

PENERAPAN MODULUS REAKSI SUBGRADE EKIVALEN METODE PURI, DKK (2012) DALAM PERHITUNGAN LENDUTAN PELAT PADA PERKERASAN SISTEM CAKAR AYAM MODIFIKASI

Novia Afriliyani¹, Anas Puri², Rony Ardiansyah²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik sipil, Universitas Islam Riau

²Pengajar Program Studi Teknik sipil, Universitas Islam Riau

Jl. Kaharuddin Nasution 113 Pekanbaru

Email: noviaafriliyani94@gmail.com; Email: anaspuri@eng.uir.ac.id;

Email: ronyardiansyahuir@gmail.com

Abstrak

Sistem Cakar Ayam Modifikasi (CAM) merupakan pengembangan lebih lanjut dari sistem Cakar Ayam (CA) Prof. Sedyatmo. Sistem ini merupakan salah satu alternatif metode untuk meningkatkan kinerja perkerasan kaku pada tanah lunak dan dapat membantu mereduksi lendutan yang terjadi pada perkerasan. Makalah ini menyajikan perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') dengan metode Puri, dkk (2012) pada model skala penuh perkerasan sistem cakar ayam modifikasi yang divalidasikan dengan hasil uji pembebanan. Program BoEF (*Beams on Elastic Foundation*) adalah salah satu program yang dapat menyederhanakan dalam analisis pemodelan perilaku perkerasan pelat beton dalam menerima beban. Program ini memerlukan nilai modulus reaksi *subgrade* (k). Bila pelat didukung oleh beberapa cakar, maka lendutan akibat beban akan tereduksi oleh adanya cakar tersebut. Karena itu dalam analisis lendutan perlu digunakan nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') yang memperhitungkan pengaruh dari kelompok cakar. Hasil lendutan dengan perhitungankemudian dibandingkan dengan hasil lendutan pengamatan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa perhitungan menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen dapat digunakan untuk perencanaan perkerasan sistem CAM dengan hasil desain pada zona aman. Metode ini lebih praktis dalam perhitungan, dan tidak memakan banyak waktu dalam perencanaan. Untuk efisiensi dalam perencanaan, hasil hitungan BoEF dapat direduksi sebagaimana mestinya.

Kata kunci : Cakar Ayam Modifikasi, lendutan, modulus reaksi *subgrade* ekuivalen

Abstract

Modified Cakar Ayam system (CAM) is further development of Cakar Ayam Prof. Sedyatmo system. The system is one of alternative methods to improve the performance of rigid pavement on soft soil and helps reduce deflection occurs on pavement. The paper presented result of analysis modulus of subgrade reaction equivalence puri, et.al method (2012) to the full scale of a modified cakar ayam system be validated by the results of the loading test. BoEF (beams on Elastic Foundation) is the one of program which can simplify the modeling analysis of the behavior of concrete pavement slab in system accepting the burden. The program requires a value modulus of subgrade reaction (k). If the plate supported by cakar, then the deflection due to load is reduced by cakar. Therefore in a deflection analysis is necessary to use the modulus of subgrade reaction equivalence to takes into account the influence of the cakar. Deflection results by count then compared with the results of observations deflection. Analysis results can be concluded that the count

modulus of subgrade reaction equivalence can be used for design of a modified cakar ayam pavement system the design results in safe zone. The method more practical in the analysis, and takes less time consume in the design.

Keywords: *Modified Cakar Ayam system, deflection, equivalent modulus of subgrade reaction*

1. PENDAHULUAN

Konstruksi jalan pada tanah lunak memerlukan pengetahuan mengenai penurunan yang akan timbul selama pelaksanaan maupun dalam masa layanan jalan dan cara menanggulangi lendutan yang terjadi. Oleh karena itu dibutuhkan suatu sistem yang dapat membantu mereduksi lendutan yang terjadi. Salah satu sistem yang bisa digunakan ialah sistem cakar ayam (CA) atau cakar ayam modifikasi (CAM).

Terinspirasi atas kinerja yang baik pada perkerasan jalan sistem CAM, Hardiyatmo (2008) mengusulkan perkerasan jalan sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab system*), yaitu mengganti cakar baja galvanis dengan tiang pancang mikro yang pendek. Analisis sistem Pelat Terpaku dapat dilakukan menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (Hardiyatmo, 2009, 2011; Puri, dkk. 2012; Somantri, 2013; Puri, 2015) maupun metode elemen hingga (Somantri, 2013; Puri, 2015).

Pada penelitian ini akan disajikan perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') pada model skala penuh perkerasan sistem cakar ayam modifikasi yang dilakukan oleh Setiawan, 2015 dan selanjutnya hasil dari nilai lendutan yang di hitung dengan menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) divalidasikan dengan hasil dari nilai lendutan pengamatan (Setiawan, 2015). Diharapkan diperoleh kesesuaian antara perhitungan dengan perilaku pelat yang terjadi di lapangan, dan dapat pula dijadikan bahan evaluasi untuk penyempurnaan metode perhitungan tersebut dimasa yang akan datang serta

mempermudah dalam perhitungan perancangan perkerasan sistem CAM.

Tinjauan Pustaka

Beberapa cara perhitungan untuk perencanaan sistem CAM telah dilakukan oleh Suhendro (1992) dari hasil pemodelan untuk menghitung lendutan dan momen yang terjadi pada pelat sistem CAM pipa beton berdiameter $d = 1,2$ m panjang $L = 2,5$ m. Hardiyatmo (2000) mengusulkan cara hitungan lendutan, momen dan gaya lintang pada pelat sistem CA dengan mengaplikasikan metode balok pada fondasi elastis (BoEF). Pengembangan yang diusulkan oleh Ir. Maryadi Darmokumoro (Suhendro, 2006) adalah dengan mengganti pipa beton dengan pipa baja galvanis, dan pipa beton yang lebih ringan, serta analisis dengan metode elemen hingga (MEH) oleh Suhendro. Muhi (2007) melakukan pengamatan terhadap kajian lendutan akibat variasi lebar cakar 10 cm dan 30 cm pada sistem tanpa cakar dan pada sistem dengan cakar dengan perbandingan kondisi pembebanan yang sama dan tekanan kontak yang sama. Dan dilakukan perhitungan lendutan menggunakan metode BoEF, dimana hasil pada perhitungan metode BoEF yang didapat dibandingkan dengan hasil data pengamatan langsung di laboratorium. Hardiyatmo (2010) melakukan penelitian metode hitungan lendutan, momen dan gaya lintang sistem cakar ayam untuk perancangan perkerasan jalan beton yang terdiri dari satu deret cakar dengan dimensi pelat $7,5$ m x $2,5$ m. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga (SAP 2000).

Setiawan (2015) menganalisis lendutan yang terjadi pada perkerasan sistem CAM

melalui pengamatan dan dengan metode elemen hingga 3D menggunakan program SAP 2000 v.11.

Teori

Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (k') adalah metode yang diaplikasikan dalam perhitungan sistem pelat terpaku. Hardiyatmo (2010) mendefinisikan sebagai modulus reaksi *subgrade* yang memperhatikan kontribusi tiang dalam menahan gerakan perpindahan vertikal pelat yang dinyatakan oleh persamaan:

$$k' = k + \Delta k \quad (1)$$

Dimana k' : modulus reaksi *subgrade* ekuivalen (kN/m^3), k : modulus reaksi *subgrade* (kN/m^3), Δk : kenaikan modulus reaksi *subgrade* akibat pemasangan tiang (kN/m^3). Dalam hal ini tambahan modulus reaksi *subgrade* karena adanya tiang dibawah pelat dapat ditentukan dengan (Puri, dkk. 2012):

$$\Delta k = \frac{0,4 a_d c_u A_s}{\delta_a A_{ps}} \quad (2)$$

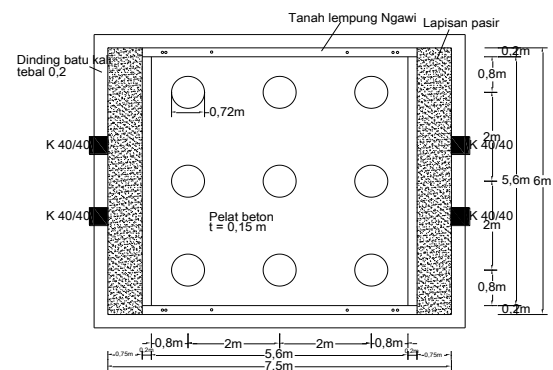
dimana a_d : faktor adhesi (*non dimensional*), c_u : kohesi *undrained*, A_s : luas selimut tiang, δ_a : toleransi penurunan, A_{ps} : luasan zona pelat yang didukung oleh satu tiang (m^2) = s^2 dan s : jarak antar tiang (m).

Persamaan (2) merupakan modifikasi persamaan yang diusulkan Hardiyatmo (2011). Nilai k' menjadi input modulus tanah pada analisis menggunakan BoEF. BoEF dapat menggunakan formula Hetenyi (1974) ataupun formula Roark. Pada penelitian ini penulis menggunakan BoEF dengan formula Roark untuk balok diatas fondasi elastis dengan panjang terbatas.

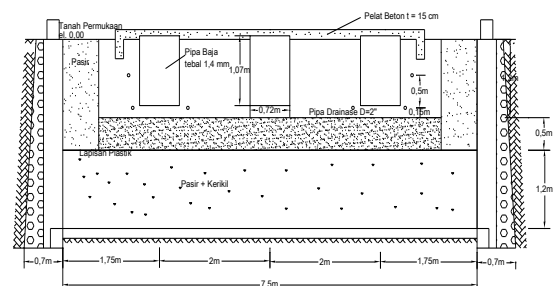
2. METODE PENELITIAN

Objek Penelitan

Model skala penuh perkerasan sistem Cakar Ayam Modifikasi yang diteliti adalah dengan ukuran 6,0 m x 5,6 m dengan tebal 0,15 m (Setiawan, 2015). Di bawah pelat terpasang pipa cakar dengan panjang 1,015 m, diameter pipa 0,72 m dan tebal pipa baja 1,4 mm. Selanjutnya dimensi perkerasan disajikan pada Gambar 1. Konstruksi CAM dipasang pada tanah lempung lunak Ngawi yang mempunyai sifat-sifat seperti disajikan pada Tabel 1.



a) Denah



b) Tampang lintang

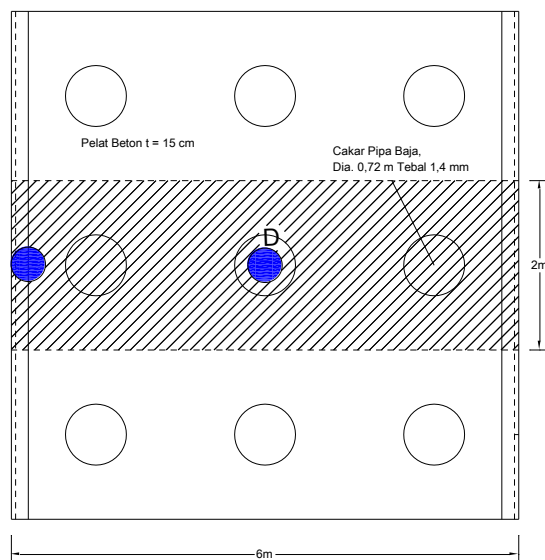
Gambar 1. Dimensi perkerasan sistem Cakar Ayam Modifikasi (Setiawan, 2015)

Tabel 1. *Properti* tanah lempung lunak Ngawi dan beton (Setiawan, 2015)

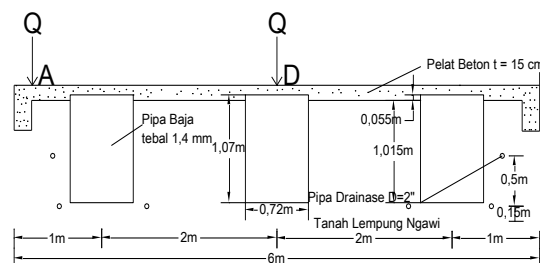
No	Properties	Besaran	Satuan
1	Kohesi (c)	15	kN/m^2
2	Kepadatan lapangan	92	%
3	Modulus reaksi <i>subgrade</i> vertikal, k_v	5.498,4	kN/m^3
4	Mutu beton, f'_c pada 28 hari	32,16	MPa
5	Klasifikasi tanah menurut USCS	CH	

Cara analisis

Perhitungan model skala penuh hanya ditinjau satu baris saja sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2a dimana lebar pelat diambil sama dengan jarak antar cakar. Dalam perhitungan lendutan yang terjadi pada pelat penulis menggunakan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012). Selain itu, penyederhanaan hitungan BoEF dilakukan sebagai berikut (Gambar 2b): (a) lantai kerja diabaikan pada perhitungan, sehingga perhitungan lebih aman, (b) hal yang sama pada pelat penebalan/pelat konektor, pelat penutup tepi (koperan) juga diabaikan. Maka panjang cakar terpasang menjadi 1,015 m (panjang cakar rencana 1,07 m dikurangi dengan cakar yang masuk kedalam pelat 0,055 m).



a) Denah satu baris cakar



b) Potongan melintang satu baris cakar

Gambar 2. Denah dan potongan melintang CAM (Setiawan, 2015)

Perhitungan dilakukan dengan cara menggunakan lendutan pengamatan (Setiawan, 2015) sebagai lendutan izin ($\delta_s = \delta_a$). Untuk lendutan pengamatan yang digunakan pada perhitungan ini diambil dari lendutan rerata beban repetitif setelah pembasahan (Setiawan, 2015).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Besaran Modulus Reaksi *Subgrade* Ekuivalen

Perhitungan menggunakan, nilai modulus reaksi *subgrade* arah vertikal (k_v) sudah diperoleh sebesar 5.498,4 kN/m³. Pada kasus ini menggunakan tanah lempung lunak Ngawi yang memiliki nilai kohesi (c) = 15 kN/m², dari kurva Tomlinson pada Grafik McClelland (1974) diperoleh faktor adhesi a_d = 1. Dan nilai k_v terkorreksi sebesar 1.282,96 kpa/m. Selanjutnya diperoleh tahanan gesek satuan $f_s = 15 \times 1 = 15$ kN/m². Berdasarkan dimensi cakar dan pelat (Gambar 2) maka didapat luas selimut cakar (A_s) = 2,3 m², luas pelat yang didukung cakar (A_{ps}) = 4 m². Dengan mengambil lendutan pengamatan (Setiawan, 2015) sebagai nilai lendutan izin ($\delta_s = \delta_a$), maka diperoleh variasi nilai tambahan modulus reaksi *subgrade* (Δk) seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3. Dengan menjumlahkan k dan Δk didapat nilai modulus reaksi *subgrade* ekuivalen akibat variasi beban dan letak titik beban (Titik A & D). Tabel 2 dan Tabel 3 merangkum Nilai Δk dan k' berdasarkan nilai lendutan pengamatan.

Tabel 2. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen satu baris cakar dengan lendutan pengamatan di titik A

N o	Q (kN)	δ_s mm	Δk kpa/m	k' kpa/m
1	20	0,558	6.182,79	11.198,625
2	40	1,195	2.887,03	6.254,985
3	60	1,970	1.751,27	4.551,345
4	100	3,774	914,14	3.295,665

Tabel 3. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen satu baris cakar dengan lendutan pengamatan di titik D

No	Q (kN)	δ_s mm	Δk kpa/m	k' kpa/m
1	20	0,383	9.005,83	10.290,79
2	40	0,617	5.591,57	6.874,53
3	60	0,841	4.102,26	5.385,22
4	100	1,445	2.387,54	3.670,5

3.2 Hasil Hitungan Lendutan untuk Beban di Tepi Pelat (Titik A)

Hasil perhitungan dengan menggunakan lendutan pengamatan untuk beban di tepi dengan variasi beban yaitu mulai dari beban 20 kN, 40 kN, 60 kN, hingga 100 kN menghasilkan lendutan maksimum yang bervariasi. Hasil lendutan disajikan pada Tabel 4 dan pola distribusi lendutan sepanjang diberikan pada Gambar 3. Dari tabel terlihat pada saat pelat di bebani oleh beban 20 kN dan 40 kN lendutan tidak melampaui lendutan izin maksimum ($\delta_a = 5$ mm) sedangkan saat dibebani beban 60 kN dan 100 kN lendutan yang terjadi melampaui lendutan izin maksimum.

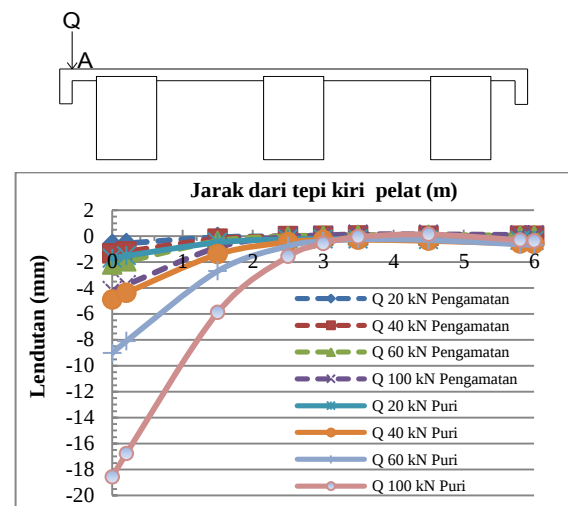
Beban di tengah (Gambar 4) juga menghasilkan lendutan yang bervariasi disajikan pada Tabel 5. Saat pelat dibebani oleh beban 20 kN, 40 kN dan 60 kN lendutan tidak melampaui lendutan izin maksimum sedangkan pada saat dibebani oleh beban 100 kN lendutan melampaui lendutan izin maksimum ($\delta_a = 5$ mm).

Tabel 4. Perbandingan hasil lendutan maksimum akibat beban di tepi pelat

Q (kN)	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Perhitungan	Pengamatan	
20	1,718	0,631	63,27
40	4,901	1,347	72,52
60	9,026	2,215	75,46
100	18,584	4,222	77,28

Tabel 4 menunjukkan, bahwa nilai lendutan perhitungan lebih besar dari pada

nilai lendutan pengamatan. Terlihat dari persentase penurunan dari lendutan berdasarkan perhitungan (rencana) ke lendutan pengamatan dengan selisih penurunan 63,27% - 77,28%. Dari persentase tersebut artinya untuk perencanaan dengan menggunakan perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) cukup memadai atau berada pada zona aman.



Gambar 3. Lendutan di sepanjang pelat akibat beban di titik A

3.3 Hasil Hitungan Lendutan untuk Beban di Tengah Pelat (Titik D)

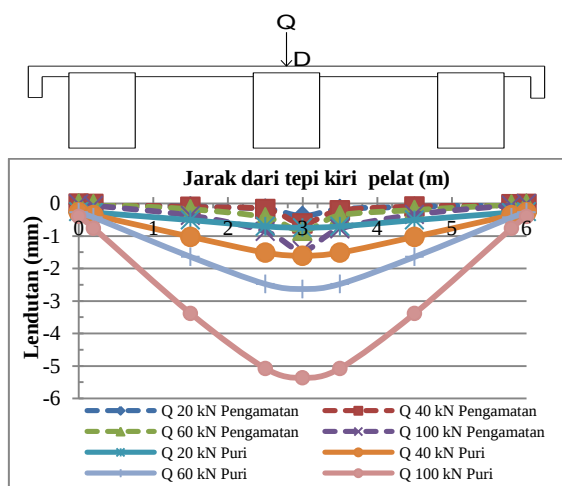
Hasil perhitungan dengan menggunakan lendutan pengamatan untuk beban di tengah dengan variasi beban yaitu mulai dari beban 20 kN, 40 kN, 60 kN, hingga 100 kN menghasilkan lendutan maksimum yang bervariasi. Hasil lendutan disajikan pada Tabel 5 dan pola distribusi lendutan sepanjang diberikan pada Gambar 6. Dari tabel terlihat pada saat pelat di bebani oleh beban 20 kN dan 40 kN lendutan tidak melampaui lendutan izin maksimum ($\delta_a = 5$ mm) sedangkan saat dibebani beban 100 kN lendutan yang terjadi melampaui lendutan izin maksimum.

Tabel 5 menunjukkan, bahwa nilai lendutan perhitungan lebih besar dari pada nilai lendutan pengamatan. Terlihat dari persentase penurunan dari lendutan

berdasarkan perhitungan (rencana) ke lendutan pengamatan dengan selisih penurunan 48,52% - 73,08%. Dari persentase tersebut artinya untuk perencanaan dengan menggunakan perhitungan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) cukup memadai atau berada pada zona aman.

Tabel 5 Perbandingan hasil lendutan maksimum akibat beban di tengah pelat

Q (kN)	Lendutan (mm)		Selisih (%)
	Perhitungan	Pengamatan	
20	0,744	0,383	48,52
40	1,606	0,617	61,58
60	2,631	0,841	68,03
100	5,367	1,445	73,08



Gambar 4. Lendutan di sepanjang pelat akibat beban di titik D

Dari perbedaan hasil yang didapat berdasarkan perhitungan dan pengamatan, hasil lendutan sebenarnya, jika digunakan untuk perencanaan perkerasan dengan perhitungan ini cukup aman, karena dalam pengamatan (Setiawan, 2015) meninjau tiga baris cakar, sedangkan dalam perhitungan berdasarkan satu baris cakar, sehingga hasil perhitungan akan lebih besar. Selain itu, karena keterbatasan metode BoEF, pelat penutup tepi (koperan) dan pelat konektor cakar dengan perkerasan diabaikan berikut rantai kerja. Dan penulis juga menyarankan hasil

lendutan yang didapat dengan perhitungan dikalikan dengan faktor reduksi sebesar 0,25 untuk beban di tepi maupun di tengah. Agar hasil lendutan yang didapat dari perhitungan lebih mendekati hasil pengamatan, sehingga perencanaan perkerasan nantinya tidak melebihi dimensi perkerasan yang seharusnya.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa:

1. Penggunaan modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) pada CAM yang dianalisis menggunakan metode BoEF menghasilkan lendutan pada titik beban yang lebih besar dari pengamatan sebesar 48,52% - 88,12%. Namun lendutan perhitungan dan pengamatan memiliki pola lendutan yang sama.
2. Modulus reaksi *subgrade* ekuivalen metode Puri, dkk (2012) dapat digunakan dalam perhitungan perencanaan perkerasan sistem Cakar Ayam Modifikasi dengan hasil perhitungan lebih besar artinya berada pada zona aman.
3. Dengan perhitungan lendutan yang melampaui lendutan pengamatan memungkinkan terjadinya perencanaan dari dimensi perkerasan menjadi lebih besar dari kebutuhan, hal tersebut akan membuat pengeluaran biaya pelaksanaan menjadi lebih besar dari yang seharusnya. Maka hasil hitungan BoEF dapat direduksi sebagaimana mestinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Firdaus, W., 2010, Prediksi Perilaku Pelat Beton di Atas Tanah Lunak Menggunakan Metode BoEF (*Beams on Elastic Foundation*) Ditinjau Pada Variasi Tebal Pelat Beton dan Nilai Pembebanan, *Skripsi*, Program Studi Teknik Sipil,

- Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Indonesia
- Hardiyatmo, H.C., 2008, Sistem Pelat Terpaku (*Nailed-slab*) untuk Perkuatan Pelat Beton pada Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*), *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Tepat Guna dalam Penanganan Sarana-prasarana*, MPSP JTSL FT UGM., pp. M-1—M-7.
- Hardiyatmo, H.C., 2009, Metode Hitungan Lendutan Pelat dengan Menggunakan Modulus Reaksi Tanah Dasar Ekuivalen untuk Struktur Pelat Fleksibel, *Dinamika Teknik Sipil*, Vol.9 No.2, pp. 149-154.
- Hardiyatmo, H.C., 2011, Method to Analyze the Deflection of the Nailed-slab System, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Volume 11 Number 4, pp.22-28.
- Muhu, H.L.Y., 2007, Kajian Lendutan Pada Sistem Cakar Ayam Akibat Variasi Lebar Pelat (Model Sistem Cakar Ayam dari Pelat Baja), *Skripsi*, Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Puri, A., Hardiyatmo, H.C., Suhendro, B., dan Rifa'i, A., 2012a, Determining Additional Modulus of Subgrade Reaction Based on Tolerable Settlement for The Nailed-Slab System Resting on Soft Clay, *International Journal of Civil and Environmental Engineering IJCEE-IJENS*, Vol. 12 No. 03, pp 32-40
- Puri, A., 2013, Penerapan Metode Analisis Lendutan Pelat Terpaku Pada Model Skala Penuh Dan Komprasi Dengan Uji Pembebanan, *Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS7)*, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta, 24-26 October 2013, pp. G201-G211.
- Setiawan, B., 2015, Perilaku Sistem Cakar Ayam Modifikasi Pada Tanah Ekspansif, *Disertasi*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Somantri, A.K., 2013, Kajian Lendutan Pelat Terpaku pada Tanah Pasir dengan Menggunakan Metode Beam on Elastic Foundation (BoEF) dan Metode Elemen Hingga, *Tesis*, Program Studi Teknik Sipil, Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta, Indonesia.
- Suhendro, B., 2006, *Sistem Cakar Ayam Modifikasi Sebagai Alternatif Solusi Konstruksi Jalan Di Atas Tanah Lunak*, dari buku 60 tahun Republik Indonesia, Jakarta, Indonesia.
- Suhendro, B., dan Hardiyatmo, H.C., 2010, Sistem Perkerasan Cakar Ayam Modifikasi (CAM) Sebagai Alternatif Solusi Konstruksi Jalan Di Atas Tanah Lunak, Ekspansif, dan Timbunan, *Prosiding Seminar dan Pameran Sehari 2010 Inovasi Baru Teknologi Jalan dan Jembatan*, DPD HPJI Jatim, Surabaya, 31 Maret 2010.