

KORELASI KALENDERING DAN *PILE DRIVING ANALYZER* PADA DAYA DUKUNG SUBSTRUKTUR TIANG PANCANG JEMBATAN ENCAHAQ KUTAI BARAT

Syahrul 

Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda
Jl. Ir. Juanda No 80. Samarinda. Kalimantan Timur, 75124
E-mail : syahrul@untag-smd.ac.id

ABSTRAK

Pada pembangunan jembatan, pondasi merupakan substruktur yang sangat penting, diketahui fungsi pondasi mendistribusikan beban dari superstruktur ke tanah keras. Sehingga dalam pelaksanaan serta perencanaan pondasi perlu analisa yang terukur. Guna menentukan daya dukung pondasi tiang pancang tunggal digunakan metode statis yang didasarkan pada data *borehole* dengan standar pengujian SPT setiap interval 2 meter, serta metode dinamis uji kalendering dan uji PDA. Penelitian ini terletak di Kabupaten Kutai Barat tepatnya pada Kampung Encahaq Kecamatan Damai. Metode yang dibahas dalam analisa berupa perhitungan daya dukung tiang dengan metode statis dan kalendering serta PDA, metode statis menggunakan data *borehole* dengan standar pengujian SPT interval 2 meter. Pengujian kalendering berdasarkan perlawanan tanah terhadap tumbukan tiang, pengujian ditujukan guna menghentikan pemukulan dikarenakan tiang sudah tidak mengalami perlawanan penetrasi sehingga diperlukan uji kalendering, guna mendapatkan daya dukung tiang. Pengujian *Pile Driving Analyzer* mengacu pada ASTM D4945 dengan metode *wave analysis* atau *re-strike test* didasarkan pada pemberian impact atau tumbukan pada pondasi dengan hammer, dimana pondasi tersebut telah terpasang sensor *transducer (velocity)* dan *accelerometer (force)*. Analisa data PDA dilakukan dengan prosedur *case metode*, mencakup pengukuran data kecepatan dan gaya selama pengujian dan perhitungan variabel dinamik secara *real time* untuk mendapatkan gambaran mengenai daya dukung pondasi tiang tunggal. Hasil uji PDA memberikan daya dukung yang lebih tinggi dari estimasi. Daya dukung uji kalendering dengan kapasitas *hammer* 3,5 ton dengan tinggi pemukul 1,5 m dan besar penetrasi 2/10 pukulan sebesar 233,52 ton. Daya dukung uji PDA sebesar 286 ton dengan rasio 0,816 yang mendekati nilai 1.

Kata kunci : *Borehole, Tiang Pancang, Kalendering, PDA, Daya Dukung*

1. PENDAHULUAN

Pada pembangunan konstruksi jembatan Encahaq yang terletak di Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat memiliki bentang 30 meter, dengan jenis jembatan komposit yang memiliki plat lantai beton yang terhubung dengan girder maupun gelagar baja yang bekerja sama menopang beban sebagai bentuk kesatuan.

Awal pekerjaan berupa pekerjaan pembersihan, pemancangan pondasi dan setelah itu dilanjutkan pada bagian superstruktur dan diketahui bahwa pondasi memiliki fungsi meneruskan beban struktur dan beban luar yang bekerja pada struktur.

Keberadaan jembatan yang menghubungkan dua Kampung yaitu Jengan Danum dan Tepulang serta beberapa Kampung yang berdekatan, tentu memberikan manfaat yang besar bagi pengguna dan warga disekitar wilayah tersebut mengingat kondisi awal jembatan berupa jembatan kayu ulin dengan lebar 3,5 meter. Adanya perubahan struktur jembatan kayu menjadi jembatan komposit (gabungan baja dan beton) dengan lebar 6 meter tentu memberikan kelancaran mobilitas kendaraan, tanpa harus antri atau bergantian melewati jembatan seperti sebelumnya.

Dalam pelaksanaan konstruksi tiang pancang tipikal pertama diterapkan pada fase pra-konstruksi untuk

desain tiang, sedangkan kedua dan ketiga digunakan sebagai kriteria pemancangan tiang selama konstruksi untuk menghentikan gerak maju tiang dan dapat disesuaikan sesuai dengan beban validasi statis (Krammler, H., McVay, M., Herrera, R., & Lai, P. 2013).

Daya dukung beban pondasi tiang ditinjau dengan *end bearing pile* dan *friction pile*, dimana *end bearing pile* berupa kapasitas dukung tiang yang ditentukan dari tahanan ujung tiang yang umumnya berada pada zona tanah lunak dengan dasar tanah keras. Pada *friction pile* berupa kapasitas dukung yang ditentukan perlawanan gesek.

Tiang pancang biasanya berfungsi sebagai pondasi bila kondisi tanah tidak sesuai untuk penggunaan pondasi dangkal (Tarawneh, B. 2013). Tiang pancang pipa adalah kategori penting dari pondasi yang digunakan di lepas pantai untuk mendukung infrastruktur vital seperti turbin angin, jembatan bentang panjang, dan terminal pelabuhan (Jafari, M., Gharsallaoui, H., Viktor, K. H., & Holeyman, A. 2019).

SPT berupa uji penyelidikan geoteknik yang banyak digunakan untuk memperoleh informasi tentang stratigrafi lapisan tanah bawah, karakterisasi jenis tanah dan kedalaman kemunculannya serta posisi muka air, pengujian *borehole* dengan standar SPT interval 2 meter.

survei SPT terdiri dari proses berulang, dilakukan berdasarkan tiga operasi : pengeboran lubang, pengujian penetrasi dan pengambilan sampel (Goncalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., & Netto, L.G. 2021).

Pengujian kalendering dan *Pile driving Analyzer* pada pondasi tiang pancang telah dilakukan di beberapa proyek di Indonesia untuk mengetahui daya dukungnya (Budi, S. G., Kosasi, M., & Wijaya, D. H. 2015). Pondasi dalam sering diamati pada proyek konstruksi beban berat dan bentang besar (Dai, G., Gong, W. 2012).

Metode pengujian daya dukung pondasi dengan menggunakan PDA paling banyak digunakan guna mengetahui beban secara dinamik serta dapat menilai kapasitas beberapa tiang dalam satu hari. PDA juga dapat mengevaluasi keutuhan tiang dan menyelidiki tegangan dan energi palu selama instalasi tiang.

Penelitian ini memberikan gambaran mengenai pengujian dinamis pondasi tiang pancang jembatan, memberikan pendekatan hasil daya dukung empiris dan dinamis serta memberikan kesimpulan dari hasil korelasi. Penelitian (Santoso, H. T., & Hartono, J. 2020), analisa perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang berdasar hasil uji SPT dan pengujian dinamis, menyatakan tahanan lekatan selimut sebesar 71,7 % dan tahanan ujung 28,3 %. Jika dibandingkan dengan pendekatan empiris nilai tahanan selimut sebesar 67,3 % dan tahanan ujung 32,7 %. Dan secara keseluruhan bahwa uji PDA cukup handal untuk mengkonfirmasi besaran daya dukung pondasi tiang yang terpasang di lapangan.

Penelitian (Gunawan, M., Oktaviana. I. S., & Arifin, B. 2014), rasio hubungan nilai dukung tiang pancang berdasarkan pengujian sondir, kalendering dan tes PDA pada jembatan pelawa Kabupaten Parigi Moutong, menyatakan data uji PDA memberikan nilai daya dukung sebesar 171,2 ton – 174,5 ton. Nilai rasio antara uji sondir dan uji PDA yang mendekati nilai 1 berupa metode Meyerhof dengan rasio 0,938, uji kalendering yang mendekati nilai 1 dalah rasio daya dukung metode Hiley dan uji PDA yaitu 1,660.

Penelitian (Yudiawati, Y. 2016), kehandalan daya dukung aksial tiang pancang beton segi empat berdasarkan hasil SPT dan PDA, menyatakan hasil PDA test mencapai > 300 ton atau 1,5 kali lebih besar dari perhitungan SPT sebesar 222,50 ton, hasil uji PDA tiang 400x400 mm jika dibanding tiang diameter 400 mm memberikan hasil 3,2 kali lebih besar daya dukung ultimitnya. Daya dukung *end bearing* hasil PDA test tiang diameter 400 setara dengan tiang 250x250 mm.

Penelitian ini merujuk hasil pengujian kalendering dan PDA pada pembangunan jembatan yang terletak di Kampung Jengan Danum Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat, dengan tipe jembatan komposit menggunakan tiang baja berdiameter 400 mm hingga kedalaman 25 - 26 meter pada *abutment* sisi Kampung Jengan Danum dan kedalaman 45 – 46 meter pada *abutment* sisi Kampung Tepulang. Adapun tujuan penelitian menganalisa daya dukung tiang pancang

dengan kedalaman yang berbeda di kedua titik *abutment* serta mengkorelasikan hasil uji kalendering dan PDA.

Dalam penulisan ini menganalisa korelasi antara nilai daya dukung dari hasil uji kalendering dan uji *Pile Driving Analyzer* yang memberikan gambaran terkait daya dukung tiang pancang.

2. RUANG LINGKUP

Ruang lingkup penelitian mencakup titik lokasi kegiatan pembangunan jembatan di Kampung Jengan Danum - Tepulang Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat, dengan meninjau substruktur jembatan pada pengujian *borehole*, pengujian SPT, pengujian kalendering, dan PDA (*Pile Driving Analyzer*). Tiang pancang berukuran diameter 400 mm dengan 18 titik pondasi tiang pancang pada setiap abutmen. Selama pelaksanaan pemancangan selalu dilakukan uji kalendering jika jumlah tiang pancang yang masuk telah memberikan perlawanan terhadap tumbukan yang diberikan.

3. BAHAN DAN METODE

Tiang pancang pipa akan meningkat penggunaannya karena memiliki kemudahan pada pemasangan dan untuk mendapatkan stabilitas lateral, tiang pancang pipa harus mencapai dan menembus formasi batuan. Pemasangan pancang pipa memerlukan perkiraan ketahanan ujung tiang untuk mengevaluasi tegangan penggerak dan untuk menghindari kerusakan dan penolakan tiang. Gambar 1. titik pancang sisi kampung Jengan Danum. dan Kampung Tepulang

Berdasarkan beban struktural yang tinggi dan kondisi tanah yang buruk, desain dapat menggunakan pondasi sebagai solusi, dimana tiang mentransfer beban kelapisan tanah yang lebih dalam yang mampu menopang beban yang diterapkan (Nars, A. M., Elhakim, A. F., & Amer, I. M. 2022).

Bangunan pondasi tiang pancang pipa baja berbeda dengan bangunan pondasi tiang pancang beton pada umumnya, dibandingkan dengan tiang pancang beton, tiang pancang pipa baja memiliki keunggulan sebagai kekakuan tinggi, daya dukung tinggi, daya dukung tinggi, kualitas tinggi dan jangka waktu konstruksi pendek (Yao, A., Jiantao, Z., & Yijun, Z. 2016).

Letak pelaksanaan kegiatan yaitu di Kampung Jengan Danum - Tepulang Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat, dengan cakupan wilayah Kecamatan seluas 1.750,43 km² bujur timur 115° 15' 16" – 115° 46' 54" lintang selatan 0° 18' – 0° 52' (BPS Kabupaten Kutai Barat., 2019).

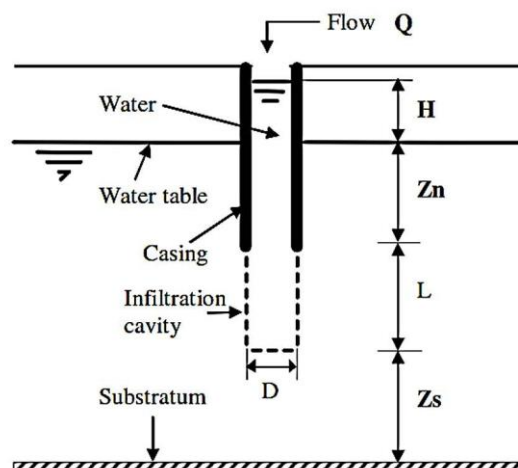
Borehole berupa tes lubang bor air biasanya digunakan untuk penentuan *in-situ* permeabilitas tanah. Terdiri dari pengukuran aliran air dan potensial hidrolik dalam rongga silinder, diilustrasikan pada Gambar. 2 (Lafhaj, Z., & Shahrour, I. 2007). Selama pengujian *borehole* berlangsung perlu menyesuaikan dengan kondisi lapangan, jika terjadi perubahan dari metode

kerja perlu adanya koordinasi dan persetujuan pengawas lapangan dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Tiang Pancang Pipa Baja (a) Sisi Jengan Danum. (b) Sisi Kampung Tepulang

Prosedur *borehole*, pertama, *Making* posisi *pile*, kedua, instal *casing* sementara, ketiga, memulai pengeboran, keempat, jika lubang bor tidak stabil, boring dilakukan dengan bentonite, kelima, setelah pengeboran mencapai *toe level*, segera lakukan inspeksi lapangan untuk konfirmasi *toe level*, keenam, *lowering steel cage* ke dalam lubang bor, ketujuh, *Casting Borepile* dengan pipa *tremi*, kedelapan, Cabut *casing* dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Ilustrasi Air Uji Borehole

Standart Penetrasi Test berupa Investigasi bawah permukaan adalah salah satu fase paling penting dari setiap kegiatan konstruksi atau pengembangan teknik sipil, faktanya adalah bahwa metode pengambilan sampel langsung konvensional, seperti SPT, dapat menentukan sifat tanah yang berbeda pada.

Dalam studi geoteknik, hitungan pukulan SPT, N_{SPT} (jumlah pukulan per 30 cm penetrasi sampel ke dalam tanah), digunakan sebagai indikator kekuatan geser dan kekuatan tanah.

Hasil uji penetrasi dinyatakan dengan indeks resistensi terhadap penetrasi dinamis. nilai indeks ini sesuai dengan jumlah pukulan yang diperlukan untuk lonjakan 0,30 m pengambil sampel di dalam tanah, setelah lonjakan awal 0,15 m, yang disebut "*seating*

drive". hasil interpretasi digunakan untuk memperkirakan sifat rekayasa geoteknik tanah dan, dalam kasus studi, dan dikorelasikan dengan nilai kalendering dan PDA.

Kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang berupa beton dan pipa baja, pengujian bertujuan untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang berupa *diesel hammer* dan *hydraulic hammer*. Kapasitas daya dukung tiang pancang dalam hitungan kalendering menggunakan formula dinamis Hiley Persamaan (1).

$$Q_u = \frac{2WH}{S+K} + \frac{W+N^2P}{W+P}$$

Keterangan (1) :

Q_u = Kapasitas daya dukung batas (ton).

W = Berat palu atau ram (ton).

P = Berat tiang pancang (ton).

H = Tinggi jatuh ram.

S = Penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir atau “Set” (cm).

K = Rata-rata *rebound* untuk 10 pukulan terakhir (cm).

N = Koefisien restitusi (0,4 – 0,5 untuk palu besi cor, tiang beton tanpa helm).⁽¹⁾

PDA merupakan jenis pengujian dinamik yang menggunakan metode *wave analysis* dan disebut juga *re-strike test* atau penumbukan ulang pondasi tiang. Selama pemancangan tiang, pengukuran elektronik dari kecepatan, gaya, pukulan, jumlah pukulan, dan penetrasi dilakukan dengan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (Yazdani, E., Wang, J., & Evans, T. M. 2021). Gambar 3. Uji *borehole*, Sampel tanah hasil *borehole* dan uji kalendering serta PDA test dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. (a) Uji *Borehole*, (b) Sampel Tanah Hasil *Borehole*, (c) Uji Kalendering, (d) PDA Test

Tiang pancang dipantau selama pemancangan dan pada saat *re-strike*, resistansi tiang dihitung menggunakan program pencocokan gelombang CAPWAP. Analisis pencocokan gelombang dilakukan pada pukulan berenergi tinggi pada akhir penggerakan awal dan diawal penumbukan ulang. PDA berdasarkan pada analisis data hasil rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan palu pancang.

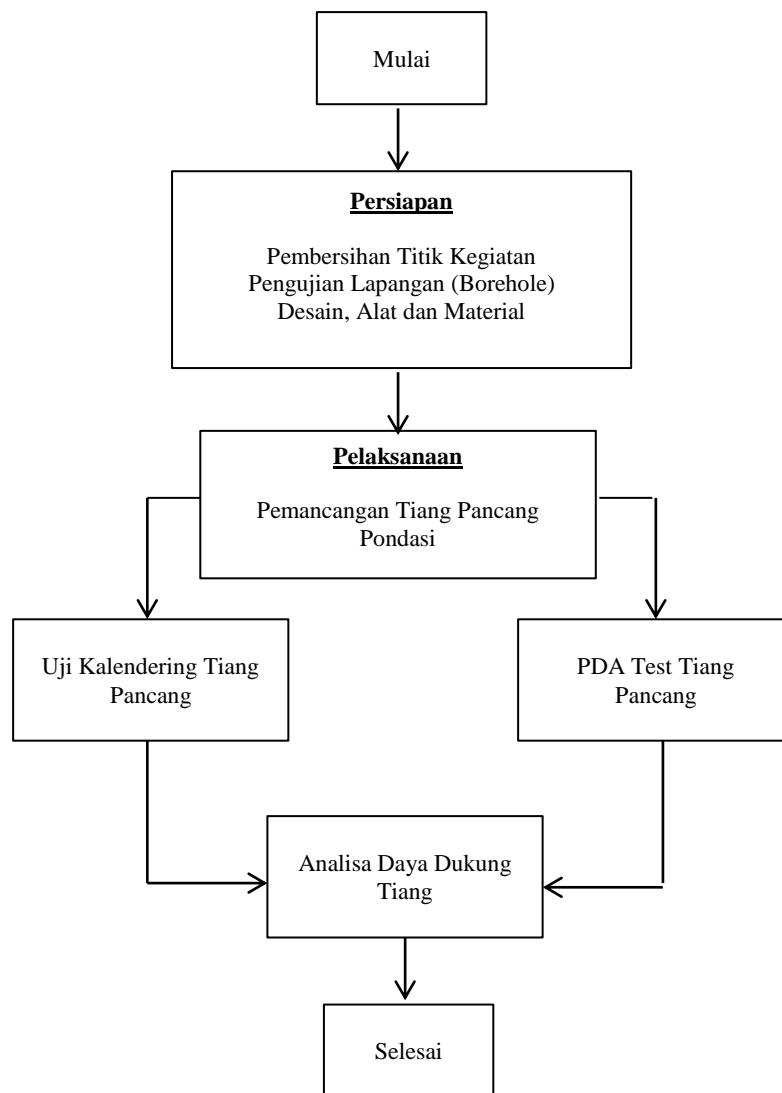
Persiapan pengujian untuk PDA minimal 1,5 m atau 3xD (tiga kali diameter tiang), kemudian dihitung panjang tiang sesuai dengan yang direncanakan, menyediakan arus listrik AC dengan daya 220V, 60 Hz dan 30 Amp untuk mengoperasikan alat PDA. Daya listrik dari mesin las dengan daya yang stabil. Tersedianya tempat pelindung alat PDA dari panas matahari, air, angin dan temperatur dengan suhu 20 – 30

Dalam penelitian guna memberikan gambaran mengenai urutan alur kerja yang terurai secara urutan, namun alur kerja dapat dibentuk dengan pola dasar *flow chart* pada Gambar 4.

derajat celsius. Letakan tempat pelindung alat kurang lebih 23 meter dari tiang, sehingga kabel PDA dapat terjangkau ke komputer serta operator dapat mengawasi tiang.

Pelaksanaan pengujian dengan melaksanakan penumbukan tiang hingga dengan daya dukung yang diperlukan serta evaluasi ujung tiang. hasil PDA akan digunakan untuk mengevaluasi data, daya dukung, distribusi tahanan tiang, tekanan maksimum dari tiang, transfer energi, keutuhan tiang dan berbagai parameter tanah.

Hasil dari PDA berupa nilai gaya (F) dan kecepatan (v), yang selanjutnya diinput ke program CAPWAP dengan hasil nilai daya dukung total (Ru), daya dukung ujung (Rb), dan daya dukung gesek (Rs) dengan metode *Case*. Pelaksanaan pengujian PDA.



Gambar 4. Bagan Alir Penelitian

4. PEMBAHASAN

Pembangunan jembatan memiliki mekanisme pengujian yang memberikan informasi dalam menganalisa daya dukung pada bangunan bawah sebagai penopang struktur atas.

4.1 Borehole

Hasil *borehole* dari 4 titik rencana, pada kedalaman 4 meter deskripsi pasir butiran kasar, dan pada kedalaman lebih dari 4 meter deskripsi lapisan pasir butiran halus berlempung. Berdasarkan hasil uji borehole diperoleh N SPT 28 pada titik 1 dengan kedalaman 30 meter, pada titik 2 diperoleh N SPT 25 pada kedalaman 30 meter, pada titik 3 diperoleh N SPT 28 N dengan kedalaman 35 meter, dan pada titik 4 diperoleh N SPT 28

dengan kedalaman 35 meter. Hasil pada Tabel 1.

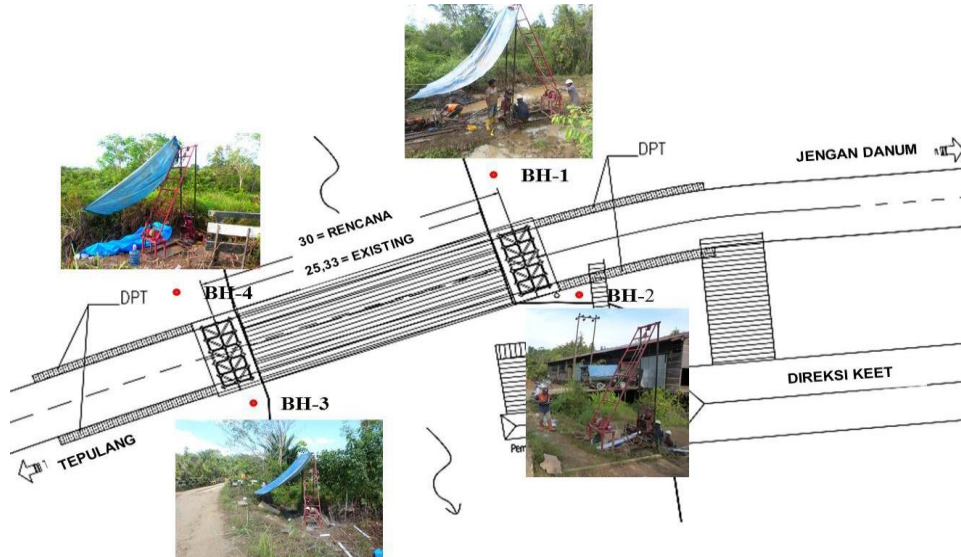
Ketidakstabilan lubang bor terutama yang dipengaruhi oleh interaksi sifat mekanik batuan dan sifat kimia dari cairan pengeboran (Yan, C. L., Dong, L. F., Zhao, K., Cheng, Y. F., Li, X. R., Deng, J. G., Li, Z. Q., & Chen, Y. 2021). Titik penyelidikan tanah dengan menggunakan *borehole* pada Gambar 5.

Pada penjelasan Tabel 1. Menyatakan nilai N-SPT dengan kondisi tanah lempung dengan kedalaman 0 – 2 konsistensi tanah sangat lunak, 5 – 10 tanah lunak, 10 – 20 medium, 20 – 30 konsistensi tanah kaku. Kondisi tanah pasir kedalaman 0 – 4 konsistensi sangat lepas, pada kedalaman 4 – 10 konsistensi lepas, 10 – 30 medium, dan 30 – 50 konsistensi padat.

Tabel 1. Rekapitulasi Nilai N-SPT

kedalaman (m)	N-SPT bh.1	N-SPT bh.2	N-SPT bh.3	N-SPT bh.4
0.00	-	-	-	-
2.00	4	5	4	5
4.00	6	6	7	7
6.00	8	11	12	11
8.00	12	15	13	15
10.00	15	17	18	21
12.00	16	20	22	22
14.00	17	24	24	22
16.00	22	50	25	24
18.00	21	26	23	27
20.00	24	24	20	25
22.00	26	22	18	20
24.00	21	24	21	17
26.00	20	18	23	22
28.00	26	22	24	24
30.00	28	25	25	25
32.00	-	-	26	27
35.00	-	-	28	28

Titik Penyelidikan Tanah (*borehole*) dapat dilihat pada gambar 5



Gambar 5. Titik Penyelidikan Tanah (*borehole*)

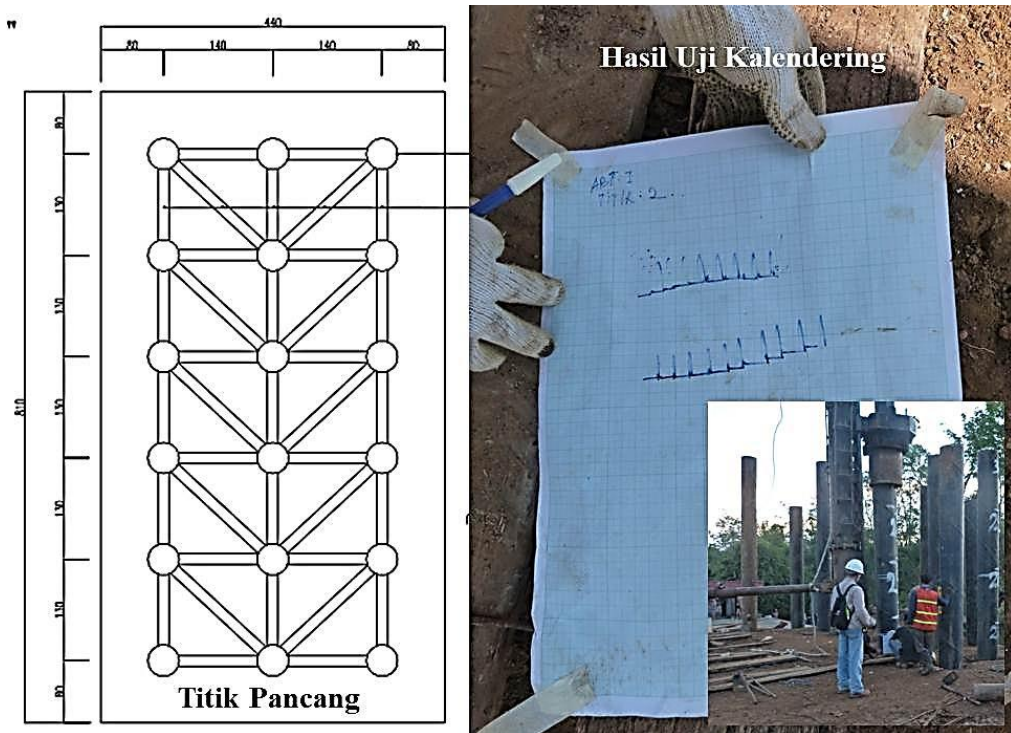
4.2 Kalendering

Analisa metode dinamis uji kalendering berdasarkan perlawanan tanah terhadap tumbukan tiang, pengujian ditujukan guna menghentikan pemukulan hingga perlawanan penetrasi menurun, sehingga diperlukan uji kalendering guna mengetahui kapasitas daya dukung

tiang. Analisa kalendering menggunakan rumus Hiley.

Data hasil pengujian kalendering untuk 36 titik tiang pancang dengan meninjau grafik diperoleh nilai penurunan yang terkecil sebesar 2 mm, serta yang terbesar 12 mm, dari hasil tersebut memenuhi batas syarat uji kalendering ≤ 20 mm atau 2 cm. Hasil

pengujian pada Gambar 6.



Gambar 6. Titik Pancang dan Hasil Uji Kalendering

4.3 Sifat Fisik Tanah

Sampel tanah yang diperoleh dari hasil pengujian *borehole* dilakukan pengujian guna mengetahui sifat fisik tanah tidak terganggu (*undisturbed*) dan terganggu (*disturbed*). Hasil uji sampel pada Tabel 2. merupakan hasil uji analisa saringan yang memberikan gambaran mengenai distribusi ukuran butiran tanah berpasir.

Tabel 2. Analisa Saringan

gradasi (%)	borehole 1	borehole 2	borehole 3	borehole 4
# 10 (2,000 mm)	99,06	99,76	99,90	99,78
# 40 (0,425 mm)	94,11	99,14	99,28	82,04
# 200 (0,075 mm)	73,44	73,33	38,50	38,11

Tabel 3. Memberikan gambaran hubungan antara kerikil, pasir, lanau, dan tanah liat, dari sampel uji *borehole* dan di uji analisa saringan guna menentukan proporsi material yang ditinjau pada grafik.

Tabel 3. Proporsi Tanah dengan Kurva Gradasi

proporsi (%)	borehole 1	borehole 2	borehole 3	borehole 4
Gravel	0,51	0,00	0,00	0,06
Sand	26,05	26,67	61,50	61,83
Silt	47,12	26,70	21,16	20,38
Clay	26,32	46,62	17,34	17,73

Tabel 4. Memberikan gambaran karakter fisik material hasil dari sampel uji *borehole*, yang mana keseluruhan di uji dengan skala laboratorium guna menentukan jenis tanah.

Tabel 4. Sifat Fisik Tanah

parameter	borehole 1	borehole 2	borehole 3	borehole 4
Kadar Air (%)	31,6	47,2	34,2	44,8
Berat Isi (gr/cm ³)	1,63	1,70	1,72	1,65
Kepadatan Kering (gr/cm ³)	1,24	1,16	1,28	1,14
Berat Jenis	2,65	2,62	2,66	2,68
Angka Pori	1,14	1,27	1,09	1,35
Porositas	0,53	0,56	0,52	0,57
Liquid Limit (%)	29,38	30,90	23,12	23,50
Plastic Limit (%)	22,84	21,75	20,59	21,36
Plasticity Limit (%)	6,54	9,15	2,53	2,15

Tabel 5. Memberikan gambaran sifat fisik tanah yang digunakan sebagai parameter dalam perencanaan pondasi , sehingga estimasi beban yang bekerja akan diketahui, adapun sampel diperoleh dari *borehole*. Diketahui sifat tanah ditentukan oleh bahan penyusunnya.

Tabel 5. Sifat Mekanik Tanah

parameter	borehole 1	borehole 2	borehole 3	borehole 4
<i>Direct Shear</i>				
Kohesi (kg/cm ²)	0,084	0,038	0,107	0,013
Sudut Gesek Dalam	12,95	8,29	20,20	12,12
<i>UCS</i>				
<i>Undisturbed Condition</i> (kg/cm ²)	0,159	0,103	0,263	0,051
<i>Remolded Condition</i> (kg/cm ²)	0,149	0,094	0,255	0,042
<i>Undrained Cohesion uds</i> (kg/cm ²)	0,079	0,052	0,136	0,026
<i>Undrained Cohesion rmd</i> (kg/cm ²)	0,079	0,047	0,127	0,021
<i>Sensitivity</i>	1,061	1,095	1,035	1,222

Tabel 6. Memberikan gambaran klasifikasi tanah dengan sistem unified (USCS), adapun hasil penentuan ditinjau dari beberapa parameter uji guna memberikan informasi karakteristik dan sifat-sifat tanah. Pada *borehole* 1 klasifikasi ML menjelaskan kondisi pasir halus berlanau, pada *borehole* 2 klasifikasi CL menjelaskan lempung berlanau dengan plastisitas rendah hingga sedang, pada *borehole* 3 dan *borehole* 4 klasifikasi SM menjelaskan pasir berlanau.

Tabel 6. Klasifikasi Tanah

parameter	borehole 1	borehole 2	borehole 3	borehole 4
USCS	ML	CL	SM	SM

4.4 Tahanan Aksial Tiang Berdasar Kekuatan Bahan

Kemampuan tiang untuk menerima beban dinyatakan dengan kapasitas dukung tiang yang ditentukan dari jenis bahan dan kekuatan pada masing-masing lapisan tanah serta ukuran tiang pancang. Penentuan dimensi tiang umumnya dilakukan setelah diketahui besar beban yang akan diterima, selanjutnya dihitung kapasitas dukung. Penentuan dimensi tiang selain didasarkan pada evaluasi daya dukung tiang berdasarkan uji tanah untuk memastikan keandalan daya dukung pondasi tiang yang akan terpasang.

Ketika tiang pancang dipasang ke dalam tanah, tanah dipindahkan ke luar dari tiang dengan volume yang sama dengan volume lapisan, dan tanah didekat poros tiang akan terganggu (Hoang, L.T., Dao, K. X., Xiong, X., & Matsumoto, T. (2022). Tahanan aksial berdasarkan kekuatan bahan pada Tabel 7. Memberikan gambaran kekuatan bahan sesuai jenis tiang pancang yang akan digunakan dengan spesifikasi konstruksi jembatan.

4.5 Tahanan Aksial Tiang Berdasar SPT

Daya dukung ultimit tiang pondasi berupa tahanan ujung tiang ditambah jumlah tahanan geser dinding tiang. Kapasitas ujung tiang tergantung pada luas penampang ujung tiang dan kapasitas geser selimut yang bergantung luas selimut tiang. Tahanan aksial tiang

berdasar SPT pada Tabel 8. Memberikan gambaran mengenai tahanan ujung dan tahanan gesek tiang pancang dengan meninjau luasan penampang ujung bawah tiang, dan kohesivitas tanah dibawah dasar tiang. Serta kohesivitas tanah sepanjang tiang dan lias permukaan dinding tiang dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Tahanan Aksial Tiang Berdasar Kekuatan Bahan

uraian	hasil	satuan
Dimensi Tiang (D)	0,40	M
Panjang Tiang (L)	30,0	M
Luas Penampang tiang (A)	0,126	m ²
Berat Tiang Pancang (W_p)	90,43	kN
Kuat Tekan Beton Isian Pancang (f_c)	60000	kPa
Kapasitas Dukung Nominal Tiang (P_n)	2152	kN
Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	1,00	
Tahanan Aksial Tiang Pancang ($P_n \cdot \phi$)	2152,28	kN

Tahanan Aksial Tiang Berdasar SPT dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Tahanan Aksial Tiang Berdasar SPT

uraian	hasil	satuan
Dimensi Tiang (D)	0,40	M
Panjang Tiang (L)	30,00	M
Luas Dasar Tiang Pancang (A_b)	0,126	m ²
Luas Selimut Tiang Pancang (A_s)	37,68	m ²
Nilai SPT Pada Dasar Tiang (N_p)	28,00	
Nilai SPT Rerata Sepanjang Tiang (N)	16,45	
Koefisien Karakteristik Tanah (K)	250,00	kN/m ²
Resistensi Ultimit Ujung Tiang (Q_p)	879,20	kN
Resistensi Ultimit Akibat <i>Friction</i> (Q)	244,31	kN
Kapasitas Nominal Tiang Pancang (P_n)	1123,51	kN
Faktor Reduksi Kekuatan (ϕ)	1,00	
Tahanan Aksial Tiang Pancang ($\phi \cdot P_n$)	1123,51	kN

4.6 *Pile Driving Analyzer*

Pile Driving Analyzer merupakan sistem yang paling banyak digunakan pada pengujian beban secara dinamik dan pengawasan pemancangan di dunia dan mengevaluasi keseluruhan tiang serta menyelidiki tegangan dan energi *hammer* selama instalasi tiang. PDA menghitung hasil dari sinyal kecepatan dan gaya yang diperoleh dari *accelerometers* dan *strain transducer* yang terpasang pada tiang uji.

Pelaksanaan pengujian PDA harus menunggu 28 hari sejak tiang pancang terpasang mengingat kekuatan untuk menahan tekanan pukulan *hammer*, Kn akan maksimal. Hasil *Pile Driving Analyzer* pada titik

pekerjaan yang terletak di Kabupaten Kutai Barat tepatnya pada jembatan Encahaq Kecamatan Damai. Tabel 9, dan Tabel 10 memberikan informasi hasil PDA.

Pengujian beban dinamis menggunakan peralatan *Pile Driving Analyzer* adalah metode pengujian beban *non-destruktif* regangan tinggi yang dapat dilakukan selama atau setelah pemasangan tiang menggunakan peralatan penggerak tiang konvensional. Pengujian dinamis dilakukan sesuai dengan persyaratan ASTM D4945-12. 2012. Metode Uji Standar untuk Pengujian Dinamis Regangan Tinggi pada Pondasi Dalam (Zhussupbekov, A., Omarov, A., Zhukenova, G., Tanyrbergnova, G. 2017) dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Energi dan Tegangan Material Tiang

No. Tiang	Hammer		Tegangan/Stress	
	Berat (Ton)	Energi Pukulan tn-m	CSX (MPa)	TSX (MPa)
ABT – 1	3,5	5,33	171,1	59,9
ABT – 2	3,5	4,80	146,4	64,2

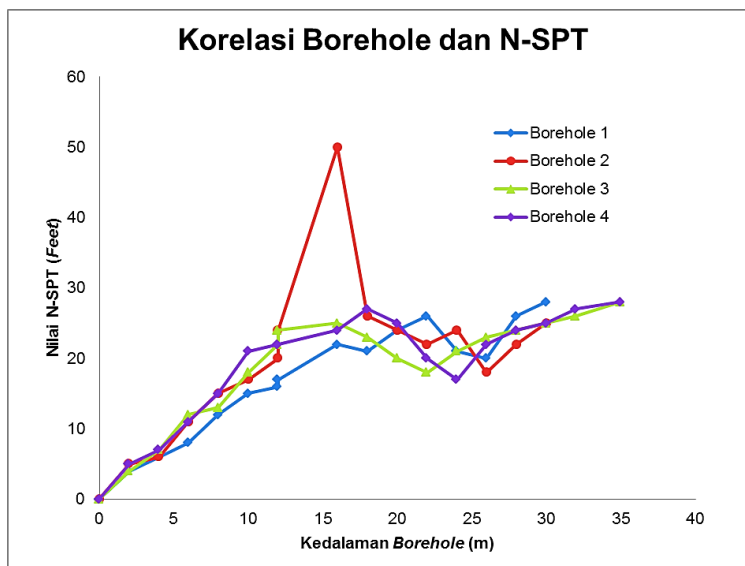
Kapasitas Tiang dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Kapasitas Tiang

No. Tiang	PDA		CAPWAP			
	Daya Dukung (Ton)	Daya Dukung <i>Ru</i> (Ton)	Gaya Gesek <i>Rs</i> (Ton)	Gaya Ujung <i>Rb</i> (Ton)	Penurunan Elastis (mm)	Penurunan Maks (mm)
ABT-1	286	298,3	193,8	104,3	34,1	34,2
ABT-2	181	263,7	232,2	31,5	33,8	33,9

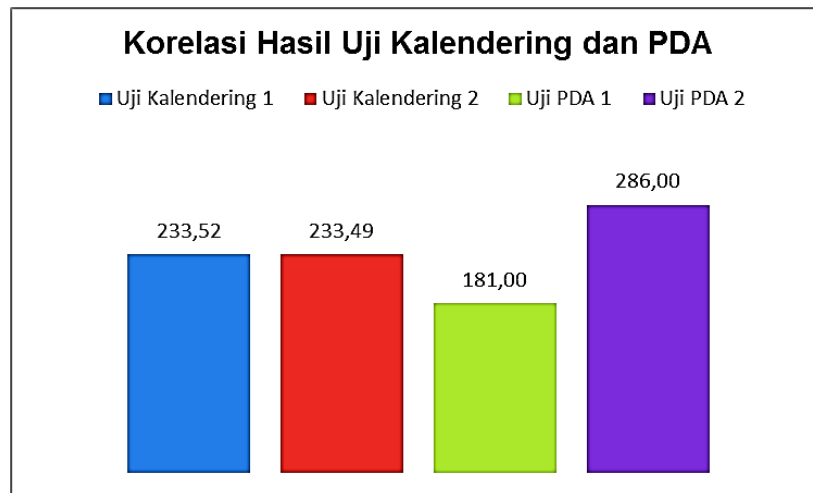
4.7 Korelasi Pengujian *Borehole* dan N-SPT, Uji Kalendering dan PDA

Korelasi merupakan hubungan antara dua variabel yang memiliki sifat kuantitatif guna mengetahui ada dan tidaknya hubungan linier antara variabel. Gambar 7. Korelasi uji *borehole* dan N-SPT, memberikan ilustrasi pada kedalaman 16 meter terdapat tanah berpasir dengan N-SPT sebesar 50, dan secara keseluruhan hasil uji *borehole* dengan kedalaman 30 m – 35 meter dengan N-SPT 25 – 28 yang memberikan gambaran kondisi tanah lempung berpasir halus dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Korelasi *Borehole* dan N-SPT

Gambar 8. Korelasi uji kalendering dan PDA, memberikan gambaran dimana rasio uji kalendering 1 dan PDA 1 sebesar 1,29. Uji kalendering 2 dan uji PDA 2 memiliki rasio 0,81.



Gambar 8. Korelasi *Borehole* dan N-SPT

5. KESIMPULAN

Kondisi tanah yang terletak pada sisi Kampung Jengan Danum dan Kampung Tepulang memiliki nilai berat isi $1,63 - 1,72 \text{ gr/cm}^3$, kepadatan kering $1,14 - 1,28 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis $2,62 - 2,68$. *Direct shear* $0,013 - 0,107 \text{ kg/cm}^2$, *undisturbed condition* $0,059 - 0,263 \text{ kg/cm}^2$. Daya dukung tiang pancang diameter 400 mm analisa berdasar metode Luciano Decourt diperoleh 112,35 ton. Adapun hasil uji kalendering dengan hasil uji *Pile Driving Analyzer* memiliki hasil yang mendekati. daya dukung hasil uji kalendering sebesar 233,52 ton pada sisi Jengan Danum, 233,49 ton sisi Tepulang dan hasil uji PDA sebesar 181 ton sisi Tepulang dan 286 ton sisi Jengan Danum. penurunan hasil uji kalendering 2 mm – 12 mm. Hasil uji PDA 33,2 mm – 33,9 mm. Korelasi uji kalenderin dan *Pile Driving Analyzer* pada sisi Jengan Danum sebesar 1,29. Korelasi Korelasi uji kalenderin dan *Pile Driving Analyzer* pada sisi Tepulang sebesar 0,81. Hasil uji kalendering dan PDA memiliki koefisien korelasi yang sangat kuat pada sisi Jengan Danum dan koefisien korelasi kuat pada sisi Tepulang.

6. SARAN

Perkembangan teknologi pada pengujian tiang pancang terutama bagian substruktur pada bidang teknik sipil telah berkembang maju, diantaranya PDA, uji beban statik (*loading test*), adapun uji beban PDA merupakan uji beban *non destructif* dengan parameter uji menggunakan sensor dengan alat pemukul serupa pada alat uji kalendering. Sehingga sangat efektif dan efisien dalam mendapatkan data daya dukung pancang.

7. DAFTAR PUSTAKA

ASTM. (2017). Standard Test Method for High Strain Dynamic Testing of Deep Foundation. USA ASTM International.

Badan Pusat Statistik. (2019). Kecamatan Damai Dalam Angka. BPS Kabupaten Kutai Barat.

Budi, S. G., Kosasi, M., & Wijaya, D. H. (2015). Bearing Capacity of Pile Foundations Embedded in Clays and Sands Layer Predicted Using PDA Test and Static Load Test. *Procedia Engineering* 125. 406-410. doi:10.1016/j.proeng.2015.11.101.

CV, Prisma Soenoe. (2021). Laporan Pengujian Tanah, Test Boring. SPT. dan Test laboratorium Proyek Pembangunan Jembatan Encahaq-Jengan Danum Kecamatan Damai Kutai Barat Kalimantan Timur.

Dai, G., Gong, W. (2012). Application of Bi-Directional Static Loading Test to Deep Foundations. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. doi. 10.3724/SP.J.1235.2012.00269.

Goncalves, J. T. D., Botelho, M. A. B., Machado, S. L., & Netto, L. G. (2021). Correlation Between Field Electrical Resistivity and Geotechnical SPT Blow Counts at Tropical Soils In Brazil. *Environmental Challenges* 5. doi.org/10.1016/j.enve.2021.100220.

Gunawan, M., Oktaviana, I. S., & Arifin, B. (2014). Rasio Hubungan Nilai Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Pengujian Sondir. Kalendering dan Tes PDA Pada Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong. *Infrastruktur* 4 (1). 41-49.

Hoang, L.T., Dao, K. X., Xiong, X., & Matsumoto, T. (2022). Performance Analysis of a Jacked in Single Pile and Pile Group in Saturated Clay Ground. *Soil and Foundations*. Science Direct. Elsevier. doi.org/10/1016/j.sandf.2021.101094.

Jafari, M., Gharsallaoui, H., Viktor, K. H., & Holeyman, A. (2019). End Bearing Response of Open-Ended Pipe Pile Embedded in Rock. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. 119. 46-57. doi.org/10.1016/j.ijrmms.2019.04.008.



- Krammler, H., McVay, M., Herrera, R., & Lai, P. (2013). Reliability Based Design of Driven Pile Groups Using Combination of Pile Driving Equations and High Strain Dynamic Pile Monitoring. *Structural Safety* 45. doi.org/10.1016/j.sttusafe.2013.07.009.
- Lafhaj, Z., Shahrour, I. (2007). Use of Water Borehole Tests for the Determination of the Permeability of Anisotropic Soils. *Computer and Geotechnics*. doi:10.1016/j.compgeo.2006.09.007.
- Nasr, A. M., Elhakim, A. F., & Amer, M. I. (2022). Soil Stiffness From Back Analysis of Pile Load Tests in Al Burrullus, *Ain Shams Engineering Journal*. ScienceDirect. doi.org/10.1016/j.asej.2022.101784.
- PT, Pile Indonesia Konstruksi. (2021). Laporan PDA test Proyek Pembangunan Jembatan Encahaq – Jengan Danum Kecamatan Damai Kutai Barat Kalimantan Timur.
- Santoso, T. H., Hartono, J. (2020). Analisa Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT dan Pengujian Dinamis. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret* 4 (1). 31-38.
- Tarawneh, B. (2013). Pipe Pile Setup : Database and Prediction Model Using Artificial Neural Network. doi.org/10.1016/j.sandf.2013.06.001.
- Yan, C. L., Dong, L. F., Zhao, K., Cheng, Y. F., Li, X. R., Deng, J. G., Li, Z. Q., & Chen, Y. (2021). Time Dependent Borehole Stability in Hard Brittle Shale. *Petroleum Science*. Science Direct. doi.org/10.1016/j.petsci.2021.12.019.
- Yao, A., Jiantao, Z., & Yijun, Z. (2016). Study on the Dinamic Response of the Steel Pile Foundation During Construction of Neighborhood Deep Excavation. *Science Direct. Procedia Engineering*. 165. 58-68. Doi. 10.1016/j.proeng.2016.11.735.
- Yazdani, E., Wang, J., & Evans. T. M. (2021). Case Studi of a Driven Pile Foundation in Diatomaceous Soil II : Pile Installation. Dynamic Analysis. and Pore Pressure Generation. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*. 13. 446-456. doi.org/10.1016/j.jrmge.2020.10.005.
- Yudiawati, Y. (2016). Keandalan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang Beton Segi Empat Berdasarkan Hasil SPT dan PDA. *Prosiding Seminar Geoteknik* (1). 232-237.
- Zhussupbekov, A., Omarov, A., Zhukenova, G., & Tanyrbergnova, G. (2017). Pile Foundations of Mega Project : New Railway Station and LRT in Problematical Soil Ground of Astana. *Science Direct. Procedia Engineering* 189. 511-518.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan kerja sama dengan PT Citra Masa Mulia yang memberikan kesempatan dalam meninjau dan mengamati pelaksanaan kegiatan pembangunan jembatan Encahaq Kecamatan Damai Kabupaten Kutai Barat tahun 2021. Ucapan terima kasih kepada PT Citra Masa Mulia.