

ANALISIS KEKUATAN LENTUR STATIS DAN DINAMIS BANTALAN SINTETIS UNTUK JALAN KERETA API

STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF BENDING STRENGTH OF SYNTHETIC SLEEPERS FOR RAILWAY

Puguh Triwinanto

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

Abstrak

Tingginya biaya perawatan dan permasalahan lingkungan dari bantalan kayu, beton, dan baja memacu peneliti untuk melakukan penelitian bantalan alternatif, salah satunya adalah bantalan komposit. Pada saat ini pasar global bantalan komposit dan juga bantalan sintetis meningkat, sebab mempunyai keunggulan mencakup rasio kekuatan tinggi terhadap berat, tahan korosi, tahan kelembaban dan serangga serta tidak menghantarkan panas dan listrik.

Material tradisional yang digunakan untuk bantalan jalan kereta api adalah kayu, beton, dan baja. Bantalan beton tidak sesuai dipasang pada jembatan baja dan yang sesuai adalah bantalan kayu, tetapi bantalan kayu mempunyai umur pakai pendek, mahal, dan langka.

Di Indonesia wacana penggunaan bantalan sintetis sudah diusahakan dalam 10 tahun terakhir. Pada dua tahun terakhir dimulai riset dan pengembangan bantalan sintetis jenis *urethane foam resin* yang diperkuat *glass fibre*. Metode dan kriteria lulus uji digunakan JIS E 1203 : 2007. Dari hasil pengujian dan analisis spesimen bantalan sintetis memenuhi persyaratan kekuatan lentur statis dan dinamis sesuai standar JIS E 1203 : 2007. Dengan demikian bantalan hasil riset ini dapat dilanjutkan uji *track*, dimana bantalan sintetis diuji coba untuk dipasang pada jalan kereta api.

Kata kunci : bantalan, sintetis, lentur, statis, dinamis

Abstract

Due to high cost of maintenance and the environment problems of timber, concrete, and steel sleepers, researchers try to seek their alternatives sleeper, one of which is that is made of composite material. Nowadays, composite and synthetic sleepers are going into the global market due to the advantages they offer, these include the high strength to weight ratio, corrosion resistant, moisture resistant, insects resistant and non-head and electricity conducting properties.

Traditionally, timber, concrete, and steel are used as sleepers for railways. Concrete sleepers are not suitable for a railway truss bridges, and timbers are more suitable but they have shorter lifetime, more expensive and rarely obtainable due to environmental issues.

In Indonesia, used of synthetic sleeper have been tried in the last decades. In the last two years, a study has been done on synthetic sleeper made of glass fiber reinforced urethane foam resin. In this study, test method and acceptance were in accordance to JIS E 1203:2007. Test and analysis have been conducted and the synthetic sleeper were found out to be fulfilled the static and dynamic requirement of the JIS E 1203:2007. We conclude therefore, that this type of sleeper can proceed to the track test, in which the sleeper are installed at railway in operation.

Key word: *sleeper, synthetic, bending, static, dynamic*

Diterima (*received*) : 14 Juni 2017, Direvisi (*reviewed*) : 9 Juli 2017, Disetujui (*accepted*) : 30 Juli 2017

PENDAHULUAN

Material tradisional yang digunakan untuk bantalan jalan kereta api adalah kayu, beton, dan beberapa kasus seperti pada tikungan digunakan material baja. Material yang pertama kali digunakan untuk bantalan adalah kayu. Sifat kayu sangat baik untuk beban dinamis dan sebagai isolator listrik dan bunyi. Umumnya bantalan kayu didesain sampai umur-pakai 20 tahun dan untuk bantalan beton dan baja didesain sampai umur-pakai 50 tahun^{1,2,3)}.

Pada tahun 1888 C. E. W. Doehring dari Jerman mendapatkan hak paten beton yang diperkuat dengan logam yang telah ditarik. Penemuan inilah yang menjadi asal-usul beton prategang. Teknologi beton prategang terus berkembang setelah E. Freyssinet dari Perancis yang berjasa dalam perkembangan beton prategang modern⁴⁾. Pada tahun 1928 mulai digunakan baja mutu tinggi sebagai kabel prategang. Kekuatan tarik kabel baja adalah 1725 MPa dan tegangan luluh 1240 MPa⁴⁾. Pada tahun 1943 pertama kali diaplikasikan *Mono-block Prestresses Concrete* pada konstruksi lintasan rel kecepatan tinggi⁵⁾.

Pada tahun 1980-an teknologi beton prategang mulai dikaji di Indonesia. Kemudian pada tahun 1990-an bantalan beton prategang mulai digunakan pada jalan kereta api. Pengujian bantalan beton pertama kali dilakukan di Indonesia pada Agustus 1991. Pengujian dinamis bantalan beton dilakukan sampai 2 juta siklus di Unit Pelaksana Teknis – Laboratorium Uji Konstruksi (UPT-LUK), Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) pada September 1991.

Penggunaan bantalan beton pada jalan kereta api pada segmen tertentu seperti jembatan terdapat keterbatasan. Bantalan beton tidak sesuai untuk digunakan pada jembatan baja dan wesel. Di Indonesia saat ini (2017) pada jembatan baja dan wesel digunakan bantalan kayu. Dibanding bantalan beton, satu set harga bantalan kayu lebih mahal, disamping itu terdapat alasan lingkungan dan juga ketersediaan kayu seperti kayu ulin dan kayu jati semakin langka. Dalam sepuluh tahun terakhir sudah direncanakan penggantian bantalan kayu dengan bantalan sintetis pada jembatan baja dan wesel.

Pada saat ini pasar global untuk bantalan komposit dan juga bantalan sintetis cenderung meningkat, sebab banyak

keunggulan mencakup rasio kekuatan tinggi terhadap berat, tahan korosi, tahan kelembaban dan serangga serta tidak menghantarkan panas dan listrik⁶⁾.

Kajian dan penelitian bantalan kereta api terus dilakukan dan berkembang di dunia. Keunggulan yang terus dikembangkan seperti : a) perbandingan berat dan kekuatan yang tinggi, b) bantalan tahan korosi, c) tahan kelembaban, d) tahan terhadap serangga, e) umur pakai yang meningkat, dan f) harga dan perawatan yang lebih murah.

Riset dan pengembangan bantalan terakhir menuju pada bantalan komposit (*composite railway sleepers*). Terdapat 3 tipe bantalan komposit yang dikembangkan yaitu : a) Type 1: *Sleeper with short or no fibre reinforcement*, b) Type 2: *Sleeper with long fibre reinforcement in the longitudinal direction*, c) Type 3: *Sleepers with fibre reinforcement in longitudinal and transverse directions*⁷⁾.

Perbandingan antara tipe-tipe bantalan komposit ditampilkan pada Tabel 1⁸⁾.

Tabel 1.
Perbandingan Sifat Mekanis Bantalan

Sifat Mekanis	Type 1	Type 2	Type 3
Kuat lentur & kekakuan	Rendah	Baik	Baik
Kuat geser	Rendah	Sedang	Baik
Kapasitas angkur	Rendah	Baik	Baik
Pengeboran & pemotongan	Mudah	Mudah	Cukup mudah

Sumber Data : Daftar Pustaka 8

Bantalan komposit sudah digunakan pada jembatan kereta api. Kekuatan *screw spike* yang berfungsi sebagai angkur harus dapat menahan beban cabut minimal 40 kN dan untuk bantalan modern harus kuat paling kurang 60 kN^{9,10)}.

Kajian dan penelitian bantalan alternanif untuk penggantian bantalan kayu terpasang juga telah dilakukan oleh peneliti. Hasil kajian didapatkan bahwa permintaan bantalan alternanif pengganti bantalan kayu meningkat. Permintaan sangat dibutuhkan material baru untuk bantalan¹¹⁾.

Bantalan kereta api merupakan elemen penting dalam sistem jalan kereta api. Material plastik yang dapat didaur ulang dapat digunakan sebagai bahan bantalan. Bantalan jenis ini mempunyai ikatan komposit kuat, perawatan lebih mudah, dan umur pakai

lebih lama. Bantalan komposit polimer (*polymeric composite sleeper*) sedang dilakukan penelitian dan pengembangan. Jenis dari bantalan komposit polimer adalah : a) *Glue-laminated fiber composite sandwiches*, b) *Polyurethane materials composite*, c) *Recycled plastic materials and fiber composite*¹²⁾.

Dengan tujuan yang sama di Jepang juga dilakukan penelitian bantalan baru yang dinamakan bantalan sintetis (*synthetic sleepers*). Definisi bantalan sintetis yaitu bantalan yang dibuat *urethane foam resin* yang diperkuat *glass fibre*. Penggunaan bantalan sintetis dipasang pada jalan kereta api umum dan jalan kereta api Shinkansen dan dapat dipasang di jembatan. Meskipun termasuk baru, permintaan bantalan sintetis terus meningkat. Hal ini karena bantalan sintetis mempunyai sifat mekanis yang baik, seperti tidak adanya pembusukan dan penurunan sifat mekanis, serta kinerja yang telah ditunjukkan selama 25 tahun. Dengan alasan ini maka dibuat standar bantalan sintetis nomor JIS E 1203¹³⁾.

Saat ini pasar global untuk bantalan sintetis dan bantalan komposit semakin meningkat. Di Jepang telah dilakukan penelitian dan pembuatan standar JIS dan dilakukan *review* untuk waktu 25 tahun¹⁴⁾. Standar bantalan sintetis telah dibuat oleh *Japanese Industrial Standard Board Committee* dan *Technical Committee on Railways and Rolling Stock* Nomor JIS E 1203 : 2007. Pada saat ini JIS E 1203 : 2007 dipakai sebagai rujukan oleh kementerian perhubungan RI sebagai dasar acuan pengujian bantalan sintetis di Indonesia.

Di India juga telah dilakukan kajian perbandingan antara bantalan kayu, bantalan baja, dan bantalan komposit dan ditampilkan pada Tabel 2¹⁵⁾.

Tabel 2.
Perbandingan Bantalan Kayu, Baja, dan Komposit

Item	Tipe Bantalan Pada Jembatan		
	Kayu	Baja	Komposit
Umur (tahun)	8 – 10	15 – 20	40 – 50
Berat (kg)	100-171	110	54
Penggantian Bantalan	Mudah	Susah	Mudah
<i>Handling</i>	Sedang	Susah	Mudah
Penggantian di lintasan	Mudah	Sangat susah	Mudah

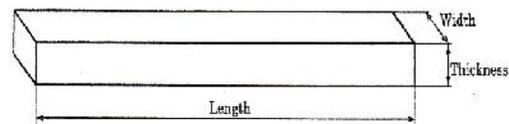
Sumber Data : Daftar pustaka 15

Pada makalah ini dibahas tentang kekuatan lentur bantalan sintetis (*synthetic*

sleeper) baik lentur (bending) statis maupun lentur dinamis. Jumlah spesimen sesuai ketentuan pada JIS E 1203 : 2007 untuk lentur statis dan dinamis adalah 2 sampel. Spesimen 1 diuji bending statis (*withstand bending load*) dan Spesimen 2 diuji bending dinamis (*fatigue resistance test*). Dari hasil eksperimen ini diharapkan dapat meningkatkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya bidang bantalan sintetis.

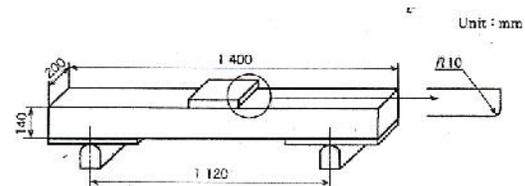
BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan pada eksperimen ini adalah bantalan sintetis dari *urethane foam resin* yang diperkuat *glass fibre*. Jumlah spesimen sebanyak 2 buah. Spesimen 1 diuji bending statis dan Spesimen 2 diuji bending dinamis. Dimensi spesimen ditampilkan pada Gambar 1. Ukuran spesimen bantalan sintetis adalah panjang (*length*) : 1 400 mm, lebar (*width*) : 200 mm, dan tebal (*thickness*) : 140 mm.



Gambar 1.
Ukuran Spesimen Bantalan Sintetis

Pengujian bending statis digunakan standar JIS E 1203 : 2007¹³⁾. Pengujian bending statis dilakukan pada suhu ruang. Skema pengujian bending statis ditampilkan Gambar 2.



Gambar 2.
Skema Uji Bending Statis Bantalan Sintetis

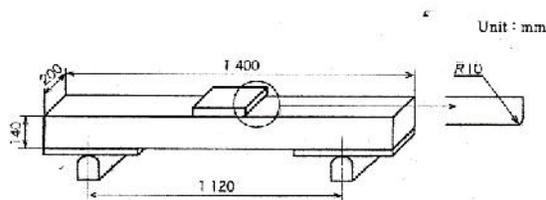
Foto Spesimen 1 ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3.
Foto Spesimen 1

Beban diberikan mulai dari 0 kN sampai dengan beban maksimum dengan kecepatan $2 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ per menit. Untuk menghindari kerusakan lokal dipasang pelat pada tumpuan ukuran $12 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ dan pada titik beban ukuran $12 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$.

Pengujian bending dinamis dilakukan pada kondisi suhu ruang dengan standar JIS E 1203: 2007. Skema uji ditampilkan pada Gambar 3. Pembebanan dinamis dilakukan pada tegangan bending maksimum 28,0 MPa. Pengujian dilakukan sampai 100.000 siklus. Untuk menghindari panas dan penurunan akibat gesekan antara pelat dan spesimen diberi pelumas. Untuk menghindari kerusakan lokal dipasang pelat pada tumpuan ukuran $12 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ dan pada titik beban ukuran $12 \text{ mm} \times 200 \text{ mm} \times 140 \text{ mm}$ ¹³.



Gambar 4.
Skema Uji Bending Dinamis Bantalan Sintetis

Foto Spesimen 2 ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5.
Foto Spesimen 2

Mesin uji yang digunakan adalah Mesin hidrolis PL 250 kN. Mesin uji ini disamping dapat digunakan untuk pengujian statis juga dapat digunakan untuk pengujian dinamis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bantalan baru yang dikembangkan meliputi bantalan komposit, bantalan sintetis, dan bantalan komposit polimer. Dari hasil resensi bantalan baru bahwa struktur dan jumlah serat serta material berbeda-beda untuk masing-masing peneliti dan perusahaan pembuat bantalan kereta api. Spesimen pada eksperimen adalah bantalan sintetis jenis *urethane foam resin* yang diperkuat *glass fibre*. Hasil pengujian bending statis didapatkan hasil uji 242,5 kN. Tegangan bending dapat dihitung dengan rumus lenturan¹⁶.

$$\sigma = \frac{M \times c}{I} \quad (1)$$

Dimana σ adalah tegangan bending (MPa), M adalah momen lentur (N.mm), c adalah jarak dari sumbu netral ke serat terjauh (mm), dan I adalah momen lemban terhadap sumbu netral (mm^4).

Momen lembam untuk potongan melintang persegi panjang maka dapat dihitung dengan persamaan¹⁶:

$$I = \frac{b \times h^3}{12} \quad (2)$$

Dimana I adalah momen lemban terhadap sumbu netral (mm^4), b adalah panjang sisi bawah (mm), dan h adalah tinggi (mm).

Dengan digunakan rumus lenturan persamaan 1 dan 2 maka dapat dihitung tegangan bending. Perhitungan didasarkan pada skema uji (Gambar 2) dan dimensi spesimen (Gambar 1) untuk hasil uji 242,5 kN maka didapatkan tegangan bending 103,9 MPa. Menurut JIS E 1203 : 2007, persyaratan beban bending adalah 170,0 kN.

Perbandingan hasil uji bending statis dan persyaratan Spesimen 1 ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Perbandingan Hasil Pengujian Bending Statis Dengan Persyaratan JIS

Hasil Uji Bending (kN)	Persyaratan JIS E 1203 (kN)	Keterangan
242,5	170,0	Memenuhi persyaratan standar JIS

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Uji Dinamis (fatik) :

Meskipun telah dilakukan sejumlah pengujian dinamis sampai 2 dan 3 juta siklus pada bantalan komposit dan bantalan sintetis¹⁷⁾, tidak/belum ada hubungan antara beban-operasi dan fatik material. Sehingga perlu riset tentang tegangan-batas, kondisi tumpuan dan pola beban pada model fatik pada bantalan.

Menurut JIS E 1203 : 2007, bantalan sintetis diuji pada tegangan lentur maksimum 28,0 MPa dan frekuensi 2 Hz sampai 5 Hz. Pada eksperimen ini, pengujian dinamis dilakukan pada frekuensi 4 Hz dengan tegangan lentur maksimum 28,0 MPa dari tegangan lentur statis maksimum 103,9 MPa. Sesuai skema uji (Gambar 4) dan dimensi spesimen (Gambar 1), dengan rumus lenturan persamaan 1 maka pada tegangan 28,0 MPa didapatkan gaya bending maksimum -65,33 kN dan digunakan gaya-atas -6,53 kN. Perbandingan hasil uji dan persyaratan ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4.
Perbandingan Hasil Pengujian Bending Dinamis Dengan Persyaratan JIS

Beban Dinamis (kN)	Persyaratan JIS E 1203:2007 Section 5.13	Keterangan
- 65,33	Spesimen tidak runtuh setelah menerima beban dinamis 100.000 siklus	Memenuhi Persyaratan JIS E 1203: 2007 Section 5.13
- 5,53		

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Ditinjau dari persyaratan JIS E 1203 : 2007 dari segi kekuatan persyaratan yang tersulit untuk dipenuhi adalah kekuatan bending. Persyaratan kekuatan bending adalah 170,0 kN. Hasil uji bending adalah 242,5 kN. Sedangkan pada saat uji bending dinamis pada tegangan bending 28,0 MPa tidak terjadi kerusakan bantalan sintetis. Sehingga ditinjau dari kekuatan lentur maka

bantalan sintetis pada eksperimen ini memenuhi persyaratan JIS E 1203 : 2007.

SIMPULAN

Pada dua tahun terakhir dimulai riset dan pengembangan bantalan sintetis di Indonesia. Dari hasil pengujian dan analisis, spesimen bantalan sintetis memenuhi syarat kekuatan lentur statis dan dinamis sesuai standar JIS E 1203 : 2007. Dengan demikian bantalan hasil riset ini dapat dilanjutkan uji track, dimana bantalan sintetis diuji coba untuk dipasang pada jalan kereta api.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Fauzi Firmansyah sebagai mitra diskusi dan ahli kimia di Indonesia dalam bidang bantalan sintetis. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Waris Susilo, Ari Rulianto dan kawan-kawan atas pelaksanaan pengujian di Laboratorium B2TKS BPPT Kawasan Puspiptek Serpong.

DAFTAR PUSTAKA

1. Crawford RH, *Greenhouse Gas Emissions Embodied in Reinforced Concrete and Timber Railway Sleepers*, Environ Sci Technol 2009:43-3885-90.
2. *Rail Corp Engineering Specification, SPC 232: Concrete Sleepers*, Australia, 2012.
3. *ARTC Sleepers – Usage and Installation Standards TCS 10 Engineering (Track)* Australian Rail Track Corporation, 2009.
4. T.Y Lin dan Ned H. Burn, *Desain Struktur Beton Prategang*, Jilid 1, Binarupa Aksara, 2000.
5. Kaewunruen S., *Sleepers and Fastenings, Track Design Fundamental*, Rail Engineering Course, Rail Corporation, 2010.
6. GangaRao HVS, Taly N, Vijay VP, *Reinforced Concrete Design With FRP Composites*, CRC Press, 2007.
7. Ferdous W, Manalo A, Van Erp G, Aravintan Th, Kaewunruen S, Remennikov A, *Review – Composite Railway Sleepers – Recent developments*, Challenges, Journal Composite Structure 134, Elsevier, 2015, 158-168.
8. Manalo A, Aravinthan T, Karunasena W, Stevens N, *Analysis of a Typical railway Turnout Sleeper System Using Grillage*

- Beam Analogy*, Finite Element Analysis, December 2012: 48: 1376-91.
9. Kaewunruen S, *Acoustic and Dynamic Characteristics of a Complex Urban Turnout using fibre-reinforced foamed urethane (FFU) Bearers*, International Workshop on Rialway Noise, 2013.
 10. Chattré R, Manoharan S, Satyanayarana PVV, *Composite Sleepers for Bridges: Progress Till Date and Road Head*, Pune, India, Indian Railway Institute of Civil Engineering.
 11. Manalo A, Aravinthan T, Karunasena W, Ticoalu A, *A Review of Alternative Materials for Replacing Existing Timber Sleepers*, Composite Structure, Elsevier 2010:92:603-11.
 12. Ghorbani A, Erden S, *Polymeric Composite Railway Sleepers*, Uluslar ArasibRayli Sistemler Muhendisligi Sempozyumu (ISERSE'13), 9-11 Ekim 2013, Karabuk, T rkiye, 2013.
 13. JIS E 1203 : 2007, *Synthetic Sleeper, Made from Fiber Reinforced Foamed Urethane*, Japanese, 2007
 14. Takai H, Sato Y, Sato K, *Japanese Twenty Five years Experiences and Standardization of Synthetic Sleeper*, 2006.
 15. Chattré R, Manoharan S, Satyanayarana PVV, *Composite Sleepers for Bridges: Senior Proffesional Course Notes*, Indian Railway Railway Institute of Civil Engineering.
 16. Popov E. P., *Mekanika Teknik*, Alih bahasa Astamar Z., Penerbit Erlangga, 1996.
 17. Degieck J, Paepegen WV, *Fatigue Damage Modeling of Fiber-reinforced Composite Material: Review*, Appl Mech Rev 2001: 54 279-300.