

TINJAUAN TINGKAT KERUSAKAN BANGUNAN AKIBAT PENGARUH GETARAN PEMANCANGAN PONDASI TIANG PADA HOTEL MENTARI BANJARMASIN

Rusdiansyah¹

Abstract - Dalam kajian ini membahas tentang tinjauan tingkat kerusakan bangunan akibat pengaruh getaran pemancangan pondasi tiang pada proyek pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin. Metode yang menggunakan data kalendering pemancangan pondasi tiang untuk mendapatkan nilai frekuensi dan amplitudo yang dihasilkan dari proses pemancangan tersebut.

Setelah diketahui tingkat kerusakan secara teoritis, kemudian dibandingkan dengan kerusakan bangunan hasil pengamatan langsung di lapangan. Tingkat kerusakan pada bangunan SD Kartika VI bagian I dan II ditinjau dari analisa perhitungan dan pengamatan langsung di lapangan menunjukkan kesesuaian, namun lain halnya untuk bangunan Hotel Mentari lama yang menunjukkan ketidaksesuaian. Setelah dilakukan pengamatan lebih lanjut ditemui beberapa variabel penyebab ketidaksesuaian tersebut. Variabel-variabel tersebut adalah jarak sumber getaran terhadap bangunan dan karakteristik bangunan itu sendiri yang meliputi umur bangunan, dimensi bangunan, dan jenis pondasi yang digunakan.

Untuk mengantisipasi kerusakan yang parah atau terjadinya keruntuhan, maka diberikan suatu solusi alternatif berupa isolasi getaran pasif, yaitu galian terbuka dan pipa berongga. Setelah melalui proses perhitungan dan pertimbangan kemungkinan pelaksanaan pekerjaan di lapangan untuk pemberian isolasi getaran, ternyata pipa berongga dengan selimut beton merupakan jenis isolasi getaran yang paling memungkinkan untuk diberikan dalam upaya melindungi bangunan sekitar dari pengaruh getaran pemancangan pondasi tiang.

Keywords: , *frekuensi, amplitudo, isolasi getaran, pipa berongga*

PENDAHULUAN

Setiap bangunan teknik sipil seperti gedung, dam, tembok penahan tanah, jalan dan sebagainya memerlukan pondasi untuk mendukung struktur di atasnya. Beban dari struktur atas harus diteruskan kedalam tanah melalui pondasi. Tipe pondasi dari suatu struktur bangunan teknik sipil sangat tergantung dari kondisi tanahnya serta beban yang harus dipikul.

Pondasi tiang pancang dipakai sebagai salah satu pilihan untuk bangunan sipil bilamana pondasi dangkal tidak memberikan jaminan terhadap stabilitas dan keamanan bangunan.

Di daerah Kalimantan Selatan terutama Banjarmasin, daerahnya berupa lahan rawa

yang berarti memiliki jenis tanah lunak. Tanah lunak diketahui sebagai tanah pendukung yang buruk bagi konstruksi di atasnya.

Sifat kompresibilitas dan kadar airnya yang tinggi serta sifat heterogenitas materialnya menimbulkan berbagai masalah konstruksi, terutama daya dukung yang rendah, masalah penurunan yang besar selama dan setelah konstruksi dibangun.

Hal diatas menyebabkan banyak perencanaan untuk bangunan-bangunan berlantai banyak yang memilih pondasi tiang pancang sebagai salah satu alternatif yang aman. Seperti yang kita ketahui bahwa kota Banjarmasin merupakan kota yang sangat

¹ Staf Pengajar Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat, email: rusdinat@yahoo.com

padat penduduknya yang mana tata letak bangunannya memiliki jarak antar bangunan yang sebagian besar sangat berdekatan.

Dari tahun ketahun pembangunan kota Banjarmasin begitu pesat, dapat terlihat dari banyaknya bangunan-bangunan bertingkat banyak yang dibangun dengan jarak yang saling berdekatan.

Penggunaan pondasi tiang pancang dalam pelaksanaannya didahului dengan proses pemancangan. Dalam proses pemancangan tiang pancang tersebut, sering menimbulkan masalah antara lain kebisingan dan getaran yang dihasilkan. Setiap orang yang berdiri di sekitar lokasi titik pemancangan, rata-rata bisa merasakan getaran pada tanah akibat pemancangan pondasi tiang. Jika di sekitar lokasi pemancangan pondasi tiang terdapat bangunan, masalah yang umum muncul berkaitan dengan dampak yang dihasilkan oleh proses pemancangan adalah belum diketahuinya jarak minimum titik pemancangan yang tidak menyebabkan kerusakan pada bangunan di sekitarnya.

Berdasarkan hasil penelitian dan studi kasus yang telah dilakukan oleh para peneliti sebelumnya, banyak masalah yang ditimbulkan akibat proses pemancangan pondasi tiang ini, antara lain getaran, penurunan tanah, keretakan bangunan dan lain sebagainya, maka dalam perencanaan struktur bangunan kiranya harus memperhatikan masalah yang mungkin timbul akibat pemancangan pondasi tiang.

Getaran merupakan suatu masalah yang sering terjadi dalam pekerjaan pemancangan pondasi tiang. Sehubungan dengan hal itu, penulis mencoba meneliti seberapa besar dampak lingkungan yang dihasilkan oleh getaran tersebut yang dapat menyebabkan kerusakan terhadap gedung di sekitarnya. Faktor penting untuk menilai sifat kekuatan suatu getaran akibat pemancangan pondasi tiang pancang adalah antara lain dengan mengukur parameter-parameter getaran tersebut, antara lain besarnya amplitudo getaran dan frekuensi getaran. Besar kecil suatu getaran juga sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor lain, yaitu kondisi tanah, bentuk dan ukuran pondasi tiang, berat hammer dan tinggi jatuh hammer.

Ruang lingkup permasalahan yang akan dibahas dalam kajian ini adalah dampak getaran pemancangan pondasi tiang pancang terhadap bangunan sekitar. Adapun yang dijadikan tinjauan oleh penulis adalah tingkat kerusakan bangunan akibat proses pelaksanaan pemancangan tiang pancang pada proyek pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin.

Hal-hal penting dari pembatasan masalah di sini adalah :

- Besarnya getaran akibat pemancangan tidak diukur dengan peralatan ukur getaran, sehingga pada penelitian tidak ada suatu faktor pembanding antara hasil perhitungan dengan data yang diperoleh langsung di lapangan.
- Jarak (ruang) antara sumber bunyi ke bangunan dalam perhitungan ini adalah diabaikan.
- Metode pelaksanaan secara detail tentang penanggulangan dampak getaran adalah tidak dibahas dalam tulisan ini.

KAJIAN TEORITIS

Perhitungan Frekuensi dan Amplitudo Tanah

1. Perhitungan Frekuensi

Massa hammer pemancangan dan timbulnya resonansi pada tanah dapat dipandang merupakan suatu dinematika periode (T).

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Frekuensi

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Koefisien tahanan

$$K = \frac{P}{\delta}$$

Nilai Penetrasi

$$\delta = k/n$$

(Gaya impat tiap tumbukan atau merupakan perbandingan rasio konstanta tiap kali tumbukan).

dimana:

T = Periode (sec)

f = Frekuensi (Hz)

P = Gaya Tumbukan (ton)

n = Jumlah tumbukan
 k = Kedalaman penetrasi dalam tanah (m)
 m = Massa tiang dan hammer (T.sec²/N)
 K = Koefisien tahanan
 δ = Nilai penetrasi

2. Perhitungan Amplitudo

Rumus perhitungan amplitudo adalah :

$$X_r = X_1 e^{-\lambda r / r^n}$$

dimana :

X_r = Amplitudo (jarak titik tempat pengukuran tiang pancang)
 R = Jarak (m)
 λ = Koefisien perlemahan di permukaan tanah antara 0,06 – 0,1
 n = Suatu konstanta antara 0,5 – 1
 X₁ = Amplitudo jarak 1 m
 dimana X₁ = 2 mm dari pusat getaran

3. Perhitungan Gaya Impat

Rumus perhitungan gaya impat:

$$P = \frac{2wh\sqrt{2gH}}{gto}$$

dimana :

P = Gaya impat (ton)
 Wh = Berat hammer (ton)
 H = Tinggi jatuh hammer (m)
 g = Gaya gravitasi (m/s²)
 to = Waktu tumbukan (sec)
 Besarnya gaya impat didapatkan dari berat hammer dan tinggi jatuh hammer waktu tumbukan

Metode Alternatif dengan Isolasi Pasif.

Perhitungan Dimensi Galian dan Pipa Berongga

Prosedur perhitungan :

1. Sumber data. Informasi berupa frekuensi pemancangan tiang pancang.
2. Data tanah, termasuk di dalamnya adalah berat jenis tanah dan kadar air tanah. Cepat rambat gelombang Reyleigh V_R dapat ditentukan pada lokasi pemancangan. Alternatif lain nilai ini dapat ditentukan dengan metode cross bore hole. Kecepatan gelombang geser V_S dapat dihitung dengan:

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

Asumsi : V_R ≈ V_S

dimana :

V_S = Kecepatan gelombang transversal (m/sec)

V_P = Kecepatan gelombang longitudinal (m/sec)

G = Shear modulus (kg/cm²)

ρ = Massa volumik tanah (kg.sec/m⁴)

γ = Berat volume tanah (kg/m³)

g = Gaya gravitasi (m/sec²)

3. Jarak antara sumber getaran dan struktur yang dilindungi serta ukuran areanya.

4. Menghitung panjang gelombang permukaan (gelombang Reyleigh) yang merambat melalui permukaan tanah.

Panjang gelombang tersebut dihitung dengan rumus :

$$\lambda_R = \frac{V_R}{f}$$

dimana :

λ_R = Panjang gelombang permukaan (m)

V_R = Cepat rambat gelombang permukaan (m/sec)

f = Frekuensi gelombang akibat pemancangan tiang pancang (Hz)

Isolasi pasif berupa galian terbuka

1. Menentukan kedalaman minimum dari galian H dengan:

$$H = 1,33 \lambda_R$$

2. Menentukan lokasi galian. Galian harus diletakkan antara 2,0 λ_R sampai 7 λ_R dari sumber getaran.

3. Panjang galian L. Panjang galian ditentukan dengan rumus:

$$L = \frac{A\tau}{H}$$

$$A\tau = 2,5 \lambda_R^2 \text{ untuk } R_o = 2 \lambda_R$$

$$A\tau = 6,0 \lambda_R^2 \text{ untuk } R_o = 7 \lambda_R \text{ dimana :}$$

Aτ = Proyeksi luas galian dalam arah vertikal (m²)

L = Panjang galian (m)

H = Kedalaman galian (m)

R_o = Jarak galian dari sumber getaran (m)

λ_R = Panjang gelombang permukaan (m)

Isolasi pasif berupa tiang berongga

1. Menghitung kedalaman pipa (H). Kedalaman minimum pipa H_{\min} adalah:

$$H_{\min} = 1,33\lambda_R$$

Diameter dari rongga pipa silinder (D). Diameter pipa dapat dihitung melalui persamaan :

$$\frac{D}{\lambda_R} \geq \frac{1}{6}$$

Jarak antar pipa S_n dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{S_n}{\lambda_R} < \frac{1}{4}$$

Menghitung impedansi gelombang Reyleigh pada tanah $\rho_s V_{R(s)}$, dengan memilih material pipa sehingga rasio impedansi $IR < 1$.

$$IR = \frac{\rho_p V_{R(p)}}{\rho_s V_{R(s)}}$$

2. Menentukan panjang dari penghalang pipa (L). Panjang dari penghalang pipa (L) dapat ditentukan dengan mengukur jarak sumber getaran terhadap batas terluar dari area yang dilindungi dan kemudian ditempatkan penghalang pipa tegak lurus dengan axis sumber getaran.

METODE

Pada tahap awal akan dilakukan persiapan penelitian. Persiapan penelitian berupa pengambilan data primer berupa data pemancangan tiang pancang, denah/layout proyek, data tanah, dan data layout tiang pancang dari proyek Pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin. Adapun data pemancangan diambil pada titik-titik terluar, yang artinya memiliki jarak terdekat dengan bangunan lama.

Setelah data pemancangan tiang pancang yang mencakup berat hammer, berat tiang, jumlah penetrasi, dan jumlah tumbukan didapat, maka dari data tersebut dihitung besarnya nilai penetrasi tumbukan, koefisien tahanan, periode dan frekuensinya, serta nilai amplitudo. Setelah semua nilai tersebut

didapat maka nilai amplitudo getaran dan frekuensi dimasukkan ke dalam sebuah kurva kerusakan yang diakibatkan oleh pemancangan tiang pancang. Dari hasil plot tersebut dapat diketahui tingkat kerusakan yang diakibatkan oleh pemancangan tiang pancang terhadap bangunan sekitarnya.

Langkah selanjutnya adalah menindaklanjuti tingkat keamanan dari hasil plot nilai-nilai di atas pada kurva tingkat keamanan pemancangan tiang pancang. Jika pada akhirnya diperoleh bahwa pemancangan tiang pancang tersebut menyebabkan kerusakan yang cukup berarti terhadap bangunan sekitar, maka akan diberikan sebuah solusi alternatif untuk mengatasi masalah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Kondisi Lapangan

Bangunan Hotel Mentari baru merupakan bagian dari proyek pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin yang terletak di Jalan Pangeran Samudera Banjarmasin. Bangunan Hotel Mentari baru pada bagian kanan letaknya berhimpit dengan bangunan Hotel Mentari lama dan bangunan balai belajar SD Kartika VI. Pada bagian belakang terdapat bangunan utama SD Kartika VI dan pada bagian kiri terdapat aliran sungai dengan lebar 1 (satu) m dan kedalaman 0,5 m.

Bangunan Hotel Mentari baru memiliki luasan/dimensi sebesar 32 m x 22 m dan memiliki 5 (lima) lantai. Jarak bangunan Hotel Mentari baru dengan bangunan yang ada di sekitarnya yaitu 2 m dari bangunan Hotel Mentari lama, 4 m dari bangunan SD Kartika VI, 3 (tiga) m dari bangunan balai belajar SD Kartika VI.

Bangunan SD Kartika VI terdiri dari dua bangunan yaitu bangunan I dan bangunan II. Bangunan I yaitu bangunan utama, terdiri atas 2 (dua) lantai dengan beton sebagai bahan lantai I dan kayu sebagai jenis lantai II. Dinding bangunan ini adalah pasangan batu bata dan jenis pondasi yang digunakan adalah cerucuk galam. Bangunan ini berjarak 4 m dari titik pemancangan terdekat.

Bangunan SD Kartika VI bagian II merupakan rumah yang dijadikan bilik pengajaran, hanya terdiri atas 1 (satu) lantai yang terbuat dari beton dan dinding dari pasangan batu bata. Jenis pondasi yang digunakan adalah cerucuk galam. Jarak bangunan ini terhadap bangunan Hotel Mentari baru adalah 2 m.

Bangunan Hotel Mentari lama terbuat dari pasangan batu bata dengan beton sebagai lantai. Jenis pondasi yang digunakan adalah pondasi dalam yaitu tiang pancang. Bangunan ini memiliki 5 (lima) lantai dan berjarak 2,5 m dari titik pemancangan terdekat.

Obyek pengamatan pada penelitian pengaruh getaran pemancangan pondasi tiang terhadap bangunan sekitarnya adalah bangunan SD Kartika VI bagian I dan II, serta bangunan Hotel Mentari baru. Adapun layout bangunan Hotel Mentari baru dan bangunan-bangunan di sekitarnya ditunjukkan pada Gambar 1a.

Penyelidikan Tanah di Lapangan dan di Laboratorium

Penyelidikan tanah pada proyek pengembangan Hotel Mentari yang berlokasi di Jalan Pangeran Samudra, Banjarmasin meliputi 3 (tiga) titik sondir ringan berkapasitas 2,5 ton dan 2 (dua) titik boring dengan kedalaman masing-masing adalah 40 m. Tujuan penyelidikan tanah ini adalah untuk mengevaluasi kondisi serta kekuatan tanah dasar setempat guna menunjang perencanaan pondasi bangunan. Dari penyelidikan tanah ini diharapkan dapat dicapai perencanaan pondasi yang tidak saja aman dan efisien, namun dapat dimungkinkan pula pelaksanaannya.

Adapun pengujian yang dilaksanakan adalah antara lain uji sondir, pemboran-Inti (*Core Drilling*) dan uji penetrasi standar (SPT) serta pengambilan sampel tanah tidak terganggu (*undisturb sample*). Untuk pengambilan sampel tanah dilakukan pada dua titik pengeboran yaitu titik BH1 dan BH2 yang dapat dilihat pada Gambar 1a.

Untuk pengujian di laboratorium dilakukan pada sampel tanah yang tidak terganggu

(*undisturb sample*) dan sampel tanah terganggu (*remolded*) meliputi :

- Uji kadar air alami (*natural water content*)
- Uji berat jenis (*specific gravity*)
- Uji batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*)
- Analisa ayakan dan hidrometer
- Uji kuat geser tanah
- Uji konsolidasi

Struktur lapisan-lapisan tanah hasil pemboran dan data sondir mengungkapkan kecocokkan. Lapisan tanah hingga kedalaman ± 34.5 m tersusun atas lempung dan pada bagian yang dalam sebagian lempung mengandung sedikit pasir, memiliki konsistensi sangat lunak sampai dengan kaku (SPT > 1 sampai dengan SPT < 10). Kedalaman 34,5 m hingga kedalaman 37,5 m dijumpai lapisan lempung dan pasir dengan nilai SPT sebesar 16 sampai dengan nilai SPT sebesar 27, termasuk memiliki konsistensi sangat kaku. Selanjutnya hingga kedalaman akhir pemboran yaitu pada kedalaman 40 m, dijumpai lapisan pasir padat dengan sedikit lanau. Nilai SPT-nya berkisar antara 43 sampai dengan 50.

Adapun ringkasan hasil pengujian di laboratorium diberikan dalam Tabel 1.

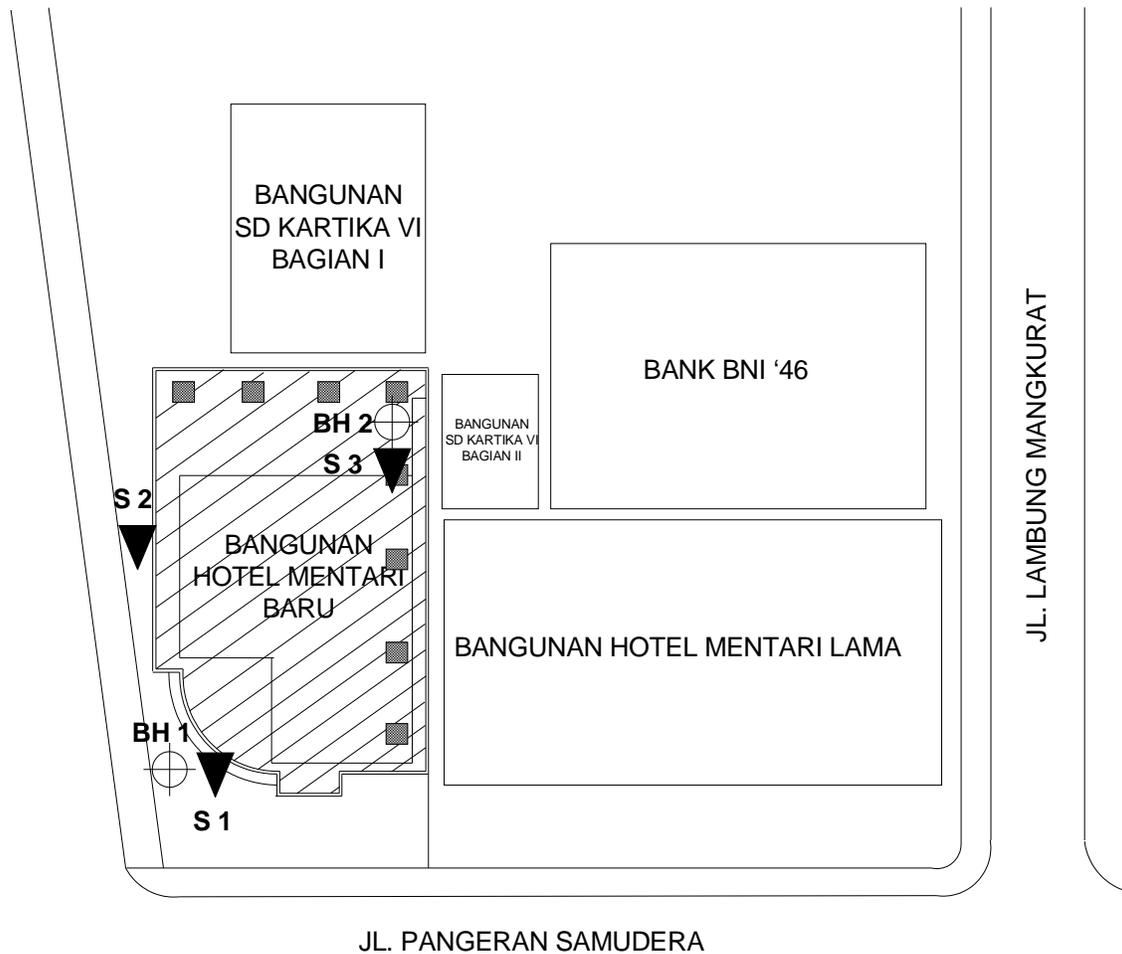
Mesin dan Tiang Pancang

Pada proyek pengembangan Hotel Mentari ini digunakan mesin pancang Kobelco tipe K-35 dengan spesifikasi yang terdapat dalam Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Spesifikasi Mesin Pancang yang Digunakan

Panjang total (mm)	4.650
Berat total hammer (kg)	7.500
Berat ram (kg)	3.500
Jumlah tumbukan per menit	39-60
Energi yang dikeluarkan per tumbukan (kg-m)	10.500
Tekanan yang diberikan pada tiang (ton)	150

Adapun tiang pancang yang digunakan adalah tiang pancang beton bertulang berpenampang persegi berukuran 40 x 40 cm. Panjang total tiang per titik adalah 38 m dengan tiga kali penyambungan.



Gambar 1a. Layout bangunan Hotel Mentari dan sekitarnya

Keterangan :

- = Pondasi tiang bagian terluar yang berdekatan dengan bangunan sekitar dengan penampang persegi 40 x 40 cm dan kedalaman 38 m. Total tiang pancang adalah 208 buah.
- ⊕ = Titik tempat dilakukannya pemboran tanah, terdiri dari dua titik yaitu titik BH 1 dan BH 2.
- ⊕ = Titik tempat dilakukannya uji sondir, terdiri dari tiga titik, yaitu titik S1, S2 dan S3.

Analisa Perhitungan Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Tiang Pancang

Bagan alir penyelesaian perhitungan analisa pengaruh getaran pemancangan pondasi tiang pancang adalah sebagai berikut:

Untuk memudahkan analisa penentuan nilai pengaruh getaran pemancangan pondasi tiang pancang maka ditetapkan 2 (dua) titik pengamatan yang merupakan sebagian titik pemancangan dari seluruh titik pemancangan yang telah dilakukan. Titik pemancangan yang dimaksud adalah titik 1 dan titik 2. Titik 1 adalah titik pemancangan tiang yang paling

berdekatan dengan bangunan SD Kartika VI bagian I dan II, sedangkan Titik 2

adalah titik pemancangan tiang yang paling berdekatan dengan bangunan Hotel Mentari Lama. Adapun layout titik pemancangan ditunjukkan pada Gambar 1.b.

Pengaruh Pemancangan Titik Pancang 1 (Titik 1) terhadap Bangunan SD Kartika VI

Untuk perhitungan titik pancang pertama, yaitu yang berdekatan dengan SD Kartika VI bagian I dan II adalah sebagai berikut :

- Data tiang, Berat Hammer dan Berat Tiang.

Pada saat pemancangan digunakan model hammer K-35 dengan berat ram 3,5 ton, tiang pancang memiliki panjang total 38 m dengan tiga kali sambungan, dan dengan ukuran penampang 40cm x 40cm.

- Jumlah Penetrasi dan Jumlah Tumbukan Catatan hasil kalendering tiang pancang ditunjukkan dalam Tabel 3.

Dari Tabel 3 menunjukkan bahwa pada interval 0 – 7 m kondisi tanah sangat lunak hal ini ditunjukkan dari penetrasi tiang ke dalam tanah tanpa adanya tumbukan yang diberikan oleh mesin pancang.

- Berat Total Tiang dan Gaya Impat Tumbukan

$$mg = \text{Berat hammer} + \text{Berat tiang}$$

$$\text{B.Tiang} = 38\text{m} \times 0,4\text{m} \times 0,4\text{m} \times 2,4\text{t/m}^3 = 14,592 \text{ ton}$$

$$\text{B.Hammer} = 7,5 \text{ ton}$$

Interval	Jumlah	Interval	Jumlah
1 m	Tumbukan Kumulatif	1 m	Tumbukan Kumulatif
1	-	20	82
2	-	21	94
3	-	22	109
4	-	23	126
5	-	24	144
6	-	25	163
7	-	26	180
8	0	27	198
9	2	28	216
10	4	29	236
11	11	30	256
12	16	31	276
13	21	32	301
14	29	33	365
15	36	34	451
16	44	35	553
17	58	36	665
18	64	37	796
19	72	38	968

Untuk perhitungan periode, nilai m merupakan berat total tiang dan hammer. Karena tiang pancang yang dipakai terdiri dari 3 (tiga) sambungan, maka terdapat 3 (tiga) buah nilai m yang berbeda sesuai dengan tahapan penyambungan tiang, yaitu nilai m pada saat pemancangan tiang pertama sepanjang 12 m, nilai m pada saat

pemancangan tiang kedua (setelah Tabel 3. Data Hasil Pemancangan (Kalendering) pada Titik Pancang 1

Saat pemancangan tiang pertama

dilakukan penyambungan tiang pada tiang pertama, total panjang tiang 24 m), dan nilai m pada saat pemancangan tiang ketiga (setelah dilakukan penyambungan terakhir, total panjang tiang menjadi sebesar 38 m). Adapun nilai-nilai m tersebut adalah sebagai berikut :

(Panjang L = 0 – 12 m)

$$mg = 1/3 \text{ Berat tiang} + \text{Berat Hammer} = 12,364 \text{ ton}$$

$$m = mg/g = 1,2616 \text{ t.sec}^2/\text{m}$$

Saat pemancangan tiang kedua

(Panjang L = 12 – 24 m)

$$mg = 2/3 \text{ Berat tiang} + \text{Berat Hammer} = 17,288 \text{ ton}$$

$$m = mg/g = 1,758 \text{ t.sec}^2/\text{m}$$

Saat pemancangan tiang ketiga

(Panjang L = 24 – 38 m)

$$mg = \text{Berat tiang} + \text{Berat Hammer} = 17,288 \text{ ton}$$

$$m = mg/g = 1,758 \text{ t.sec}^2/\text{m}$$

Gaya Impat Tumbukan

$$P = \frac{2wh\sqrt{2gH}}{gto}$$

$$\text{wh} = \text{Berat ram} = 3,5 \text{ ton}$$

$$H = \text{Tinggi jatuh} = 1 \text{ m}$$

$$\text{to} = \text{Waktu Tumbukan} = 0,017 \text{ s}$$

$$g = \text{Gaya gravitasi} = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$P = \frac{2 \times 3,5 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 1}}{9,8 \times 0,017} = 186,016 \text{ ton}$$

Penetrasi kedalaman pemancangan (k) nilainya diambil tiap 1 m dihitung sejak tumbukan pada tiang pancang menghasilkan penetrasi tiang pada tanah. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 3 yang mana setelah tiang masuk ke dalam tanah karena beratnya sendiri tanpa adanya tumbukan yang diberikan hingga kedalaman 8 m. Dari kedalaman tiang 8 m inilah tumbukan hammer pada tiang

menghasilkan penetrasi tiang ke dalam tanah. Pada Tabel 4 diberikan nilai jumlah tumbukan yang merupakan selisih antara jumlah tumbukan ke-x+1 dengan tumbukan ke-x. Nilai penetrasi kedalaman (k) dan jumlah tumbukan (n) merupakan nilai-nilai untuk mencari nilai penetrasi $\delta = k/n$. Dari perhitungan gaya tumbukan di atas dapat dicari koefisien tahanan $K = P/\delta$. Selanjutnya dengan nilai-nilai ini maka dapat dihitung nilai frekuensinya.

- Nilai Penetrasi
Nilai Penetrasi: $\delta = k/n = 0,5 \text{ m}$
- Koefisien Tahanan
Koefisien Tahanan: $K = \frac{P}{\delta} = 372,033 \text{ ton}$
- Periode
Periode: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} = 0,366 \text{ sec}$
- Frekuensi
Frekuensi: $f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = 2,732 \text{ Hz}$

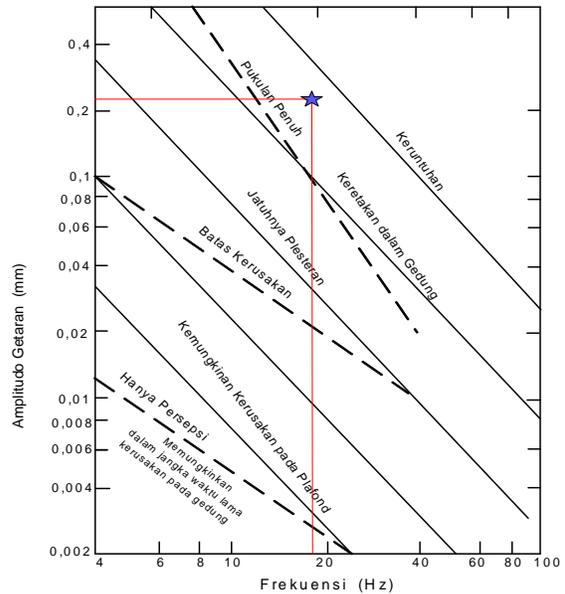
Data-data pemancangan ditabeliskan menggunakan cara di atas untuk mendapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 4. Dari tabel tersebut diambil nilai frekuensi terbesar yaitu $f = 18,953 \text{ Hz}$

- Besaran Amplitudo untuk jarak pemancangan pondasi tiang titik 1 terhadap bangunan Sekolah SD Kartika VI bagian I
Amplitudo : $X_r = X_1 e^{-\lambda r/r^n}$
 $X_1 =$ Amplitudo sejauh 1 m = 2 mm
 $\lambda =$ Koefisien perlemahan pada tanah = 0,2
 $n =$ Koefisien = 0,5 m
 $r =$ Jarak = 4 m
 $X_4 =$ Amplitudo pada jarak 4 m = $2e^{-0,2 \times 4/4^{0,5}} = 0,2246 \text{ mm}$

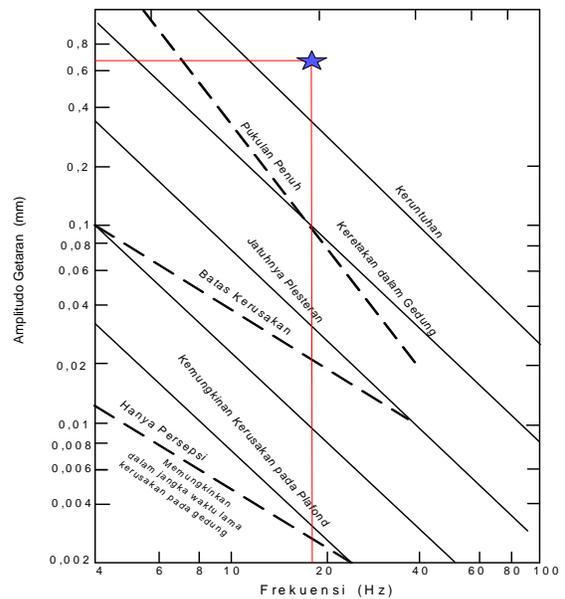
Dari hasil perhitungan amplitudo dan frekuensi di atas, maka dapat kita plot ke dalam grafik skala kerusakan akibat pemancangan pondasi tiang yang ditunjukkan dalam Gambar 3.

- Perhitungan Amplitudo untuk jarak pemancangan pondasi tiang pada titik 1 terhadap bangunan Sekolah SD Kartika VI bagian II

Amplitudo : $X_r = X_1 e^{-\lambda r/r^n}$
 $X_1 =$ Amplitudo sejauh 1 m = 2 mm
 $\lambda =$ Koefisien perlemahan pada tanah = 0,2
 $n =$ Koefisien = 0,5 m



Gambar 3. Skala Kerusakan Akibat Tiang Titik 1



Gambar 4. Plot nilai frekuensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan oleh pemancangan pondasi tiang pada titik 1 terhadap bangunan SD Kartika VI bagian II pada grafik skala kerusakan bangunan

$$r = \text{Jarak} = 2 \text{ m}$$

$$X_2 = \text{Amplitudo pada jarak } 2 \text{ m} = 2e^{-0,2 \times 2 / 2^{0,5}} = 0,670 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan amplitudo dan frekuensi di atas, maka dapat kita plot ke dalam grafik skala kerusakan yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Pengaruh Pemancangan Titik Pancang 2 (Titik 2) terhadap Bangunan Hotel Mentari Lama

Metode perhitungan titik pancang 2 adalah sama dengan perhitungan titik pancang 1. Catatan hasil kalendering tiang pancangnya adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Data Hasil Pemancangan (Kalendering) pada Titik Pancang 2

Interval	Jumlah	Interval	Jumlah
1 m	Tumbukan Kumulatif	1 m	Tumbukan Kumulatif
1	-	20	49
2	-	21	57
3	-	22	64
4	-	23	74
5	-	24	84
6	-	25	95
7	-	26	111
8	0	27	131
9	1	28	152
10	4	29	177
11	9	30	209
12	13	31	230
13	16	32	258
14	20	33	288
15	22	34	318
16	29	35	350
17	34	36	387
18	40	37	464
19	45	38	653

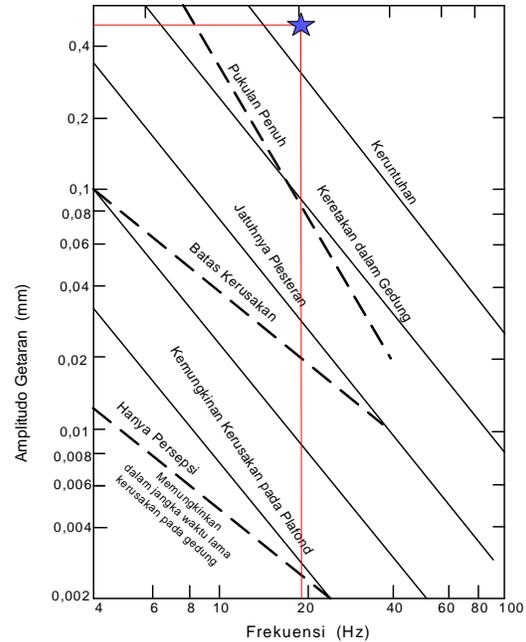
Dari Tabel 5 menunjukkan bahwa pada interval 0 – 7 m juga merupakan kondisi tanah sangat lunak hal ini ditunjukkan dari penetrasi tiang ke dalam tanah karena beratnya sendiri tanpa adanya tumbukan dari mesin pancang.

Seperti cara perhitungan tiang pancang 1, maka didapatkan nilai frekwensi dalam Tabel 6. Dan diambil nilai frekuensi yang terbesar adalah $f = 19,867 \text{ Hz}$

Sedangkan Amplitudo berdasarkan hasil perhitungan adalah :

$$X_{2,5} = \text{Amplitudo pada jarak } 2,5 \text{ m} = 2e^{-0,2 \times 2,5 / 2,5^{0,5}} = 0,485 \text{ mm}$$

Dari hasil perhitungan amplitudo dan frekuensi di atas, maka dapat kita plot ke dalam grafik skala kerusakan akibat pemancangan pondasi tiang yang dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5.

Plot nilai frekuensi dan amplitudo getaran yang dihasilkan oleh pemancangan pondasi tiang pada titik 2 terhadap bangunan Hotel Mentari lama pada grafik skala kerusakan bangunan

Kerusakan yang Terjadi pada Bangunan SD Kartika VI Bagian I dan II serta Bangunan Hotel Mentari Lama Akibat Pemancangan Pondasi Tiang

Berdasarkan data pemancangan dan grafik frekuensi dan amplitudo dari kedua titik di atas menunjukkan bahwa kedua proses pemancangan pondasi tiang di atas (Gambar 3, Gambar 4, dan Gambar 5) dapat mengakibatkan kerusakan yang berarti terhadap bangunan di sekitarnya. Kerusakan tersebut bervariasi dari ketiga bangunan di atas (SD Kartika VI bagian I, SD Kartika VI

bagian II, dan bangunan Hotel Mentari lama). Berikut diberikan gambaran kerusakan hasil perhitungan serta perbandingannya dengan kerusakan yang terjadi di lapangan.

Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Terhadap Bangunan SD Kartika VI Bagian I

Kerusakan pada bangunan SD Kartika VI bagian I dilihat dari hasil perhitungan dan grafik kerusakan bangunan akibat getaran pemancangan pondasi tiang adalah terjadinya keretakan pada dinding bangunan (Gambar 3). Setelah dilakukan pengamatan langsung di lapangan ternyata terdapat beberapa retak yang cukup banyak.

Dokumentasi hasil pengamatan di lapangan memberikan gambaran retak-retak pada dinding bangunan SD Kartika VI menyebar di beberapa bagian dinding, terutama pada dinding yang berimpit dengan titik dimana pemancangan pondasi tiang dilakukan. Retak yang terjadi berupa keretakan plesteran sampai keretakan pasangan batu bata ringan, maksudnya keretakan yang terjadi tidak menyebabkan terpisahnya pasangan batubata, hanya bagian luarnya saja. Hasil dokumentasi di lapangan dapat dilihat pada Gambar 6.

Selain keretakan dinding bangunan, kerusakan lain juga terjadi pada lantai halaman yang terbuat dari batapress dan lantai bangunan yang terbuat dari beton. Lantai halaman yang sebelumnya rata permukaannya setelah adanya proses pemancangan permukaannya menjadi bergelombang. Hal serupa juga terjadi pada lantai bangunan, yang dapat dilihat pada Gambar 7. Hal ini disebabkan oleh pondasi yang digunakan adalah cerucuk galam yang merupakan jenis pondasi yang ujungnya tidak sampai pada lapisan tanah keras (pondasi mengapung), sehingga pada saat proses pemancangan terjadi desakan tanah yang menyebabkan cerucuk galam tidak stabil dan menyebabkan lantai bangunan menjadi bergelombang. Kerusakan juga terjadi pada bagian pintu ruang kelas yang menjadi bergeser dari titik asal.

Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Terhadap Bangunan SD Kartika VI Bagian II

Kerusakan pada bangunan SD Kartika VI bagian II dilihat dari hasil perhitungan dan grafik kerusakan bangunan akibat getaran pemancangan pondasi tiang adalah terjadinya keruntuhan pada bangunan (Gambar 4). Hal tersebut sesuai dengan pengamatan yang dilakukan di lapangan, yang mana setelah dilakukan pengamatan, terdapat keretakan pada dinding bangunan yang cukup besar, keretakan pada kolom, serta kerusakan pada plafond. Berikut diberikan dokumentasi hasil pengamatan di lapangan.

Dari Gambar 8 sampai Gambar 10 dapat kita lihat bahwa kerusakan yang terjadi pada bangunan SD Kartika VI bagian II terjadi pada semua bagian bangunan, yaitu mulai dari dinding, kolom, plafond dan lantai. Kerusakan pada bagian dinding merupakan kerusakan yang cukup besar yaitu terpisahnya pasangan batu bata yang dapat kita lihat pada Gambar 8.

Kerusakan juga terjadi pada bagian kolom bangunan, plafond yang terlepas, juga lantai yang bergelombang. Bergelombangnya lantai pada bangunan SD Kartika VI bagian II ini diakibatkan pondasi yang digunakan, yaitu cerucuk galam, yang mana bagian ujung dari cerucuk tidak sampai pada lapisan keras tanah, seperti yang terjadi pada lantai bangunan SD Kartika VI bagian I.

Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Terhadap Bangunan Hotel Mentari Lama

Kerusakan-kerusakan yang terjadi pada bangunan SD Kartika VI di lapangan umumnya sesuai dengan hasil plot grafik tingkat kerusakan. Hal ini berbeda dengan kesesuaian kerusakan pada bangunan Hotel Mentari lama di lapangan dengan hasil plot grafik tingkat kerusakan. Kerusakan pada bangunan Hotel Mentari lama dilihat dari hasil perhitungan dan grafik kerusakan bangunan akibat getaran pemancangan pondasi tiang adalah terjadinya keruntuhan pada bangunan (Gambar 5). Setelah dilakukan pengamatan terhadap bangunan di lapangan,

kerusakan yang terjadi sangat sedikit, kerusakan yang terjadi hanya berupa retaknya plesteran, terpisahnya bangunan tambahan dari bangunan utama Hotel Mentari, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11, 12 dan 13.

Dari Gambar 11 sampai Gambar 13 dapat kita lihat kerusakan yang terjadi pada bangunan Hotel Mentari lama, mencakup terpisahnya bangunan tambahan dari bangunan utama dan keretakan pada dinding bangunan. Terpisahnya bagian tambahan dari bangunan utama disebabkan perbedaan umur antara bagian tambahan tersebut dengan bangunan utama Hotel Mentari lama. Keretakan pada dinding bangunan pun dapat dibilang sangat sedikit jika dibandingkan dengan keretakan yang terjadi pada bangunan SD Kartika VI.

Perbandingan Tingkat Kerusakan Bangunan SD Kartika VI Bagian I, Bangunan SD Kartika VI Bagian II, dan Bangunan Hotel Mentari Lama.

Dari hasil perhitungan dan plot nilai frekuensi dan amplitudo pada grafik skala kerusakan yang terjadi pada ketiga bangunan di atas, yaitu bangunan SD Kartika VI bagian I, bangunan SD Kartika VI bagian II dan bangunan Hotel Mentari lama, terdapat variasi tingkat kerusakan yang tergantung dari jarak bangunan terhadap sumber getaran dan karakteristik bangunan yang meliputi umur bangunan, besarnya dimensi bangunan (dilihat dari jumlah lantai), dan jenis pondasi yang digunakan.

Perbandingan tingkat kerusakan bangunan SD Kartika VI bagian I, bangunan SD Kartika VI bagian II, dan bangunan Hotel Mentari lama, dilihat dari hasil plot nilai frekuensi dan amplitudo pada grafik skala kerusakan dan hasil pengamatan di lapangan dapat dilihat pada Tabel 7.

Dari Tabel 7, jika kita lihat tingkat kerusakan yang dihasilkan oleh pemancangan pondasi tiang menurut plot nilai frekuensi dan amplitudo pada grafik skala kerusakan bangunan pada bangunan Hotel Mentari lama, maka kerusakan yang terjadi adalah berupa keruntuhan. Hal ini tidak sesuai dengan yang terjadi di lapangan, yang mana hanya terjadi

keretakan kecil pada bagian plesteran bangunan dan terpisahnya bagian tambahan dari bangunan utama. Setelah kita bandingkan bentuk fisik dan kondisi bangunan Hotel Mentari lama dengan bangunan SD Kartika IV pada Tabel 7, ternyata terdapat perbedaan-perbedaan mendasar yang dapat dijadikan variabel untuk menentukan seberapa besar tingkat kerusakan yang terjadi. Variabel-variabel tersebut adalah:

a. Jarak bangunan terhadap sumber getaran

Bangunan SD Kartika VI bagian II memiliki jarak terhadap sumber getaran yang terdekat yaitu 2 m, bangunan Hotel Mentari lama berjarak 2,5 m, dan bangunan SD Kartika VI bagian I berjarak 4 m.

b. Umur

Dilihat dari umur bangunan, bangunan SD Kartika IV bagian I memang tergolong bangunan yang lama. Bangunan ini sudah berdiri semenjak zaman penjajahan Belanda di Banjarmasin. Bangunan SD Kartika VI bagian II dan bangunan Hotel Mentari merupakan bangunan yang tergolong baru.

c. Dimensi dan jumlah lantai

Bangunan SD Kartika VI tergolong bangunan berdimensi kecil yang terdiri dari 2 (dua) bagian. Bagian I terdiri dari 2 (dua) lantai, sedangkan bagian II terdiri dari 1 (satu) lantai. Hal ini jauh berbeda jika dengan bangunan Hotel Mentari lama terdiri dari 5 (lima) lantai, yang berarti memiliki dimensi yang lebih besar.

d. Jenis pondasi yang digunakan

Jenis pondasi yang digunakan pada bangunan SD Kartika VI bagian I dan II adalah cerucuk galam, sedangkan untuk bangunan Hotel Mentari lama menggunakan pondasi tiang pancang.

Jika kita tinjau kembali, grafik skala kerusakan yang dikemukakan sebelumnya adalah cukup akurat untuk bangunan SD Kartika IV bagian I dan II, dan dapat dikatakan kurang akurat untuk bangunan Hotel Mentari lama. Hal ini disebabkan umur dan dimensi bangunan cukup berpengaruh, serta jenis pondasi memegang peranan besar dalam tingkatan respon bangunan terhadap getaran akibat pemancangan tiang pancang.

Jika kita kembangkan lebih luas, bahwa jika bangunan di sekitar sumber getaran

pemancangan adalah bangunan berdimensi kecil dan berjenis pondasi dangkal, namun bangunan tersebut adalah bangunan yang penting dan sensitif terhadap getaran, misalnya bangunan yang terbuat dari kaca atau situs bersejarah atau bangunan penting lainnya, maka perlu dipikirkan bagaimana penanggulangan terhadap dampak getaran yang dihasilkan oleh pemancangan tiang pancang. Dalam kasus seperti ini, diberikan sebuah pemecahan masalah dampak getaran pemancangan pondasi tiang dengan menggunakan galian terbuka dan pipa berongga, dengan bangunan SD Kartika VI dan bangunan Hotel Mentari lama sebagai contoh bangunan yang akan dilindungi.

Metode Alternatif Penanggulangan Dampak Getaran dengan Isolasi Getaran

Isolasi Getaran berupa Galian Terbuka

• Titik Pancang 1

Adapun prosedur perhitungan dimensi galian yang diberikan untuk titik pancang 1 adalah sebagai berikut:

Informasi berupa frekuensi pemancangan tiang pancang. Nilai frekuensi dari perhitungan sebelumnya $f = 18,953$ Hz.

Data Tanah termasuk didalamnya adalah berat jenis tanah dan kadar air tanah. Cepat rambat gelombang Reyleigh V_R ditentukan dengan metode cross bore hole. Kecepatan gelombang geser V_S dapat dihitung dengan :

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad ; \quad \rho = \frac{\gamma}{g}$$

Asumsi : $V_R \approx V_S$

Dimana :

V_S = Kecepatan gelombang transversal (m/sec)

V_p = Kecepatan gelombang longitudinal (m/sec)

γ = Berat volume tanah = 1480 kg/m^3

g = Gaya gravitasi = $9,8 \text{ m/sec}^2$

ρ = Massa volumik tanah (kg.sec/m^4)

G = Shear modulus = $E/2(1+\nu)$

E = Compression Modulus untuk lempung lunak = 500 kg/cm^2

ν = Koefisien Poisson = $0,45$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

$$= 150,866 \text{ kg.sec/m}^4$$

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

$$= 172,4137 \text{ Kg/cm}^2$$

Sehingga

$$V_S = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

$$= 106,903 \text{ m/sec}$$

$$V_R = V_S$$

- Jarak antara sumber getaran dan struktur yang dilindungi, $R = 4 \text{ m}$
- Panjang gelombang permukaan (gelombang Reyleigh) yang merambat melalui permukaan tanah. Panjang gelombang tersebut dihitung dengan rumus :

$$\lambda_R = \frac{V_R}{f}$$

dimana :

λ_R = Panjang gelombang permukaan (m)

V_R = Cepat rambat gelombang permukaan = $106,903 \text{ m/sec}$

f = Frekuensi gelombang akibat pemancangan tiang pancang
 $f = 18,953 \text{ Hz}$

Sehingga $\lambda_R = 5,640 \text{ m}$

Kedalaman minimum dari galian H dengan

$$H = 1,33 \lambda_R$$

$$= 7,502 \text{ m}$$

- Penentuan lokasi galian.
Galian harus diletakkan antara $2,0 \lambda_R$ sampai $7 \lambda_R$ dari sumber getaran. Karena jarak bangunan lama terhadap titik pemancangan tiang pancang terdekat adalah 4 m , maka galian ditempatkan diantara keduanya yaitu sejauh 2 m dari pemancangan.
- Panjang galian L .

Panjang galian ditentukan dengan rumus:

$$L = \frac{A\tau}{H}$$

Dengan

$$A\tau = 2,5 \lambda_R^2 \text{ untuk } R_o = 2 \lambda_R$$

$$A\tau = 6,0 \lambda_R^2 \text{ untuk } R_o = 7 \lambda_R$$

Maka untuk $R_o = 2 \text{ m}$ didapat $A\tau$ dengan cara interpolasi yaitu $A\tau = 11,28 \text{ m}^2$

dimana :

$A\tau$ = Proyeksi luas galian dalam arah vertikal (m^2)

L = Panjang galian (m)

H = Kedalaman galian (m)

Sehingga L = 1,415 m

- *Titik Pancang 2*

Seperti cara perhitungan pada Titik Pancang 1, maka dihasilkan nilai :

- $V_R = V_S = 106,903$ m/sec
- $\lambda_R = 5,381$ m
- H = 7,156 m
- Galian ditempatkan diantara keduanya yaitu sejauh 1,25 m dari pemancangan.
- L = 1,167 m
- Lebar galian dapat diambil sebesar 0,25 m.

Isolasi Getaran berupa Pipa Berongga

- *Titik Pancang 1*

Dari hasil perhitungan seperti cara-cara terdahulu, juga didapat nilai-nilai sebagai berikut :

- $\lambda_R = 5,640$ m.
- Kedalaman pipa (H) = 7,5012 m
- Diameter rongga pipa = 0,94 m
- Jarak antar pipa (S_n) = 1,4 m
- Nilai IR > 1

- *Titik Pancang 2*

- $\lambda_R = 5,381$ m.
- Kedalaman pipa (H) = 0,896 m
- Jarak antar pipa (S_n) = 1,3 m
- Nilai IR > 1

Analisa Penanggulangan Dampak Getaran

Besarnya kerusakan pada bangunan hasil plot nilai-nilai frekuensi dan amplitudo ini kemudian dicocokkan dengan kerusakan pada bangunan yang terjadi di lapangan. Kesesuaian antara hasil perhitungan dengan kondisi di lapangan ternyata dipengaruhi oleh variabel jarak bangunan terhadap sumber getaran dan karakteristik dari bangunan itu sendiri.

Dari ketiga bangunan yang berada di sekitar proses pemancangan pondasi tiang, ternyata bangunan SD Kartika VI bagian II mengalami kerusakan paling berat, sedangkan bangunan SD Kartika VI bagian I mengalami

kerusakan sedang, dan bangunan Hotel Mentari lama mengalami kerusakan paling ringan.

Walaupun semua kerusakan yang terjadi pada ketiga bangunan di atas tidak menimbulkan kerugian material yang terlalu besar, dampak pemancangan pondasi tiang ini masih dianggap perlu untuk ditanggulangi jika bangunan-bangunan yang berada di sekitarnya adalah bangunan yang penting atau bersejarah, yang mana bangunan tersebut sangat sensitif terhadap getaran atau alasan penting lainnya.

Ada 2(dua) metode alternatif penanggulangan dampak getaran berupa isolasi getaran, yaitu galian terbuka dan pipa berongga. Kedua jenis isolasi ini sama-sama memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing. Isolasi galian berupa galian terbuka memang memiliki lebar galian yang sempit yaitu 0,25 m. Hal ini memang sangat tepat jika dilaksanakan mengingat jarak bangunan yang dilindungi terhadap sumber getaran relatif sempit. Namun hal tersebut memiliki keterbatasan dalam pelaksanaannya, karena untuk lebar galian 0,25 m dan dalam 7,5 m adalah sangat sulit dilaksanakan. Keterbatasan lainnya adalah kondisi galian pada tanah yang lembek dan tanpa dilengkapi dengan dinding penahan tanah. Hal ini dapat menyebabkan kerutuhan pada tanah pada saat proses pemancangan pondasi tiang yang akan berdampak terhadap bangunan yang dilindungi terutama untuk bangunan SD Kartika VI yang pondasinya hanya berupa cerucuk galam. Meskipun jika diberikan dinding penahan tanah atau turap, maka akan menelan biaya yang tidak sedikit

Pilihan kedua adalah isolasi getaran berupa pipa berongga. Kelebihan dari jenis isolasi ini adalah kemungkinan penerapannya di lapangan. Kekurangannya terletak pada diameternya yang relatif besar yaitu sekitar 0,9 m. Hal ini agak sulit dapat diterapkan pada kondisi dimana jarak bangunan dan sumber getaran sangat sempit. Kekurangan lainnya adalah pada pipa berongga tanpa selimut beton. Sama seperti galian terbuka, dapat terjadi keruntuhan pada galian pipa, sehingga dapat mempengaruhi stabilitas dari bangunan yang dilindungi.

Lain halnya dengan pipa berongga dengan selimut beton. Jenis isolasi ini dipandang memungkinkan untuk dikerjakan dan aman bagi stabilitas bangunan yang dilindungi. Hal tersebut karena sokongan selimut beton terhadap tanah yang dapat menghindarkan tanah dari keruntuhan sehingga dapat menjaga stabilitas dari bangunan yang dilindungi.

Pertimbangan-pertimbangan di atas memberikan gambaran kepada kita bahwa isolasi getaran berupa pipa berongga dengan selimut beton merupakan solusi terbaik untuk diterapkan sebagai isolasi pemancangan pondasi tiang pada proyek pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin. Namun yang perlu diperhatikan adalah nilai impedansi (IR) dari jenis pipa berongga dengan selimut beton yang lebih besar dari satu. Hal ini berarti nilai keefektifitasannya berkurang jika dibandingkan dengan efektivitas pipa berongga tanpa selimut beton.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari kajian ini adalah :

- a. Metode kalendering pemancangan yang memberikan nilai-nilai frekuensi dan amplitudo getaran hasil pemancangan pondasi tiang dapat digunakan sebagai indikasi awal untuk mengetahui kerusakan pada bangunan di sekitar titik pemancangan
- b. Dari nilai frekuensi dan amplitudo yang diplotkan kedalam grafik skala kerusakan bangunan diperoleh bahwa pemancangan tiang pancang pada proyek pengembangan Hotel Mentari Banjarmasin menyebabkan kerusakan bangunan sekitar yaitu bangunan SD Kartika VI bagian I dan II serta bangunan Hotel Mentari lama.
- c. Tingkat kerusakan yang dihasilkan bervariasi tergantung jarak bangunan lama terhadap sumber getaran dan karakteristik bangunan yang dipengaruhi itu sendiri yang mencakup umur bangunan, dimensi bangunan, dan jenis pondasi yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Prakash, Shamsar, dan Vijay K. Puri, *Foundations for Machines : Analysis and Design*, John Willey & Sons, Inc., Canada, 1988
- Prawono, Sugi, "Permasalahan didalam Pelaksanaan Tiang Pancang", Dimensi Vol. 20/SIP Mei 1995, Universitas Kristen Petra, Jakarta, 1995.
- Richart, F.E., Jr., J.R. Hall Jr., and R.D. Woods, *Vibrations of Soils and Foundations*, 10, Prentice-Hall, Inc., United States of America, 1970.
- Schroeder, W.L., S.E. Dickerson, and Don C. Warrington, *Soils in Construction*, 5th Edition, Pearson Education, Inc., New Jersey, 2004.
- Sigit Sidharta, Ananta, *Pondasi Dinamis*, 2, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 1988.
- Tri H, dan Yusmin Muliadi, "Studi Pengaruh Getaran Pemancangan Pondasi Tiang Tiang terhadap Bangunan Sekitarnya dengan Metode Kalendering Pemancangan", PIT Geoteknik Surabaya 30-31 Oktober 2002, Surabaya, 2002.
- Wahyudi, Herman, *Dinamika Tanah*, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 1977.