

## PERILAKU STRUKTUR BANTALAN BETON KERETA API BERLUBANG AKIBAT BEBAN PADA TENGAH BANTALAN

<sup>1</sup>Muhammad Adib Kurniawan, <sup>2</sup>David Malaiholo, dan <sup>3</sup>Wawan Riyanta

Dosen PPI Madiun ([adib@ppi.ac.id](mailto:adib@ppi.ac.id) 082223296660)

Dosen PPI Madiun ([david@ppi.ac.id](mailto:david@ppi.ac.id) 085252666602)

Dosen PPI Madiun ([wawanriyanta@ppi.ac.id](mailto:wawanriyanta@ppi.ac.id) 081228295674)

### ABSTRAK

Perletakan instalasi kelistrikan seperti perkabelan dalam sebuah lintas kereta api bisanya di tempatkan di bagian sub balas, hal demikian menjadikan *maintenance* instalasi tersebut menjadi sulit. Tidak hanya itu instalasi awal memerlukan pembongkaran struktur atas jalan rel seperti balas, bantalan dan rel. Untuk mempermudah kegiatan instalasi dan *maintenance* instalasi perkabelan maka direncanakan sebuah bantalan kereta api yang memiliki lubang (*hollow*) sebagai tempat sirkulasinya. Seperti yang diketahui jenis bantalan kereta api yang banyak digunakan di Indonesia adalah bantalan kereta api dengan jenis bantalan beton. Benda uji bantalan beton digunakan model N-67 produksi PT. WIKA dengan lebar spoor 1067 mm. Lubang direncanakan memiliki bentuk penampang lingkaran dengan diameter 2 inch, geometri lubang pada bantalan adalah horizontal searah panjang bantalan. Analisa perilaku bantalan beton berlubang menggunakan *software* berbasis *finite element*. Benda uji dimodelkan ke dalam *software* dengan menginputkan dimensi serta properti material seperti pada penelitian (Fistcar, 2021) material kuat tekan beton  $f_c'$  52 Mpa dan kuat tarik baja  $f_y$  1400 Mpa. Pembebaan mengacu pada pembebaan desain bantalan beton dan AREMA Part 4 Concrete Ties 2010 berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai lendutan sebesar 0,0856 mm terletak ditengah bantalan, nilai tegangan tekan bantalan beton sebesar 11,8513 Mpa dan nilai tegangan tarik bantalan beton sebesar 4,2685 Mpa.

Kata Kunci: Bantalan Kereta Api, Lubang, *Fenite Element*

### ABSTRACT

The placement of electrical installations such as wiring in a railroad crossing is usually placed in the sub ballast section, thus making maintenance of the installation difficult. Not only that, the initial installation requires the dismantling of the superstructure of the rail road such as ballast, bearings and rails. To facilitate the installation and maintenance of wiring installations, it is planned to have a railway sleeper that has a hollow as a circulation area. As is well known, the type of sleeper that is widely used in Indonesia is a sleeper with a type of concrete sleeper. The sleeper test object used the N-67 model produced by PT. WIKA with a spoor width of 1067 mm. The hole is planned to have a circular cross section with a diameter of 2 inches, the geometry of the hollow in the sleeper is horizontal in the direction of the length of the sleeper. Analysis of the behavior of perforated concrete bearings using finite element-based software. The test object is modeled into the software by inputting the dimensions and material properties as in the study (Fistcar, 2021) the material is the compressive strength of concrete  $f_c'$  52 Mpa and tensile strength of steel  $f_y$  1400 Mpa. Loading refers to the loading of the concrete bearing design and

AREMA Part 4 Concrete Ties 2010 based on the analysis results, the deflection value of 0,0856 mm is located in the middle of the bearing, the compressive stress value of the sleeper is 11,8513 Mpa and the tensile stress value of the sleeper is 4,2685 Mpa.

Keywords: Sleeper, Hollow, *Fenite Element*

## **PENDAHULUAN**

Peningkatan pemilihan moda transportasi Kereta Api semakin meningkat, dengan peningkatan tersebut maka diperlukan sebuah pelayanan yang maksimal sehingga kenyamanan serta keamanan konsumen terjamin. Salah satu usaha untuk menjamin keamanan konsumen adalah dengan melakukan pemeriksaan dan perawatan rutin terhadap jalur kereta api. Penanaman instalasi listrik seperti pengkabelan dianggap menggagu selama proses perawatan. Dikhawatirkan kegiatan perawatan dapat mengenai instalasi kelistrikan tersebut. Di negara-negara Eropa telah berkembang bantalan berlubang dengan material baja, sedangkan di Indonesia belum ada pengembangan kearah tersebut. Seperti yang diketahui di Indonesia bantalan kereta api yang umum digunakan pada kelas jalan 1 adalah bantalan kereta api bermaterial beton. Untuk lebar spoor yang digunakan yaitu 1067mm. Berdasarkan latar belakang diatas maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perilaku struktur bantalan berlubang akibat dari pembebanan tengah bantalan.

## **TINJAUAN PUSTAKA**

### **Bantalan Kereta Api**

Bantalan beton merupakan salah satu bagian dari jalan rel, bantalan berguna untuk meneruskan beban-beban diatasnya untuk diteruskan ke balas dan berfungsi untuk mempertahankan lebar jalan rel dan kestabilan jalan rel (Perhubungan et al., 2012), (Dwiatmoko H, 2016), (Atmaja, Sri P R, 2020). Bantalan berdasarkan bahannya terbagi menjadi tiga macam, yaitu bantalan kayu, bantalan besi dan bantalan beton. Berdasarkan PM 60 Tahun 2012. Bantalan beton dipersyaratkan harus memenuhi persyaratan teknis sebagai berikut:

#### **Bantalan Beton**

Bantalan beton yang digunakan harus berupa bantalan beton prategang dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

**Tabel 1. Kriteria Bantalan Beton**

No.	Bantalan Beton	Kuat Tekan (fc')	Tegangan Putus	Kapasitas momen	
				Dudukan rel	Tengah Bantalan
1	1067	500 kg/cm <sup>2</sup>	1.655 MPa	+1500 kg m	-930 kg m
2	1435	600 kg/cm <sup>2</sup>	1.655 MPa	Sesuai desain beban gandar & kecepatan	

### **Bantalan Berlubang Kereta Api**

Bantalan kereta api berlubang/ berongga , dimana rongga yang ada pada bantalan merupakan rongga yang disengaja dibuat dan bukan rongga cacat produksi. Rongga

yang ada memiliki fungsi sebagai sarana untuk perkabelan, contoh *switch section* (Buda, 2011).

Umumnya hollow sleepers terbuat dari material besi/ baja, dimana hollow sleepers tipe baja atau hollow steel sleeper ini belum ada di Indonesia. Seperti yang diketahui, apabila dilihat dari material penyusunnya yaitu baja. Baja memiliki kekurangan antara lain mudah terkena korosi, perawatan yang sulit serta manufaktur yang sulit. Berikut gambar 1 merupakan contoh dari hollow steel sleeper.

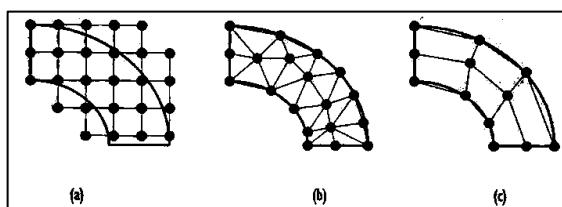


**Gambar 1.** Bantalan Berlubang Kereta Api yang dilewati Perkabelan

### Finite Element Methode

Metode Elemen Hingga dikembangkan oleh Boeing dan Bell Aerospace pada tahun 1950 untuk industry pesawat terbang. Namun artikel jurnal pertama yang menggunakan metode ini sudah diperkenalkan oleh Turner et.al tetapi belum menyebutkan penggunaan istilah *finite element methode* (FEM). Istilah *finite element methode* (metode elemen hingga) pertama kali digunakan Clough pada tahun 1960 lewat tulisan tentang elastisitas. (Kosasih, n.d.)

Metode elemen hingga sendiri merupakan metode numerik untuk mendapatkan solusi dari persamaan diferensial (diferensial biasa dan diferensial parsial). Inti dari Metode Elemen Hingga ini adalah membagi suatu elemen – elemen menjadi elemen – elemen yang lebih kecil lagi atau lebih kompleks. Tujuan dari pembagian ini adalah untuk menyelesaikan persamaan numerik (matematika) dalam suatu analisa agar mendekati bentuk dari suatu elemen tersebut.

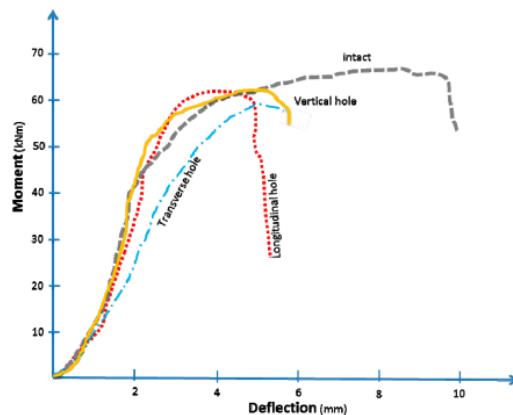


**Gambar 2.** Bantalan Berlubang Kereta Api yang dilewati Perkabelan

### Penelitian terdahulu

Beberapa penelitian tentang beton berlubang telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya penelitian yang berjudul “Toughness of Railroad Concrete Crossties with Holes and Web Opening” oleh Eroscha K. Gamage et al. penelitian yang

dilakukan yaitu meneliti bantalan beton yang terletak pada *cross section* dimana bantalan beton diberikan lubang dengan tujuan sebagai mobilisasi kabel persinyalan dan lain sebagainya. Benda uji berupa bantalan beton normal tanpa lubang, bantalan beton dengan fariasi lubang dibagian sayap (vertical hole dan transverse hole) serta lubang longitudinal (longitudinal hole). Metode yang digunakan adalah pengujian eksperimental pada laboratorium. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa lubang tranversal pada sayap bantalan memiliki tingkat kerusakan (*strength, toughness* dan *ductility*) lebih dibandingkan dengan benda uji lain.



**Gambar 3.** Grafik Momen – Deflection pada Benda Uji

## METODE PENELITIAN

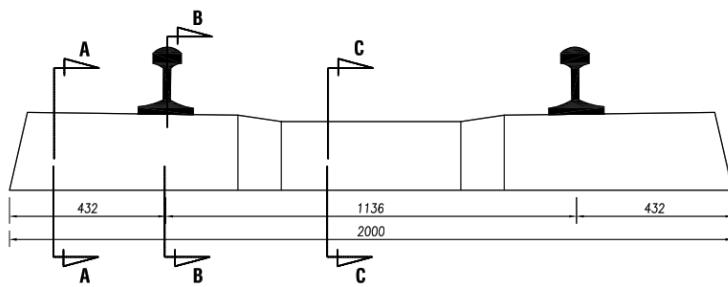
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimen simulasi, dimana penelitian yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari suatu perlakuan yang secara sadar ditambahkan peneliti melalui *software* simulasi analisis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan perilaku struktur dari bantalan beton kereta api berlubang, perilaku struktur tersebut antara lain nilai tegangan dan regangan bantalan beton kereta api serta dilai dari lendutan bantalan.

Penelitian diawali dengan studi pustaka, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data primer dan data sekunder serta pemodelan benda uji bantalan beton kereta api berlubang pada *software FE*. Dari hasil *running* pada *software* kemudian ditarik kesimpulan dan saran penelitian.

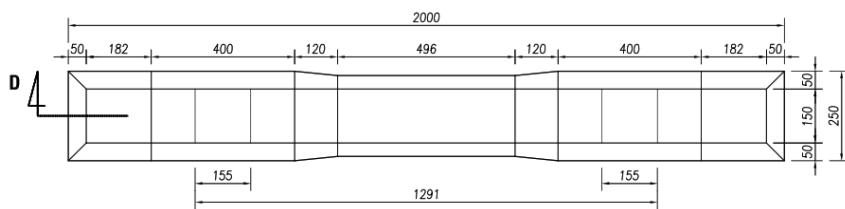
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Benda Uji

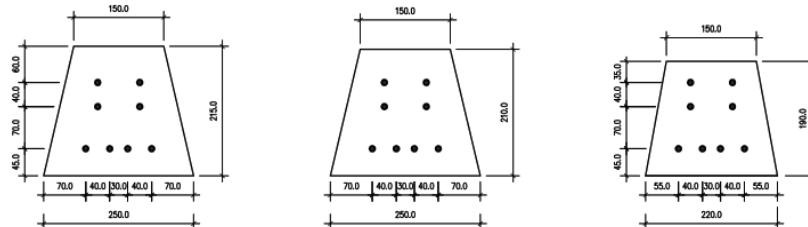
Benda uji bantalan beton kereta api berlubang menggunakan acuan bantalan beton kereta api normal dengan model N-67 PT. WIKA untuk kelas jalan 1 dengan lebar spoor 1067 mm (Fistcar, 2021). Bantalan beton ini memiliki dimensi panjang x tinggi x lebar (2000 mm x 250 mm x 215 mm); kuat tekan beton  $f_c'$  52 Mpa dan kuat tarik tulangan baja  $f_y$  1400 Mpa; dimensi tulangan 8  $\phi$  9. Geometri benda uji dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



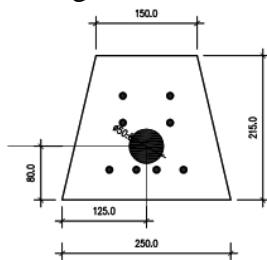
a. Tampak Samping Bantalan Beton



b. Tampak Atas Bantalan Beton



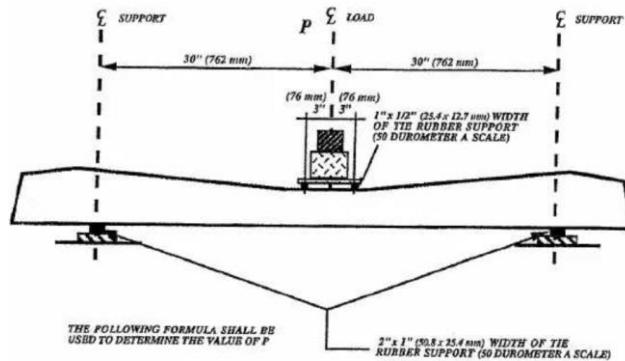
c. Potongan A, B dan C Bantalan Beton



d. Geometri Lubang Longitudinal Bantalan

**Gambar 4.** Gambar Geometri Bantalan Beton Kereta Api

Proses pemodelan pembebahan dan perletakan pembebahan mengacu pada *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association* (AREMA) Part 4 Concrete Ties 2010 dan penelitian yang dilakukan oleh Silva, Ramon et, al 2020. Geometri pembebahan dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



**Gambar 5.** Geometri Pembebaan Bantalan Beton di Tengah Bantalan

Properti material yang digunakan mengambil referensi dari penelitian (Fistcar, 2020) dan (Fistcar, 2021). Properti material tersebut didekati dengan persamaan empiris untuk menentukan hubungan antara tegangan leleh terhadap regangan plastis pada tarik dan tekan beton serta tarik baja tulangan.

**Tabel 3.** Properti Material Beton

Properti	Nilai
<b>Material Beton Fc' 52 Mpa</b>	
Density (ton/mm <sup>3</sup> )	0.0000000024
Modulus Elastisitas, Ec (Mpa)	35459.71989
Poison Rasio, v	0.2
Dilation Angle, ψ	40
Eccentricity, ε	0.1
FBo / FCo	1.16
Yield surface parameter, K	0.667
Viscosity Parameter, μ	0.001
Yeild Strength (Tekan)	54
Yeild Strength (Tarik)	4.19

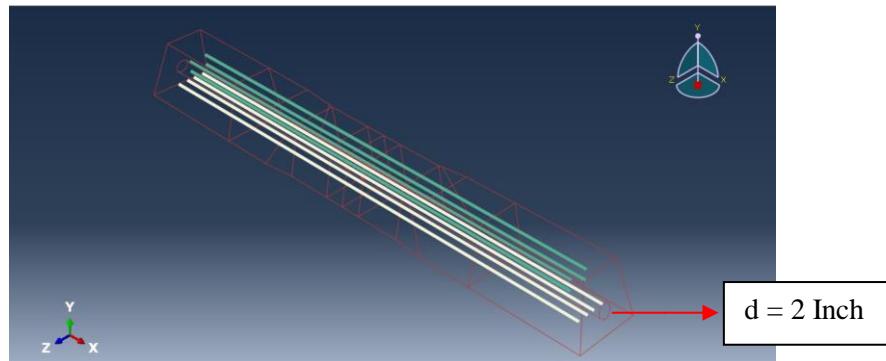
**Tabel 4.** Properti Material Baja

Properti	Nilai
<b>Material Baja Tulangan Fy 1400 Mpa</b>	
Density (ton/mm <sup>3</sup> )	0.00000000785
Modulus Elastisitas, Et (Mpa)	200000
Poison Rasio, v	0.3
Yeild Strength (Leleh)	1400
Yeild Strength (Ultimate)	1800

### **Pemodelan Benda Uji**

Pemodelan bantalan beton kereta api berlubang dilakukan pada *software* FE, dimana benda uji material beton dimodelkan sebagai elemen tiga dimensi elemen

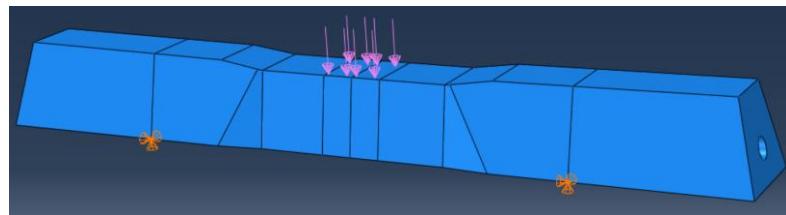
solid CD38R, elemen baja tulangan dimodelkan T3D2. Input yang diberikan untuk elemen tulangan adalah luas penampang  $63,585 \text{ mm}^2$ .



**Gambar 6.** Pemodelan Benda Uji Bantalan Beton Kereta Api Berlubang

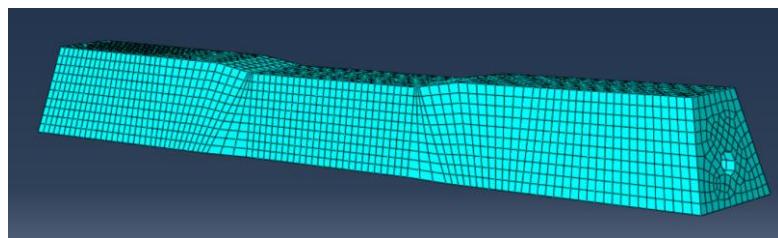
Berdasarkan gambar diatas dapat terlihat benda uji bantalan beton berlubang dengan lubang (hollow) diameter 2 Inch serta susunan penulangan 8  $\phi$  9 (tulangan atas dan tulangan bawah).

Setelah dilakukan pemodelan analisis selanjutnya yaitu dengan menginputkan properti material seperti yang tertera dalam Tabel 3 dan 4 kedalam *software FE*. Langkah berikutnya mendeskripsikan material pada setiap elemen, pemberian beban dan tumpuan terhadap benda uji seperti terlihat pada Gambar 7 berikut.



**Gambar 7.** Perletakan Pembebanan dan Tumpuan Benda Uji

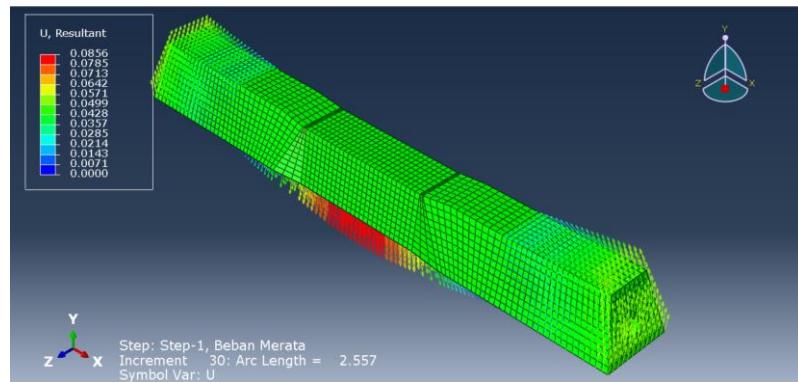
Pembebanan mengacu pada beban desain dari bantalan normal, beban desain positif tengah bantalan sebesar  $660 \text{ kg/m}$  ( $6,6 \text{ N/mm}$ ) pada luas area pembebanan  $22800 \text{ mm}^2$ . Langkah analisis berikutnya yaitu dengan *meshing* atau merajang benda uji menjadi bagian-bagian lebih kecil. Tujuan dari *meshing* ini adalah untuk mengoptimalkan iterasi yang dilakukan oleh *software FE*, sebagai catatan semakin kecil *meshing* yang dilakukan, maka semakin akurat hasil yang bisa didapat.



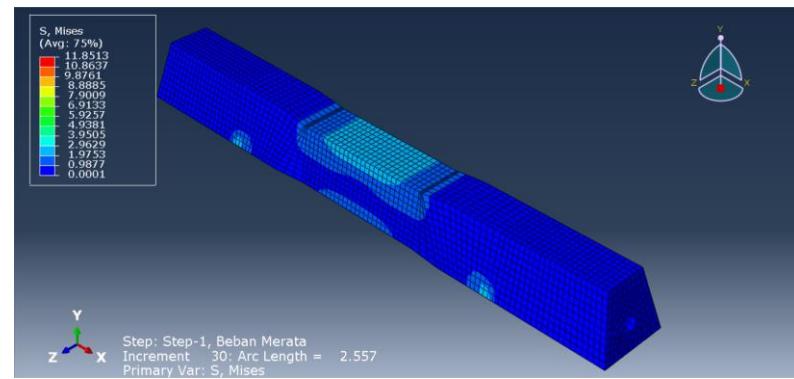
**Gambar 8.** Meshing Benda Uji Bantalan KA

Langkah berikutnya adalah memasukkan perintah untuk melakukan *run analysis*. Berdasarkan hasil analisis pada benda uji bantalan beton kereta api berlubang didapatkan perilaku struktur antara lain lendutan (*displacement*), tegangan tekan

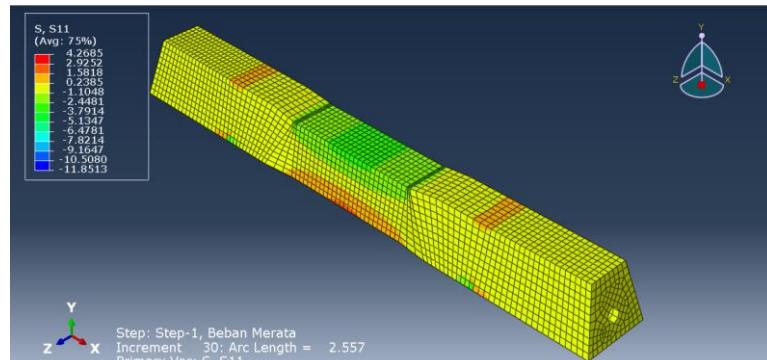
bantalan beton (*compressive stress*) dan tegangan tarik bantalan beton (*tensile stress*). Hasila analisis pada software dapat dilihat pada Gambar 9, 10 dan 11 berikut ini.



**Gambar 9.** *Displacement* Benda Uji Bantalan Beton KA



**Gambar 10.** *Compressive Stress* bantalan beton KA



**Gambar 11.** *Compressive Stress* bantalan beton KA

Hasil analisis memperlihatkan perilaku struktur bantalan beton KA dengan nilai lendutan (*displacement*) dari benda uji sebesar 0,0856 mm; tegangan tekan bantalan beton (*compressive stress*) sebesar 11,8513 Mpa; tegangan tarik (*tensile stress*) bantalan beton sebesar 4,2685 Mpa. Dapat pula dilihat benda uji belum mengalami *crack*, hal tersebut kemungkinan akibat dari material yang di inputkan pada *software* merupakan properti material benda uji yang belum mengalami deformasi.

## PENUTUP

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari analisa diatas adalah, bahwa menurut prosedur pengujian *American Railway Engineering and Maintenance of Way Association* (AREMA) Part 4 Concrete Ties 2010 pembebanan pada tengah bantalan positif merupakan step pengujian ke 4 pada satu benda uji bantalan beton. Dimana step 1 sampai 3 benda uji tersebut sudah dilakukan pembebanan sehingga secara tidak langsung benda uji sudah mengalami kelelahan struktur (deformasi), dengan demikian belum terlihat retakan pada benda uji. Dengan pemberian beban sebesar 6,6 N/mm didapatkan perilaku benda uji lendutan (*displacement*) dari benda uji sebesar 0,0856 mm; tegangan tekan bantalan beton (*compressive stress*) sebesar 11,8513 Mpa; tegangan tarik (tensile stress) bantalan beton sebesar 4,2685 Mpa.

Saran yang dapat diambil dalam penelitian ini bahwa dalam pemodelan *Finite Element* menggunakan software disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental lapangan sebagai banding langsung dari eksperimental menggunakan software serta dalam analisis sebaiknya menggunakan software asli, hal tersebut berpengaruh kepada hasil output program yang lebih optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Railway Engineering and Maintenance of Way Association (AREMA). (2010). Part 4 Concrete Ties.
- Buda, R. dan Frank Meyer. (2009). *Hollow Sleeper*. United States: Patent Application Publication.
- Dwiatmoko, Hermanto. (2015). *Jalur Ganda Lintas Utara Jawa Percepatan dan Manfaatnya*. Depok: Yayasan Simfoni Qalbu.
- Dwiatmoko, Hermanto. (2016). *Pengujian Jalur dan Bangunan Kereta Api*. Jakarta: Kencana.
- Fistcar, W. A, Hera Widayastuti, Data Iranata, Catur Arif Prastyanto. (2020). *Pengaruh Parameter Track Quality Indeks (Tqi) Terhadap Perilaku Bantalan Beton*. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil, Volume 18, Nomor 1, Februari 2020.
- Fistcar, W. A. (2021). *Study Perilaku Bantalan Beton untuk Lebar Sepur 1067 mm dengan Variasi Nilai Track Quality Index (TQI)*. Jurnal Perkeretaapian Indonesia, Vol 5.
- Gamage, E. K., Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., dan Ishida, T. (2017). *Toughness of railroad concrete crossties with holes and web openings*. Infrastructures, 2010003.
- Heger, Julian., Franz Kurzweil., Markus Schladitz., Robert Adam dan Steffen Grobmann. (2018). *Experimental Verification of an Optimised Heating System for Hollow Sleepers Containing Points Positioning Systems*. International Conference on Road and Rail Infrastructure, CETRA 2018-5<sup>th</sup>.
- Herdianto, Erwin dan Indah Sulistyowati. (2018). *Kapasitas Kekuatan Lentur Bantalan Beton pada Jalan Rel Kelas 1 di Indonesia*. Seminar Nasional Cendikiawan ke 4 Tahun 2018.

- Kaewunruen, S., Erosha Kahawatta Gamage., dan Alex M Remennikov. (2016). *Structural Behaviours of Railway Prestressed Concrete Sleepers (Crossties) With Hole and Web Openings*. Procedia Engineering 161, 1247-1253.
- Kaewunruen, S., Gamage, E. K., & Remennikov, A. M. (2016). *Modelling Railway Prestressed Concrete Sleepers (Crossties) with Holes and Web Openings*. Procedia Engineering, 161, 1240–1246.
- Kahawatta Gamage, E., Kaewunruen, S., Remennikov, A. M., & Gamage, K. (2015). *Design of holes and web openings in railway prestressed concrete sleepers Design of holes and web openings in railway prestressed concrete sleepers Recommended Citation Recommended Citation*.
- Kosasih, P. B. (2012). *Teori dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. Yogyakarta: CV Andi Offset.
- Perhubungan, P. M., Indonesia, R., Teknis, P., & Kereta, J. (2012). *Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor Pm. 60 Tahun 2012 Tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api* (pp. 1–42).
- Purwanto, Dwi. 2008. *Pengujian Bantalan Beton Untuk Track Jalan Kereta Api Sepur 1435 mm Menggunakan Standar Uji Arema*. : 11–18.
- Puspasari, Dwi. (2016). *Kajian Kapasitas Lentur dudukan Bantalan Rel Kereta Type BT25 S35 E36*. Jurusan Sipil Universitas Hasanuddin Makassar.
- Rosyidi, S. A. P. (2016). *Rekayasa Jalan Kereta Api Tinjauan Struktur Jalan Rel*. LP3M dan Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Silva, Ramon et. al. (2020). *Experimental and Numerical Analyses of the Failure of Prestressed Concrete Railway Sleepers*. Materials.
- Surakim, H., 2014. *Konstruksi Jalan Rel Dan Keselamatan Perjalanan Kereta Api*. Bandung: Nuansa Cendekia.
- WIKA, Beton. 2016. *Railway Sleeper Prestressed Wijaya Karya Beton*.