiang yang tidak berlubang di antara 20 sampai 60 cm. Untuk tiang yang berlubang, diameternya dapat mencapai 140 cm. Panjang tiang beton pracetak biasanya bersekitar antara 20 sampai 40 m. Untuk tiang beton berlubang bisa sampai 60 m. Beban maksimum untuk tiang ukuran kecil berkisar di antara 300 kN sampai 800 kN (*Hardiyatmo, 2015*).

3. Tiang Baja Profil H

Tiang baja profil termasuk tiang pancang, dengan bahan yang dibuat dari baja profil. Tiang ini mudah penanganannya dan dapat mendukung beban pukulan yang besar waktu dipancang pada lapisan yang keras. Tiang baja profil H, empat persegi panjang, segi enam dan lain-lainnya (*Hardiyatmo, 2015*).

Menurut *Sardjono, (1988)* kebanyakan penampang tiang pancang baja berbentuk profil H, karena terbuat dari baja maka kekuatan dari tiang ini sendiri adalah sangat besar sehingga dalam transport dan pemancangan tidak menimbulkan bahaya patah seperti halnya pada tiang pancang beton precast namun tiang baja ini lemah terhadap karat (korosi).

4. Tiang Komposit

Composite pile adalah tiang pancang yang terdiri dari dua bahan yang berbeda yang bekerja bersama-sama sehingga merupakan satu tiang. Kombinasi bahan tiang pancang atau tiang bor dengan tiang pancang dapat digunakan untuk mengatasi masalah-masalah pada kondisi tanah tertentu. Problem pembusukan tiang kayu di atas muka air tanah misalnya, dapat diatasi dengan memancang tiang komposit yang terdiri tiang beton di bagian atas yang disambung dengan tiang kayu di bagian bawah zona muka air tanah (*Hardiyatmo, 2015*).

2.2 Alat Pancang Tiang

Pemancangan tiang kedalam tanah, tiang dipancang dengan alat pemukul yang dapat berupa pemukul (*hammer*) mesin uap, pemukul getar atau pemukul yang hanya dijatuhkan. Tiang dan

pemukul dipasang pada peralatan *crane* yang dilengkapi dengan rangka batang baja sebagai pengatur jatuhnya pemukul ke kepala tiang yang disebut *lead*

Elemen-elemen penting dalam sistem pemancangan adalah: *lead*, *anvil*, topi (*helmet*), *ram* dan untuk tiang beton, bantalan tiang (*pile cushion*). Berikut ini penjelasan masing – masing elemen.

1. Pemukul Jatuh (*drop hammer*)

Pemukul jatuh terdiri dari blok pemberat yang dijatuhkan dari atas. Pemberat ditarik dengan tinggi jatuh tertentu kemudian dilepas dan meenumbuk tiang. Pemakaian alat tipe ini membuat pelaksanaan pemancangan berjalan lambat, sehingga alat ini hanya dipakai pada volume pekerjaan pemancangan yang kecil (*Hardiyatmo, 2015*).

Menurut *Sardjono (1988)*, menyatakan bahwa prinsip kerjanya Drop Hammer ditarik ke atas dengan kabel dan kerekan sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian pemukul tersebut jatuh bebas menimpa kepala tiang pancang. Alat pancang ini bekerjanya sangat lambat jika dibandingkan dengan alat-alat pancang lainnya dan jarang dipergunakan dalam pembangunan kontruksi berat dan modern.

2. Pemukul Aksi Tunggal (*single acting hammer*)

Pemukul aksi tunggal berbentuk memanjang dengan ram yang bergerak naik oleh udara atau uap yang terkompresi, sedangkan gerakan turun *ram* disebabkan oleh beratnya sendiri. Energi pemukul aksi tunggal adalah sama dengan berat *ram* dikalikan tinggi jatuhnya (*Hardiyatmo, 2015*)

Uap atau tekanan udara digunakan untuk mengangkat balok besi panjang sampai ketinggian yang diperlukan. Balok besi panjang tersebut kemudian jatuh karena gravitasi ke dalam landasan, yang mentransmisikan energi tumbukan ke blok sungkup, dan kemudian ke tiang pancang. Panjang palu haruslah sesuai dengan kecepatan tumbukan, yang tidak sesuai akan memberikan energi pendorong yang kecil (*Bowles, 1984*).

3. Pemukul Aksi Dobel (*double acting hammer*)

Pemukul aksi dobel menggunakan uap atau udara untuk mengangkat *ram* dan untuk mempercepat gerakan ke bawahnya. Kecepatan pukulan dan energi *output* biasanya lebih tinggi daripada pemukul aksi tunggal (*Hardiyatmo, 2015*)

Menurut *Sardjono (1988)*, menyatakan bahwa prinsip kerjanya hammer diangkat ke atas dengan tenaga uap sampai mencapai tinggi jatuh tertentu, kemudian penumbuk (*hammer*) tersebut ditekan ke bawah dengan tenaga uap pula. Jadi di sini hammer jatuh dengan kecepatan yang lebih besar daripada *Single Acting Hammer* dan *Drop Hammer*..

4. Pemukul Getar (*vibratory hammer*)

Pemukul getar merupakan unit alat pancang yang bergetar pada frekuensi tingg. Estimasi kapasitas dukung tiang umumnya didasarkan pada kumlah pukulan yang dibutuhkan yang memancang tiang pada penetrasi yang ditentukan. Setiap jatuhnya pemukul akan memberikan energi pada tiang pancang. Jumlah pukulan total adalah energi total

untuk menggerakkan tiang pada penetrasi tertentu. Energi ini dapat dikaitkan dengan tahanan tanah dan kapasitas dukung.

Kehilangan energi akan terjadi, bila sistem pemukul tidak lurus, tebal bantalan terlalu berlebih, dan lain-lain. Semakin tinggi hilangnya energi pemukulan, semakin besar jumlah pukulan yang dibutuhkan untuk penetrasi tiang. Tingginya jumlah pukulan ini dapat menyedatkan dalam penentuan kedalaman tiang pancang yang memenuhi syarat kapasitas dukung (*Hardiyatmo, 2015*).

4. Pemukul diesel (*diesel hammer*)

Pemukul diesel terdiri dari silinder, *ram*, blok *anvil* dan sistem injeksi bahan bakar. Pemukul tipe ini umumnya kecil, ringan dan digerakkan dengan bahan bakar minyak (Gambar 2.15). Energi pemancangan total yang dihasilkan adalah jumlah benturan dari *ram* ditambah energi hasil dari ledakan (*Hardiyatmo, 2015*).

2.3 Pekerjaan Pemasangan Tiang

Pemasangan Tiang (dipancang atau di bor) sangat berpengaruh pada kelakuan tiang dalam mendukung beban. Umumnya, tinjauan gangguan akibat pemancangan tiang ditujukan terutama pada perubahan sifat-sifat tanah yang mempengaruhi kapasitas dukungnya. Jika data kondisi tanah setelah pemancangan dapat diperkirakan, maka dapat dibuat cara yang cocok untuk mengevakuasi data laboratorium atau data hasil uji lapangan yang akan digunakan dalam perancangan kapasitas dukung tiang (*Hardiyatmo, 2015*).

2.3.1 Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang Dalam Tanah Granuler

Tanah Granuler (pasir), tiang yang dipancang dengan cara dipukul atau ditekan ke dalam tanah mengakibatkan perubahan susunan dan pecahnya sebagian butir tanah. Pada kondisi ini tanah, mengalami pemadatan yang menaikkan kuat geser tanah atau berat volume tanah. Jika tiang dipancang dalam tanah pasir yang tidak padat, depresi tanah akan terjadi pada tanah yang ditekan oleh tiang tersebut. Bila tanah padat, pemadatan yang terjadi akibat pemancangan relatif kecil dan tahan terhadap penetrasi tiang sangat tinggi, sehingga energi pemancangan yang dibutuhkan juga besar.

2.3.2 Pengaruh Pemasangan Tiang Pancang dalam Tanah Kohesif

Pemancangan dalam tanah kohesif (lempung dan lanau) sangat berbeda dengan apa yang terjadi pada tanah pasir. Pemancangan tiang di dalam tanah kohesif, biasanya akan mengakibatkan kenaikan permukaan tanah di sekitar tiang, yang diikuti oleh konsolidasi tanah. Deformasi akibat pemancangan dapat mempengaruhi struktur di dekatnya dan dapat mengakibatkan tiang yang dipancang lebih dulu terangkat ke atas akibat pemancangan tiang sesudahnya.

Bila tiang dipancang dalam tanah lempung kaku, cembungan tanah juga akan terjadi, namun tanah ayang terdorong ke atas akan berupa bungkahan-bungkahan atau berupa bahan yang retak-retak. Pada kondisi ini, selama pemancangan, tiang yang dipancang lebih awal dapat terangkat ke atas. Konsolidasi kembali (rekonsolidasi), berjalan sangat lambat dan kuat geser asli tanah mungkin tidak pernah kembali seperti semula selama umur struktur (Hardiyatmo, 2015).

2.4 Perhitungan Pemancangan

Menurut Dr. Bambang Surendro, perhitungan pemancangan tidak terlepas dari dua hal yaitu kekuatan tiang dari persyaratan-persyaratan pemancangan.

1. Kekuatan Tiang

Menurut *modified engineering new formula* jumlah pukulan yang diberikan oleh “hammer” akan semakin banyak pada pemancangan yang dilakukan pada tanah yang semakin keras. Apabila berat “hammer” = W ton, dan tinggi jatuh pemukulan (hammer) = h meter, maka tenaga (E) yang diberikan oleh “hammer” adalah sebesar $E=W \times h$.

Tenaga yang diberikan oleh “hammer” tidak semuanya dapat dimanfaatkan, karena adanya faktor-faktor lain seperti gesekan. Jika perlawanan oleh = P ton dan masuknya tiang ke tanah sebesar s cm, maka:

$$E=W \times h=p \times s+p \times c \text{ atau}$$

$$P=\frac{W \times h}{s+c}$$

Karena adanya faktor keamanan (n), maka Persamaan (2.1) menjadi sebagai berikut:

$$P=\frac{1}{n} \times \frac{W \times h}{s+c}$$

dengan:

P = persamaan oleh tanah (kekuatan tiang maksimum)

W = berat pemukul (hammer)

h = tinggi jatuh

s = masuknya tiang ke tanah

c = konstanta, besarnya 0,25 untuk “steam hammer” dan 2,5 untuk “drop hammer”

n = faktor keamanan, menurut *engineering new formula*, $n=6$, sehingga Persamaan (2.2) menjadi :

$$P=\frac{1}{6} \times \frac{W \times h}{s+c} \quad (2.1)$$

2. Persyaratan-persyaratan Pemancangan

Persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi dalam melaksanakan pemancangan adalah:

a) *Hammer* tidak boleh terlalu ringan, perbandingan antara berat *hammer* (pemukul) dengan berat tiang adalah sebagai berikut: Berat pemukul (hammer) = 3 sampai dengan 3,50 kali berat tiang.

b) Menurut *modified engineering new formula*, untuk menghitung kekuatan tiang maksimum dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$P=\frac{1}{6} \times \frac{E}{s+c} \times \frac{W}{W+P} \quad (2.2)$$

dengan:

W = berat *hammer*

P = berat tiang

c) Persamaan tiang pancang, persamaan (2.3) atau persamaan (2.4) adalah sebagai dasar atau pedoman untuk menghentikan pemancangan tiang agar tiang tidak rusak karena pukulan.

4. Penghentian Pemukulan Saat Pemancangan

Pemancangan pemancangan tiang apabila jumlah pukulan yang terlalu banyak, maka kepala tiang dapat mengalami keretakan bahkan bisa juga menjadi pecah. Maka dari itu diperlukan petunjuk kapan dapat dilakukan penghentian pemukulan. Berikut ini adalah tabel penunjuk penghentian pemukulan di dalam.

Tabel 1.. Penghentian pemancangan

Bahan Tiang	Pemukulan dihentikan bila penetrasi tiang mencapai:
Kayu	4 - 5 pukulan/25 mm
Beton bertulang	6 - 8 pukulan/25 mm
Baja	12 - 15 pukulan/25 mm

Sumber: (Hardiyatmo, 2015)

5. Kapasitas Ijin Tiang Pancang

Agar dapat memperoleh nilai kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang harus dibagi dengan faktor aman tertentu.

Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_a) dengan memperhatikan nilai keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai (Yusti & Fahriani, 2014). Dari hasil beberapa pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang memiliki diameter kecil sampai sama dengan sedang (600 mm), maka penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi akan lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 (Hardiyatmo, 2015).

$$Q_a=\frac{Q_u}{F} \quad (2.5)$$

dengan:

Q_a = kapasitas ijin tiang

Q_u = kapasitas ultimit tiang

F = faktor aman

2.5 Kalendering Pemancangan

Secara umum kalendering digunakan pada pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang.

Alat yang digunakan pada saat pelaksanaan kalendering adalah spidol, kertas milimeter, selotip, dan kayu pengarah spidol agar selalu pada posisinya. pengambilan data kalendering dilakukan pada saat tiang mencapai tanah keras, besarnya

penetrasi 25 mm dan rebound diambil untuk 10 kali pukulan (Lukman, 2017).

2.6 Kapasitas Tiang Berdasarkan Data Kalendering

Hitungan daya dukung ultimit tiang secara dinamik didasarkan pada rumus tiang pancang dinamik. Rumus ini hanya berlaku untuk tiang tunggal dan tidak memperhatikan hal-hal berikut yakni perilaku tanah yang terletak dibawah dasar kelompok tiang dalam mendukung beban struktur, reduksi tahanan gesek sisi tiang sebagai akibat pengaruh kelompok tiang dan perubahan struktur tanah akibat pemancangan (Sarita, et al., 2019).

Saat terjadi pemukulan pada tiang pancang yang membentur kepala tiang, maka, momentum *ram* awal:

$$M_r = \frac{W_r \times v_i}{g}$$

Pada akhir periode kompresi:

$$M_r = \frac{W_r \times v_i}{g} - I$$

Dengan kecepatan:

$$v_{ce} = \left(\frac{W_r \times v_i}{g} - I \right) \left(\frac{g}{W_r} \right) \quad (2.6)$$

Jika dianggap momentum tiang (M_p) pada saat tersebut dengan I , maka:

$$v_{ce} = \left(\frac{g}{W_p} \right) I \quad (2.7)$$

Selain itu bila dianggap tiang dan *ram* belum terpisah saat periode akhir kompresi, kecepatan sesaat tiang dan *ram* sama, karena itu persamaan (2.5) dan persamaan (2.6).

$$I = v_i \frac{W_r W_p}{g(W_r + W_p)} \quad (2.8)$$

Pada akhir periode restitusi, momentum tiang:

$$I + nI = \left(\frac{W_p}{g} \right) v_p \quad (2.9)$$

Substitusi persamaan (2.7) ke persamaan (2.8), diperoleh:

$$\frac{W_r v_i}{g} - I - nI = \frac{W_r v_r}{g} \quad (2.10)$$

Pada akhir periode restitusi, momentum *ram*:

$$\frac{W_r v_i}{g} - I - nI = \frac{W_r v_r}{g} \quad (2.11)$$

Substitusi I ,

$$v_r = \frac{W_r - n W_p}{W_r + W_p} v_i \quad (2.12)$$

Energi total yang tersedia dalam tiang dan *ram* pada akhir periode restitusi adalah:

$$\frac{1}{2} m v^2 (\text{tiang}) + \frac{1}{2} m v^2 (\text{ram})$$

Substitusi persamaan (2.9) dan (2.11), dengan beberapa penyederhanaan dapat diperoleh:

$$\frac{W_r}{2g} v_r^2 + \frac{W_p}{2g} v_p^2 = e_h W_r h \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.13)$$

Jika sistem 100% efisien, beban ultimit Q_u dikalikan dengan perpindahan taing (s):

$$Q_u s = e_h W_r h \quad (2.14)$$

Perpindahan puncak tiang sesaat adalah $s + k_1 + k_2 + k_3$, di mana hanya s yang permanen. Energi input aktual pada tiang:

$$e_h W_r h = Q_u (s + k_1 + k_2 + k_3) = Q_u C \quad (2.15)$$

Penggantian suku persamaan energi ekuivalen dengan ekuivalen dari persamaan (2.13), diperoleh:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{C} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.16)$$

Nilai k_2 dapat diambil sebagai kompresi elastis dari tiang $Q_u L / AE$ sehubungan dengan energi regangan $Q_u^2 L / (2AE)$.

1. Persamaan Hiley (1930)

Bila persamaan (2.15) diberikan faktor $\frac{1}{2}$ untuk k (untuk energi regangan), diperoleh persamaan Hiley (1930):

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (2.17)$$

Untuk pemukul aksi dobel atau diferensial, Chellis (1961) menyarankan penyesuaian persamaan Hiley (1930):

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \text{ (faktor aman, } F=4) \dots \dots (2.18)$$

dengan:

- e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)
- E_h = besaran energi pemukul dari pabrik (LF)
- k_1 = kompresi elastis blok penutup (*capblok*) dan *pile cap*
- k_2 = kompresi elastis tiang
- k_3 = kompresi elastis tanah
- n = koefisien restitusi
- Q_u = kapasitas ultimit tiang
- s = penetrasi pukulan per pukulan
- W_r = berat *ram*
- W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), driving shoe dan blok penutup (*cap blok*)

2. Persamaan Gates (1957)

Pada Persamaan Gates (1957) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_u = a \sqrt{e_h E_h} \times (b - \log s) \text{ (factor aman, } F=6) \dots (2.20)$$

dengan:

- Q_u = kapasitas tiang ultimit (kN)
- e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)
- E_h = besaran energy pemukul dari pabrik (kN.m)
- b = $1,0 F_{ps}$; 2.4 SI
- a = $27 F_{ps}$; 104,5 SI
- s = penetrasi per 10 pukulan cm
- F = factor aman (6)

3. Persamaan Navy – Mckay

Navy-Mckay memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data uji hasil kalendering sebagai berikut:

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s(1+0,3 \frac{W_p}{W_r})} \text{ (faktor aman, } F=6) \dots\dots\dots (2.21)$$

Dengan,

Q_u = kapasitas tiang ultimit

e_h = efisiensi pemukul (*hammer efficiency*)

E_h = besaran energi pemukul dari pabrik (LF)

W_p = berat tiang termasuk berat penutup tiang (*pile cap*), *driving shoe* dan blok penutup (*cap block*) (juga termasuk *anvil* untuk pemukul uap aksi dobel) (F)

W_r = Berat *ram* (F)

s = penetrasi per pukulan (L)

4. Persamaan Janbu (1953)

Berdasarkan metode ini persamaan untuk menghitung gaya dukung tiang dengan hasil uji dari tes kalendering adalah:

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{K_u s} \text{ (faktor aman, } F= 3 \text{ sampai } 6) \dots\dots\dots (2.22)$$

dengan,

$$K_u = C_d \left[1 + \left(\frac{\lambda}{C_d} \right)^{1/2} \right] \dots\dots\dots (2.23)$$

$$C_d = 0,75 + 0,15 \left(\frac{W_p}{W_r} \right) \dots\dots\dots (2.24)$$

$$\lambda = \frac{e_h E_h L}{A E s^2} \dots\dots\dots (2.25)$$

III. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Struktur Fondasi Tiang Pancang

Proyek pelaksanaan pembangunan jalan tol di Binjai – Stabat, merupakan proyek pembangunan jalan tol trans Sumatera yang meliputi pekerjaan struktur, *main road*, *underpass* dan lainnya yang terletak pada wilayah administratif Provinsi Sumatera Utara. Lokasi struktur fondasi tiang pancang sendiri berada di Jalan Nasional, Desa Karang Rejo, Kec. Stabat, Kab. Langkat, Sumatera Utara.

3.2. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan agar dapat menyelesaikan dan menyempurnakan penulisan ini yang dilakukan dengan beberapa metode pengumpulan data antara lain.

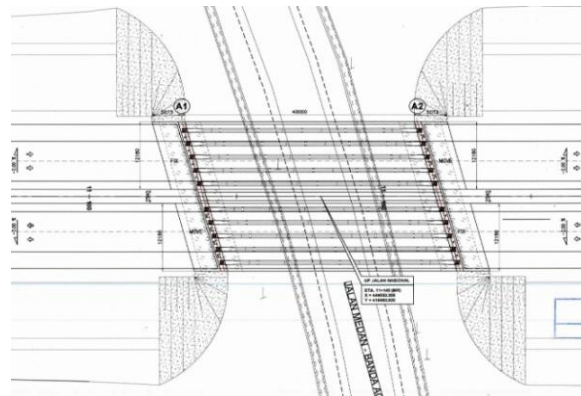
1. Melakukan peninjauan kelapangan bertujuan agar mengetahui lokasi pembangunan *underpass* berada di Jalan Lintas Timur Sumatera Binjai-Stabat Sta.11+140 (Gambar 3.1) dan pengamatan terhadap prosedur pelaksanaan struktur fondasi tiang pancang tersebut.
2. Pengambilan data yang diperoleh dari Kantor PT. Hutama Karya Infastruktur Jl. Medan - Banda Aceh, Pekanbaru, Kec. Kabupaten Langkat, Sumatera Utara. Proyek Pembangunan Jalan Tol Ruas Binjai – Langsa Seksi Binjai Pangkalan Brandan Zona 4, selaku penanggung jawab proyek, data yang diambil meliputi:
 - a. Gambar Kerja (layout struktur, denah,

potongan, detail – detail)

b. Data kalendering

3. Mendokumentasikan Foto-foto kegiatan proyek dan prosedur pelaksanaan kalendering pada saat dilakukan pemancangan.

4. Mempelajari data gambar kerja, dan data-data pendukung lainnya.



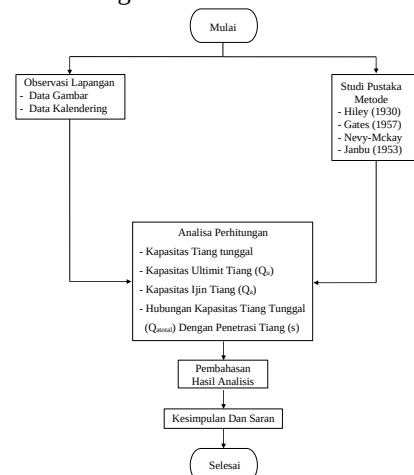
Gambar 1. Layout Underpass jalan lintas timur Sumatera

3.3 Prosedur Analisis Fondasi Tiang Pancang

Tahapan analisis data yang dilakukan pada tulisan ini, data kalendering untuk mendapatkan nilai kapasitas tiang pancang tunggal terdiri dari.

1. Melakukan *review* terhadap *text book* yang terkait dengan fondasi tiang pancang, kapasitas dukung tiang dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan ini dengan judul yang akan dibahas.
2. Mempelajari data gambar kerja, data-data kalendering, dan data-data pendukung lainnya..
3. Mengambil kesimpulan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan.
4. Memberikan rekomendasi berdasarkan kesimpulan yang didapatkan.

Adapun proses pengerjaan diterangkan dalam diagram alir sebagai berikut:



Gambar 2. Prosedur Analisis

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Dimensi dan Jumlah Tiang

Pelaksanaan pembangunan *underpass* digunakan fondasi tiang pancang dengan spesifikasi tiang sebagai berikut:

1. Jenis fondasi tiang pancang beton pracetak
2. Rencana kedalaman ABT-A1 : 24,00 m
3. Rencana kedalaman ABT-A2 : 24,00 m
4. Diameter : 60 cm
5. Jumlah tiang pancang : 64 buah

4.2 Analisis Kapasitas Tiang Tunggal

Perhitungan kapasitas tiang tunggal berdasarkan data kalendering dilakukan pada 64 titik pemancangan pada ABT-A1 dan ABT-A2,

1. Kapasitas Tiang Tunggal Metode Persamaan Hiley (1930)

berdasarkan persamaan (2.17) dan persamaan (2.18) diuraikan cara menentukan kapasitas ultimit tiang tunggal berdasarkan data kalendering dilakukan pada titik pemancangan 37 ABT-A2 sebagai berikut:

Tabel 2. Kalendering titik pancang 37 ABT-A2

Titik	Konfigurasi Tiang Pancang (m)		Final Set		Berat Hammer (ton)	Ram-stroke (cm)
	Bott-om	Mid-dle 1	K (cm)	S (cm)		
37	8	12	1,3	1,6	6,5	250

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$$

Dikarenakan nilai rebound (k) sudah diketahui maka,

$$Q_u = \frac{e_h W_r h}{s + \frac{1}{2}k} \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p}$$

$$Q_u = \frac{0,85 \times 63,74 \times 2,5}{0,016 + \frac{1}{2} \times 0,013} \frac{63,74 + 0,50^2 \times 132,94}{63,74 + 132,94}$$

$$Q_u = 2968,42 \text{ kN}$$

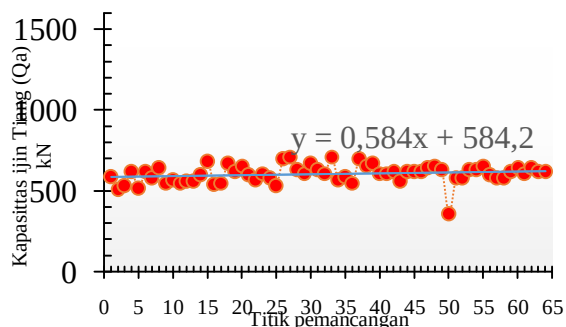
Maka kapasitas ijin tiang (Q_a) adalah

$$Q_a = \frac{Q_u}{F}$$

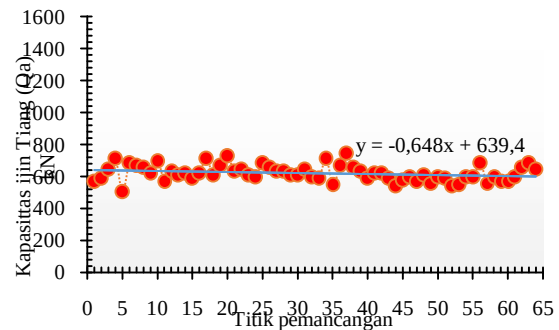
$$Q_a = \frac{2968,42}{4}$$

$$Q_a = 742,11 \text{ kN}$$

Analisis kapasitas tiang tunggal pada titik pemancangan 37 pada ABT-A2 menggunakan persamaan Hiley (1930). Hasil analisis selengkapnya di tunjukkan pada (Gambar 3-4)



Gambar 3. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Hiley



Gambar 4. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Hiley A2

2. Kapasitas Tiang Tunggal Metode Persamaan Gates (1957)

Analisis kapasitas tiang tunggal pada titik pemancangan 37 pada ABT-A2 menggunakan persamaan Gates (1957). Hasil analisis selengkapnya di tunjukkan pada (Gambar 5)

$$Q_u = 104,5 \sqrt{0,85 \cdot 159,36 \times (2,4 - \log 0,016)}$$

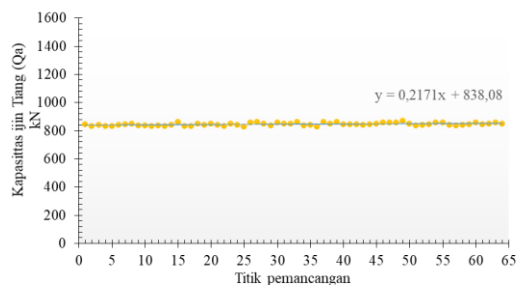
$$Q_u = 5103,13 \text{ kN}$$

Maka kapasitas ijin tiang (Q_a) adalah

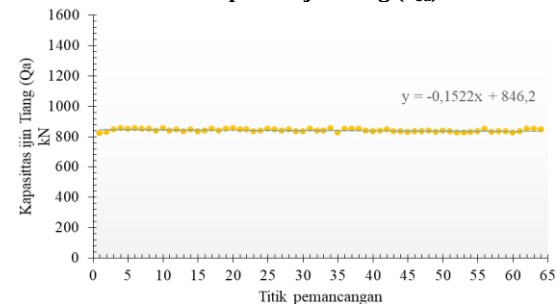
$$Q_a = \frac{Q_u}{F}$$

$$Q_a = \frac{5103,13}{6}$$

$$Q_a = 850,52 \text{ kN}$$



Gambar 5. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Gates A1



Gambar 6. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Gates A2

3. Kapasitas Tiang Tunggal Metode Persamaan Navy-Mckay

Analisis kapasitas tiang tunggal pada titik pemancangan 37 pada ABT-A2 menggunakan persamaan Navy-Mckay. Hasil analisis selengkapnya di tunjukkan pada (Gambar 7).

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s \left(1 + 0,3 \frac{W_p}{W_r} \right)}$$

$$E_h = W_r \times h$$

$$E_h = 63,74 \times 2,5$$

$$E_h = 159,36 \text{ kNm}$$

Maka:

$$Q_u = \frac{0,85 \times 159,36}{0,016(1+0,3 \frac{132,94}{63,74})}$$

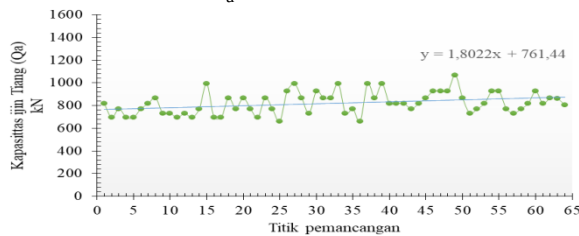
$$Q_u = 5207,76 \text{ kN}$$

Maka kapasitas ijin tiang (Q_a) adalah

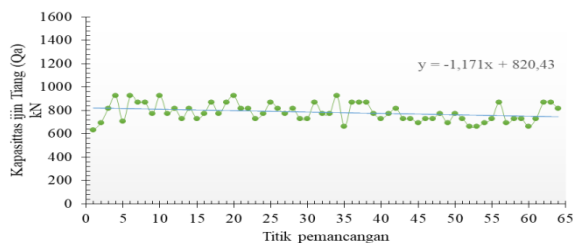
$$Q_a = \frac{Q_u}{F}$$

$$Q_a = \frac{5207,76}{6}$$

$$Q_a = 867,96 \text{ kN}$$



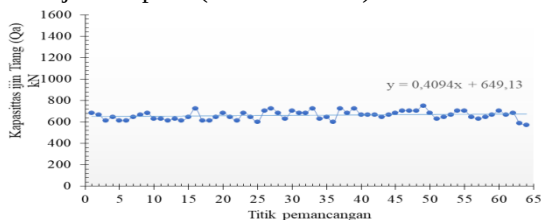
Gambar 8. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Navy-Mckay A1



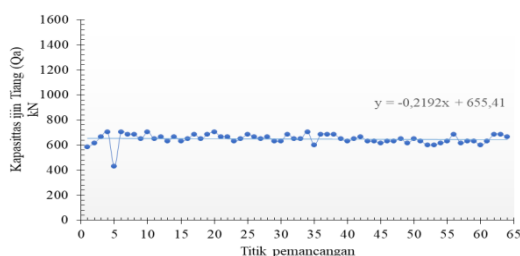
Gambar 9. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Navy-Mckay A2

4. Kapasitas Tiang Tunggal Metode Persamaan Janbu (1953)

Analisis kapasitas tiang tunggal pada titik pemancangan 37 pada ABT-A2 menggunakan persamaan Janbu (1953). Hasil analisis selengkapnya di tunjukkan pada (Gambar 10-11).



Gambar 10. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Janbu A1



Gambar 11. Hasil kapsitan ijin tiang (Q_a) Janbu A2

Hasil analisis kapasitas tiang (Q_a) pada ABT-A1 dan ABT-A2 dilihat pada Gambar 10-11 pancang menunjukkan hasil yang berbeda-beda. Hasil pengelola data kalendering menjadi besaran kapasitas ijin tiang (Q_a) terlihat seperti Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Rekap hasil analisis kapasitas tiang (Q_a) ABT-A1

Titik	Hiley (1930)	Gates (1957)	Navy-Mckay	Janbu (1953)
Pemancangan	Q_a (kN)	Q_a (kN)	Q_a (kN)	Q_a (kN)
1	585,87	845,19	816,90	666,37
2	505,98	830,88	694,37	615,25
3	530,08	840,15	771,52	648,41
4	618,42	830,88	694,37	615,25
5	513,77	830,88	694,37	615,25
6	618,42	840,15	771,52	648,41
7	575,77	845,19	816,90	666,37
8	642,21	850,52	867,96	685,36
9	547,45	835,39	730,91	631,39
10	566,01	835,39	730,91	631,39
11	547,45	830,88	694,37	615,25
12	556,58	835,39	730,91	631,39
13	556,58	830,88	694,37	615,25
14	596,33	840,15	771,52	648,41
15	681,53	862,28	991,95	726,77
16	538,63	830,88	694,37	615,25
17	547,45	830,88	694,37	615,25
18	667,90	850,52	867,96	685,36
19	618,42	840,15	771,52	648,41
20	654,80	850,52	867,96	685,36
21	596,33	840,15	771,52	648,41
22	566,01	830,88	694,37	615,25
23	607,18	850,52	867,96	685,36
24	575,77	840,15	771,52	648,41
25	530,08	826,58	661,30	599,90
26	695,72	856,20	925,82	705,46
27	710,53	862,28	991,95	726,77
28	630,09	850,52	867,96	685,36
29	607,18	835,39	730,91	631,39
30	667,90	856,20	925,82	705,46
31	630,09	850,52	867,96	685,36
32	607,18	850,52	867,96	685,36
33	710,53	862,28	991,95	726,77
34	566,01	835,39	730,91	631,39
35	585,87	840,15	771,52	648,41
36	547,45	826,58	661,30	599,90
37	695,72	862,28	991,95	726,77
38	654,80	850,52	867,96	685,36
39	667,90	862,28	991,95	726,77
40	607,18	845,19	816,90	666,37
41	607,18	845,19	816,90	666,37
42	618,42	845,19	816,90	666,37
43	556,58	840,15	771,52	648,41
44	618,42	845,19	816,90	666,37
45	618,42	850,52	867,96	685,36
46	618,42	856,20	925,82	705,46
47	642,21	856,20	925,82	705,46
48	654,80	856,20	925,82	705,46
49	630,09	868,80	1068,26	749,41
50	356,59	850,52	867,96	685,36
51	575,77	835,39	730,91	631,39
52	575,77	840,15	771,52	648,41
53	630,09	845,19	816,90	666,37
54	630,09	856,20	925,82	705,46
55	654,80	856,20	925,82	705,46
56	596,33	840,15	771,52	648,41
57	575,77	835,39	730,91	631,39
58	575,77	840,15	771,52	648,41
59	618,42	845,19	816,90	666,37
60	642,21	856,20	925,82	705,46
61	607,18	845,19	816,90	666,37
62	642,21	850,52	867,96	685,36
63	616,36	856,20	859,65	587,88
64	616,36	850,52	805,93	571,13

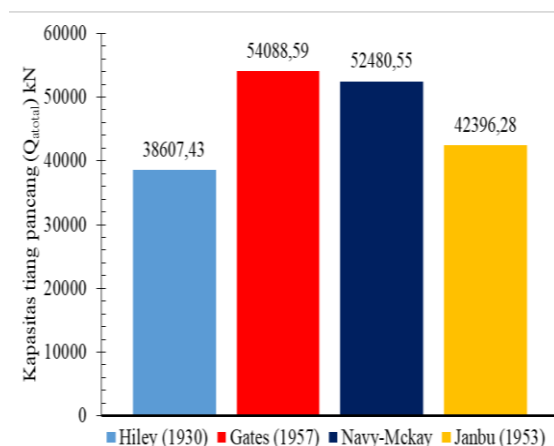
Tabel 4, Rekap hasil analisis kapasitas tiang (Q_a) ABT-A2

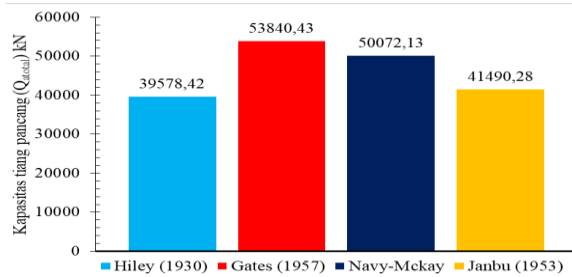
Titik Peman cangan	Hiley (1930) Q_a (kN)	Gates (1957) Q_a (kN)	Navy-Mckay Q_a (kN)	Janbu (1953) Q_a (kN)
1	566,01	822,49	631,24	585,31
2	585,87	830,88	694,37	615,25
3	642,21	845,19	816,90	666,37
4	710,53	856,20	925,82	705,46
5	502,54	850,52	705,13	428,35
6	681,53	856,20	925,82	705,46
7	667,90	850,52	867,96	685,36
8	654,80	850,52	867,96	685,36
9	618,42	840,15	771,52	648,41
10	695,72	856,20	925,82	705,46
11	566,01	840,15	771,52	648,41
12	630,09	845,19	816,90	666,37
13	607,18	835,39	730,91	631,39
14	618,42	845,19	816,90	666,37
15	585,87	835,39	730,91	631,39
16	618,42	840,15	771,52	648,41
17	710,53	850,52	867,96	685,36
18	607,18	840,15	771,52	648,41
19	667,90	850,52	867,96	685,36
20	725,97	856,20	925,82	705,46
21	630,09	845,19	816,90	666,37
22	642,21	845,19	816,90	666,37
23	607,18	835,39	730,91	631,39
24	596,33	840,15	771,52	648,41
25	681,53	850,52	867,96	685,36
26	654,80	845,19	816,90	666,37
27	630,09	840,15	771,52	648,41
28	630,09	845,19	816,90	666,37
29	607,18	835,39	730,91	631,39
30	607,18	835,39	730,91	631,39
31	642,21	850,52	867,96	685,36
32	596,33	840,15	771,52	648,41
33	585,87	840,15	771,52	648,41
34	710,53	856,20	925,82	705,46
35	547,45	826,58	661,30	599,90
36	667,90	850,52	867,96	685,36
37	742,11	850,52	867,96	685,36
38	654,80	850,52	867,96	685,36
39	630,09	840,15	771,52	648,41
40	585,87	835,39	730,91	631,39
41	618,42	840,15	771,52	648,41
42	618,42	845,19	816,90	666,37
43	585,87	835,39	730,91	631,39
44	538,63	835,39	730,91	631,39
45	575,77	830,88	694,37	615,25
46	596,33	835,39	730,91	631,39

47	566,01	835,39	730,91	631,39
48	607,18	840,15	771,52	648,41
49	556,58	830,88	694,37	615,25
50	596,33	840,15	771,52	648,41
51	585,87	835,39	730,91	631,39
52	538,63	826,58	661,30	599,90
53	547,45	826,58	661,30	599,90
54	596,33	830,88	694,37	615,25
55	596,33	835,39	730,91	631,39
56	681,53	850,52	867,96	685,36
57	556,58	830,88	694,37	615,25
58	596,33	835,39	730,91	631,39
59	566,01	835,39	730,91	631,39
60	566,01	826,58	661,30	599,90
61	596,33	835,39	730,91	631,39
62	654,80	850,52	867,96	685,36
63	681,53	850,52	867,96	685,36
64	642,21	845,19	816,90	666,37

4.3 Pembahasan Hasil Analisis

Berdasarkan hasil analisis kapasitas tiang pancang berdasarkan data kalendering dengan metode persamaan *Hiley* (1930), persamaan *Gates* (1957), persamaan *Navy-Mckay*, dan persamaan *Janbu* (1953) menunjukkan hasil yang berbeda-beda, dimana dari Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 hasil analisis terlihat bahwa metode persamaan *Gates* (1957) memberikan kapasitas tiang tunggal total (Q_{total}) lebih tinggi sekitar 54088,59 kN pada ABT-A1 dan 53840,43 kN pada ABT-A2, dengan persamaan *Navy-Mckay* cenderung berdekatan sekitar 52480,55 kN pada ABT-A1 dan 50072,13 kN pada ABT-A2, untuk persamaan *Janbu* (1930) lebih kecil sekitar 42396,28 kN pada ABT-A1 dan 41490,28 kN pada ABT-A2 dan nilai dari metode *Hiley* (1930) lebih kecil dari metode lainnya sekitar 38607,43 kN pada ABT-A1 dan 39578,42 kN pada ABT-A2.

**Gambar 12. Hasil analisis kapasitas tiang ABT-A1**

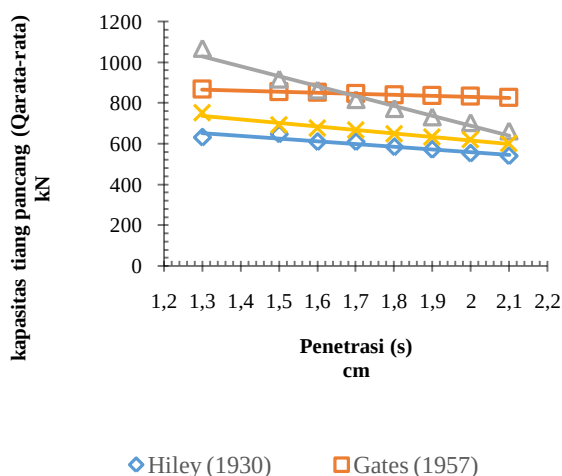


Gambar 13. Hasil analisis kapasitas tiang pada ABT-A2

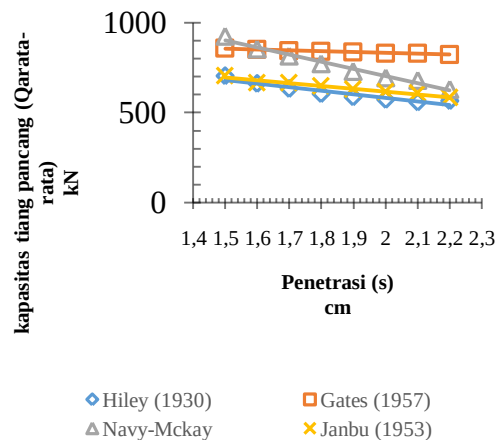
Berdasarkan hasil analisis kapasitas tiang tunggal dari metode yang digunakan ada beberapa metode yang nilai kapasitas tiang tunggal yang hampir sama, sedangkan metode Gates nilai kapasitas tiang tunggal lebih tinggi dari metode lainnya. Beberapa metode juga memiliki kesamaan dalam menurunkan rumus dalam analisis kapasitas tiang tunggal terlihat pada metode persamaan Gates (1957) dimana hanya mempertimbangkan berat tiang (W_r) namun tidak mempertimbangkan seperti luasan penampang tiang (A), panjang tiang (L) dan bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*), persamaan Navy-Mckay dan persamaan Janbu (1953) dimana hanya mempertimbangkan berat tiang dan panjang tiang (L) namun tidak mempertimbangkan seperti bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*) maka metode persamaan Hiley (1930) adalah yang paling tepat digunakan karena metode ini mempertimbangkan Luasan penampang tiang (A), panjang tiang (L) dan bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*) serta tinggi jatuh pemukul (h).

4.3 Hubungan Kapasitas Tiang Pancang dengan Penetrasi Tiang

Berdasarkan hasil pengolahan tiang pancang untuk setiap titik pemancangan pada Abutment-A1, maka dapat dibuat grafik hubungannya dengan penetrasi, hasil grafiknya terlihat pada Gambar 4.11 dan Gambar 4.12



Gambar 14. Hubungan kapasitas tiang pancang ($Q_{rata-rata}$) dengan penetrasi tiang (s) pada ABT-A1



Gambar 15. Hubungan kapasitas tiang pancang ($Q_{rata-rata}$) dengan penetrasi tiang (s) pada ABT-A2

Berdasarkan Gambar 14 dan Gambar 15 dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai penetrasi tiang (s) maka nilai kapasitas tiang semakin besar dan sebaliknya jika semakin besar nilai penetrasi tiang (s) maka nilai kapasitas tiang semakin kecil. Hal ini terdapat pada semua metode persamaan, walaupun cara perhitungan dan metode yang berbeda-beda

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Beberapa metode juga memiliki kesamaan dalam menurunkan rumus dalam analisis kapasitas tiang tunggal terlihat pada metode persamaan Gates (1957) dimana hanya mempertimbangkan berat tiang (W_r) namun tidak mempertimbangkan seperti luasan penampang tiang (A), panjang tiang (L) dan bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*), persamaan Navy-Mckay dan persamaan Janbu (1953) dimana hanya mempertimbangkan berat tiang dan panjang tiang (L) namun tidak mempertimbangkan seperti bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*) maka metode persamaan Hiley (1930) adalah yang paling tepat digunakan karena metode ini mempertimbangkan Luasan penampang tiang (A), panjang tiang (L) dan bantalan kepala tiang (*koefisien restitusi*) serta tinggi jatuh pemukul (h).
2. Semua metode menunjukkan bahwa jika semakin tinggi penetrasi, maka kapasitas tiang semakin kecil dan sebaliknya jika semakin kecil penetrasi, maka kapasitas tiang semakin tinggi.
3. Berdasarkan hasil analisis kapasitas tiang tunggal dari metode yang digunakan ada beberapa metode yang nilai kapasitas tiang tunggal yang hampir sama, sedangkan metode Gates nilai kapasitas tiang tunggal paling tinggi dari metode lainnya

5.1 Saran

Berdasarkan kesimpulan maka ada beberapa hal yang disarankan sebagai berikut:

1. Dalam menganalisis kapasitas tiang tunggal berdasarkan data kalendering disarankan menggunakan metode persamaan Hiley (1930).
2. Dalam perhitungan selanjutkannya dapat menghitung beban yang bekerja dilapangan sehingga dapat diketahui desain jumlah tiang yang lebih ekonomis.
3. Analisis kapasitas tiang selanjutnya dapat menggunakan data N_{spt} (Standard penetration test), data PDA (Pile Driving Analyzer) dan juga dapat dikerjakan dalam PLAXIS

DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Bowles, J. E., 1984. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid I*. 4 ed. Jakarta: Erlangga.
- [2.] Hardiyatmo, H. C., 2008. *Teknik Fondasi 2*. 4 ed. s.l.:s.n
- [3.] Hardiyatmo, H. C., 2010. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,.
- [4.] Hardiyatmo, H. C., 2011. *Analisis dan Perancangan Fondasi bagian I*. 2 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,
- [5.] Hardiyatmo, H. C., 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. 3 ed. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press,.
- [6.] Hiley. 1930. *Pile Drivng Calculations with Notes on Driving Forces and Ground Resistances*. The Structural Engineer, 246-259, 8
- [7.] Lukman, H., 2017. *Rasio Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Kalendering*. Jurnal Teknik, Juni, Volume 18 No 1, pp. 50-57
- [8.] Munirwansyah & LumbanTobing, B. M., 2019. *Perbandingan Kapasitas Penggunaan Formula Dinamis pada Tiang Pancang sebagai Kontrol Daya Dukung*. Journal of The Civil Engineering Student, Volume 1 No 3, pp. 43-49.
- [9.] Pratama, R. R., Lukman, H. & Rahmah, A., 2016. *Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Hasil Data Kalendering Pada Proyek Icon City Delta Mas, Cikarang Pusat, Bekasi*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik- Universitas Pakuan, pp. 1-7.
- [10.] Ramadhani, H. D. 2012. *Analisa Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Pada Proyek Pembangunan Gedung Olahraga (GOR) Gulat Samarinda*. 1 No 1, 1-22
- [11.] .Rauf, A., 2012. *Estimation of Pile Capacity by Optimizing Dynamic Pile Driving Formulae*. Waterloo: s.n
- [12.] Saptorini, T. R., 2015. *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang terhadap Hasil Uji Calendering*. Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan, Volume 17, pp. 35-42.
- [13.] Sardjono, 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid I*. 1 ed. Surabaya: SINAR WIJAYA.
- [14.] S., Sarita , U., F. & Sukri, M., 2019. *Analisis Kapasitas Dukung Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data N-SPT, CPT dan Kalendering*. Jurnal Stabilita, Volume 7 No 1, pp. 39-46.
- [15.] Yusti, A. & Fahriani, F., 2014. *Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diverifikasi dengan Hasil Uji Pile Driving Analyzer Test dan Capwap*. Jurnal Fropil, Volume 2 No 1, pp. 19-31