

# EVALUASI PENYIMPANGAN PONDASI TIANG DARI RENCANA AWAL

Charles<sup>1</sup>, Hendry<sup>2</sup> and Gogot<sup>3</sup>

**ABSTRAK :** Penelitian ini bertujuan untuk mencari ketepatan dalam pemancangan pondasi tiang dan membandingkan penyimpangan titik tiang pancang yang terjadi di lapangan dengan batasan standar-standar yang ada. Standar-standar yang digunakan untuk batasan toleransi penyimpangan pada tiang pancang adalah British Standard, Canadian Standard, dan Indian Standard. Ke-3 standar di atas menggunakan batas penyimpangan tiang pancang maksimum sebesar 75mm dan 150mm. Data yang menunjukkan besarnya penyimpangan tiang pancang ditentukan dari hasil perpindahan tiang secara lateral dari posisi awal rencana tiang pancang tersebut. Hasil penelitian awal terhadap 19 proyek yang menggunakan pondasi tiang dengan dimensi dari 250mm sampai 600mm menunjukkan bahwa sekitar 40% tiang dengan diameter 600mm berada dalam batas penyimpangan kurang dari 75mm, sedangkan sekitar 60% tiang dengan diameter 500mm, dan sekitar 65% tiang berdiameter 250mm sampai dengan 450mm. Dengan kata lain dapat disimpulkan bahwa semakin besar dimensi tiang semakin menurun tingkat ketepatan posisi tiang.

**KATA KUNCI:** penyimpangan tiang, pergerakan tiang, pondasi tiang

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Pondasi harus didesain dengan teliti dan sesuai dengan aturan yang berlaku. Pemancangan tiang akan mempengaruhi tanah yang berada dekat dengan tiang pancang. Pemancangan tiang yang berdekatan dapat menimbulkan pergerakan lateral dari tanah dan efek pemancangan tiang dalam grup menyebabkan penyimpangan posisi pada tiang-tiang yang telah tertanam sebelumnya. Faktor lain yang juga mempengaruhi terjadinya penyimpangan posisi tiang adalah proses pelaksanaan seperti ketidakteelitian alat atau operator (*human error*). Hal ini menyebabkan eksentrisitas dan pusat kekakuan dari tiang dalam grup tidak sesuai seperti perencanaannya, maka akan menyebabkan pembesaran *pile-cap*.

### 1.2. Perumusan Masalah

- Bagaimana ketelitian titik tiang pancang dari rencana awal dengan keadaan sebenarnya ?
- Seberapa besar penyimpangan pemancangan tiang yang terjadi dengan rencana awal ?

### 1.3. Batasan Masalah

Penelitian menggunakan data *as-built drawing* dari proyek-proyek yang sudah selesai proses pemancangannya, sehingga faktor-faktor ketelitian dari pelaksanaan kerja dan pergerakan tanah akibat tiang yang dipancang berdekatan tidak diperhitungkan.

---

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, charles\_sue@rocketmail.com

<sup>2</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, hendry\_agustin@yahoo.com

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, gogot@petra.ac.idm

#### 1.4. Tujuan Penelitian

- Mencari ketelitian dalam pemancangan pondasi tiang.
- Membandingkan penyimpangan titik tiang pancang yang terjadi dengan standar-standar yang ada.

#### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini bermanfaat untuk memberikan wawasan bahwa variasi dari dimensi tiang pancang mempengaruhi besarnya penyimpangan yang terjadi.

#### 1.6. Ruang Lingkup Penelitian

- Penyimpangan tiang-tiang pancang yang dipancang dengan metode *jack-in*
- Penelitian ini menggunakan tiang pancang berdimensi 600mm, 500mm, 450mm, 400mm, 300mm, dan 250mm dari 19 proyek.

## 2. LANDASAN TEORI

### 2.1. Pondasi Tiang

Pondasi tiang pancang adalah bagian dari suatu konstruksi yang dibuat dari kayu, baja, atau beton yang dipakai untuk meneruskan beban – beban dari struktur bangunan atas ke lapisan tanah pendukung dibawahnya pada kedalaman tertentu. Adapun masalah dari pemancangan pondasi tiang yang sering terjadi, salah satunya adalah pegeseran titik tiang yang telah terpancang atau perpindahan tiang tersebut. Kasus tersebut banyak dijumpai pada tiang yang berkelompok, diakibatkan karena adanya desakan antar tiang yang tertanam berdekatan. Tetapi apabila pada *single pile* terjadi perpindahan tiang yang melebihi batas toleransi, maka hal tersebut kemungkinan besar merupakan kesalahan dari pengerjaan (*human error factor*).

### 2.2. Alat Pancang dengan *Jack-In Pile*

*Jack-in pile* merupakan salah satu cara pemancangan tiang yang pelaksanaannya dengan menekan tiang pancang ke dalam tanah dengan menggunakan dongkrak *hydraulic* yang diberi beban *counter weight* agar alat pancang tidak terangkat dan membantu memancang tiang hingga tercapai daya dukung desainnya. Ada dua macam cara pergerakan dari alat *jack-in pile* ini, tipe dengan roda *crawler* dan tipe robot. Bedanya tipe robot ini memiliki *moving set up* antar titik yang lebih lambat apabila dibandingkan dengan tipe beroda.

### 2.3. As-Built Drawing

*As-Built Drawing* yaitu gambar yang dibuat sesuai kondisi terbangun di lapangan yang telah mengadopsi semua perubahan yang terjadi selama proses konstruksi yang menunjukkan dimensi, geometri, dan lokasi yang aktual atas semua elemen proyek. Tujuan gambar ini adalah sebagai pedoman pengoperasian bangunan yang telah mengadopsi perubahan yang dilakukan pada saat konstruksi dimana perubahan tersebut ditandai secara khusus. *As-Built Drawing* dibuat oleh kontraktor dengan persetujuan Penyedia Jasa / Owner melalui proses cek oleh konsultan pengawas.

### 2.4. Toleransi Pergeseran Tiang Pancang yang Diijinkan

Pada pengerjaan suatu pemancangan tentunya harus mengikuti peraturan yang berlaku dan disetujui oleh pihak yang terlibat dalam proses konstruksi tersebut. Berikut adalah toleransi yang berlaku secara internasional dan umum digunakan dalam pengerjaan proses pemancangan pondasi tiang.

#### 2.4.1. *British Standard*

Dalam *British Standard* pasal 7.4.2.5.4 membahas '*position and alignment tolerances*' yang berisikan batas maksimal pergeseran tiang pancang adalah 75 mm dari posisi awal rencana. Apabila melebihi batas tersebut diatas, maka akan terjadi pembesaran *pile cap* sesuai dengan pasal 7.3 yang membahas '*design considerations*'. Kutipan batasan toleransi diatas terdapat pada *British Standard* (2004).

### 2.4.2. *Indian Standard*

*Indian Standard* membahas desain dan pemancangan pondasi tiang yang pada pasal 8.1.2 ‘*control of alignment*’ yang berisikan tentang pergeseran tiang tidak boleh melebihi nilai yang terkecil antara 75 mm atau  $D/6$ . Untuk diameter tiang yang melebihi 600 mm, maka dipakai nilai yang terbesar dari 75 mm atau  $D/10$ . Batasan toleransi ini dikutip pada *Indian Standard* (2010).

### 2.4.3. *Canadian Standard*

Mengatur spesifikasi pekerjaan pemancangan tiang dalam pasal 3.10, tentang ‘*tolerances*’ yang menyebutkan bahwa kepala tiang pancang pergeserannya tidak boleh melebihi 150 mm dari posisi rencana awal setelah semua titik tiang terpancang (*Canadian Standard* 1990).

## 3. METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Studi Literatur

Studi literatur dimulai dengan mencari materi yang berhubungan dengan penyimpangan tiang pancang yang terjadi setelah selesainya proses pemancangan dan toleransinya. Studi literatur ini dapat berbentuk artikel, standar-standar internasional maupun nasional spesifikasi pekerjaan konstruksi, jurnal ilmiah dan buku referensi. Studi literatur bertujuan untuk mendapatkan referensi yang tepat dan dapat digunakan sebagai bahan pendukung dalam penelitian.

### 3.2. Proses Pengumpulan Data

Mengumpulkan data-data proyek yang telah selesai proses pemancangan pondasi tiangnya dengan menggunakan alat *jack-in pile*. Data-data tersebut berupa gambar *as-built drawing* beserta *file Ms. Excel*-nya yang diperoleh dari salah satu perusahaan jasa pemancang di Surabaya. Data yang diperoleh ini, mempunyai keterangan diameter tiang, posisi titik awal serta posisi titik akhir tiang setelah pemancangan selesai. Terdapat 19 data *as-built drawing* dari proyek yang berada di daerah Surabaya dan beberapa dari daerah lain.

### 3.3. Input

Input yang dilakukan ini menggunakan program Ms. Excel yang bersifat numerik, berdasarkan data-data yang didapatkan sebelumnya. Data-data tersebut meliputi ukuran penampang tiang pancang, jenis penampang tiang pancang, jumlah tiang pancang, dan besar penyimpangan tiang pancang.

### 3.4. Proses Perhitungan

Proses perhitungan yang dilakukan pada tugas akhir ini menggunakan program Ms. Excel. Awalnya membuat kategori-kategori batasan penyimpangan interval 25mm dan interval 75mm. Selanjutnya data penyimpangan tiang pancang pada proyek yang didapat sebelumnya, dihitung jumlah tiang pancang yang menyimpang sesuai kategori-kategori diatas dan diolah ke dalam analisa berbentuk presentase. Standar-standar yang didapatkan dari studi literatur digunakan sebagai batasan toleransi penyimpangan dari analisa tersebut. Standar-standar yang digunakan adalah tiang pancang tidak boleh melebihi 75mm (*British Standard* dan *Indian Standard*) dan juga 150mm (*Canadian Standard*). Dalam proses perhitungan ini, dilakukan untuk setiap dimensi tiang dan setiap proyek.

### 3.5. Output

Output yang dihasilkan pada program Ms. Excel tersebut meliputi :

- Grafik dan histogram distribusi penyimpangan, dimana grafik menunjukkan penyebaran penyimpangan tiang pada setiap dimensi tiang pada setiap proyek dan histogram berupa persentase dari jumlah banyaknya tiang yang menyimpang sesuai kategori-kategori interval 25mm dan interval 75mm. Jumlah grafik dan histogram yang dihasilkan sesuai dengan banyaknya dimensi pada tiang dan setiap proyek.
- Dari grafik dan histogram distribusi penyimpangan maka dibuat tabel data tiang dan penyimpangan setiap interval 25mm dan 75mm.

- Dibuat histogram presentase yang menghubungkan seluruh proyek, yang menggunakan dimensi tiang yang sama dengan interval penyimpangan 75mm. Jumlah histogram yang dihasilkan sesuai dengan banyaknya dimensi tiang yang digunakan pada 19 proyek.
- Dari histogram-histogram presentase dirangkum dan dibuat tabel. Setelah itu diperoleh grafik hubungan dimensi tiang pancang dengan persentase penyimpangan kategori interval 75mm. Jumlah grafik yang dihasilkan adalah 3 grafik, yaitu sesuai dengan hasil dari interval 75mm (0-75mm, 75-150mm, dan lebih dari 150mm).

## 4. HASIL DAN ANALISA PENELITIAN

### 4.1. Umum

Bab ini berisi penjelasan tentang hasil perbandingan banyaknya tiang yang mengalami penyimpangan pada pengerjaan pondasi tiang dengan menggunakan alat pancang *jack-in pile*. Parameter yang diperiksa adalah pergeseran titik tiang pancang yang terjadi pada 19 proyek. Dalam penelitian ini digunakan 3 standar sebagai toleransi penyimpangan atau pergeseran tiang-tiang yang terjadi, yaitu *British Standard*, *Indian Standard*, dan *Canadian Standard*. Ketiga standar adalah sebagai berikut :

- *British Standard* : penyimpangan tiang pancang tidak melebihi 75mm
- *Indian Standard* : penyimpangan tiang pancang tidak melebihi 75mm
- *Canadian Standard* : penyimpangan tiang pancang tidak melebihi 150mm

### 4.2. Data Tiang dan Penyimpangan Tiang

**Tabel 1** berisikan tentang informasi lokasi pada proyek, dimensi tiang, jarak antar tiang yang digunakan, variasi jumlah tiang dalam poer, dan proyek yang menggunakan *pre-boring*. Data dimensi tiang, jumlah tiang, dan data penyimpangannya dipresentasikan pada **Tabel 2**. Penyimpangan tiang menjadi 3 kelompok masing-masing 0-75mm, 75-150mm, lebih besar dari 150mm. **Tabel 3** menunjukkan detail dari penyimpangan tiang yaitu dikelompokkan setiap interval 25mm.

**Tabel 1. Informasi Proyek**

No. Proyek	Lokasi	Dimensi (mm)	Type Pile Cap	Jarak Antar Tiang (mm)	Pre-boring
			(PCn)		
1	Surabaya selatan	φ600	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PC27	1800	X
		φ500	PC2,PC3	1500	
		φ250	PC2,PC3,PC4	750	
2	Denpasar selatan	φ400	PC2,PC3,PC4,PC6,PC8,PC10,PC12,PC14	1200	X
			PC7	1250	
3	Madiun Tengah	φ400	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7	1200	√
			PC20	1500	
4	Surabaya barat	φ500	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC8	1500	√
5	Surabaya Tengah	φ250	PC2,PC4,PC6,PC10,PC25	750	√
6	Surabaya Selatan	φ500	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC8,PC9,PC12,PC14	1500	√
			PC42	1700	
7	Banyuwangi	φ600	Raft	1800	√
8	Surabaya Barat	φ500	PC2	1600	√
			PC3,PC5,PC6,PC7,PC123,PC320,PC495	1500	
9	Surabaya Timur	φ500	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PC22,PC25,PC61	1500	X
10	Surabaya Timur	φ400	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC9,PC10,PC11,PC12	1200	X
11	Surabaya Timur	φ250	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PC8,PC9,PC10	750	X
			PC11,PC12,PC30,PC34,PC36,PC38		
12	Sidoarjo	300x300	PC3,PC4,PC5	900	X
13	Sidoarjo	φ450	PC,PC3,PC4	1350	X
14	Surabaya Timur	φ300	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC24	900	X
15	Surabaya Tengah	φ400	PC2,PC4,PC25,PC28	1400	√
			PC6,PC11,PC13	1200	
16	Surabaya Tengah	φ500	PC2,PC5,PC6,PC7	1500	√
17	Surabaya selatan	450x450	Raft	1400	X
18	Surabaya Timur	φ400	PC2,PC3,PC4,PC5,PC6,PC7,PC8,PC10,PC15,PC28	1200	X
19	Surabaya Selatan	250x250	PC2,PC3	750	X

Informasi lokasi, penggunaan *pre-boring*, jarak antar tiang dalam 1 *grup pile* dan variasi jumlah tiang dari *pile-cap* untuk setiap proyek disajikan pada **Tabel 1**. Jarak antar tiang pada proyek-proyek di atas rata-rata menggunakan 3D (D = dimensi tiang). PCn, dimana PC merupakan adalah poer (*pile-cap*)

dan  $n$  adalah jumlah dari tiang dalam 1 poer. Terdapat 2 proyek yang memiliki pondasi *raft*, yang berarti proyek tersebut memiliki jarak tiang yang sama

**Tabel 2. Data Tiang dan Penyimpangan Interval 75mm**

No. Proyek	Ukuran (mm)	Jml. Tiang (buah)	Penyimpangan (mm)			Pre-boring
			0-75	75-150	>150	
1	φ600	572	46%	41%	13%	X
	φ500	152	59%	30%	11%	
	φ250	128	83%	16%	1%	
2	φ400	265	84%	16%	0%	X
3	φ400	115	76%	23%	1%	√
4	φ500	614	73%	27%	0%	√
5	φ250	250	70%	28%	2%	√
6	φ500	193	51%	40%	9%	√
7	φ600	361	31%	34%	35%	√
8	φ500	1153	97%	2%	1%	√
9	φ500	627	56%	42%	2%	X
10	φ400	255	88%	12%	0%	X
11	φ250	679	46%	45%	9%	X
12	300x300	550	65%	28%	7%	X
13	φ450	378	75%	25%	0%	X
14	φ300	335	68%	30%	2%	X
15	φ400	141	52%	40%	8%	√
16	φ500	96	53%	36%	11%	√
17	450x450	796	66%	29%	5%	X
18	φ400	248	75%	20%	5%	X
19	250x250	424	67%	29%	4%	X

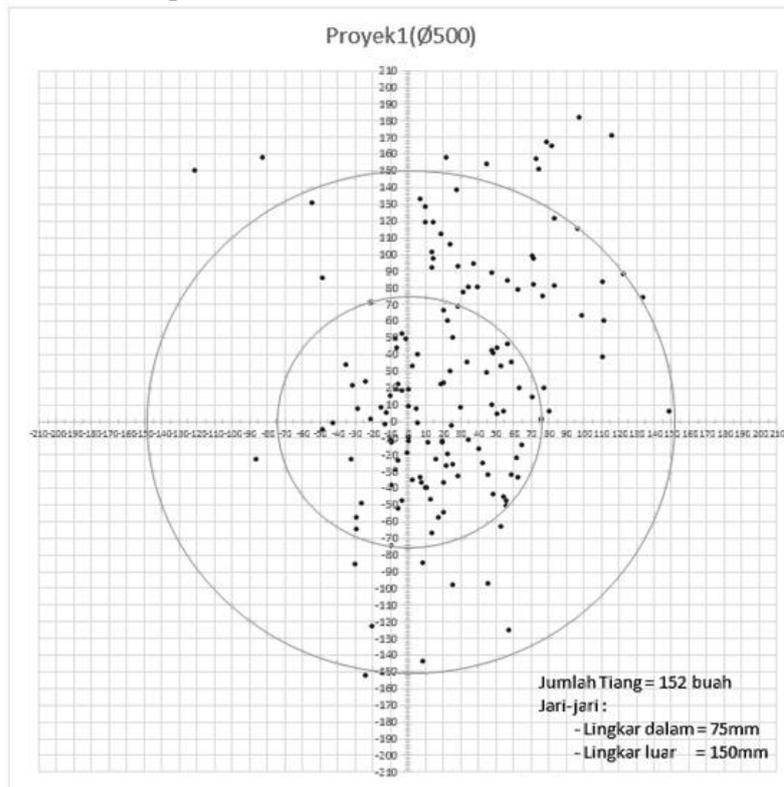
Pada **Tabel 2** dapat dilihat jumlah proyek dan informasi tiang yang dipakai, beserta total tiang pancang yang menyimpang setiap 75mm untuk masing-masing proyek dinyatakan dalam persen dari jumlah tiang dan penggunaan *pre-boring* tidak selalu memberikan ketelitian yang lebih baik bila dibandingkan dengan proyek-proyek yang tidak menggunakan *pre-boring*.

**Tabel 3. Data Tiang dan Penyimpangan Interval 25mm**

No. Proyek	Ukuran (mm)	Jumlah Tiang (buah)	Penyimpangan (mm)						
			0-25	25-50	50-75	75-100	100-125	125-150	>150
1	φ600	572	8%	16%	22%	15%	17%	8%	13%
	φ500	152	14%	24%	21%	11%	13%	7%	11%
	φ250	128	22%	40%	22%	9%	5%	2%	1%
2	φ400	265	17%	40%	28%	14%	2%	0%	0%
3	φ400	115	14%	24%	38%	17%	5%	1%	1%
4	φ500	614	2%	20%	50%	27%	0%	0%	0%
5	φ250	250	13%	27%	30%	17%	7%	3%	2%
6	φ500	193	13%	18%	20%	22%	12%	5%	9%
7	φ600	361	5%	11%	14%	17%	10%	7%	35%
8	φ500	1153	26%	56%	16%	2%	0%	0%	1%
9	φ500	627	2%	13%	40%	29%	11%	2%	2%
10	φ400	255	18%	44%	27%	10%	2%	0%	0%
11	φ250	679	5%	17%	24%	20%	14%	12%	9%
12	300x300	550	11%	27%	26%	17%	8%	3%	7%
13	φ450	378	14%	31%	30%	18%	7%	1%	0%
14	φ300	335	8%	28%	32%	16%	11%	3%	2%
15	φ400	141	4%	13%	34%	18%	16%	6%	8%
16	φ500	96	5%	19%	28%	25%	8%	3%	11%
17	450x450	796	11%	24%	31%	18%	7%	3%	5%
18	φ400	248	26%	31%	18%	14%	2%	3%	5%
19	250x250	424	10%	35%	13%	21%	17%	8%	4%

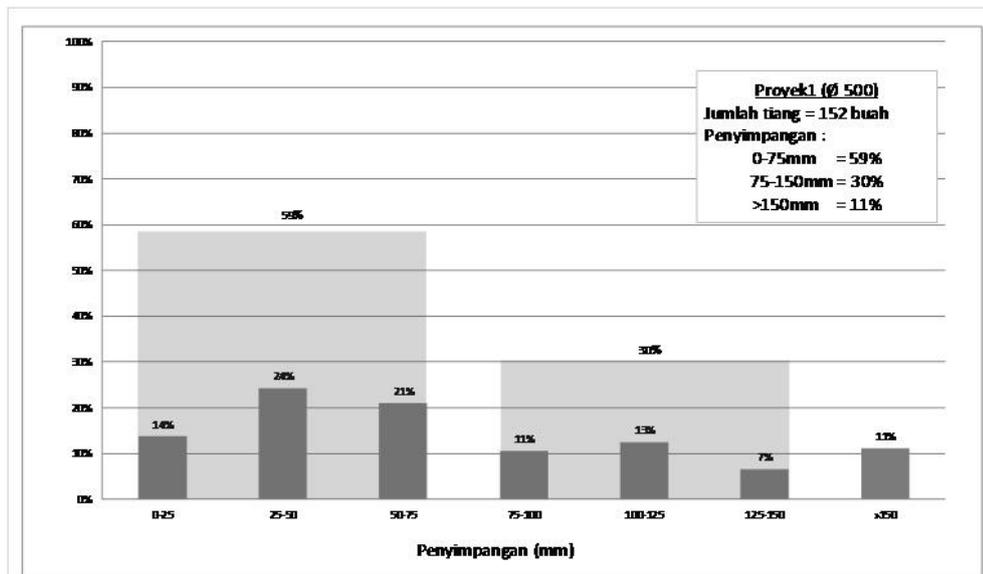
Pada **Tabel 3** dapat dilihat jumlah proyek dan informasi tiang yang dipakai, beserta total tiang pancang yang menyimpang setiap 25mm untuk masing-masing proyek dinyatakan dalam persen dari jumlah totalnya.

### 4.3. Grafik Distribusi dan Histogram



**Gambar 1. Grafik Distribusi Penyimpangan Proyek 1 Ø500**

Sebagai contoh untuk grafik distribusi penyimpangan pemancangan pondasi dalam diameter 500mm, dapat dilihat pada **Gambar 1**. Lingkaran dalam mempunyai radius 75mm dan lingkaran luar sebesar 150mm, yang merupakan batasan toleransi penyimpangan dari beberapa standar (codes). Grafik distribusi penyimpangan untuk setiap jenis pondasi dan proyek secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.



**Gambar 2. Histogram Distribusi Penyimpangan Proyek 1 Ø500**

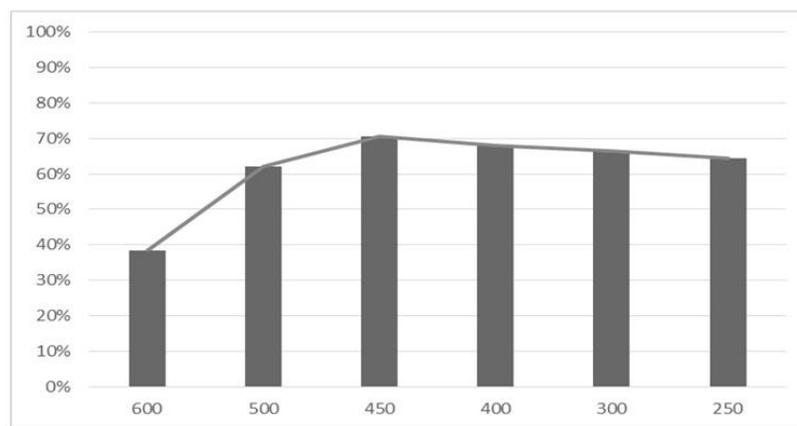
Dari **Gambar 2** menunjukkan secara detail pengelompokan penyimpangan pemancangan yang terjadi pada tiang diameter 500mm untuk proyek 1. Histogram penyimpangan untuk setiap jenis pondasi dan proyek secara lengkap dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4. Presentase Penyimpangan dari Semua Dimensi Seluruh Proyek

**Tabel 3. Persentase Penyimpangan dari Semua Dimensi untuk Seluruh Proyek**

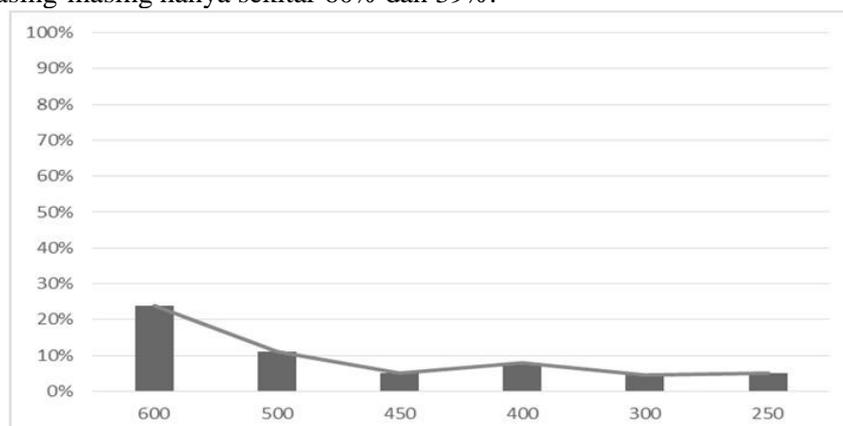
Dimensi	0-75mm	75-150mm	>150mm
φ600	38,5 %	37,5 %	24 %
φ500	60 %	30 %	10 %
φ450	70 %	25 %	5 %
φ400	67 %	25 %	8 %
φ300	66 %	29 %	5 %
φ250	65 %	31 %	4 %

Berdasarkan **Tabel 3** dapat disimpulkan bahwa ada kecenderungan semakin besar diameter tiang semakin besar pula presentasi banyaknya penyimpangan yang melebihi toleransi 75mm. Hal ini juga terlihat pada penyimpangan antara 75mm sampai 150mm. Hasil presentase untuk proyek 8 dengan diameter 500mm tidak diikut sertakan dalam pembuatan tabel, karena hampir semua tiang yang terpancang tidak melebihi 75mm atau sesuai standar yang ditentukan. Apabila besarnya penyimpangan pemancangan untuk setiap dimensi tiang dirata-rata, maka hubungan antara persentase penyimpangan dan dimensi tiang dapat dilihat pada masing-masing **Gambar 3**, **Gambar 4** dan **Gambar 5** untuk penyimpangan 0-75mm, 75-150mm, dan lebih besar 150mm.



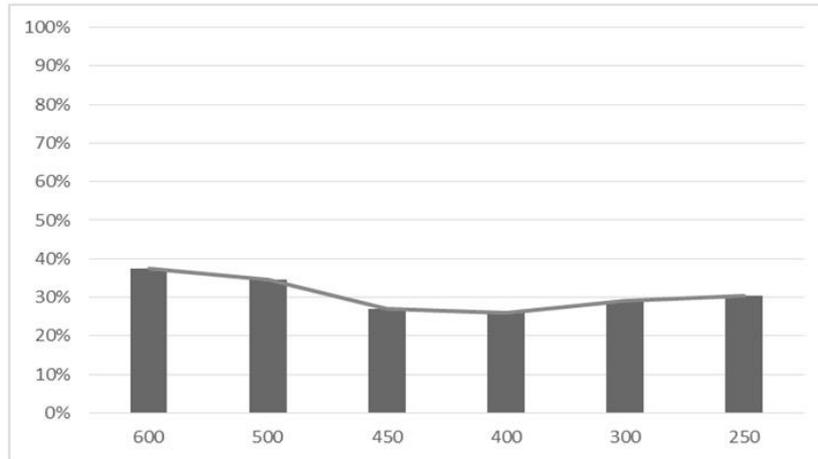
**Gambar 3. Histogram Distribusi Penyimpangan Proyek 1 Ø500**

Dari **Gambar 3** terlihat bahwa besarnya penyimpangan untuk tiang diameter 250mm sampai 450mm yang masih dalam kriteria standar (<75mm) adalah 70%. Namun untuk tiang dengan dimensi 500mm dan 600mm masing-masing hanya sekitar 60% dan 39%.



**Gambar 4. Histogram Distribusi Penyimpangan Proyek 1 Ø500**

Untuk **Gambar 4** batasan penyimpangan antara 75mm sampai 150mm, masih terlihat bahwa tiang dengan diameter 600mm (38%) dan 500mm (35%) adalah lebih tinggi dari tiang yang diameternya lebih kecil (30%).



**Gambar 5. Histogram Distribusi Penyimpangan Proyek 1  $\Phi$ 500**

Pada **Gambar 5** penyimpangan tiang diameter 600mm dan 500mm yang lebih besar dari 150mm masing-masing adalah 24% dan 10%. Sedangkan penyimpangan untuk diameter yang lebih kecil hanya sekitar 5%.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian korelasi antara dimensi tiang pancang dengan penyimpangan pemancangan dari 19 proyek, penggunaan *pre-boring* juga tidak memperlihatkan penyimpangan tiang memiliki hasil yang lebih presisi dibandingkan dengan proyek yang tidak menggunakan. Secara umum dapat terlihat bahwa semakin besar dimensi tiang pancang yang dipakai maka ada kecenderungan penyimpangan yang terjadi semakin besar. Kesimpulan di atas diperoleh dari hasil penelitian berikut, yaitu:

- Sekitar 65% tiang berdiameter 250mm sampai dengan 450mm masih dalam batas toleransi penyimpangan dibawah 75mm, 30% dengan penyimpangan antara 75mm sampai dengan 150mm, dan 5% lebih besar dari 150mm.
- Sekitar 60% tiang dengan diameter 500mm berada dalam batasan penyimpangan kurang dari 75mm, sekitar 30% berada pada penyimpangan antara 75mm sampai 150mm, dan 10% pada batasan lebih besar dari 150mm.
- Sekitar 40% tiang dengan diameter 600mm berada dalam batas penyimpangan kurang dari 75mm, sekitar 40% berada pada penyimpangan antara 75mm sampai 150mm, dan 20% pada batasan lebih besar dari 150mm.

### 5.2. Saran

- Menambah jumlah *sample* / proyek yang memakai pondasi tiang dengan alat pemancangan, tipe dimensi dari tiang pancang, dan jenis tanah yang sama.
- Mencari standar-standar lainnya yang memiliki toleransi berbeda dari standar yang dipakai pada penelitian ini

## 6. DAFTAR REFERENSI

- British Standard*, (2004). *Code of Practice for Foundations*, Loughborough, England.
- Bureau of Indian Standards*, (2010). *Design and Construction of Pile Foundations*, New Delhi, India.
- Fellenius, B.H. and Decurtis, E. (1990). *Canadian Master Construction Specifications for Piling*, Canada.