

# PERILAKU PENAMBAHAN KOLOM BATU (*STONE COLUMN*) SEBAGAI PERKUATAN PADA TANAH DASAR (*SUB GRADE*) LUNAK.

Fajar Tri Wibowo<sup>1)</sup>, Bambang Setiawan<sup>2)</sup>, R. Harya Dananjaya H.I<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Program S1 Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

<sup>2) 3)</sup> Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret

Jalan Ir. Sutami No.36A Surakarta 5716. Telp: 0271647069. Email : [fajartriwibowo25@gmail.com](mailto:fajartriwibowo25@gmail.com)

## Abstrak

Kerusakan jalan mengakibatkan perlunya perkuatan tanah untuk mengatasi permasalahan pada tanah lunak, perkuatan *stone column* salah satu alternatif yang bisa digunakan. Perkuatan ini berupa rangkaian beberapa pondasi kolom batu yang dipasang memanjang pada tanah dasar (*sub grade*) perkerasan jalan raya. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui perilaku *stone column* terhadap lendutan pada tanah dasar (*sub grade*) lunak, dan membandingkan lendutan antara pengamatan dengan pendekatan menggunakan rumus Hetenyi (1974). Koefisien *sub grade* tanah di gunakan untuk mengetahui besarnya modulus reaksi tanah dasar, yang selanjutnya di gunakan untuk menganalisis hasil lendutan dengan metode pendekatan menggunakan rumus Hetenyi (1974). Penentuan koefisien *sub grade* di dapat dari lendutan rerata hasil uji secara pengamatan. Penelitian ini merupakan penelitian skala kecil uji model laboratorium. Tanah lunak di perkuat dengan kolom batu (*stone column*) dengan ukuran batu lolos saringan 3/8 tertahan saringan 4. Jaring kawat digunakan untuk membungkus batu-batu tersebut agar dapat di bentuk menjadi semacam tiang yang kemudian di masukkan ke dalam tanah yang telah di lubangi dengan jarak antar kolom adalah 125 mm. Penambahan *sub base* kerikil setinggi 30 mm dan *base course* pasir setinggi 30 mm juga termasuk variasi dalam penelitian kali ini. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa perkuatan dengan *stone column* mampu mereduksi lendutan yang terjadi pada pelat jika di bandingkan tanpa perkuatan sebesar 25,18% untuk titik sentris, dan 33,65% untuk titik eksentris. Perbandingan lendutan antara pengamatan dengan metode pendekatan rumus Hetenyi (1974) secara umum memberikan lendutan yang hampir sama, akan tetapi selisih nilai pembebanan masih cukup besar

**Kata kunci :** tanah lunak, koefisien *sub grade*, *stone column*, lendutan.

## Abstract

*The damage to roads lead to the need for soil reinforcement to solve the problems on soft soil, stone column reinforcement one alternative that can be used. This system consisted of some stone columns footing which attached horizontally on sub grade of the highway. The purpose of this study was to determine the behavior of stone column against the deflection on the soft subgrade, and compare the deflection between the observations with the approach of using formula Hetenyi (1974). The coefficient of sub -grade soil is used to determine the modulus of subgrade reaction, which in turn is used to analyze the results of deflection by using a formula approach Hetenyi (1974). The determination of the coefficient of sub -grade on average can of deflection in the observation test results. This study is a small-scale model test laboratory. Soft soil reinforced with stone columns (stone column) with the size of the stones through sieve 3/8 and retained through sieve 4. Wire mesh used to wrap the stones so they can be in the form of a sort of pole then be entered into the land that has been in the holes with distance between columns is 125 mm. The addition of sub- base gravel as high as 30 mm and base course of sand as high as 30 mm also includes variations in the current study. The result of this study showed that reinforcement using stone column decreased the deflection on the plate when compared with no unreinforced of 25.18 % for centric point, and 33.65 % for the eccentric point. Comparison of deflection between observation methods Hetenyi formula approach (1974) generally provides deflection which is almost the same, but the difference in value of loading is still quite large*

**Keywords:** soft soil, sub grade coefficient, stone column, deflection

## PENDAHULUAN

Perkembangan zaman mengakibatkan berkembang pula kehidupan manusia, sehingga berubahnya suatu kebutuhan sekunder menjadi kebutuhan primer. Sebagai contoh kebutuhan akan kendaraan bermotor yang semakin lama semakin tidak terkendali jumlahnya, mengakibatkan kepadatan lalu lintas. Semakin padat lalu lintas mengakibatkan semakin beratnya beban yang melintas diatas perkerasan jalan, mengakibatkan terjadinya kerusakan jalan. Kerusakan jalan bisa disebabkan oleh kerusakan material perkerasan karena kualitas yang digunakan kurang sesuai standar perencanaan atau kerusakan yang disebabkan oleh tanah dasar (*sub grade*). Kondisi tanah dasar (*sub grade*) yang lunak akan mengakibatkan jalan mudah mengalami kerusakan, maka dari itu perlunya perkuatan pada tanah dasar (*sub grade*) lunak. Perkuatan pada tanah dasar (*sub grade*) sudah banyak dilakukan, diantaranya dengan Geotektil, Cerucuk Bambu, dan Cakar Ayam Modifikasi. Perkuatan *stone column* salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk memperkuat tanah dasar (*sub grade*). Perkuatan ini berupa batu yang dibungkus dengan kawat pembungkus dan dibentuk seperti tiang besi kemudian dimasukan kedalam tanah seperti kolom-kolom tiang pancang. Perkuatan ini diharapkan mampu memperkuat tanah dasar (*sub grade*) lunak, sehingga perkerasan jalan akan semakin tahan lama, aman, nyaman dan tidak mudah rusak.

## TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian tentang perkuatan tanah lunak oleh Hardiyatmo telah banyak dilakukan dengan model skala kecil, salah satunya adalah Penelitian Hardiyatmo, (2002) tentang analisis lendutan pelat yang didukung kelompok tiang pada tanah lunak menghasilkan kesimpulan bahwa tiang-tiang perkuatan mampu mereduksi lendutan pada *pile cap* akibat beban yang diberikan. Reduksi lendutan bergantung pada kerapatan antar tiang, jarak antar tiang dan panjang tiang. Penggunaan perkuatan tiang pada tanah dasar (*sub grade*) lunak telah diperjelas lagi dalam penelitian Firdaus, (2010) yang menggunakan pelat beton sebagai *pile cap*, dan menghasilkan suatu kesimpulan bahwa ketebalan pelat beton akan mempengaruhi lendutan, semakin tebal pelat beton, dapat mengakibatkan nilai reduksi lendutan, momen positif naik, momen negatif turun dan gaya lintang sedikit bertambah serta distribusi semua pengaruhnya akan semakin jauh disepanjang pelat tersebut. Pebaikan dengan *stone column* telah diteliti juga oleh Nurtjahjaningtyas, (2009) yang menghasilkan kesimpulan bahwa diperlukan 25 *stone column* per meter panjang dengan panjang tiang 15 - 25 meter untuk tinjauan masing-masing titik. Penambahan *stone column* mampu memberikan efektifitas pengurangan besar pemampatan setelah dipasang *stone column* sebesar 20% - 60%.

Pengertian koefisien *sub grade* ( $k_v$ ) menurut Firdaus (2010) adalah nilai perbandingan tekanan tanah dengan penurunan yang terjadi, yang ditentukan dengan uji beban pelat (*plate load test*). Pelat yang relatif tipis, sehingga pelat akan berperilaku sebagai pelat fleksibel Hardiyatmo dkk (1999) menyarankan pada persamaan tentang modulus reaksi tanah dasar dengan rumus Hetenyi (1974). Koefisien *sub grade* kemudian digunakan untuk menghitung nilai ( $\lambda$ ) fleksibilitas balok di atas tanah (Hetenyi 1974), selanjutnya nilai  $k_v$  dan  $\lambda$  digunakan untuk menghitung lendutan yang terjadi pada pelat baik titik sentris maupun eksentris dengan menggunakan pendekatan rumus Hetenyi (1974)

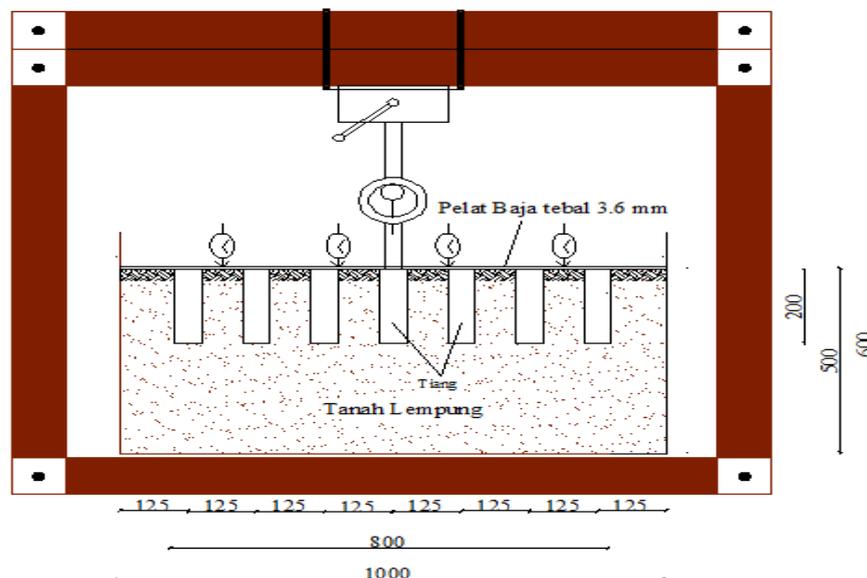
## CARA PENELITIAN

### Tahap Persiapan

Tahap persiapan diperlukan guna memperlancar kegiatan penelitian yang akan dilaksanakan di Laboratorium. Tahap persiapan tersebut berupa tahap persiapan benda uji, persiapan media tanah dan persiapan alat pembebanan. Penelitian ini menggunakan benda uji berupa batu pecah yang akan dibuat seperti tiang pancang. Batu pecah yang digunakan berdiameter 5-10 mm dengan lolos saringan nomor 3/8 tertahan nomor 4. Media tanah yang digunakan dengan sistem pengambilan terganggu (*disturbed sample*).

### Persiapan uji

Membuat lubang untuk perletakan *stone column* dengan alat pengebor dengan diameter 50 mm dan kedalaman 200 mm pada setiap jarak 125 mm. Memasukan kerikil dengan diameter rata-rata adalah 1 cm ke dalam jaring kawat, sebelumnya batu di timbang seberat 475 gram untuk setiap tiangnya. Memasukkan *stone column* secara tegak lurus ke dalam lubang yang ada pada media tanah. Menggantungkan alat pembebanan aksial pada balok penyangga. Memasang alat pembebanan aksial tidak secara permanen, melainkan secara fleksibel dengan sebuah pengunci. Meletakkan pelat dalam kotak uji dengan dimensi 800 mm × 300 mm, di usahakan agar pelat rata menyentuh tanah. Menaruh *waterpass* untuk memastikan bahwa pembebanan dilakukan secara merata



**Gambar 1** Tampak samping pemasangan alat penguji

**Tahap penelitian utama**

Alat pembebanan diatur sehingga stabil (kaku). Tuas alat pembebanan diputar sehingga torak memberi tekanan pada pelat tumpuan *stone column* sampai *dial gauge* menunjukkan pergerakan sedikit. Hal ini untuk memastikan bahwa torak benar-benar menyentuh pelat secara keseluruhan. Pengujian dilakukan setelah *dial gauge* diatur pada angka nol. Setelah itu pembebanan dilakukan dengan memberikan beban 20 kg, kemudian dikembalikan ke 0, diberi beban lagi 20 kg, sampe berulang 3 kali, seterusnya beban bertambah menjadi 40 kg, 60 kg dan maksimal 80 kg. Pengujian lendutan di bedakan menjadi 4 variasi yang di sajikan dalam **Tabel 1** di bawah ini

Tabel 1. Variasi pengujian lendutan

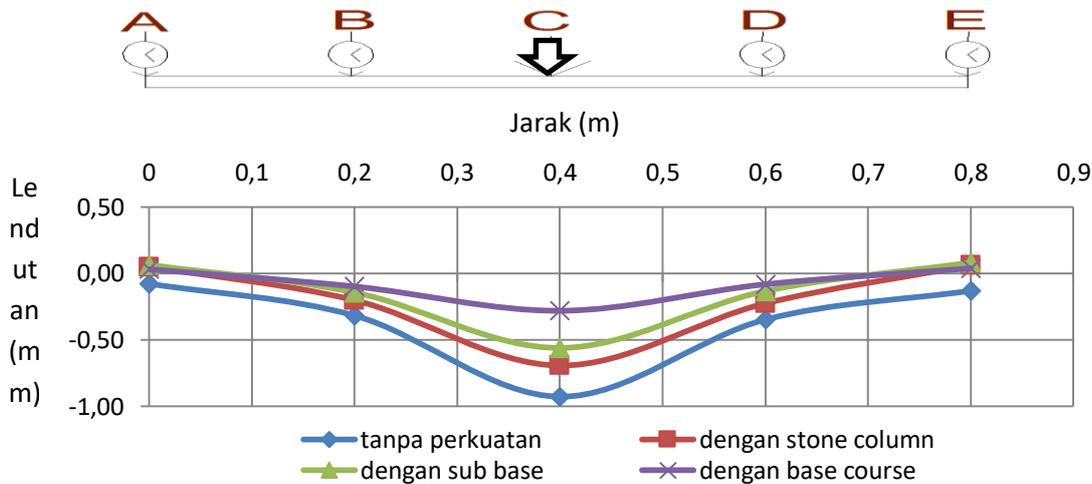
NO	Variasi	Keterangan
1	Tanpa Perkuatan	Tanpa Perkuatan
2	Perkuatan <i>Stone column</i>	Perkuatan <i>stone column</i>
3	Dengan <i>Sub base</i>	Variasi B + Penambahan <i>sub base</i> kerikil setinggi 3 cm
4	Dengan <i>Base course</i>	Variasi C + Penambahan <i>base course</i> pasir setinggi 3 cm

**ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN**

a. Perbandingan lendutan semua variasi

**Tabel 2** Perbandingan lendutan maksimum setiap variasi

No	Perlakuan	Beban (Kg)	Bacaan Dial Lendutan (mm)				
			A	B	C	D	E
1	Tanpa Perkuatan	80	0.076	0.316	0.927	0.347	0.13
2	Perkuatan <i>Stone column</i>	80	-0.05	0.203	0.693	0.227	-0.06
3	Dengan <i>Sub base</i>	80	-0.063	0.143	0.56	0.133	-0.08
4	Dengan <i>Base course</i>	80	-0.03	0.967	0.28	0.08	-0.04



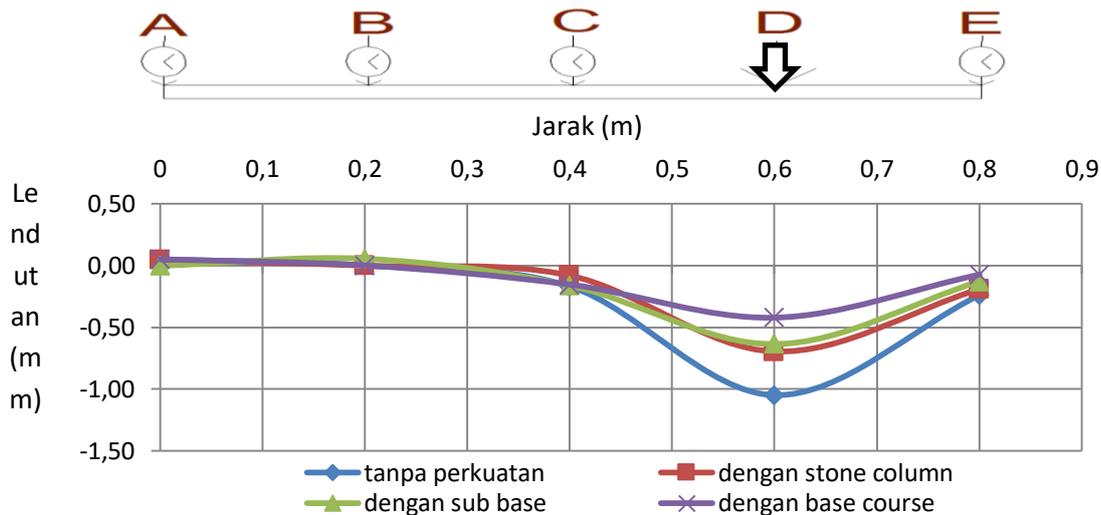
**Gambar 3** Perbandingan lendutan sentris pengamatan dari setiap variasi perlakuan pada tanah lunak

Gambar diatas menunjukkan perbandingan antara semua variasi, lendutan paling besar ditunjukkan pada grafik tanpa perkuatan, karena beban yang diberikan langsung menyentuh tanah dasar yang lunak. perkuatan *stone column* mampu mereduksi lendutan sebesar 25,18 % untuk pembebanan sentris, reduksi lendutan terjadi karena adanya perkuatan pada tanah dasar lunak tersebut, sehingga membuat tanah akan semakin kuat. Variasi perlakuan ketiga yaitu dengan penambahan *sub base* berupa hamparan kerikil setinggi 3 cm memberikan reduksi lendutan sebesar 39,5 % terhadap variasi tanpa perkuatan. Reduksi lendutan terjadi karena penambahan *sub base* berupa hamparan kerikil setinggi 3 cm membuat beban yang diberikan tidak langsung menyentuh tanah, akan tetapi beban ditahan terlebih dahulu oleh *sub base* yang kemudin beban diteruskan sampai ke tanah dasar. Variasi perlakuan tanah keempat yaitu variasi ketiga kemudian ditambahkan lagi *base course* berupa hamparan pasir setinggi 3 cm. Variasi ini terbukti memberikan reduksi lendutan sebesar 69,78 % terhadap variasi tanpa perkuatan, 59,6 % terhadap variasi hanya perkuatan *stone column* dan 50 % terhadap

hanya dengan *sub base*. Hal ini disebabkan karena lapisan tanah semakin tebal dengan adanya tambahan *sub base* dan *base course* yang sehingga membuat beban yang diberikan untuk sampai ke tanah dasar semakin kecil karena beban terbagi terlebih dahulu oleh adanya *sub base* dan *base course*.

### 3 Perbandingan hasil lendutan eksentris dari setiap variasi

NO	Perlakuan	Beban (Kg)	Bacaan Dial Lendutan (mm)				
			A	B	C	D	E
1	Tanpa Perkuatan	80	-0.05	0.00	0.17	1.05	0.24
2	Perkuatan <i>Stone column</i>	80	-0.047	0.00	0.08	0.69	0.19
3	Dengan <i>Sub base</i>	80	0.00	-0.0567	0.16	0.63	0.1267
4	Dengan <i>Base course</i>	80	-0.05	0.00	0.15	0.42	0.733



**Gambar 4** Perbandingan lendutan eksentris maksimum dari setiap variasi perlakuan pada tanah lunak

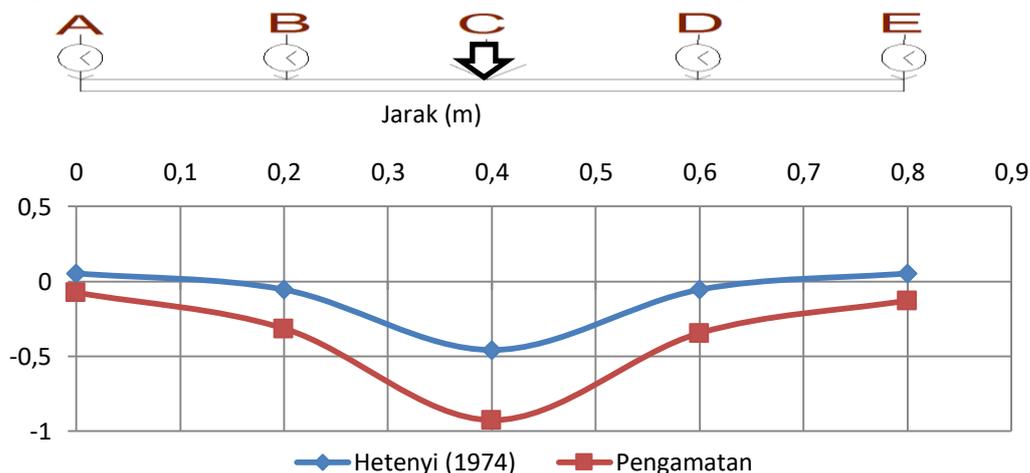
Gambar 4 diatas menunjukkan perbandingan antara semua variasi, lendutan paling besar ditunjukkan pada grafik tanpa perkuatan. Perkuatan *stone column* mampu mereduksi lendutan sebesar 33,65 % untuk pembebanan eksentris. Variasi perlakuan ketiga yaitu dengan penambahan *sub base* berupa hamparan kerikil setinggi 3 cm memberikan reduksi lendutan sebesar 40 % terhadap variasi tanpa perkuatan. Variasi perlakuan tanah keempat yaitu variasi ketiga kemudian ditambahkan lagi *base course* berupa hamparan pasir setinggi 3 cm. Variasi ini terbukti memberikan reduksi lendutan sebesar 60 % terhadap variasi tanpa perkuatan, 39,7 % terhadap variasi hanya perkuatan *stone column* dan 33,68 % terhadap hanya dengan *sub base*.

#### b. Perbandingan lendutan pengamatan dengan metode Hetenyi (1974)

Pengujian lendutan variasi A (tanpa perkuatan)

##### 1. Beban sentris

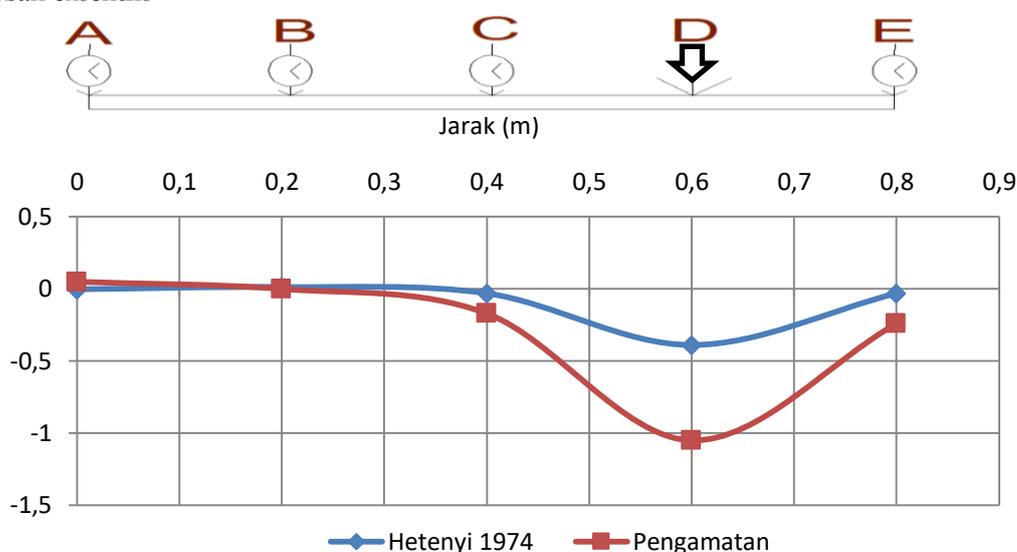
Pengujian beban sentris yang telah dilaksanakan didapat hasil sebagai berikut



**Gambar 5** Lendutan sentris variasi A antara pengamatan dan Hetenyi (1974)

**Gambar 5** menunjukkan grafik perbandingan lendutan antara hasil pengamatan dan menggunakan pendekatan rumus Hetenyi (1974). Berdasarkan gambar tersebut pendekatan menggunakan rumus Hetenyi (1974) memberikan lendutan yang hampir sama jika dibandingkan dengan lendutan pengamatan, akan tetapi untuk selisih nilai lendutan jika dibandingkan dengan pengamatan masih cukup jauh. Hal ini disebabkan karena metode rumus Hetenyi (1974) sebenarnya digunakan untuk pelat yang tebal dan kaku, serta dengan perkuatan pipa cakar baja yang monolite dengan pelat. Akan tetapi dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa metode rumus Hetenyi (1974) secara umum bisa digunakan untuk pelat yang relatif tipis dan fleksible dengan perkuatan yang tidak harus monolite dengan sistem pelat yang panjang terbatas (*finite beam*)

## 2. Beban eksentris



**Gambar 6** Lendutan eksentris variasi A antara pengamatan dan Hetenyi (1974)

**Gambar 6** diatas menunjukkan grafik perbandingan lendutan eksentris tanpa perkuatan dengan beban maksimal 80 kg antara hasil pengamatan dan menggunakan pendekatan rumus Hetenyi (1974). Berdasarkan grafik tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa pendekatan menggunakan rumus Hetenyi (1974) secara umum memberikan lendutan yang hampir sama dengan pengamatan. Selisih nilai pada titik A, titik B, titik C dan titik E sebenarnya memberikan nilai yang hampir sama, adapun untuk titik D selisih nilai antara pengamatan dan rumus masih terlalu besar. Hal ini disebabkan karena selisih lendutan antara titik D dan lainnya terlalu besar, sehingga membuat perbedaan antara pengamatan dan metode Hetenyi (1974) menjadi cukup signifikan. Akan tetapi secara umum metode pendekatan rumus Hetenyi (1974) ini dapat digunakan pada pelat tipis dan fleksible.

## KESIMPULAN

1. Perkuatan *stone column* mampu mereduksi lendutan yang terjadi pada pelat untuk pembebanan sentris sebesar 25,18 %, dan untuk pembebanan eksentris sebesar 33,65 %. Perkuatan *stone column* kemudian di tambah *sub base* berupa hamparan kerikil mampu mereduksi lendutan sentris pada pelat dibandingkan tanpa *sub base* sebesar 19,23 %, dan untuk pembebanan eksentris sebesar 9,09 %. Terhadap tanpa perkuatan mampu mereduksi lendutan sentris sebesar 39,5 % dan 40 % untuk pembebanan eksentris. Perkuatan *stone column* ditambah *sub base* berupa hamparan kerikil serta ditambah lagi dengan *base course* berupa hamparan pasir mampu memberikan reduksi pada pelat terhadap tanpa *base course* untuk pembebanan sentris sebesar 50 %, dan untuk pembebanan eksentris sebesar 33,68 %. Terhadap tanpa *base course* dan *sub base* mampu mereduksi lendutan sebesar 59,6 % untuk pembebanan sentris, dan 39,7 % untuk pembebanan eksentris. Terhadap tanpa perkuatan apapun mampu mereduksi lendutan sebesar 69,78 % untuk pembebanan sentris, dan 60 % untuk pembebanan eksentris
2. Metode rumus pendekatan Hetenyi (1974) untuk secara umum memberikan lendutan yang hampir sama dengan metode pengamatan secara langsung, baik pembebanan di titik sentris maupun pembebanan di titik

eksentris, sehingga metode pendekatan rumus Hetenyi (1974) bisa digunakan untuk pelat yang tipis dan fleksible.

## REFERENSI

- Hardiyatmo, H.C. 2006. Teknik Pondasi I Cetakan Ketiga. Yogyakarta: Beta Offset
- Hardiyatmo, H.C, 2010. Analisis dan Perancangan Pondasi II. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C, 2010. Mekanika Tanah I. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga. 2013. Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2013. Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C, 2009. “Metoda Hitungan Lendutan Pelat Dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen Untuk Struktur Pelat Fleksible”, *Dinamika Teknik Sipil*, Volume 9 Nomor 2, Yogyakarta.
- Puri, A. 2013. “ Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpakai Pada Model Skala Penuh dan Komparasi dengan Uji Pembebanan”. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Firdaus, W. 2010, “Prediksi Pelat Beton di Atas Tanah Lunak Menggunakan Metode Boef (*Beam On Elastic Foundation*) Ditinjau Pada Variasi Tebal Pelat Beton dan Nilai Pembebanan”, Skripsi. Program Studi Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.
- Subekti, H.G, 2009, “Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Pipa Baja Ujung Terbuka Pada Tanah Lunak (Uji Model Laboratorium)”. Skripsi, Program Studi Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Nurtjahjaningtyas, I. 2009, “Efektifitas Penggunaan *Stone column* Untuk Mengurangi Besar Pemampatan Pada Tanah Dengan Daya Dukung Rendah”, Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Prasarana Wilayah. Universitas Jember.
- Ridho, R. 2010, “Uji Kapasitas Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Ujung Tertutup Pada Tanah Pasir Berlempung Dengan Variasi Jumlah Tiang”, Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Yanto, F.H, 2015, “Analisis Lendutan Perkerasan Kaku Pada Tanah Lunak Dengan Perkuatan Kolom *Soil Cement*”, Tesis S-2, Program Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Hardiyatmo, H.C, 2002, “ Analisis Lendutan Pelat Yang Didukung Oleh Kelompok Tiang Pada Tanah Lunak”, PIT Geoteknik, Surabaya.