

EVALUASI PENGGUNAAN BAMBU SEBAGAI TULANGAN PADA STRUKTUR PERKERASAN KAKU (*RIGID PAVEMENT*) JALAN RAYA

BAMBOO USAGE EVALUATION AS REINFORCEMENT OF HIGHWAY RIGID PAVEMENT

Eko Darma, Anita Setyowati Srie Gunarti, Sri Nuryati, Elma Yulius, Ninik Paryati
Universitas Islam 45, Jl. Cut Meutia No. 83 Bekasi, 17113
ekodarma91@gmail.com

ABSTRACT

Bamboo has good mechanical properties because it almost resembles the mechanical properties of steel. Therefore, the use of bamboo can be used in other civil construction building as alternative material of steel substitution such as rigid pavement of highway. On highway's rigid pavement, steel is used as a reinforcement to withstand cracks due to temperature shrinkage and increase the load capacity of the road. This research uses bamboo for rigid pavement reinforcement on highway. The specimens a mesh of bamboo and steel reinforcement with a 5 m in length and 3.5 m in width, 12 mm diameter and each reinforcement mounted at every 100mm distance. The meshing is mounted on each road segment with 3.5m in length, 5m in width, 0.3m in height at a depth of 20cm from the road surface and the K-300 concrete quality. The tests were performed using vehicle that weighted varied from 1000 Kg to approximately 14000 Kg and the rigid pavement responses observed are deflection, strain and stress. The biggest deflection on the bamboo reinforced rigid pavement is 0.6 mm at 9323 kg load. The maximum stress occurred in the longitudinal and transverse steel bars is 1062.6 Kg/cm² and 686.7 Kg/cm² with 2100000 Kg/cm E-steel value, while in the bamboo reinforcement the biggest stress is 118.62 Kg/cm² and 86.87 Kg/cm² with 313810 Kg/cm² E bamboo value. In this condition, the stress occurred is still within the elastic limit. Thus, this research shows that bamboo is suitable to use as a reinforcement on the rigid pavement of highway.

Keywords: rigid pavement, bamboo reinforcement, steel reinforcement, deflection, stress, strain

ABSTRAK

Bambu mempunyai sifat mekanik yang baik karena hampir menyerupai sifat mekanik baja. Bambu dapat digunakan pada konstruksi bangunan sipil sebagai material alternatif pengganti baja seperti perkerasan kaku jalan raya (*rigid pavement*). Pada *rigid pavement* baja digunakan sebagai tulangan yang berfungsi untuk menahan retak susut akibat suhu dan menambah kapasitas beban jalan. Penelitian ini menggunakan bambu pada *rigid pavement*. Spesimen yang dibuat adalah *meshing* tulangan bambu dan baja dengan panjang 5 m dan lebar 3,5 m, diameter 12 mm dan tulangan dipasang pada jarak setiap 100 mm. *Meshing* tersebut masing-masing dipasang pada tiap segmen jalan yang berukuran panjang x lebar x tinggi yaitu 3,5m x 5m x 0,3m pada kedalaman 20 cm dari permukaan jalan. Uji dilakukan dengan menggunakan beban kendaraan yang divariasikan mulai dari 1000 Kg sampai dengan 14000 Kg dan diamati responnya seperti defleksi, regangan, tegangan. Defleksi terbesar pada perkerasan *rigid pavement* tulangan bambu adalah 0,6 mm pada beban 9323 Kg. Tegangan maksimum yang dihasilkan pada tulangan baja memanjang dan melintang adalah 1062,6 Kg/cm² dan 686,7Kg/cm² dengan nilai E baja 2100000Kg/cm², sedangkan pada bambu tegangan terbesar yang dihasilkan adalah 118,62Kg/ cm² dan 86,87Kg/ cm² dengan nilai E bambu 313810Kg/cm² pada kondisi ini tegangan yang terjadi masih dalam batas elastis. Hasil penelitian menunjukkan bambu layak dipakai sebagai tulangan pada *rigid pavement*.

Kata kunci: *rigid pavement*, tulangan bambu, tulangan baja, defleksi, tegangan, regangan.

PENDAHULUAN

Jawa Barat merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan luas wilayah 3.709.528,44 Ha dan jumlah penduduk sebesar 44.548.431 jiwa. Secara geografis, propinsi Jawa Barat terletak pada 5°50' – 7°50' Lintang Selatan dan 104°48' - 108°48' Bujur Timur. Panjang jalan di wilayah provinsi Jawa Barat ± 7.204 km yang

meliputi jalan nasional, jalan propinsi dan jalan kabupaten, dengan kondisi jalan baik sebesar 1.769,4 km, kondisi jalan sedang 6811,5 km, kondisi jalan rusak ringan 2.248 km dan 1.298,4 km rusak berat, terutama di jalan kabupaten (Dep Perhub Darat, 2009). Berdasarkan data tersebut, maka perlu dilakukan perbaikan infrastruktur jalan raya terutama untuk wilayah Kabupaten/Kota guna

meningkatkan perekonomian di wilayah tersebut.

Perkembangan teknologi dan ketersediaan sumber alam yang melimpah di Jawa Barat, menuntut adanya penelitian yang berinovasi pemanfaatan sumber alam yang ekonomis. Salah satunya adalah penggunaan bambu sebagai pengganti tulangan baja untuk struktur konstruksi perkerasan jalan. Batang bambu pada umumnya berbentuk silinder cembung dengan diameter 1 cm hingga 25cm dan mempunyai ketinggian bervariasi antara 1m - 40m. Kekuatan bambu dipengaruhi oleh berat jenis bambu, yaitu perbandingan antara berat kering tanur suatu benda terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume benda itu.

Batang bambu mempunyai kuat tarik cukup tinggi, setara dengan kuat tarik baja lunak yaitu dapat mencapai 1280 kg/cm², sedangkan bambu yang berumur 3 tahun mempunyai kekuatan lentur rata-rata 84 MPa dan modulus elastisitasnya 200.000 MPa. (Morisco, 1996). Kekuatan bambu dipengaruhi oleh berat jenis bambu, yaitu perbandingan antara berat kering tanur suatu benda terhadap berat suatu volume air yang sama dengan volume benda itu. Kuat tarik bambu yang cukup besar dan mudah didapat di wilayah Jawa Barat, maka serat bambu dapat digunakan sebagai bahan alternatif pengganti tulangan baja pada struktur perkerasan jalan beton atau perkerasan kaku (*Rigid Pavement*).

Pada penelitian ini peneliti menggunakan serat bambu sebagai bahan alternatif pengganti tulangan baja pada perkerasan kaku jalan (*Rigid Pavement*) di ruas jalan Bharata Perumnas Karawang Desa Waras Kecamatan Teluk Jambe Timur Kabupaten Karawang Jawa Barat. Mutu beton yang digunakan adalah K-300 dan beban maximum kendaraan 25 ton. Uji kuat lentur, tegangan dan regangan bambu dengan uji *loading test* dilapangan dengan berat kendaraan yg berbeda-beda sampai pada batas beban kendaraan maximum 25 ton. Pelaksanaan pengujian mulai pukul 09.00 – 12.00 WIB dan pukul 14.00 – 17.00 WIB.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya defleksi, regangan dan tegangan tulangan bambu pada perkerasan kaku terhadap tulangan baja sehingga dapat diketahui tingkat kelayakan tulangan bambu sebagai pengganti tulangan baja pada perkerasan kaku.

Rumusan Masalah pada penelitian adalah mencari berapakah defleksi dan regangan bambu pada perkerasan kaku, Berapakah tegangan bambu pada perkerasan kaku? Berapa besarkah fungsi tulangan bambu untuk menahan retak pada perkerasan kaku jalan raya pada saat pembebanan dibanding dengan tulangan baja?

Batasan masalah dari penelitian adalah Perhitungan hanya berdasarkan berat kendaraan dan muatan, tidak menggunakan pembebanan dengan beban ultimate, pembebanan hanya diambil dari beban kendaraan yang melintasi jalan yang diteliti. tidak menggunakan kecepatan kendaraan sebagai variabel penelitian. karena kondisi dilapangan tidak memungkinkan untuk pembuatan beton in site, maka digunakan beton ready mix, untuk uji kuat tarik bambu dan baja diambil dari referensi.

Syarat utama dari tulangan yang dipakai untuk tulangan baja pada *rigid pavement* adalah harus bersih dari oli, kotoran, karat, dan pengelupasan. Pemasangan tulangan sebelum pembetonan, tulangan diberi penyangga yang ditahan pada letak yang diinginkan. Ukuran atau jarak tulangan dari permukaan beton adalah 60 ± 10 mm di bawah permukaan beton, untuk tebal pelat kurang dari 270 mm dan 70 ± 10 mm di bawah permukaan beton, untuk tebal pelat 270 mm atau lebih.

Berbagai jenis bambu tumbuh subur di Indonesia yang dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan antara lain bambu dapat digunakan sebagai salah satu material konstruksi. Jenis-jenis bambu yang umum dipakai sebagai material konstruksi antara lain: Bambu Petung, Bambu Wulung, Bambu Ori dan sebagainya. Janssen, JAA (1988) dalam Morisco (1999) memberikan rekomendasi tentang keunggulan bambu sebagai berikut: bambu dapat tumbuh sangat cepat dan dapat dibudidayakan secara cepat serta modal dapat diputar berkesinambungan, bambu mempunyai sifat-sifat mekanika yang baik, pengerjaan bambu hanya membutuhkan peralatan yang sederhana, kulit luar bambu mengandung banyak silika yang membuat bambu terlindungi. Bambu termasuk zat higroskopis, artinya bambu dapat menyerap air, baik dalam bentuk uap maupun cairan. Kandungan air dalam batang bambu bervariasi baik arah memanjang maupun arah melintang. Hal itu tergantung dari umur, waktu penebangan dan jenis bambu. Semakin

berkurang kadar air dalam bambu maka kekuatan tarik bambu akan semakin kuat, sedangkan salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kekuatan bambu adalah berat jenis bambu. Bambu yang mempunyai berat jenis besar berarti mempunyai jumlah zat dinding sel dengan volume besar. Selanjutnya zat kayu ditentukan oleh beberapa faktor antara lain tebal dinding sel, besarnya sel dan jumlah sel berdinding tebal.

Hakim (1987) memaparkan hasil penelitiannya bahwa rata-rata kekuatan tarik terendah terdapat pada bambu Apus 2558,46 kg/cm², bambu Wulung 2833,4784 kg/cm², bambu Legi 2835,141 kg/cm², bambu Ori 3062,703 kg/cm², bambu Ampel 3229,014kg/cm², dan bambu Petung 3958,2324 kg/cm². Morisco (1999) memperlihatkan kekuatan tarik bambu dapat mencapai sekitar dua kali kekuatan tarik baja tulangan. Sebagai pembanding dipakai baja tulangan beton dengan tegangan luluh sekitar 240 MPa yang mewakili baja beton yang banyak terdapat di pasaran. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa kuat tarik kulit bambu Ori cukup tinggi yaitu hampir mencapai 500 MPa, sedang kuat tarik rata-rata bambu Petung juga lebih tinggi dari tegangan luluh baja, hanya satu spesimen yang mempunyai kuat tarik lebih rendah dari tegangan luluh baja. Purnomo dkk (2012) menyampaikan hasil penelitiannya yang meliputi penelitian sifat mekanik dan fisik bambu, pengujian lentur beton bertulang. Rancangan tulangan balok yang digunakan adalah bambu walesan dengan diameter antara 10 – 20 mm. Tebal benda uji 20 cm lebar 15 cm dan panjang 230 cm. Rata-rata beton uji memiliki kuat tekan 22,15 Mpa dan rata-rata berat satuan 2,39.10⁻⁵ N/mm³. Dari pengujian tiga bagian bambu walesan (pangkal, ujung, ros) didapat kuat tarik bambu walesan (fu) bagian pangkal 171,675 MPa dengan nilai E 5722,5 MPa, fu bagian ujung 165,375 Mpa dengan nilai E 5512,5 MPa, fu bagian ros 147,15 MPa dengan nilai E 4900 Mpa. Beban ultimit balok 1 sebesar 8,085 KN, beban ultimit balok 2 sebesar 12,25 KN dan beban ultimit balok 3 sebesar 12,985 KN. Ketiga benda uji menunjukkan bahwa keruntuhan balok diawali dengan retak lentur. Keruntuhan tidak terjadi pada daerah dengan tulangan geser yaitu pada jarak 625 mm dari masing-masing ujung balok. Runtuh lentur ditandai dengan retak-retak tegak lurus di daerah tulangan tarik. Keruntuhan balok

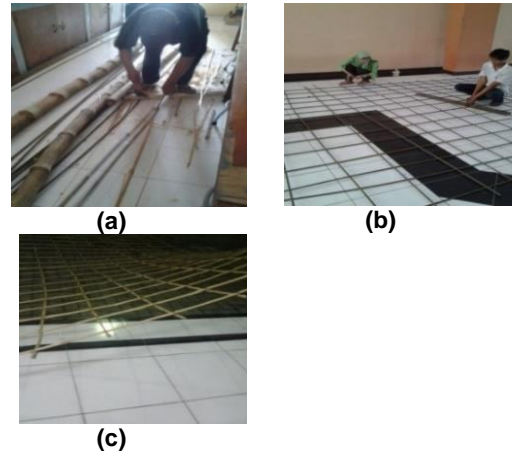
ditandai dengan sebagian bambu telah putus dan balok tidak mampu menahan beban lagi. Penggunaan bambu untuk tulangan jalan beton direkomendasikan untuk beban kendaraan 9ton dengan ketebalan pelat 20 cm, mutu beton f_c' 21,08 Mpa, dan luas tulangan bambu 3080 mm². Pathurahman, J.F, dkk (2003) melakukan penelitian bambu yang digunakan sebagai tulangan balok beton, balok direncanakan bertulangan liat (underreinforced) dan tidak bertulangan tekan, semua balok diberi tulangan bambu pilinan dari bambu galah dengan diameter 12 mm dan diberi lapisan kedap air. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *fourpoint load*, sehingga pada bagian balok diharapkan akan terjadi lentur murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbandingan antara momen retak awal (eksperimen) dengan momen perhitungan (teoritis) sebesar 115,26 %, hal ini menunjukkan adanya kecocokan antara teori dan eksperimen. Simpangan standar yang cukup besar yaitu 35,31 % dapat diartikan bahwa kualitas tulangan kurang seragam. Disimpulkan bahwa bambu memiliki peluang untuk digunakan sebagai tulangan, khususnya untuk struktur beton sederhana. Budi, A.S (2013) melakukan Pengujian berupa pengujian kapasitas lentur balok beton tulangan bambu dengan menggunakan tipe tulangan bambu polos dan tipe tulangan bambu takikan masing-masing pada jenis bambu Petung dan Wulung yang telah berumur lebih dari 3 tahun. Mutu beton yang digunakan f_c' = 15 MPa. Benda uji kapasitas lentur balok berupa balok beton ukuran 100x150x1500 mm pada umur beton 28 hari dengan metode pengujian *fourth point loading system*. Hasil uji material bambu didapat, kuat tarik rata-rata bilah bambu Petung dan Wulung adalah 240,54 MPa dan 182,73 MPa, sedang kuat tarik baja polos adalah 378,4 MPa. Dari hasil kapasitas lentur balok, diperoleh bahwa penggunaan takikan pada tulangan bambu menambah kapasitas lentur balok menjadi lebih tinggi sekitar 110% terhadap tulangan bambu Petung polos, dan sekitar 118% terhadap tulangan bambu Wulung polos. Namun, bila dibanding dengan kapasitas lentur balok baja polos, kapasitas lentur balok tulangan bambu Petung takikan sekitar 41% dan bambu Wulung takikan sekitar 28% terhadap kapasitas lentur balok baja tulangan polos. Basuki (2015) memaparkan hasil penelitiannya yaitu Bambu sebagai salah satu bahan yang mempunyai kekuatan tarik yang relatif agak tinggi

dibandingkan dengan kayu jati, meranti dan kayu lainnya dan dapat dimaksimalkan pemakaiannya sebagai pengganti tulangan baja khususnya pada konstruksi beton sederhana, misalnya plat beton pracetak ataupun balok beton pracetak dengan bentang pendek. Agar kekuatan tulangan pengganti dari bambu ini lebih optimal, maka dapat dilakukan cara memodifikasi tulangan bambu ini yaitu dengan membuat tulangan bambu laminasi, menggabungkan dua bilah bambu pada bagian dalamnya dengan perekat lem kayu yang kuat. Sebuah penelitian laboratorium yang memanfaatkan tulangan dari bambu laminasi pada konstruksi plat beton pracetak ternyata dapat memberikan hasil yang positif, yaitu tulangan bambu laminasi dapat didesain dengan kekuatan yang setara dengan tulangan baja pada plat beton. Kekuatan tulangan bambu laminasi dapat ditingkatkan dengan memasang kawat galvanis yang dipasang menyilang di antara tulangan bambu tersebut. Besarnya peningkatan kekuatan tulangan bambu dalam menahan momen lentur pada plat beton sebanding dengan besarnya diameter kawat galvanis menyilang yang terpasang dan juga luas penampang tulangan bambu laminasi. Kawat galvanis yang dipasang menyilang pada tulangan bambu laminasi dapat meningkatkan kekuatan plat beton mencapai kisaran (6-16) %. Tulangan bambu laminasi dan kawat galvanis menjadi referensi yang baik untuk penelitian lebih lanjut dalam hal fungsinya menggantikan tulangan baja pada konstruksi beton bertulang sederhana. Bambu dapat digunakan sebagai tulangan pada *rigid pavement* menggantikan tulangan baja namun *durability* bambu lebih rendah dari baja tetapi dari segi biaya penggunaan bambu bisa mencapai 50 % dari biaya *rigid pavement* bertulangan baja (Priyadarshee et al, 2014). Pitroda et al (2016) menyimpulkan penggunaan serat bambu (*bamboo fiber*) dapat meningkatkan kapabilitas dan durabilitas konstruksi jalan raya.

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah uji lapangan dengan membuat dua sampel benda uji yaitu perkerasan jalan dengan menggunakan tulangan baja dan tulangan bambu. Sampel dibuat dengan skala 1:1 setelah itu dibuat uji pembebanan pada kedua benda uji tersebut untuk mengamati beban retak dan beban ultimit yang terjadi pada kedua sampel tersebut. Sedangkan uji-

uji yang lain adalah uji bahan mulai dari uji agregat pasir, kerikil, uji tarik baja, uji tarik bambu.



Gambar 1. Rangkaian (*meshing*) tulangan (a) Batang bambu yang dibelah; (b) *Meshing* tulangan baja; (c) *Meshing* tulangan bambu

Tahap Pengujian

Urut-urutan pekerjaan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan benda uji.
2. Pelaksanaan pengujian.
3. Analisis hasil uji.

Pembuatan Benda Uji

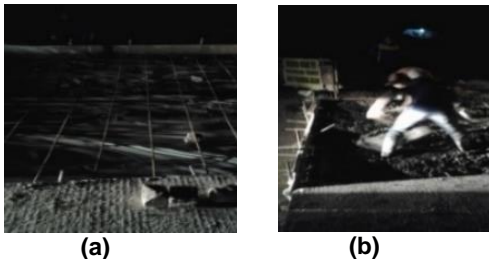
Meshing Tulangan Bambu Dan Baja

Pembuatan *meshing* (jaringan) tulangan bambu dan baja menggunakan bambu petung (Gambar 1) yang direndam ± 1 bulan untuk menghilangkan zat-zat yang menjadi makanan binatang perusak bambu dan mematikan hewan tersebut sehingga bambu akan lebih awet. Setelah proses perendaman maka bambu tersebut dibelah-belah menjadi beberapa bagian dengan diameter ± 12 mm dan panjang ± 5 m.

Belahan batang bambu kemudian dirangkai menjadi sebuah jaringan (*meshing*) yang berfungsi sebagai tulangan pada *rigid pavement*. Sedangkan untuk pembuatan *meshing* tulangan baja menggunakan baja dengan diameter 12 mm dan panjang 5 m. Batang-batang baja tersebut dirangkai menjadi sebuah *meshing* dan untuk penyembungan antar tulangan baja digunakan kawat bendrat. Setelah *meshing* tersebut siap maka dipasang pada tempat yang sudah ditentukan, selanjutnya dilakukan *placing* atau pengecoran *rigid pavement*.

Perkerasan Kaku Jalan (*Rigid Pavement*)

Benda uji untuk perkerasan kaku jalan (*Rigid Pavement*) berupa 2 buah panel berukuran 5 m x 3,5 m x 0,3 m. Proses pembuatan panel dimulai dari perataan muka tanah kemudian pemadatan untuk mencapai daya dukung yang disyaratkan, ditunjukkan dengan nilai hasil uji daya dukung tanah California Bearing Ratio (CBR). Pembuatan lantai kerja beton (*lean concrete*) setebal 5 cm yang berfungsi untuk memudahkan dan menjadi dasar pekerjaan pengecoran beton supaya beban tersalurkan secara merata dari *rigid pavement* ke tanah. Selanjutnya *meshing* baja dan bambu dipasang pada ketinggian 10 cm dari permukaan tanah, kemudian dilakukan pengecoran dengan ketebalan 30 cm dengan mutu beton K-300 atau setara dengan 30 Mpa (Gambar 2).



Gambar 2. (a) Pemasangan meshing pada panel rigid pavement (b) Pengecoran beton pada rigid pavement

Pengecoran dilakukan dengan menggunakan beton *readymix* dan dipadatkan dengan menggunakan penggetar (*vibrator*) hingga beton tersebut merata. Untuk proses perawatan (*curing*) beton dilakukan selama 7-28 hari dengan cara menyelimuti beton menggunakan karung basah. Hal ini dilakukan agar beton tidak mengalami retak akibat susut karena menguapnya air yang ada di dalam beton.

Pelaksanaan Pengujian

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa jenis yang terdiri atas:

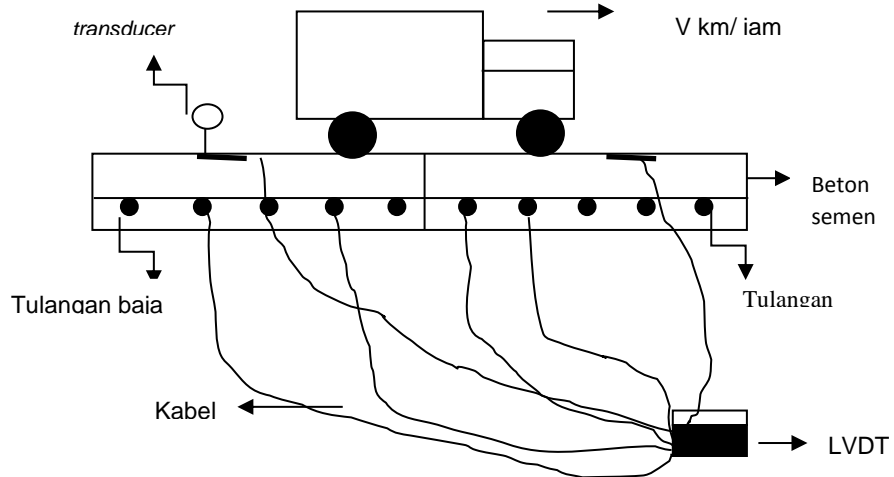
Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besarnya kuat tekan beton sehingga dapat diketahui berapa mutu beton yang dipakai pada perkerasan kaku (*rigid pavement*). Sampel beton berbentuk silinder ukuran (d x t) 150 mm x 300 mm sebanyak tiga buah. Silinder beton yang telah dibuat tersebut *dicuring* sampai umur 28 hari, kemudian dilakukan pengujian kuat tekan beton menggunakan mesin uji tekan Universal Testing Machine (UTM) di laboratorium Bahan Konstruksi Universitas Islam "45" Bekasi.

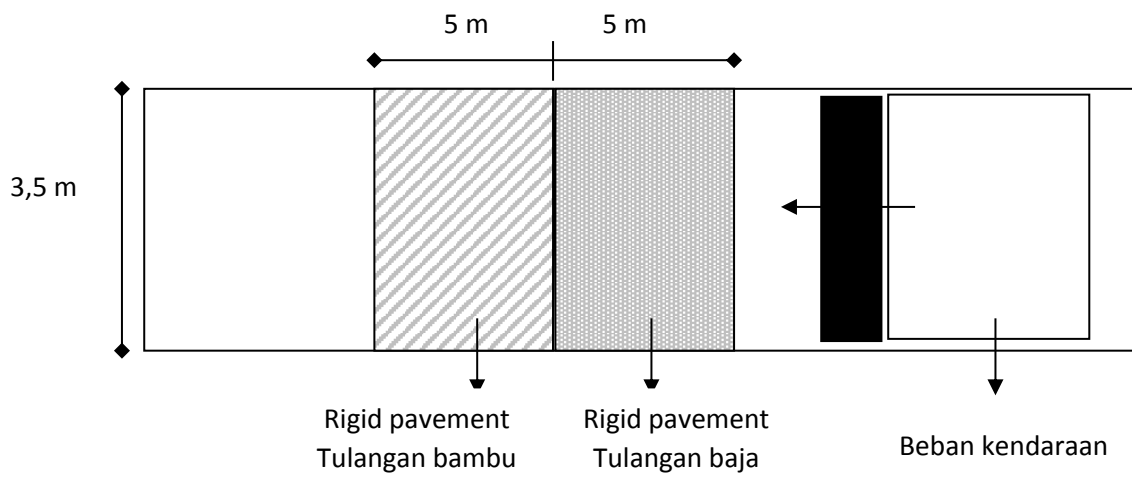
Loading Test pada rigid pavement

Pengujian beban ini dilakukan untuk mengetahui besarnya respon yang terjadi pada perkerasan jalan akibat beban kendaraan. Uji dilakukan di lokasi uji yaitu jalan raya Teluk Jambe, Karawang, Jawa Barat Respon yang dimaksud adalah lendutan, tegangan dan regangan tulangan pada *rigid pavement*. Cara pengujian ini adalah dengan memasang beberapa instrumen pada rigid pavement seperti LVDT (*Linear Variable Displacement Transducer*) dan *Strain Gauge*. *Strain Gauge* ditempelkan pada tulangan bambu dan baja masing-masing sebanyak dua buah setelah itu dihubungkan dengan LVDT.

Pada LVDT juga dipasang sebuah sensor pada permukaan *pavement* untuk mengukur *displacement*. Setelah semua instrument siap maka LVDT diaktifkan yaitu dengan menghubungkannya dengan daya listrik setelah itu panelnya diaktifkan. Beban truk yang direncanakan adalah mulai dari 1ton hingga 15ton yang akan melintas pada *rigid pavement* dengan kecepatan tertentu. Output dari uji beban ini adalah *displacement* dan regangan. Gambar 3 memperlihatkan cara pelaksanaan *loading test*, gambar 5 merupakan alat pembaca hasil loading test (LVDT), gambar 4 menggambarkan Layout lokasi loading test.



Gambar 3. Loading test rigid pavement



Gambar 4. Lay out lokasi loading test



Gambar 5. Alat Uji LVDT

HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

Uji Kuat Tekan Beton

Hasil uji dapat dilihat pada tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Hasil Uji Kuat Tekan Beton

No	Umur beton (hari)	Kuat tekan			σ (Kg/cm ²)
		KN	Kg/cm ²	σ (28 hari)	
1	28	412	239,08	239,08	288,06
2	28	417	241,99	241,99	291,55
3	28	418	242,57	242,57	292,55

Evaluasi nilai kuat tekan beton mengacu pada SNI 03-2847-2002 seksi 7.6.2. point 4 yang mensyaratkan nilai kuat tekan didapat dari uji dua silinder. Sedangkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 7 Seksi 7.1.6 point 3. Nilai kuat tekan beton didapat dari rata-rata 2 set hasil uji silinder beton dimana 1 set terdiri dari 3 silinder beton.

Pada penelitian ini perhitungan nilai kuat tekan beton mengacu pada SNI 03-2847-2002 yang menggunakan rerata ketiga hasil uji silinder beton yang terdapat pada Tabel.1 sehingga di dapat nilai σ :

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

$$\sigma = \frac{288,06 + 291,55 + 292,65}{3}$$

$$\sigma = 290,75 \text{ Kg/cm}^2$$

Hasil pengujian tersebut masih lebih kecil dari mutu beton rencana *rigid pavement* sebesar 300 Kg/cm² (K-300) namun nilai tersebut dapat ditolerir karena masih memenuhi > 95 % dari mutu beton rencana. Dari pengamatan di lapangan pasca pengujian menunjukkan tidak terdapat retak-retak pada permukaan beton.

Hasil Pengujian Beban Kendaraan (*Loading Test*)

Hasil pengujian *loading test* diperoleh data berupa regangan pada tulangan bambu dan baja sedangkan pada perkerasan kaku beton (*rigid pavement*) berupa regangan dan defleksi/lendutan. Pada tabel 2 dan tabel 3 menunjukkan hasil pengujian *loading test*, selanjutnya hasil pengujian dibuat grafik tegangan-regangan sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 6 dan Gambar 7. Untuk menginterpretasi hasil uji diatas, maka tabel 2 dibuat dalam bentuk kurva beban-lendutan. Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 dibuat dalam bentuk kurva beban-tegangan dengan mengambil nilai Modulus Elastisitas Bambu (E) 313810 Kg/cm² (Morisco, 1999) dan

nilai Modulus Elastisitas Baja (E) 2.100.000 Kg/cm² (Setya Budi, 2011). Hasil perhitungan beban-tegangan disajikan dalam tabel 3.

PEMBAHASAN

Gambar 6 menunjukkan bahwa defleksi maksimum yang terjadi pada tulangan bambu masih sangat kecil dan dalam batas aman yaitu pada pembebanan 9323 kg menghasilkan defleksi sebesar 0,06 mm sedangkan Rohde dan Scullion (1990) memberikan batasan pada *rigid pavement* yang dibebani sebesar 9000 lb atau setara dengan 4000 kg defleksi normal yang terjadi sebesar 0,12 mm.

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan pada tulangan baja memanjang dan melintang tegangan terbesar yang dihasilkan 1062,6 kg/cm² dan 686,7 kg/cm² sedangkan pada bambu tegangan terbesar yang dihasilkan adalah 118,62 kg/cm² dan 86,87 kg/cm², hal ini dapat terjadi karena baja mempunyai modulus elastisitas yang lebih besar daripada bambu. Namun demikian karena regangan dan tegangan yang dihasilkan kedua jenis tulangan tersebut sangat kecil maka dapat disimpulkan bahwa deformasi yang terjadi pada kedua tulangan tersebut masih dalam batas elastis.

Tidak seperti pada struktur balok dan kolom beton bertulang dimana tulangan baja dan beton sama-sama menanggung beban eksternal untuk mencapai kondisi seimbang maka pada *rigid pavement* komponen utama yang menahan beban eksternal adalah daya dukung tanah serta tebal dan mutu beton *rigid pavement*. Penggunaan tulangan utamanya adalah untuk mencegah retak – retak pada permukaan beton akibat susut dan rangkai tetapi pada saat *rigid pavement* mengalami lenturan akibat beban berat atau akibat daya dukung rendah maka tulangan juga berfungsi untuk menahan lenturan tersebut.

Dari uraian hasil uji dapatlah disimpulkan bahwa tulangan bambu dan tulangan baja masih mempunyai kapasitas lebih untuk menahan beban yang lebih berat dari beban maksimum pada pengujian. Tulangan bambu juga cukup layak untuk digunakan sebagai tulangan pada *rigid pavement* sebagai pengganti tulangan baja dengan catatan perencanaan *rigid pavement* dengan tulangan bambu pada beban berat diasumsikan sampai dengan batas elastis saja.

Tabel 2. Hasil uji beban kendaraan (*loading test*)

No	Jenis Kendaraan	Berat Total (kg)	ϵ Memanjang		ϵ Melintang		ϵ Beton		Defleksi (Δ)	
			Baja	Bambu	Baja	Bambu	Baja	Bambu	Baja	Bambu
			$\times 10^{-6}(\mu)$	$\times 10^{-6}(\mu)$	$\times 10^{-6}(\mu)$	$\times 10^{-6}(\mu)$	$\times 10^{-6}(\mu)$	$\times 10^{-6}(\mu)$	mm	mm
1	Beban	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Sedan	890	40	100	38	157	-189	62	-0.01	0.04
3	Sedan	1000	73	60	27	47	-365	6	0	0.03
4	MPV	1190	57	31	15	47	-108	119	-0.02	0.01
5	Truk	1260	-401	-173	-227	-40	-229	-150	0.02	0.01
6	MPV	1300	-16	33	-47	68	28	155	-0.02	0
7	Sedan	1340	61	77	42	115	-125	51	-0.02	0.01
8	Sedan	1680	117	73	42	49	5	160	-0.03	0.03
9	MPV	1910	-15	-55	-57	-53	340	-66	0.03	0.03
10	MPV	1960	33	109	19	45	-280	175	0.02	0.02
11	Truk	2593	-468	-280	-327	-535	-266	-595	0	0.05
12	Truk	2660	96	6	16	-163	-191	38	-0.01	0.01
13	Truk	2890	-130	-32	-27	-94	-287	-265	0.01	0
14	Truk	3120	-273	-74	-138	-159	-142	-244	-0.02	0.05
15	Truk	3560	-233	-70	-67	-180	5	-146	0.01	0.01
16	Truk	5140	-273	-116	-259	-23	-504	-231	0.02	0.02
17	Truk	7120	-78	-47	-84	-8	-26	-165	0.01	0.01
18	Truk	9010	-263	-135	-189	-228	-253	-216	-0.01	0.06
19	Bus	9323	-506	-229	-321	-378	-185	-489	0.04	0.06
20	Truk	9600	-74	-68	-78	92	6	-146	0.03	0.01
21	Truk	10310	-242	-150	-166	-29	-28	-51	0.02	0.02
22	Truk	11120	36	-10	-9	152	217	4	0	-0.03
23	Truk	11300	-53	-30	-26	8	-174	-23	0.02	0.02
24	Bus	11780	-382	-235	-268	-228	-460	-404	0.03	0.05
25	Bus	13740	-258	-143	-222	-308	-366	-257	0.01	0.01

Sumber : Hasil pengujian *loading test*, 2016

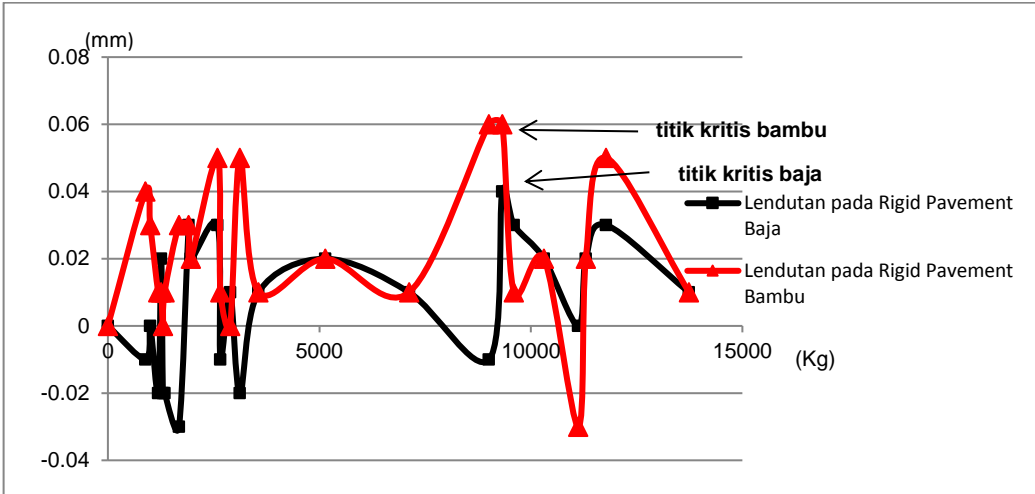
Tabel 3. Hasil Perhitungan Tegangan Pada Tulangan Bambu Dan Baja.

No	Jenis Kendaraan	Berat Total (kg)	ε Tulangan Memanjang		ε Tulangan Melintang		Ebambu ¹ = 313810 kg/cm ²	Ebaja ² = 2100000 ² kg/cm ²		
			Baja	Bambu	Baja	Bambu				
			x 10 ⁻⁶ (μ)	x 10 ⁻⁶ (μ)	x 10 ⁻⁶ (μ)	x 10 ⁻⁶ (μ)				
A	b	c	d	e	f	g	H		I	
							e x h (kg/cm ²)	g x h (kg/cm ²)	d x i (kg/cm ²)	f x i (kg/cm ²)
1	Beban	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Sedan	890	40	100	38	157	31.381	49.268	84	79.8
3	Sedan	1000	73	60	27	47	18.8286	14.749	153.3	56.7
4	MPV	1190	57	31	15	47	9.72811	14.749	119.7	31.5
5	Truk	1260	-401	-173	-227	-40	-54.289	12.552	842.1	476.7
6	MPV	1300	-16	33	-47	68	10.3557	21.339	33.6	98.7
7	Sedan	1340	61	77	42	115	24.1634	36.088	128.1	88.2
8	Sedan	1680	117	73	42	49	22.9081	15.377	245.7	88.2
9	MPV	1910	-15	-55	-57	-53	17.2596	16.632	31.5	119.7
10	MPV	1960	33	109	19	45	34.2053	14.121	69.3	39.9
11	Truk	2593	-468	-280	-327	-535	87.8668	167.89	982.8	686.7
12	Truk	2660	96	6	16	-163	1.88286	51.151	201.6	33.6
13	Truk	2890	-130	-32	-27	-94	10.0419	29.498	273	56.7
14	Truk	3120	-273	-74	-138	-159	23.2219	49.896	573.3	289.8
15	Truk	3560	-233	-70	-67	-180	21.9667	56.486	489.3	140.7
16	Truk	5140	-273	-116	-259	-23	36.402	7.2176	573.3	543.9
17	Truk	7120	-78	-47	-84	-8	14.7491	2.5105	163.8	176.4
18	Bus	9010	-263	-135	-189	-228	42.3644	71.549	552.3	396.9
19	Truk	9323	-506	-229	-321	-378	71.8625	118.62	1062.6	674.1
20	Truk	9600	-74	-68	-78	92	21.3391	28.871	155.4	163.8
21	Truk	10310	-242	-150	-166	-29	47.0715	9.1005	508.2	348.6
22	Truk	11120	36	-10	-9	152	3.1381	47.699	75.6	18.9
23	Bus	11300	-53	-30	-26	8	9.4143	2.5105	111.3	54.6
24	Bus	11780	-382	-235	-268	-228	73.7454	71.549	802.2	562.8
25	Truk	13740	-258	-143	-222	-308	44.8748	96.653	541.8	466.2

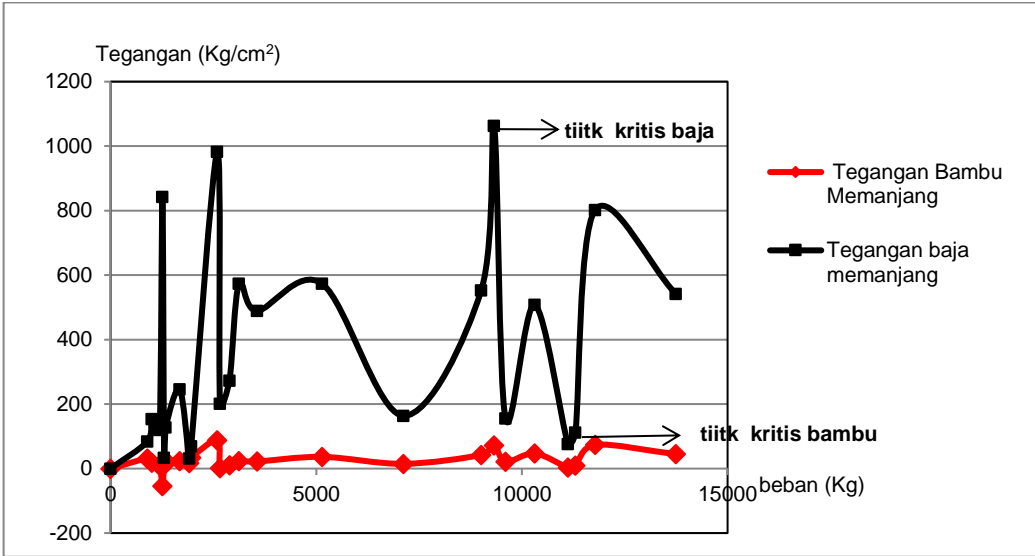
Sumber : Hasil loading test dilapangan, 2016

¹) E bambu = Modulus Elastisitas Bambu

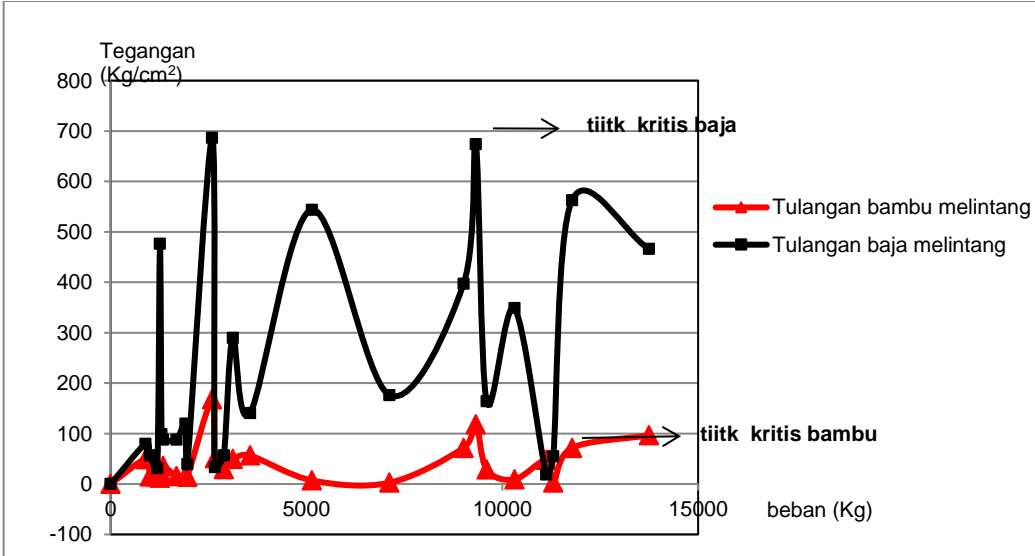
²) E baja = Modulus Elastisitas Baja



Gambar 6. Grafik Beban – Lendutan



Gambar 7. Kurva Beban – Tegangan Tulangan Memanjang Bambu Dan Baja



Gambar 8. Kurva Beban – Tegangan Tulangan Melintang

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian mutu beton *rigid pavement* sebesar 290,75 Kg/cm² cukup memenuhi syarat dari mutu beton rencana K-300 (300 Kg/cm²).
2. Mulai dari proses pengecoran dan perawatan beton hingga pengujian dengan beban kendaraan tidak tampak retak-retak pada permukaan beton.
3. Defleksi maksimum yang terjadi adalah pada sebesar 0,06 mm pada beban kendaraan sebesar 9323 Kg hasil ini menunjukkan pengaruhnya tersebut tidak signifikan terhadap deformasi *rigid pavement* yang mempunyai ketebalan 300 mm.
4. Tegangan maksimum yang dihasilkan pada tulangan baja memanjang dan melintang adalah 1062,6 Kg/cm² dan 686,7 Kg/cm² sedangkan pada bambu tegangan terbesar yang dihasilkan adalah 118,62 Kg/cm² dan 86,87 Kg/cm² hal ini dapat terjadi karena baja mempunyai modulus elastisitas yang lebih besar daripada bambu. Tegangan dan regangan yang terjadi pada bambu dan baja masih sangat kecil dibanding dengan batas elastis bambu dan baja atau dengan kata lain tegangan yang dicapai oleh bambu dan baja belum mencapai *ultimate*.
5. Pada *rigid pavement* dengan ketebalan 300 mm dan mutu beton 290, 75 Kg/cm² mampu mempunyai kapasitas yang lebih besar dari beban maksimum hasil uji sebesar 13740 Kg hal ini ditandai dengan nilai tegangan dan regangan yang kecil dan tidak terdapat retak-retak pada permukaan beton pasca pengujian.
6. Hasil penelitian menunjukkan tulangan bambu belum mencapai ultimit dalam uji *loading test* sehingga dapat disimpulkan bambu dapat dipakai menggantikan baja sebagai tulangan pada perkerasan kaku.

SARAN

1. Perlu dibuat penelitian lanjutan dengan menambah beban yang lebih berat untuk mengamati perilaku deformasi yang lebih besar pada *rigid pavement*.
2. Pemodelan *numeric rigid pavement* untuk tulangan bambu dan baja dapat dibuat guna mendapatkan nilai beban ultimit .
3. Perlu juga dibuat penelitian untuk mengamati hubungan kecepatan dan deformasi *rigid pavement* dengan memvariasikan kecepatan kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, (2002). SNI 03 – 2847 -2002, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung.
- Anonim, (2010). Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 7 Seksi 7.1.6. point 3
- Basuki. (2015). Pemanfaatan Tulangan dari Bambu Laminasi sebagai Alternatif Pengganti tulangan Baja pada Plat Beton Pracetak Sederhana. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil V, Universitas Muhammadiyah Surakarta*, Surakarta.
- Budi, A.S, dkk, (2013). Model Balok Beton Bertulang Bambu Sebagai Pengganti Tulangan Baja. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret*. Surakarta.
- Budi, G.S, (2011). Pengujian Kuat Tarik dan Modulus Elastisitas Tulangan Baja (Kajian Terhadap Tulangan Baja dengan Sudut Bengkok 45⁰, 90⁰, 135⁰). *Jurnal Teknik Sipil Untan*, vol. 11, no. 1, p. 65-76.
- Hakim, A, (1987). Pengujian Beberapa Sifat Fisika dan Mekanika Enam Jenis Bambu dalam Kondisi Segar. Fakultas Kehutanan UGM. Yogyakarta
- Horak (1987), The Use of Surface Deflection Basin Measurements in the Mechanistic Analysis of Flexible Pavements,” *Proceedings*, Vol. 1, Sixth International Conference Structural Design of Asphalt Pavements, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA,
- Janssen, JJA, (1987). The Mechanical Properties of Bambu: 250-256. In Rao, A.N., Dhanarajan, and Sastry, C.B., *Recent Research on Bambus*, The Chinese Academy of Forest, People’s Republic of China, and IDRC, Canada.
- Morisco, (1999). *Rekayasa Bambu*. Nafri. Yogyakarta.
- Pathurahman, J.F, dkk, (2003). Aplikasi Bambu Piliin Sebagai Tulangan Balok Beton. *Jurnal Keilmuan dan Penerapan Teknik Sipil DIMENSI*, vol. 5 no.1, p. 39-44.
- Pitroda, Jayeshkumar et al, (2016), A Critical Review on Innovative Utilisation of Bambu on Rural Road Construction, *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering (IJCRCE)*, vol. 2, Issue 4, 2016, p. 27 – 32
- Priyadarshee, Akash et al, (2014). Use of Bambu in Low Rigid Pavement as Reinforced Material: A Review, *Journal of Civil Engineering and Environmental Technology*, vol.1. no. 3, pp 14 – 16,
- Purnomo, M, dkk, (2012), Pemanfaatan Bambu untuk Tulangan Beton, *Jurnal Sains dan Teknologi SAINTEKNOL*, vol. 10 no.1

Rohde, G.T., and Scullion, T., (1990) "MODULUS 4.0: Expansion and Validation of the MODULUS Backcalculation System," Research Report No. 1123-3, Texas Transportation Institute, Texas A&M University System, College Station, Texas.

Surdia, T, dkk, (1992). Pengetahuan Bahan Teknik. PT. Pradnya Paramita: Jakarta.

Wiryanto, D, (2010). Jalan Beton dan Tulangannya, Diperoleh dari: wiryanto.wordpress.com, Jakarta.