

KUAT CABUT TEORITIS DAN EKSPERIMENTAL SCREW SPIKE PADA BANTALAN SINTETIS BERDASARKAN JIS E 1203 : 2007

THEORETHICAL AND EXPERIMENTAL PULL OUT STRENGTH OF SCREW SPIKE IN SYNTHETIC TIE BASED ON JIS E 1203 : 2007

Puguh Triwinanto, Yudi Irawadi

Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS) BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Tangerang Selatan, Banten 15314
e-mail : puguh.triwinanto@yahoo.co.id, yudi.irawadi@bppt.go.id

Abstrak

Dalam rangka mendesain bantalan sintetis sesuai dengan JIS E 1203 : 2007 terdapat tiga klausul yang saling terkait, yaitu kekuatan cabut, kuat tekan bantalan sintetis, dan kedalaman screw yang tertanam. Untuk mendapatkan bantalan sintetis dengan kuat cabut minimal 30 kN, diperlukan bantalan dengan kekuatan tekan minimal 40 MPa, dan dibutuhkan panjang penanaman ke dalam bantalan 110 mm. Pada makalah ini disajikan perhitungan kekuatan cabut screw spike secara teoritis dan pengujian cabut screw spike pada bantalan sintetis. Perhitungan secara teoritis menggunakan teori geser kerucut penuh dan pengujian cabut screw spike sebanyak 3 sampel. Hasil perhitungan sesuai teori geser kerucut dengan kuat tekan 40 MPa dan kedalaman 110 mm diperoleh hasil 71,83 kN. Dari hasil uji cabut didapatkan kekuatan cabut rata-rata 60,3 kN. Terdapat selisih antara perhitungan secara teoritis dengan hasil pengujian sebesar 17%. Hal ini disebabkan terdapat daerah reduksi. Hasil uji cabut rata-rata 60,3 kN dan persyaratan JIS E 1203 : 2007 adalah 30,0 kN. Maka ditinjau dari kekuatan cabut, bantalan sintetis ini memenuhi persyaratan JIS E 1203 : 2007.

Kata kunci : Kuat Cabut, Kuat Tekan, Screw Spike, Bantalan Sintetis

Abstract

To design a synthetic tie based on JIS E 1203 : 2007 there are three clauses that are interrelated to each other, namely pull out strength, compressive strength of the synthetic tie and the depth of the screw embedded. To get a synthetic tie with a minimum pull out strength of 30 kN, we need tie with a minimum compressive strength of 40 MPa, and a depth of embedded screws of 110 mm. This paper presents a theoretical calculation of pull out strength of screw spike theoretically and testing of pull out strength of an embedded screw spike in synthetic tie. The theoretical calculation uses a fully cone shear theory and 3 samples were used in the pull-out tests. Result of theoretical calculation by fully cone shear theory of synthetic tie with compressive strength of 40 MPa and the depth of an embedded screw of 110 mm is 71,83 kN. From the pull out test result obtained the mean pull out strength of 60,3 kN. There is a difference result between theoretical calculation and testing by 17%. This is due to reduction zone. The mean pull out result is 60,3 kN and JIS E 1203 : 2007 requirement is 30 kN, Then in term of pull out strength, this synthetic tie is meets the requirement of JIS E 1203 : 2007.

Key word : Pull Out Strength, Compressive Strength, Screw Spike, Synthetic Tie

Diterima (received) : 29 Agustus 2018, Direvisi (revised) : 18 Oktober 2018,
Disetujui (accepted) : 30 Oktober 2018

PENDAHULUAN

Bantalan berfungsi sebagai tumpuan serta pengikat rel sehingga jarak rel yang terkait dengan lebar sepur tetap terjaga, menerima beban kereta api, mendistribusikan beban ke *ballast*, dan sebagai stabilitas penyeimbang gerakan arah lateral dan longitudinal. Sedangkan fungsi *Screw spike* (paku berulir) sebagai penahan rel pada bantalan. Dalam sejarah perkeretaapian Indonesia, pada awal dibangun jalan kereta api tahun 1864 di Desa Kemijen Semarang-Tanggung digunakan bantalan kayu, dalam dekade cukup lama. Disamping itu ada beberapa jalan kereta yang digunakan bantalan baja, dan dilakukan pengujian dinamis untuk mengetahui umur bantalan baja¹⁾.

Hak paten untuk beton yang diperkuat dengan logam yang telah ditarik ditemukan oleh C. E. W. Doebling tahun 1888. Riset terus dilakukan oleh peneliti, untuk menghasilkan teknologi beton prategang modern. Teknologi beton prategang berkembang sangat pesat setelah ditemukan kabel prategang mutu tinggi tahun 1928. Ilmuwan E. Freyssinet dari Perancis yang berjasa dalam perkembangan beton prategang dengan digunakan baja mutu tinggi sebagai kabel prategang dengan kuat luluh 1240 MPa dan kuat tarik 1725 MPa²⁾.

Perkembangan teknologi beton prategang di Indonesia mulai tahun 1980-an. Teknologi beton prategang mulai berkembang, dan tahun 1990-an mulai diterapkan pada bantalan beton untuk kereta api. Sejak saat itu pembangunan jalan kereta api di Indonesia digunakan bantalan beton prategang. Demikian juga dalam perawatan, bantalan kayu yang rusak dan lapuk diganti dengan bantalan beton.

Namun demikian, pemakaian bantalan beton terdapat keterbatasan, yaitu pada jembatan baja dan daerah wesel serta terowongan. Pada daerah tersebut tidak bisa digunakan bantalan beton karena perbedaan elastisitas antara beton dan baja, sehingga saat ini di Indonesia digunakan bantalan kayu. Seiring dengan semakin langkanya kayu maka di negara-negara seperti Jepang mulai digunakan bantalan sintetis (*Synthetic sleepers*) atau *Synthetic tie*.

Pemakaian bantalan sintetis di Indonesia ex-impor dilakukan yaitu pada proyek nasional MRT (*Mass Rapid Transit*) yang peletakan batu pertama pada 10 Oktober 2013. Bantalan sintetis digunakan

pada sambungan rel. Sistem sambungan digunakan sambungan tumpang, dimana kedua ujung rel dipotong setengah dengan ujung rail semakin meruncing dan kemudian disambung. Sistem sambungan rel jenis ini menghasilkan struktur jalan kereta api yang tidak menimbulkan suara ketika kereta melewati sambungan rel. Dalam kasus proyek ini setiap sambungan MRT Jakarta digunakan 13 buah bantalan sintetis.

Pada tahun 2007 telah ada Japanese Industrial Standards (JIS) E 1203 : 2007³⁾, sebagai referensi. Selanjutnya akan dibahas tentang sifat material dan sistem uji *Screw spike* pada bantalan sintetis. Pada makalah ini dibahas tentang kekuatan cabut *Screw spike* yang tertanam dalam bantalan sintetis dengan metode pengujian cabut (*pull out test*). Jumlah benda uji sebanyak 3 buah. Dari hasil percobaan ini diharapkan sebagai referensi dalam kajian penggunaan bantalan sintetis jalan kereta api di Indonesia. Terutama yang berkaitan dengan kekuatan struktur *Screw spike* dalam menahan rel kereta api.

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada percobaan ini adalah *Screw spike* yang terpasang pada bantalan sintetis. Jumlah spesimen sebanyak tiga buah. Foto *Screw spike* ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1.
Foto *Screw Spike*

Spesifikasi teknis dari *Screw spike* yaitu diameter luar 19,0 mm dan diameter inti 15,6 mm. Mutu *Screw spike* adalah *grade 5.6* dimana tegangan tarik minimum adalah 50 kg/mm² dan tegangan tarik maksimum adalah 70 kg/mm², tegangan luluh minimum 30 kg/mm².

Screw spike yang digunakan di Brazilian Railways mempunyai kekuatan luluh 262 MPa, kekuatan tarik 449 MPa, serta

regangan 38%⁴). Kekuatan *Screw spike* yang digunakan Brazilian Railways (449 MPa) relatif sama dengan yang digunakan di Indonesia (491 MPa).

Kekuatan tarik statis *Screw spike* dapat dihitung dengan rumus⁵ :

$$\sigma_t = \frac{W}{A} = \frac{W}{(\pi/4) d_1^2} \quad (1)$$

Sehingga gaya tarik *Screw spike* dihitung dengan rumus⁶ :

$$W = \frac{\pi \times \sigma_t \times d_1^2}{4} \quad (2)$$

Dimana W adalah beban tarik aksial *Screw spike* (kg), σ_t adalah tegangan tarik pada ulir (kg/mm²), dan d_1 adalah diameter inti (mm).

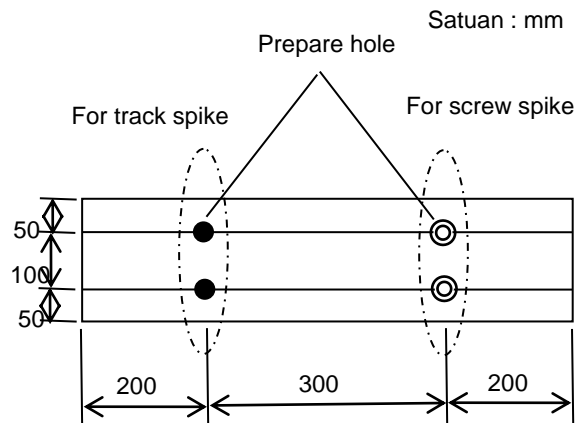
Eksperimen uji cabut *Screw spike* terpasang pada bantalan *fibre composite* telah dilakukan dengan diameter lubang 17 mm dan kedalaman 100 mm. Hasilnya untuk posisi *edgewise* antara 60 sampai 98 kN, sedangkan untuk posisi *flatwise* antara 60 sampai 64 kN⁶.

Menurut JIS E 1203 : 2007 persyaratan kekuatan cabut *Screw spike* ditampilkan pada Tabel 1. Pada tabel tersebut disebutkan bahwa kekuatan cabut *Screw spike* yang tertanam pada *Synthetic sleeper* dengan kuat tekan longitudinal (*longitudinal compressive strength*) sebesar 40 MPa adalah minimal 30 kN.

Tabel 1.
Values of Physical Properties⁷)

Item	Value of physical properties
Material strength	Longitudinal compressive strength 40 MPa min.
Pulling strength	Screw spike pulling strength 30 kN min.

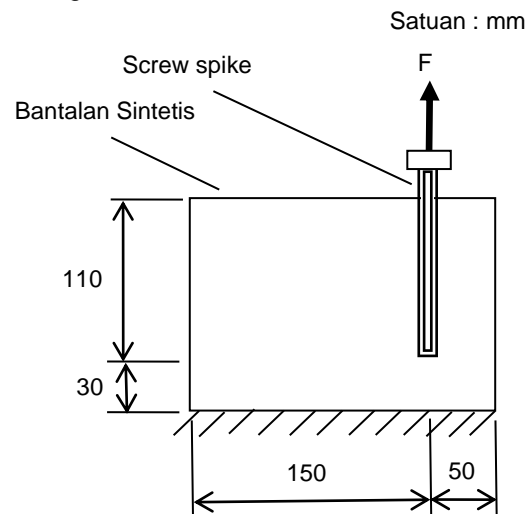
Gambar teknis spesimen sesuai JIS E 1203 : 2007 ditampilkan pada Gambar 2³). Untuk satu spesimen bantalan sintesis dapat digunakan untuk uji cabut *Track spike* dan *Screw spike*. Sedangkan jarak antar *Track spike* dan *Screw spike* adalah 300 mm.



Gambar 2.
Gambar Teknis Spesimen

Untuk pengujian kekuatan cabut maka dibuat spesimen ukuran 140 mm x 200 mm x 700 mm dan diberi lubang. Skema uji cabut statis *Screw spike* tertanam pada Bantalan sintesis ditampilkan pada Gambar 3.

Untuk uji cabut *Screw spike*, dibuatkan lubang dengan mesin bor berdiameter 18 mm dan kedalaman 110 mm. Selain itu, dibuat lubang dengan mesin bor berjarak 50 mm dari tepi bantalan sintesis. Jarak antara lubang adalah 100 mm.



Gambar 3.
Skema Uji Cabut *Screw Spike*

Pada saat pengujian cabut statis, kecepatan pembebanan adalah 2 mm / min \pm 0,5 mm / min dan kekuatan cabut maksimum diukur³). Mesin uji cabut *Screw spike* digunakan mesin hidrolik kapasitas gaya 250 kN.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam JIS 1203 : 2007 pada klausul 5.1 disebutkan tentang nilai dari sifat fisika material yaitu kekuatan tekan dan kekuatan

cabut. Kekuatan tekan longitudinal (*longitudinal compressive strength*) bantalan sintetis adalah minimal 40 MPa. Kekuatan cabut (*pulling strength*) dari *Screw spike* minimal 30 kN.

Sifat fisik material pada Tabel 1 dapat digunakan untuk referensi dalam menentukan kriteria desain dalam pembuatan bantalan sintetis. Sebagai perbandingan, telah dilakukan eksperimen pada spesimen *composite railway turnout sleeper*. Hasil ujinya yaitu kekuatan bending 79 MPa, modulus 7,2 GPa, kekuatan geser 16 MPa, dan kekuatan tekan 77 MPa. Hasil uji cabut didapatkan gaya 74 kN⁷⁾. Sedangkan persyaratan kuat cabut *Screw spike* menurut AREMA adalah 38 kN⁸⁾.

Pada JIS 1203 : 2007 klausul 10.9.b, disebutkan bahwa kedalaman pengeboran adalah 110 mm. Ketiga komponen yakni : (a) *Longitudinal compressive strength* 40 MPa, (b) *Screw spike pulling strength* minimal 30 kN, dan (c) Kedalaman pengeboran 110 mm, adalah saling berkaitan.

Untuk mengkaji ketiga klausul tersebut maka dalam makalah ini dibahas dengan teori dasar *shear cone theory* (teori geser kerucut). Disamping itu kekuatan cabut *Screw spike* juga dapat dilakukan dengan perhitungan menurut ACI⁹⁾. Kekuatan *Screw spike* dihitung menurut (a) Kekuatan tarik dan (b) Kekuatan cabut.

(a) Kekuatan cabut *Screw spike*

Kekuatan cabut *Screw spike* dapat dihitung dengan *shear cone theory*. Kekuatan tekan longitudinal bantalan sintetis adalah 40 MPa. Kekuatan cabut (*pull out*) *Screw spike* terpasang pada bantalan sintetis untuk kondisi kerucut-geser-penuh dapat dihitung dengan pendekatan rumus¹⁰⁾:

$$\begin{aligned}
 P_{uc} &= \theta \times C \times K \times A_{fc} \sqrt{f_c} \\
 &= 16143,50 \text{ lb} = 71,83 \text{ kN} \quad (3) \\
 &= 7322,55 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

dengan P_{uc} adalah *ultimate concrete tension capacity* (lbs.), A_{fc} adalah *area of full conical surface* (sq.in.), K adalah 4, θ adalah *reduction factor*, C adalah *constant for concrete type*, untuk *Normal weight concrete*, $C = 1.0$, untuk *All lightweight concrete*, $C = 0.75$ dan *Sand lightweight concrete*, $C = 0.85$, sedangkan f_c adalah *28 day concrete compressive strength* (lb/sq.in.).

(b) Kekuatan tarik *Screw spike*

Dengan diameter inti 15,6 mm maka besar gaya tarik luluh minimum untuk *Screw spike* adalah :

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\pi \times 30 \text{ kg/mm}^2 \times (15,6 \text{ mm})^2}{4} \\
 &= 5736,34 \text{ kg} = 56,27 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Sedangkan persyaratan gaya tarik minimum adalah :

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\pi \times 50 \text{ kg/mm}^2 \times (15,6 \text{ mm})^2}{4} \\
 &= 9560,57 \text{ kg} = 93,79 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama maka persyaratan gaya tarik maksimum *Screw spike* adalah 131,31 kN.

Perbandingan kekuatan cabut *Screw spike* yang tertanam dalam bantalan sintetis dengan kekuatan tarik sebagai material baja berulir ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2.
Perbandingan Kekuatan Cabut Dengan Kuat Tarik *Screw spike*

Spesimen	Kuat Cabut (kN)	Kuat Tarik (kN)
<i>Screw spike</i>	71,83	93,79

Dari hasil perhitungan, kuat tarik *Screw spike* 93,79 kN lebih tinggi dari kekuatan cabut 71,83 kN. Sehingga secara teoritis saat uji cabut, *Screw spike* tidak akan putus. Kerusakan akan terjadi pada Bantalan sintetis atau *Screw spike* tercabut dari Bantalan sintetis.

Dengan kata lain dalam perencanaan gaya jepit rel pada bantalan sintetis maka untuk mendapatkan gaya cabut minimal 30 kN, maka dibutuhkan kuat tekan bantalan 40 MPa, dengan panjang penanaman *Screw spike* 110 mm.

Selanjutnya, setelah dilakukan kajian dan perhitungan kemudian dilanjutkan percobaan secara eksperimental. Spesimen 1 dan 2 dibuat lubang dengan diameter 16 mm. Foto spesimen ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Spesimen Yang Sudah Dibor

Dalam sebuah riset terkadang didapatkan ketidaktahuan teknologi (*leakage of knowledge*) yang sangat mendasar. Sebagai contoh pada Spesimen 3, dibor dengan diameter 15 mm. Setelah dibor debu yang di dalam lubang tidak diambil. Setelah *Screw spike* dipasang dengan kunci pas, maka *Screw spike* Spesimen 3 patah sehingga tidak dilakukan pengujian cabut statis.

Pada spesimen 1 dan 2, dibuat lubang dengan mesin bor, dengan diameter 16 mm. Menurut standard JIS diameter 18 mm, akan tetapi dibuat lubang diameter 16 mm untuk menyesuaikan diameter *Screw spike*. Kemudian bekas dan sisa pengeboran berupa debu dibersihkan. Metode yang digunakan dalam pembersihan bekas pengeboran, yaitu setelah dibor bantalan dibalik, sehingga debu dan butiran bekas pengeboran terbuang dari lubang. Kemudian dipasang *Screw spike* pada bantalan.

Selanjutnya dilakukan pengujian cabut statis (*pull out test*). Skema pengujian cabut ditampilkan pada Gambar 3. Hasil pengujian cabut *Screw spike* ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Hasil Pengujian Cabut

Spesimen	Kuat Cabut Teoritis (kN)	Hasil Uji Cabut (kN)	Spesifikasi JIS E 1203:2007 (kN)
1	71,83	60,6	30,0
2	71,83	60,0	30,0
Rata-rata	71,83	60,3	30,0

Dari Tabel 3, hasil pengujian cabut rata-rata adalah 60,3 kN. Sedangkan kekuatan cabut

teoritis adalah 71,83 kN. Dengan demikian terdapat perbedaan antara hasil eskperimen dengan perhitungan teoritis sebesar 17%. Persyaratan kuat cabut menurut standard JIS E 1203 : 2007 adalah 30 kN. Jadi dapat diterangkan bahwa kekuatan cabut Spesimen 1 dan Spesimen 2 memenuhi persyaratan JIS E 1203 : 2007.

Hasil uji cabut lebih kecil dari kekuatan cabut teoritis. Dalam perhitungan dengan teori geser kerucut, faktor kontanta C yang merupakan *constant for concrete type*, nilainya sangat menentukan hasil perhitungan. Foto kerusakan spesimen bantalan sintetik setelah diuji cabut ditampilkan di Gambar 5.



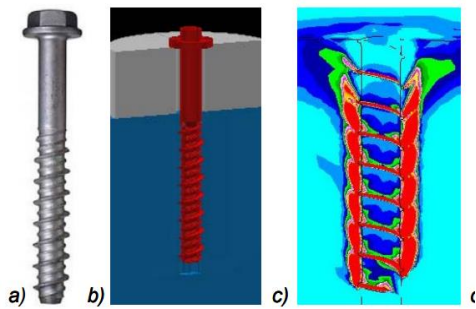
Gambar 5.
Foto Kerusakan Bantalan Sintetik

Sebagai pembanding, kerusakan uji cabut menurut ACI dengan model kerusakan jenis *bond failure* ditampilkan pada Gambar 6⁹⁾.



Gambar 6.
Bond Failure

Sebagai pembanding juga, pemodelan kerusakan *Screw spike* tertanam dalam beton telah dilakukan oleh Yijun Li¹¹⁾, seperti terlihat pada Gambar 7.



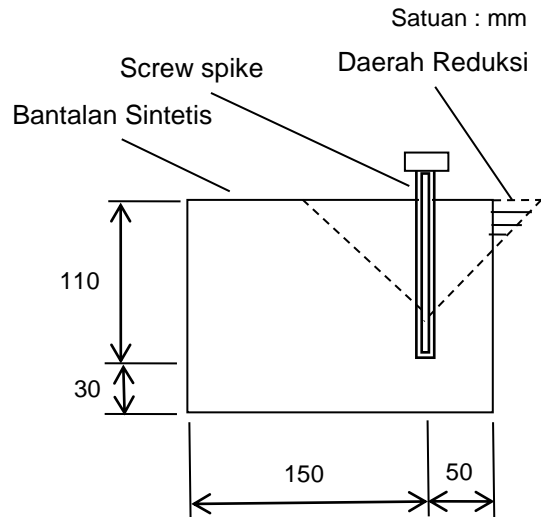
Gambar 7.
Model Kerusakan Screw Spike

Perilaku kuat cabut angkur pada beton juga telah dilakukan penelitian oleh G. B. Maranan⁽¹²⁾. Disamping itu telah dilakukan penelitian angkur yang tertanam pada beton prategang oleh Piccinin, R⁽¹³⁾. Dan juga penelitian tentang angkur dengan beban asimetris⁽¹⁴⁾. Foto kerusakan spesimen hasil eksperimen ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8.
Model Kerusakan Screw Spike

Dari Gambar 8 berupa foto model kerusakan *Screw spike* tertanam dalam bantalan sintesis, kemudian dibuat model kerusakan *Screw spike* ditampilkan pada Gambar 9. Model kerusakan pada Gambar 9 sama dengan kerusakan uji cabut menurut ACI dengan model kerusakan jenis *bond failure* pada Gambar 6.



Gambar 9.
Skematis Model Kerusakan Screw Spike

Jarak *Screw spike* ke tepi bantalan sintesis 50 mm. Secara teoritis agar tidak terdapat daerah reduksi maka diperlukan jarak ke tepi minimal 110 mm. Dengan melihat Gambar 9, area kerucut terpancung pada daerah terarsir. Pada daerah terarsir merupakan daerah reduksi yang mengurangi kekuatan cabut *Screw spike*.

Model keruntuhan pada uji cabut *Screw spike* tertanam bantalan sintesis terjadi kerusakan pada bantalan yang membentuk kerucut terpancung dan *Screw spike* tidak putus.

Untuk penelitian lanjutan, disarankan untuk dilakukan kajian kekuatan bending Bantalan sintesis. Karena untuk mendapatkan kekuatan *Withstand bending load* tidak bisa dengan hanya menaikkan kuat tekan bantalan, akan tetapi juga diperlukan penguat (*reinforced*).

SIMPULAN

Dari hasil kajian JIS 1203 : 2007 pada klausul 5.1 dan 10.d saling terkait. Pada desain Bantalan sintesis dengan kuat cabut *Screw spike* minimal 30,0 kN maka diperlukan kekuatan tekan bantalan sintesis 40 MPa dengan kedalaman pengeboran 110 mm.

Dari hasil perhitungan dengan kuat tekan bantalan sintesis 40 MPa dan panjang penanaman 110 mm didapatkan kuat cabut teoritis 71,83 kN dari hasil pengujian didapatkan kuat cabut rata-rata 60,3 kN. Terdapat perbedaan hasil uji dengan

perhitungan sebesar 17 %. Hal ini disebabkan adanya daerah reduksi yang mengurangi luasan geser kerucut.

Hasil uji cabut rata-rata 60,3 kN dan persyaratan JIS E 1203 : 2007 adalah 30,0 kN. Maka ditinjau dari kekuatan cabut, *Screw spike* yang tertanam dalam bantalan sintetis ini memenuhi persyaratan JIS E 1203 : 2007.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih khususnya disampaikan kepada Sdr. F. Firmansyah (ahli kimia) sebagai mitra diskusi dan praktisi bantalan sintetis di Indonesia. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Kepala Sub Bidang SBPI B2TKS BPPT dan kepada rekan Ari Rulianto, Waris Susilo, dan kawan-kawan atas pelaksanaan pengujian cabut (*pull out test*) statis di Laboratorium B2TKS BPPT Kawasan Puspipetek Serpong Tangerang Selatan, Banten, Indonesia 15314.

DAFTAR PUSTAKA

1. Triwinanto, P., A. Nurtajudin, *Pengujian Tarik Tekan dinamis Sambungan Las Pada Pelat Dasar (base plate) dengan Bantalan Baja Rel Kereta Api*, Buku Menuju Abad 21 : Iptek Pemacu Pembangunan Bangsa, ISBN 979-8263-03-0, BPPT, Jakarta, 1993.
2. T.Y Lin dan Ned H. Burn, *Desain Struktur Beton Prategang*, Jilid 1, Binarupa Aksara, 2000.
3. JIS E 1203 : 2007, *Synthetic Sleeper, Made from Fiber Reinforced Foamed Urethane*, Japanese Standard Association, Tokyo, 2007.
4. G. L. D. Faria, L. B. Godefroid, L.C Candido, Th. O. Silotti, *Metallurgical Characterization and Computational Simulation of a Screw Spike Aiming to Improve Its Performance in Railways*, Engineering Failure Analysis Vol. 66, pp 1-7, Elsevier, 2016.
5. Sularso dan Kiyokatsu Suga, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 2009.
6. A. C. Manalo, Thiru A., W. Karunasena, *Fibre Composite Sandwich beam : An Alternative to Railways Turnout Sleeper*, Southern Region Conference, Toowoomba, Australia, 2010.
7. A. C. Manalo, G. Maranan, G. Van Erp, *Evaluation of The Physical and Mechanical Properties of A Composite Railways Turnout Sleeper*, 23rd Australasion Conference on The Mechanics of Structure and Materials (ACMSM23), Vol. 1, pp 539-544, 2014.
8. AREMA, *Manual For Railway Engineering – Chapter 30*, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, Maryland, USA.
9. ACI 318 M-11, *Building Code Requirements for Structural Concrete D.4 – General Requirements for Strength Anchor*, ACI Committee 318, 2011.
- 10.-----*Construction-Design Embedment Properties of Headed Studs*, TRW Nelson Welding Division, USA, 1977.
- 11.Yijun Li, B. Winker, A. Eckstein, *Failure Analysis of Anchoring in Concrete*, VIII International Conference on Computing Plasticity (Complass VIII), Barcelona, 2005.
- 12.G. B. Maranan, A. C. Manalo, W. Karunasena, and B. Benmokrane, *Pull out Behaviour of GFRP bar With Anchor Head in Geo Polimer Concrete*, Journal of Composite Structures (elsevier), Volume 132, pages 1113 – 1121, 2015.
- 13.Piccinin, R., Ballorini, R., and Cattaneo, S., *Linear Elastis Fracture Mechanics Pull out Analysis of Headed Anchors in Stresses Concrete*, Journal of Engineering Mechanics, Vol 136, pp 761-768, Juni 2010.
- 14.Vogel, A., and Ballarini, R., *Ultimate Load Capacity of Plane and Asymmetric Headed Anchor*, Journal of Engineering Mechanics, Volume 125, November 1999.

