



## INTISARI

Perkeretaapian negara Indonesia saat ini sedang mengalami perkembangan yang ditandai pembangunan jalur kereta api ganda. Pembangunan jalur kereta api tersebut tentunya akan menghadapi berbagai tantangan seperti pembangunan terowongan untuk jalur kereta api. Terowongan Ijo merupakan salah satu terowongan yang di bangun untuk jalur kereta api ganda di Kabupaten Kebumen. Pembangunan terowongan tersebut berada di dalam bukit Ijo yang disusun oleh batuan sedimen lapuk. Desain terowongan Ijo memiliki bentuk geometri *Horseshoe Tunnel* menggunakan perkuatan sekunder tanpa tulangan struktural. Kondisi terowongan yang berada di dalam batuan sedimen lapuk dengan perkuatan sekunder tanpa tulangan struktural dikawatirkan memiliki ketahanan gempa yang rendah sehingga dibutuhkan evaluasi kinerja seismik.

Evaluasi kinerja seismik Terowongan Ijo akan menggunakan rekaman gempa riwayat waktu hasil *ground motion modelling*. Hasil rekaman gempa kemudian dipakai sebagai beban dinamik dalam *linear time history analysis (LTHA)*. Analisis dinamik LTHA tersebut dilakukan pada model terowongan elemen hingga dari perangkat lunak roscience 2D (RS2). Deformasi dinamik hasil LTHA akan dipakai sebagai beban analisis *pushover* untuk mengetahui mekanisme kerusakan terowongan.

Analisis *ground motion modelling* menghasilkan tiga rekaman gempa riwayat waktu yang mewakili sumber gempa dari patahan aktif dengan mekanisme *strike slip* dan *reverse slip*. Hasil deformasi dinamik terowongan dari LTHA menunjukkan *displacement* relatif arah horizontal memiliki potensi besar menjadi penyebab kerusakan terowongan. Nilai frekuensi alami model terowongan yang berada di batuan sedimen lapuk hasil LTHA berada pada rentang frekuensi 12 Hz sampai 17 Hz. Kondisi *displacement* dinamik terowongan kategori kedalaman dangkal (profil B dan profil C) masih dalam kondisi elastis, tetapi terjadi deformasi geser plastis akibat gempa besar (Iwate MYGH11) yang berpotensi terjadi kerusakan geser. Hasil analisis *pushover* terowongan kedalaman dalam (profil E) menunjukkan *lining crown* dan sambungan *lining* dengan *invert* mengalami sendi plastis dengan nilai regangan tekan beton melampaui 0,001. Selain itu, deformasi geser plastis juga terjadi pada lining dinding terowongan yang tidak terdapat tulangan transversal. Mekanisme kerusakan beton berjenis *crushing* terjadi pada *lining crown* terowongan dalam profil E sehingga dibutuhkan perbaikan desain penampang lining. Hasil evaluasi analisis *pushover* menunjukkan terdapat beberapa potensi lokasi kritis terowongan yaitu *lining crown*, sambungan *lining* dengan *invert* dan dinding *lining* tanpa penulangan transversal.

Kata kunci: *Horseshoe tunnel*, kinerja seismik, *linear time history analysis*, *pushover analysis*, analisis terowongan 2D.



## ABSTRACT

The construction of the double railway line is a sign of the development of the Indonesian state railway. There will be many challenges during the construction of the double railway line, one of which is the construction of tunnels for railway lines. The Ijo Tunnel is one of the tunnels built for the double railway line in Kebumen Regency. The Ijo Tunnel will construct inside the Ijo hill, which is composed of weathered sedimentary rock. The Ijo tunnel design has a Horseshoe Tunnel geometric shape with secondary reinforcement of reinforced concrete without rebar structural. The tunnel construction in weathered sedimentary rock with secondary reinforcement without structural reinforcement is estimated to have low earthquake resistance, so seismic performance evaluation is needed.

Evaluation of the seismic performance of the Ijo Tunnel will use time history earthquake recordings from ground motion modelling (GMM). The time history earthquake generated by GMM will be a load of dynamic analysis from linear time history analysis (LTHA). LTHA will use the finite element tunnel model from the rocscience 2D software (RS2) as the dynamic model. The dynamic deformation of the LTHA results will be used as a pushover load to determine the mechanism of tunnel damage.

Ground motion modelling produces three-time history earthquake data that represent the source of the earthquake from an active fault with strike-slip and reverse slip mechanisms. The results of the dynamic deformation of the LTHA show that the relative displacement in the horizontal direction has the potential to cause damage. The natural frequency value of the model in the LTHA lap sedimentary rock is in the frequency range of 12 Hz to 17 Hz. The large earthquake load (Iwate MYGH11) in the shallow depth category tunnel causes plastic shear deformation can cause shear damage. The pushover analysis of the tunnel model in the deep depth category (profile E) shows that the lining crown and lining connection with invert experienced plastic hinges with a compressive strain value of concrete exceeding 0.001. In addition, plastic shear deformation also occurs in the tunnel wall lining without transverse reinforcement. The crushing mechanism occurs in the tunnel lining crown in profile E, so it is necessary to improve the cross-section design of the lining. The evaluation results of the pushover analysis show that there are several potential critical tunnel locations, namely the lining crown, lining connection with invert, and lining wall without transverse reinforcement.

**Keywords:** Horseshoe tunnel, seismic performance, linear time history analysis, pushover analysis, 2D tunnel analysis.