

# PENGUJIAN PEMBEBANAN STATIS (TES AXIAL) DAN DINAMIS (PDA)

Moch. Noer Qomari Luthfi<sup>1</sup>, Diding Suhardi<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Program Profesi Insinyur, Universitas Muhammadiyah Malang, Jl. Raya Tlogomas 246 Malang

Kontak Person:

Moch. Noer Qomari Luthfi

Dsn Pandean RT.003 RW.001 Desa Jatigono Kec. Kunir Kab. Lumajang

E-mail: [mn.qomari.luthfi@gmail.com](mailto:mn.qomari.luthfi@gmail.com)

## Abstrak

*Daya Dukung Tiang Pondasi Antara SLT (Static Loading Test) dengan PDA (Pile Driving Analyzer). SLT (Static Loading Test) adalah salah satu metode pengujian kapasitas beban pondasi yang sering terlihat pada lokasi konstruksi, namun memerlukan biaya dan waktu yang relatif besar. Maka membuat tes PDA (Pile Driving Analyzer) menjadi metode alternatif dalam pengujian beban axial dalam pondasi tiang semakin banyak diminati saat ini. Penelitian ini mempunyai maksud dan tujuan untuk mempelajari korelasi nilai daya dukung ultimate hasil pengujian PDA dengan pengujian SLT yang diinterpretasikan dengan metode Chin (1985), Van Deer Veen (1953) dan Mazurkiewicz (1972). Dari perbandingan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa nilai daya dukung ultimate hasil pengujian PDA memiliki rentang yang paling mendekati dengan hasil pengujian SLT yang diinterpretasikan dengan metode Chin. Metode Chin dan Mazurkiewicz merupakan hasil yang paling mendekati dari nilai baban ultimate.*

**Kata kunci:** Pembebanan Statis, Axial, Pembebanan Dinamis, PDA, Pondasi Tiang

## 1. PENDAHULUAN

Guna meningkatkan pelayanan kepada pengguna jalan, khususnya terkait kepadatan lalu lintas yang pada akhirnya berdampak pada kenyamanan berkendara, pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum telah mencanangkan tanggung jawab menjaga jaringan diseluruh Indonesia baik itu Jalan Nasional maupun Jalan Tol.

Disamping terselenggaranya jaringan Jalan Arteri Nasional, pemerintah bertekat untuk menyelenggarakan jaringan Jalan Seluruh Jawa, sehingga dapat menghubungkan kota-kota diseluruh pulau jawa. Jaringan Jalan Tol Trans Jawa ini sudah diselenggarakan oleh Investor. Jalan Tol Probolinggo – Banyuwangi (Probawang) merupakan bagian dari Jalan Tol di Jawa Timur, yang dibagi menjadi beberapa ruas Probolinggo – Gending, Gending – Kraksaan, Kraksaan – Paiton dan Paiton – Besuki yang dibangun oleh Investor PT Jasamarga Probolinggo Banyuwangi.

### 1.1 Maksud Dan Tujuan

#### 1.1.1 Maksud :

Didalam implementasi Pembangunan Jalan Tol Probawang Paket 2 Sta. 9+000 – Sta. 20+200, penggunaan Pengujian Pembebanan Statis (Tes Axial/ SLT) dan Pengujian Pembebanan Dinamis (Tes PDA) . Untuk itu Penyedia Jasa Konstruksi bersama sama dengan Konsultan Pengawas mencari solusi agar pada pelaksanaan pekerjaan Pembangunan Jalan Tol tetap mengikuti kaidah teknik dan ketentuan yang berlaku serta kebutuhan biaya yang dapat dipertanggung jawabkan.

#### 1.1.2 Tujuan :

Tujuan dari Penelitian ini adalah mendapatkan solusi pada pelaksanaan Pengujian Pembebanan Statis (Tes Axial/ SLT) dan Pengujian Pembebanan Dinamis (Tes PDA), sehingga tetap mengikuti kaidah – kaidah teknis yang berlaku, mengikuti syarat dan ketentuan yang berlaku sesuai tertuang dalam dokumen kontrak, serta penggunaan anggaran dan biaya yang dapat dipertanggung jawabkan, serta dampak negatif yang minim.

## 2. METODE PENELITIAN

Pengujian Pembebanan Statis (Tes Axial/ SLT) lebih efektif digunakan pada bangunan gedung bertingkat, karena mobilisasi balok beton sebagai beban (*Kentlege*) dan crossbeam sebagai penopang balok beton yang diletakkan hanya pada satu lokasi gedung, jika digunakan pada pekerjaan jalan dan jembatan perlu mobilisasi beban (*Kentlege*) dan crossbeam sebagai penyangga balok beton pada setiap lokasi jembatan yang akan dilakukan pengetesan dan jalan yang dilalui sebagian jalan desa dan kecil dan untuk lewat jalan sementara lokasi jembatan satu dengan lainnya jalan tersebut belum tersambung. Sementara untuk Pengujian Pembebanan Dinamis (Tes PDA) mempunyai beberapa keuntungan diantaranya adalah

- 1) Waktu pengerjaan relative singkat bila dibandingkan dengan Pengujian Pembebanan Statis (Tes Axial/SLT).
- 2) Biaya lebih murah (Tes Axial/SLT = Rp 260.115.260,00/titik dan Tes Dinamis = Rp 13.520.000,00/titik)
- 3) Tingkat keakuratan hasil pengujian yang relative cukup akurat

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 *Static Load Test (SLT) dan Pile Driving Analyzer (PDA)*

#### 3.1.1 Metode pengetesan dengan cara *Static Loading Test (SLT)*

Pada metode *Static Loading Test (SLT)* yaitu dilakukan dengan beban *Axial Compression vertikal* (Tekan Axial). Pengujian ini sesuai ASTM D 1143-07 (2013), "*Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Loads*", section 8.1.8, "*Cyclic Loading Procedures*".

*Static Loading Test (SLT)* dapat dilakukan dengan dua alternatif yaitu :

- a) *Unused Test (Failure Test)* yaitu tes yang digunakan sampai tiang mengalami keruntuhan.
- b) *Test on Working Pile* yaitu percobaan dengan tiang yang terpakai dengan kapasitas 200 % kapasitas desain.

Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Probawangi Paket 2 Sta 9+000 – 20+200 ini kami menggunakan dengan metode *Test on Working Pile* dengan kapasitas 150% kapasitas desain (Spesifikasi Umum S10.07.(3) (g) Tiang Uji Pembebanan Statis). Kapasitas Desain adalah cara teoritis dengan mengolah data tanah yang ada di Borelog N-SPT atau dengan data Sondir dan dianalisa dengan formula tertentu (*Meyerhoff Methode, Reese dan Wright Metode*) sehingga didapat nilai daya dukung desain dari tiang borepile tersebut.

Kegunaan dilakukan *Static Loading Test (SLT)* yaitu :

- a) Memastikan kapasitas tiang terhadap beban yang terjadi
- b) Memastikan serta menentukan parameter desain yang digunakan
- c) Melakukan verifikasi integritas tiang borepile

Pelaksanaan loading test system "Reaction Pile 1 : 4" kapasitas 230,8 ton x 150%, dilaksanakan dengan meletakkan Main beam sebanyak 1 (Satu) unit yaitu 600 x 900 x 10000 mm dan secondary beam 2 (dua) unit yaitu beam dengan komposisi 350 x 900x 10000 mm, yang disusun bersilangan. Masing-masing beam pada setiap kedua ujungnya dihubungkan dengan tiang reaksi bored pile Ø 800 mm, melalui tension bar 13D19. Hydraulic Jack dengan kapasitas 1600 Ton diletakkan tepat ditengah tengah tiang uji. Besar beban test yang tersalurkan pada tiang uji dikontrol melalui alat pressure gauge kap. 8500 Psi. Proses pengujian berlangsung setelah pompa hidrolik diberikan tekanan, maka pompa hidrolik jack akan menekan main beam ke atas, karena beban di atas lebih besar dari tekanan hidrolik jack, maka menimbulkan reaksi tekan kepada tiang uji yang mengakibatkan terjadinya penurunan tiang.

Laporan Pengujian Tiang Statik Aksial pada tiang Bor Ø 800 mm pada Proyek Jalan Tol Probawangi Seksi 2 Jawa Timur, Penurunan tiang yang terjadi akibat reaksi tersebut diukur dengan 4 (empat) buah *dial gauge*, 2 (dua) buah *dial gauge* untuk mengukur pergeseran tiang dan untuk tiang reaksi masing masing di ukur dengan 1 (satu) buah *dial gauge*, melalui balok referensi yang dipasang secara kokoh dan kaku.

### 3.1.2 Kriteria Kegagalan (*Failure Criterion*)

Dikutip oleh Tomlimson (1977), ada beberapa definisi kapasitas ultimate tiang antara lain sebagai berikut :

- a) Beban yang mengakibatkan penurunan kotor (*gross settlement*) sebesar 10% dari diameter tiang.
- b) Beban yang penurunannya terus terjadi tanpa adanya penambahan beban, kecuali jika kecepatan penurunan begitu lamban sebagai petunjuk bahwa penurunan terjadi oleh akibat konsolidasi tanah.
- c) Suatu beban yang apabila ditambahkan beban berikutnya, kenaikan penurunan kotor (*gross settlement*) yang terjadi tidak seimbang dengan kenaikan bebannya.
- d) Beban yang apabila ditambahkan beban berikutnya, kenaikan penurunan bersih (*nett settlement*) yang terjadi nilainya tidak seimbang dengan kenaikan bebannya.
- e) Beban yang diberikan oleh titik potong antara garis-garis singgung yang ditarik dari kurva awal dan bagian kurva akhir yang lebih curam.
- f) Beban dimana kemiringan kurva penurunan bersih (*netto*) sama dengan 0,25 mm (0,001 inch) per ton dari bebannya.

### 3.1.3 Batasan Deformasi

Untuk batasan deformasi besaran beban percobaan pada pelaksanaan pengujian pembebanan tiang yang sifatnya “*used pile*” atau tiang yang akan menjadi bagian dari fondasi bangunan itu sendiri yaitu sebesar 200% kali dari daya dukung rencana. Ini dimaksudkan untuk memikul daya beban gravitasi untuk uji beban aksial. Adapun batasan deformasi sebesar 200% pembebanan rencana yaitu:

- a) Tiang dengan diameter maksimum 80 cm adalah 25 mm
- b) Batasan diameter untuk tiang > 80 cm adalah 4 %. Deformasi permanen yang terjadi setelah dilakukan pelepasan beban dan pembebanan 200% tidak boleh melewati suatu nilai ( $\leq 12$  mm). (SNI 8460 : 2017 P.189)

### 3.1.4 Tahapan *Static Loading Test* (SLT)

- 1) Persiapkan tiang bore yang akan di tes dengan cara cara menggali tiang yang akan di tes.
- 2) Bobok kepala tiang dengan menyisakan besi stek bore pile tersebut untuk di las mengikat dengan blimbingan.
- 3) Set up Hydroulik Jack pada tiang yang akan dites dan setting posisi main beam dan secondary beam.
- 4) Pasang blimbingan atas besi besi extend/penghubung antara blimbingan bawah dengan blimbingan atas.
- 5) Pembacaan axil compression dilakukan kurang lebih 35 jam dengan 4 kali cyclic pembebanan.

### 3.1.5 Hasil Pengujian *Static Loading Test* (SLT)

- 1) Pengujian tiang bor Ø 800 mm No. P6 lokasi STA 0+600 ABT 1, dilaksanakan pada tanggal 29 Agustus 2023 pukul 10:40 WIB s/d 30 Agustus 2023 pukul 10:40. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 1 Hasil uji SLT

No	Beban	Cycle		Penurunan			Ket
		Step	%	Gross	Nett	Rebound	
1	115,4	I	50 %	0,26	0,01	0,25	
2	230,8	II	100 %	1,03	0,09	0,94	
3	346,2	III	150 %	2,47	0,79	1,68	< 25 mm

- 2) Pengujian tiang bor Ø 800 mm No. P15 lokasi STA 0+600 ABT 2, dilaksanakan pada tanggal 6 September 2023 pukul 10.35 WIB s/d 7 September 2023 pukul 09:40. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2 Hasil uji SLT

No	Beban	Cycle		Penurunan			Ket
		Step	%	Gross	Nett	Rebound	
1	115,4	I	50 %	0,43	0,10	0,33	
2	230,8	II	100 %	1,50	0,29	1,21	
3	346,2	III	150 %	2,92	0,79	2,13	< 25 mm

- 3) Pengujian tiang bor Ø 800 mm No. P11 lokasi STA 19+591, dilaksanakan pada tanggal 11 September 2023 pukul 16:30 WIB s/d 12 September 2023 pukul 16:30. Hasil test dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 3 Hasil uji SLT

No	Beban	Cycle		Penurunan			Ket
		Step	%	Gross	Nett	Rebound	
1	140,9	I	50 %	0,62	0,19	0,43	
2	281,8	II	100 %	1,87	0,53	1,34	
3	422,7	III	150 %	3,65	1,15	2,50	< 25 mm

### 3.2 Pyle Driving Analyzer (PDA)

Selain metode *Static Loading Test* (SLT) pengujian beban ultimate tiang borepile dapat juga dilakukan dengan metode dinamik. Uji beban dinamik ini sering dikenal dengan HSDPT (*High Strain Dynamic Pile Test*) atau *Pyle Driving Analyzer* (PDA) dapat menjadi pengganti ataupun pelengkap pengujian beban statik. Dalam interpretasi dari pengujian beban dinamik ini harus didukung tenaga ahli yang telah berpengalaman dan mengerti mengenai metode *Pyle Driving Analyzer* (PDA). Pelaksanaan tes PDA ini merujuk pada ASTM D-4945 (*Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundation*).

*Pyle Driving Analyzer* (PDA) adalah salah satu metode untuk mengetahui daya dukung tiang borepile dengan menggunakan rambatan gelombang yang berupa regangan pada tiang borepile dan pergerakan relatif (*relative displacement*) yang terjadi antara tiang borepile dan tanah sekitarnya yang diakibatkan oleh beban dinamik akibat tumbukan dari *drop hammer* pada kepala tiang. Tahap selanjutnya rambatan gelombang pada tiang borepile ini direkam oleh perangkat yang dilengkapi dengan aplikasi khusus yang dikhususkan untuk menganalisa sefleksi, refraksi dan juga disperse gelombang. Semakin besar kekuatan tanah itu sendiri, maka makin besar juga kuat gelombang perlawanan yang dihasilkan. Gelombang aksi dan juga reaksi akibat dari perlawanan tanah tersebut akan direkam dan kemudian karakteristik gelombang-gelombang ini dianalisa dan diolah untuk menentukan daya dukung statik tiang borepile yang di uji, berdasarkan kepada *Theory of Stress Wave Propagation on Pile (Case Method)*.

Pengetahuan teknis tentang tes *Pyle Driving Analyzer* (PDA) ini sangat jarang dipahami oleh para pekerja konstruksi, tetapi untuk tujuan praktis bagi diharapkan para praktisi dapat memahami hasil

evaluasi daya dukung tiang borepile, integritas/ keutuhan tiang borepile dan penurunan tiang borepile dari hasil tes PDA.

### 3.2.1 Metode Pengetesan Dengan Cara *Pyle Driving Analyzer* (PDA)

Prosedur pengujian yang dilakukan sebagaimana sesuai dengan acuan peraturan ASTM D 4945. Pengujian dilakukan dengan cara memukul ulang (*re-strike*) pada tiang yang diuji dalam keadaan sudah tertanam. Dalam pengujian ini tiang yang diujikan ditumbuk sebanyak minimal 1-3 kali, pemukulan dihentikan bila kualitas sudah tercapai, rekaman cukup baik dan energi tumbukan relatif cukup tinggi. Kualitas rekaman dapat dipengaruhi oleh pemasangan perangkat dan pengoperasian komputer serta sistem elektronik.

Jika perangkat tidak terpasang dengan benar atau sistem komputer tidak berfungsi sebagaimana mestinya, hal ini langsung diketahui dari rekaman 'blow' pertama yang tercatat. Jumlah tumbukan yang diperlukan ditentukan oleh fluktuasi jumlah energi yang sebenarnya diterima oleh tiang. Hal ini sepenuhnya bergantung pada efisiensi palu (*hammer*) yang dipakai.

Pengujian dinamis tiang pancang didasarkan pada analisis rekaman data getaran gelombang yang dihasilkan saat tiang dipukul dengan palu. Gelombang deformasi dan percepatan yang disebabkan oleh tumbukan tumbukan diukur dengan sensor regangan dan akselerometer. Dua sensor regangan dan dua sensor percepatan dipasang di bagian atas tiang.

Tujuan pemasangan dua buah alat untuk setiap pengukuran adalah untuk memperoleh data yang baik (nilai rata-rata) dan sebagai faktor keamanan apabila salah satu alat tidak berfungsi dengan baik.

Hasil pengukuran direkam dan dicatat dengan alat *Pile driving Analyzer* (PDA), dan dianalisis dengan cara yang dikenal dengan nama "*Case Method*", berdasarkan teori gelombang satu dimensi (*one dimensional wave theory*). Hasil dari rekaman PDA kemudian dianalisis dengan program CAPWAP untuk memperoleh perkiraan daya dukung tiang, distribusi kekuatan lapisan tanah dan simulasi pembebanan statis.

CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*) merupakan program analisis numerik yang mengambil input data gaya (*force*) dan kecepatan (*velocity*) yang diukur dengan PDA. Tugas dari program ini adalah untuk memperkirakan distribusi dan besarnya gaya perlawanan tanah total disepanjang tiang berdasarkan model sistem tiang-tanah yang dibangun dan membaginya menjadi komponen tahanan dinamis dan komponen tahanan statis.

### 3.2.2 Tahapan tes *Pyle Driving Analyzer* (PDA Test)

- 1) Persiapan lahan/area kerja dengan menggali tiang yang akan di lakukan pengetesan.
- 2) Perapian kepala tiang borepile seperti kerataan, simetris dan tegak lurus.
- 3) Pemasangan alat sensor regangan dan akselerometer dengan cara di bor pada sisi tiang dan saling tegak lurus dengan jarak minimal 1,5 x diameter kepala tiang.
- 4) Persiapkan palu dan cushion pada kepala tiang.
- 5) Masukkan nilai kalibrasi sensor regangan dan akselerometer, kemudian pemeriksaan koneksitas peralatan pengujian secara keseluruhan.
- 6) Input data tiang borepile seperti : nomor tiang, tanggal pengecoran, luas penampang, panjang yang digunakan serta panjang tiang yang tertanam, berat palu yang digunakan pada pada PDA-PAX.
- 7) Pengecekan kembali untuk memastikan pengujian telah siap dilakukan.
- 8) Palu diangkat sesuai desain menggunakan alat crane kemudian dijatuhkan ke kepala tiang.
- 9) Posisi palu pada saat dijatuhkan harus tegak lurus untuk memaksimalkan energy yang ditransferkan oleh palu ke tiang borepile.

### 3.2.3 Data Tiang Borepile

No Tiang Borepile	Diameter Tiang (mm) dan Panjang (m)	Panjang Tiang Di bawah Instrumen	Panjang Tiang Yang Tertanam	Tanggal Pengujian
Abt 1 – P 5	Ø 800 mm, 38,00 m	36,70 m	36,40 m	5 Sept 2023

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data hasil pengujian *Static Loading Test* (SLT), pada Proyek Pembangunan Tol Probowangi Paket 2 Sta. 09 + 000 – 20 + 200, maka bisa diambil kesimpulan, sebagai berikut :

- 1) Abutment A1 Sta. 0 + 600, titik No. P6
  - a) Total penurunan (*Settlement*) dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Tiang No	Ø Tiang	Beban Test (ton) -150 %	Penurunan (mm)			Ket
				Gross (mm)	Nett. (mm)	Rebound (mm)	
1	P - 6	800 mm	346,1 (150 %)	2,46	0,79	1,68	< 2,5 mm

- b) Hasil interpretasi daya dukung aksial tiang :

No	Tiang No	Ø Tiang	Daya Dukung Ultimit (Ton)			Rata – Rata P ultimate (Ton)
			Chin's Method	Van Deer Veen Method	Mazurkiwiech Method	
1	P - 6	800 mm	395	400	398	397,7

- 2) Abutment A2 Sta. 0 + 600, titik No. P15
  - a) Total penurunan (*settlement*) dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Tiang No	Ø Tiang	Beban Test (ton) -150 %	Penurunan (mm)			Ket
				Gross (mm)	Nett. (mm)	Rebound (mm)	
1	P - 15	800 mm	346,1 (150 %)	2,92	0,79	2,13	< 2,5 mm

- b) Hasil interpretasi daya dukung Aksial tiang :

No	Tiang No	Ø Tiang	Daya Dukung Ultimit (Ton)			Rata – Rata P ultimate (Ton)
			Chin's Method	Van Deer Veen Method	Mazurkiwiech Method	
1	P - 15	800 mm	392	400	394	395,3

- 3) Abutment A2 Sta. 19 + 951, titik No. P11  
 a) Total penurunan (*settlement*) dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Tiang No	Ø Tiang	Beban Test (ton) -150 %	Penurunan (mm)			Ket
				Gross (mm)	Nett. (mm)	Rebound (mm)	
1	P - 11	800 mm	422,7 (150 %)	3,65	1,15	2,5	< 2,5 mm

- b) Hasil interpretasi daya dukung Aksial tiang :

No	Tiang No	Ø Tiang	Daya Dukung Ultimit (Ton)			Rata – Rata P ultimate (Ton)
			Chin's Method	Van Deer Veen Method	Mazurkiwiech Method	
1	P - 11	800 mm	559	550	571	560

Berdasarkan hasil dari pengujian dinamis *Pyle Driving Analyzer* (PDA) dan Analisa CAPWAP pada proyek Pembangunan Tol Probowangi Paket 2 Sta. 09 + 000 – 20 + 200, karena analisa CAPWAP didapat hasil yang lebih akurat maka nilai daya dukung tiang yang direkomendasikan adalah berdasarkan hasil analisa CAPWAP. Tiang uji PDA dalam kondisi baik selama pengujian dan efisiensi energi palu selama pengujian seperti pada tabel diatas.

Adapun daya dukung tiang adalah sebagai berikut :

Nomor Tiang Uji	Daya dukung tiang [ton]			Keterangan
	CAPWAP			
	Total (ton)	Lekatan (ton)	Tahanan ujung (ton)	
ABT 1 - BP 5	462.13	419.08	43.05	

Nomor Tiang Uji	Daya dukung tiang [ton]			Keterangan
	CAPWAP			
	Total (ton)	Lekatan (ton)	Tahanan ujung (ton)	
PILAR 3 - BP 18	564.16	430.35	133.81	

## REFERENSI

Standards:

- [1] ASTM D1143-81 *Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load*. (1994).

Proceeding :

- [2] Chin Y.K., Tan S.L. and Tan S.B. (1985). “*Ultimate Load Tests on Instrumented Bored Piles in Singapore Old Alluvium*”. Eight Southeast Asian Geotechnical Conference, Kuala Lumpur.

Jurnal :

- [3] Davisson, M.T. (1972). *High Capacity Piles, In Innovations in Foundation Construction, Soil Mechanics Division, Illinois, ASCE, Chicago, USA*, pp.81-112.
- [4] Hasnat, A., Uddin, A. F., Haque, E., Saha, P., & Rahman, M. W. (2012). “*Ultimate Load Capacity of Axially Loaded Vertical Piles from Full Scale Load Test Results Interpretations- Applied to 20 Case Histories*”. International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD-2012), KUET, Khulna, Bangladesh.

Jurnal Terjemahan :

- [5] Setio, HD, Setio, S, Martha, D, Kamal, B.r dan Nasution, S (2000), "*Analisis Daya Dukung Tiang Pancang dengan Metode Dinamik*", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan IV, INDO-GEO 2000 HATTI, Jakarta, V27 V 35