



## Pengaruh Pengencangan Torsi Baut secara Berulang terhadap Proofload

Pulung Priyo Pamungkas<sup>✉ 1</sup>, Tumingan<sup>2</sup>, FX Arif Wahyudianto<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Magister Rekayasa Perawatan dan Restorasi Jembatan, Politeknik Negeri Samarinda, Kalimantan Timur

<sup>1</sup> PT. Ciriajasa Cipta Mandiri

DOI: <http://dx.doi.org/10.26623/teknika.v14i2.12670>

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Disubmit : 03-08-2025

Direvisi : 12-09-2025

Disetujui : 27-10-2025

*Keywords:*

*Bolts; deformation; plastic strain; proofload; tensile load*

### Abstrak

Pengaruh regangan plastis terhadap perubahan perilaku baut baja mutu tinggi selama pengencangan torsi yang dilakukan secara berulang. Plastisitas pada baut baja mutu tinggi dimana kemampuan baut mutu tinggi mengalami perubahan bentuk permanen ketika diberi beban melebihi batas elastisitasnya, dan tidak kembali ke bentuk semula setelah beban dihilangkan. Deformasi plastis terjadi ketika tegangan pada baut baja mutu tinggi melebihi titik lelehnya. Tujuan penelitian untuk memastikan kerusakan yang ditimbulkan setelah dilakukan pengencangan torsi baut secara berulang. Metode penelitian yang digunakan merupakan eksperimen pengencangan torsi baut secara berulang menggunakan alat kunci torsi manual dan dilanjutkan dengan pengujian kuat tarik putus di laboratorium dengan alat *Universal Testing Machine*. Hasil penelitian diperoleh rata-rata baut mengalami kerontokan ulir di bagian badan baut dan tidak mengalami putus. *Proofload* merupakan besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen. Hasil penelitian diperoleh rata-rata nilai *proofload* baut yang dilakukan pengencangan torsi berulang satu kali 130.249 N, pengencangan torsi tiga kali sebesar 130.382 N lebih kecil dibanding dengan baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi 130.470 N.

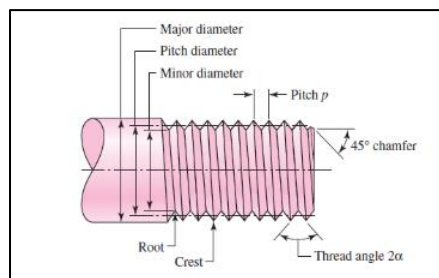
### Abstract

*The effect of plastic strain on changes in the behavior of high-strength steel bolts during repeated torque tightening. Plasticity in high-strength steel bolts where the ability of high-strength bolts to experience permanent deformation when given a load exceeding its elastic limit, and does not return to its original shape after the load is removed. Plastic deformation occurs when the stress on high-strength steel bolts exceeds its yield point. The purpose of this study was to determine the damage caused after repeated torque tightening of bolts. The research method used was an experiment of repeated bolt torque tightening using a manual torque wrench and continued with a tensile strength test in the laboratory with a Universal Testing Machine. The results of the study obtained an average bolt experienced thread loss in the bolt body and did not break. Proofload is the maximum tensile force that can be received by a bolt without experiencing permanent deformation. The results of this study obtained an average proofload value of bolts that were repeatedly tightened with torque once 130,249 N, tightened with torque three times 130,382 N smaller than bolts that were not tightened with torque 130,470 N.*

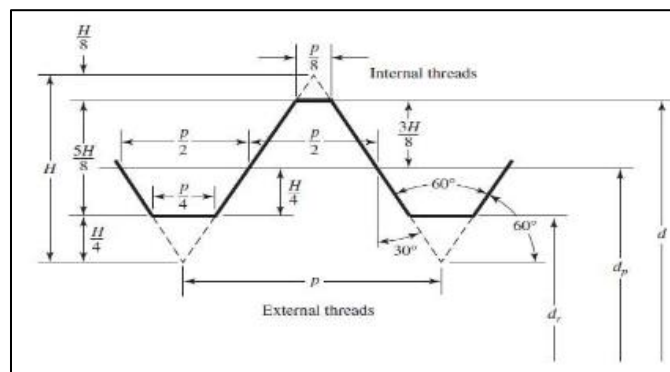
✉ Alamat Korespondensi:  
E-mail: [pulungpriyo2023@gmail.com](mailto:pulungpriyo2023@gmail.com)

## PENDAHULUAN

Kekuatan baut baja merupakan satu sifat mekanis dari bahan yang sebahagian besar dipengaruhi oleh unsur-unsur karbon dan paduannya. Tegangan tarik baja yaitu kemampuan baja menerima beban tarik yang diberikan tepat pada luas permukaan. Guna mengetahui tegangan tarik baut baja harus dilakukan pengujian tarik menggunakan mesin uji tarik *universal testing machine*. Uji tarik (*tensile test*) adalah salah satu uji *stress-strain* mekanik yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan baut baja terhadap gaya tarik setelah mendapatkan perlakuan pengencangan torsi secara berulang. Baut baja mutu tinggi merupakan salah satu alat untuk membantu mengikat antar komponen. Aji et al.,(2014), baut sangat erat kaitannya dengan ulir, dalam pemakaian ulir selalu bekerja berpasangan antara ulir luar dan ulir dalam. Secara garis besar ulir dibedakan menjadi seri ulir halus (UNF) dan seri ulir kasar (UNC) . Pada Gambar 1 dan Gambar 2 dapat dilihat secara jelas tentang gambaran baut dan ulir.



Gambar 1. Baut



Gambar 2. Ulir

Infrastruktur transportasi terdiri dari jalan, jembatan, dan jaringan terowongan. Diantara infrastruktur tersebut, jembatan, viaduk, dan terowongan sangat rentan akibat degradasi struktural yang disebabkan oleh kondisi lingkungan, kelebihan muatan, dan faktor-faktor lainnya. Memastikan keamanan aset-aset ini, terutama ditingkat jaringan, merupakan tantangan yang signifikan. Munculnya sistem manajemen jembatan (BMS) menjawab kebutuhan informasi yang komprehensif dalam mengelola inspeksi, penilaian kondisi, dan mengoptimalkan investasi dalam pemeliharaan jembatan (Agredo et al., 2024).

Analisa kegagalan merupakan metode investigasi secara sistematis untuk mencari penyebab mekanisme kegagalan suatu komponen atau peralatan. Penelitian ini menjelaskan tentang analisa kegagalan baut pengikat *gearbox* pada lokomotif kereta rel diesel elektrik (KRDE). Metode yang digunakan antara lain studi literatur, pengamatan visual dan pengumpulan data, analisa tegangan, uji komposisi, uji metalografi, uji kekerasan serta pengolahan data dan analisa hasil pengujian. Menurut

Gutama et al., (2015), pada sambungan jembatan, baut mutu tinggi dengan tipe sambungan slip-kritis banyak ditemukan. Pemasangan sambungan baut mutu tinggi ini dilakukan pretensi dengan menggunakan kunci torsi atau menggunakan perkakas manual dengan memutar mur. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kekuatan tarik dan perilaku kegagalan sambungan slip-kritis dengan memvariasikan nilai pretensi pada sambungan pengunci baut tunggal dengan berbagai metode. Struktur baja merupakan kumpulan struktur yang terdiri dari komponen-komponen baja sebagai struktur utamanya. Baja memiliki banyak variasi dalam hal dimensi dan sifatnya. Struktur disusun antar komponennya agar baja dapat memikul beban dan tetap kaku. Konstruksi jembatan sering menggunakan struktur baja karena dapat menahan bentangan yang cukup panjang dengan kondisi jembatan yang lebih ringan dan memudahkan pelaksanaan di lapangan (Yusuf and Hermawan, 2024).

Kegagalan atau kehilangan kinerja jembatan menimbulkan konsekuensi penting pada seluruh jaringan jalan dan distribusi lalu lintas (Natali et al., 2023). Menurut Pamungkas et al., (2024), baut Grade 8.8 M22 merupakan baut mutu tinggi yang digunakan pada sambungan rangka baja. Dilihat dari tipe kerusakan setelah dilakukan pengujian kuat tarik putus, terlihat bahwa baut mengalami kerontokan pada ulir baut. Nilai *proofload* baut tersebut tidak terpenuhi persyaratan, sehingga untuk pengujian baut yang memiliki *Grade 8.8* harus lebih berhati-hati dalam menentukan jenis atau tipe baut yang dipergunakan untuk sambungan jembatan rangka baja.

Menyampaikan bahwa sekitar 1.5 juta set baut berkekuatan tinggi digunakan untuk jembatan Sungai Yangtze Jiujiang, dan 860.000 set baut berkekuatan tinggi digunakan untuk struktur atas jembatan Sungai Yangtze Chaotianmen Chongqing. Namun karena kekuatannya, ketahanan korosi, beban gaya, dan pengaruh media lingkungan sekitar dari materialnya sendiri, fenomena jatuh dan patah sering terjadi dalam proses penggunaan baut berkekuatan tinggi yang membawa bahaya tersembunyi yang besar bagi jembatan (Wen et al., 2018). Baut merupakan elemen penting untuk menghubungkan anggota struktur baja. Pada sebagian besar jembatan baja, rangkaian saling terhung satu sama lain melalui sambungan baut gesek. Beban awal yang tidak mawadai akibat kelonggaran baut menyebabkan kegagalan sambungan baut dan mengurangi kapasitas menahan beban jembatan (Park et al., 2015).

Berdasarkan beberapa penjelasan pada latar belakang maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut: (1) Berapa nilai kondisi elemen baut Jembatan menggunakan Pedoman Bidang Jalan dan Jembatan 2022; (2) Berapa besar nilai *Proofload*, *ultimate tensile strength* dan *modulus young* baut *Grade 10.9* setelah dilakukan pengencangan torsi 1, 3, 5 dan 7 kali; (3) Bagaimana pengaruh pengencangan torsi secara berulang. Berdasarkan rumusan masalah yang telah dipaparkan, maka didapatkan tujuan yang ingin dicapai dari penelitian yaitu: (1) Memperoleh nilai kondisi elemen baut Jembatan Dua Sungai Dama Samarinda; (2) Memperoleh perbedaan nilai *proofload* dan *tensile load* setelah dilakukan pengujian tarik putus; (3) Memperoleh batasan pengencangan torsi baut secara berulang.

Bahwa dengan konsep jembatan cerdas yang melibatkan teknologi sensor dan sistem analisis data *realtime*, menyediakan kemampuan untuk memantau kondisi struktural secara berkelanjutan, mendeteksi masalah lebih awal, dan aplikasi terbaru dalam teknologi dan rekayasa jembatan, industri konstruksi dapat menghadapi tantangan infrastruktur dengan solusi yang lebih inovatif dan berkelanjutan (Sahrullah, 2024). Menurut Samadi et al., (2021), bahwa sistem infrastruktur sipil memiliki dampak langsung pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan dan perkembangan sosial masyarakat modern. Sistem transportasi jalan raya sangat penting dalam sistem infrastruktur. Diantara banyak elemen sistem infrastruktur, jembatan sangat diperlukan penghubung ekonomi dan manusia, kegagalannya, atau penutupan sebahagian, dapat menyebabkan berbagai kerugian publik atau swasta.

Manfaat penelitian ini adalah untuk meningkatkan keamanan dari kerusakan serta mengurangi dampak kerusakan pada sambungan baut rangka baja jembatan. Hasil penelitian ini diharapkan

sebagai berikut: (1) Penelitian ini bermanfaat untuk melakukan pengujian-pengujian sambungan rangka baja jembatan dengan menggunakan tipe atau *grade* yang berbeda dengan banyak variasi pengencangan dan nilai besaran torsi yang berbeda. Dapat dijadikan sebagai bahan tambahan literatur bagi perpustakaan Politeknik Negeri Samarinda-Jurusan Teknik Sipil-Program Magister Terapan Rekayasa Perawatan dan Restorasi Jembatan; (2) Sebagai referensi terhadap batasan pengencangan torsi minimum terhadap pemakaian jenis baut *Grade* 10.9 M16 yang digunakan pada sambungan rangka baja jembatan beserta restorasi jembatan lama, dan juga sebagai referensi dipelaksanaan pekerjaan sambungan baut rangka baja jembatan dengan batasan pengencangan torsi minimum.

## METODE

Berdasarkan SNI 8458:2017 tentang metode uji pengencangan baut mutu tinggi, untuk pengambilan contoh uji sebagai berikut (Badan Standardisasi Nasional, 2017):

1. Baut mutu tinggi yang akan digunakan harus dalam kondisi bersih dan tidak berkarat.
2. Pengambilan contoh uji dilakukan secara acak dengan jumlah minimum sebanyak 3 buah untuk setiap jenis dan setiap ukuran baut dalam satu slot.
3. Periksa ring baut. Ring baut yang digunakan memiliki lubang dengan diameter maksimum 1,6 mm lebih besar dari diameter baut yang akan diuji.
4. Baut, ring, baut, dan mur yang akan diuji diperlakukan sama dengan baut yang akan dipasang pada struktur. Apabila baut menggunakan pelumas pada pemasangan struktur, maka baut pada pengujian harus diberi pelumas ( $K=0,18$  baut baja diberi pelumas/*lubricant steel bolts* dan  $K=0,2$  baut baja dengan karbon rendah/*mild steel bolts*).
5. Benda uji yang telah diuji tidak boleh diuji kembali atau dipasang pada struktur.

Di dalam penelitian ini, dilakukan pemeriksaan jembatan menggunakan BMS 2022, dengan menganalisa elemen-elemen struktur sambungan rangka baja. Berikut ini merupakan data yang didapatkan terhadap jembatan yang dilakukan penelitian.

1. Nama jembatan: Jembatan Sungai Dama
2. Lokasi jembatan: Jl. Pangeran Hidayatullah-Jl. Otto Iskandar
3. Jenis struktur: Rangka baja
4. Type jembatan: *Warren truss*
5. Fungsi: Jembatan penghubung
6. Kelas jalan: Jembatan type b
7. Lebar trotoar: 2 x 0,5 meter
8. Baut baja: Baut grade 10.9

Menurut Jiang et al., (2023), menyampaikan bahwa sambungan baut merupakan komponen penting yang memerlukan pemeriksaan rutin untuk memastikan keamanan jembatan. Metode yang ada saat ini sebagian besar bergantung pada pemeriksaan berbasis penglihatan, yang tidak efisien karena banyaknya baut jembatan. Jembatan baja digunakan sebagai material konstruksi karena sifatnya yang ringan, tahan lama, dan mudah dirakit. Namun, kerusakan pada jembatan baja meningkat secara eksponensial. Kelelahan struktural, penuaan material yang dikombinasikan dengan peningkatan beban lalu lintas, merupakan penyebab kerusakan jembatan, yang dalam hal ini korosi menjadi penyebab utama penurunan kualitas dan kerusakan pada jembatan. Kurniasari et al., (2022), menyatakan bahwa risiko *stripping* lebih banyak terjadi pada pekerjaan sambungan jembatan baja, yang memakai mekanisme slip kritis. Jadi bisa saja sambungan baut terlihat terpasang dengan baik ditempatnya, tetapi ternyata mengalami *stripping*. Pada kondisi seperti itu gaya prategang baut menjadi tidak ada. Itu juga berarti tidak ada gaya friksi pada baut. Di lapangan, pilihan paling mudah untuk menghindari risiko *stripping* adalah tetap memakai baut A325 (Dewobroto et al., 2016). Menurut Feng et al., (2020), baut berkekuatan tinggi banyak digunakan di jembatan modern, dan

mungkin ratusan ribu baut akan digunakan untuk membangun jembatan. Namun, tegangan aksial setiap baut harus dikontrol dalam rentang yang ditentukan pada periode konstruksi dan proses perawatan pasca penggunaan.

Pengambilan spesimen uji baut *Grade 10.9 M16* sebagai benda uji. Selanjutnya baut *Grade 10.9 M16* dilakukan pengencangan torsi secara berulang dengan nilai torsi minimum sebesar 315 Nm dengan catatan tidak menggunakan pelumas pada saat dilakukan pengencangan baut. Pengencangan baut dengan menggunakan kunci torsi secara berulang untuk mendapatkan beberapa variasi pengencangan baut, meliputi pengencangan torsi 1 kali sampai dilakukan torsi 3 kali, seperti pada Gambar 3 pengencangan torsi baut.



**Gambar 3.** Pengencangan Torsi

### Baut Torsi 1 kali

Baut setelah dilakukan pengujian torsi 1 kali, setelah dibuka murnya, kondisi baut masih dapat dilakukan pengencangan sedang dengan kunci pas. Dapat terlihat setelah dilakukan pengujian kuat tarik putus, ketiga baut mengalami kerontokan ulir pada bagian badan baut. Kerontokan Ulir Baut. Baut 1 dengan torsi 1 kali memerlukan waktu 25 detik mencapai *proofload*, Baut 2 memerlukan waktu 17,5 detik untuk mencapai besaran *proofload*. Baut ke 3 membutuhkan waktu 30 detik lebih lama saat mencapai nilai *proofload*. Rata-rata *proofload* baut dengan pengencangan torsi 1 kali seperti Tabel 1, besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen.

**Tabel 1.** *Proofload* Torsi 1 Kali

Torsi 1x	Baut 1	Baut 2	Baut 3	Rata-rata
Proofload (N)	130.236	130.227	130.285	130.249
Waktu (Detik)	25	17,5	30	27,50

Gaya tarik putus (*tensile load*) adalah besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut hingga putus. Baut tanpa dilakukan torsi mengalami regangan sebelum pengerasan regangan (*strain hardening*) atau elastis rata rata sebesar 9%. Adapun gaya tarik putus rata rata ketiga baut tersebut sebesar 993 N/mm<sup>2</sup>.

Hasil dari uji *proofload* pengencangan torsi 1 kali. Tarik putus baut 1 dengan elastisitas regangan pada 8%-11%, tarik putus baut 2 dengan regangan elastisitas 7% - 11%, Tarik putus baut 3 dengan elastisitas 8%-11%. Dengan tabel hasil pengujian tarik putus rata-rata seperti pada Tabel 2 tarik putus baut torsi 1 kali.

**Tabel 2.** *Tensile Load* Torsi 1 Kali

Specimen No	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Torsi (Nm) 1 hari	Tensile load (N)	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Location of Failure	Type of Failure
-------------	---------------	-------------------------	-------------------	------------------	---------------------------------------	---------------------	-----------------

Baut uji 1							
Proofload	13.84		315	130,236			Stripping
Tensile	13.84	150.44		142,536	947	Thread	
Baut uji 2							
Proofload	13.82		315	130,227			Stripping
Tensile	13.82	150.00		146,320	975	Thread	
Baut uji 3							
Proofload	13.83		315	130,285			Stripping
Tensile	13.83	150.22		141,322	941	Thread	
Average				130,249	954		

### Baut Torsi 3 kali

Ketiga baut terlihat kerusakan pada ulir baut pada bagian badan baut. Didapatkan nilai *proofload* rata-rata sebesar 130.382 N sedangkan untuk baut baru sebesar 130.470 N. Nilai kuat tarik putus didapatkan sebesar 970 N/mm<sup>2</sup> sedangkan baut baru sebesar 993 N/mm<sup>2</sup>. Nilai kuat tarik baut setelah dilakukan pengencangan torsi secara berulang 3 kali mengalami penurunan nilai kuat tarik. Baut yang mengalami kerontokan ulir, hasil *proofload* baut 1 dengan torsi 3 kali memerlukan waktu 20 detik, *proofload* baut 2 dengan torsi 3 kali memerlukan waktu 15 detik, hasil *proofload* baut 3 dengan pengencangan torsi 3 kali memerlukan waktu 17,5 detik. Hasil rata-rata dan waktu yang diperlukan *proofload* seperti pada Tabel 3 besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen.

**Tabel 3.** *Proofload* Torsi 3 Kali

Torsi 3x	Baut 1	Baut 2	Baut 3	Rata-rata
Proofload (N)	130.185	130.488	130.474	130.382
Waktu (Detik)	20	15	17,5	17,5

Gaya tarik putus (*tensile load*) adalah besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut hingga putus. Baut tanpa dilakukan torsi mengalami regangan sebelum pengerasan regangan (*strain hardening*) atau elastis rata rata sebesar 9%. Adapun gaya tarik putus rata rata ketiga baut tersebut sebesar 993 N/mm<sup>2</sup>. Tarik putus baut 1 dengan elastisitas regangan pada 8 %- 14%, Tarik putus baut 2 dengan regangan elastisitas 7% - 11%, Tarik putus baut 3 dengan elastisitas 8%-12%. Dengan tabel hasil pengujian tarik putus rata-rata seperti pada Tabel 4 tarik putus baut torsi 3 kali.

**Tabel 4.** *Tensile Load* Torsi 3 kali

Specimen No	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Torsi (Nm)			Tensile load (N)	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Location of Failure	Type of Failure
			1 hari	2 hari	3 hari				
Baut uji 1									
Proofload	13.81		315	315	315	130,185			Stripping
Tensile	13.81	149.788				137,097	915	Thread	
Baut uji 2									
Proofload	13.82		315	315	315	130,488			Stripping
Tensile	13.82	150.05				155,693	1038	Thread	
Baut uji 3									
Proofload	13.86		315	315	315	130,474			Stripping
Tensile	13.86	150.875				144,465	958	Thread	
Average						130,382	970		

### Baut Torsi 5 kali

Adapun didapatkan nilai *proofload* sebesar 130.239 N sedangkan nilai *proofload* baut baru sebesar 130.470 N, terdapat nilai baut yang dilakukan torsi lebih besar nilainya dibandingkan baut

baru. Untuk nilai kuat tarik putus sebesar  $1017 \text{ N/mm}^2$ , sedangkan baut baru lebih kecil sebesar  $993 \text{ N/mm}^2$ .

Kondisi baut setelah dilakukan pengujian pengujian tarik putus baut mengalami kerontokan ulir pada bagian badan baut, Kerontokan ulir baut dan didapat nilai *proofload* baut 1, Untuk *proofload* baut 2 dan pada nilai *proofload* baut 3. Tabel 5. nilai rata rata *proofload* pengencangan torsi secara berulang 5 kali. Adalah besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen.

**Tabel 5.** *Proofload* Torsi 5 Kali

Torsi 5x	Baut 1	Baut 2	Baut 3	Rata-rata
Proofload (N)	130.174	130.289	130.253	130.239
Waktu (Detik)	37,5	35	32,5	35,00

Gaya tarik putus (*tensile load*) adalah besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut hingga putus. Baut tanpa dilakukan torsi mengalami regangan sebelum pengerasan regangan (*strain hardening*) atau elastis rata rata sebesar 9%. Adapun gaya tarik putus rata rata ketiga baut tersebut sebesar  $1017 \text{ N/mm}^2$ . Tarik putus baut 1 dengan elastisitas regangan pada 8 %- 14%, Tarik putus baut 2 dengan regangan elastisitas 7% - 11%, Tarik putus baut 3 dengan elastisitas 8%-12%. Dengan tabel hasil pengujian tarik putus rata-rata seperti pada Tabel 6 tarik putus baut torsi 5 kali.

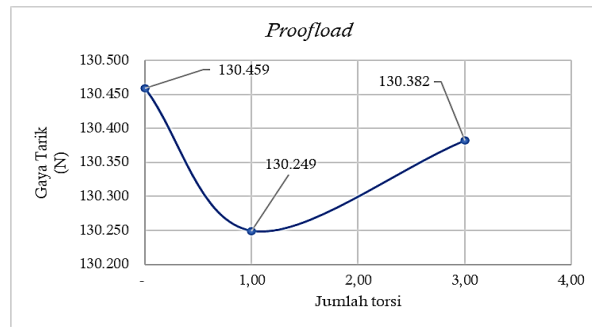
**Tabel 6.** *Tensile Load* Torsi 5 kali

Specimen No	Diameter (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Torsi (Nm)					Tensile load (N)	Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	Location of Failure	Type of Failure
			1 hari	2 hari	3 hari	4 hari	5 hari				
Baut uji 1											
Proofload	13.87		315	315	315	315	315	130,174			Stripping
Tensile	13.87	150.092						161,995	1072	Thread	
Baut uji 2											
Proofload	13.89		315	315	315	315	315	130,289			Stripping
Tensile	13.89	151.529						140,219	925	Thread	
Baut uji 3											
Proofload	13.85		315	315	315	315	315	130,253			Stripping
Tensile	13.85	150.657						158,729	1054	Thread	
Average								130,239	1017		

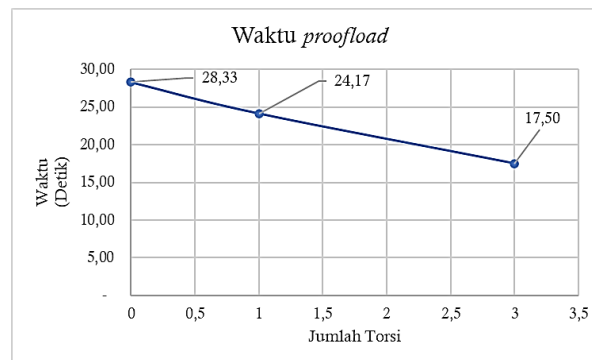
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai *proofload* rata-rata baut yang baru atau baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi sebesar  $130.470 \text{ N}$ , torsi satu kali sebesar  $130.249 \text{ N}$  dan torsi tiga kali sebesar  $130.382 \text{ N}$ . Perbedaan nilai rata-rata *proofload* baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi dan baut yang dilakukan pengencangan torsi secara berulang dapat dilihat pada Gambar 4, sedangkan waktu rata-rata yang dibutuhkan baut mengalami *proofload* seperti pada Gambar 5.

Baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi berulang dengan nilai *proofload* sebesar  $130.459 \text{ N}$ , baut dengan pengencangan torsi satu kali mempunyai nilai *proofload* sebesar  $130.249 \text{ N}$  dan baut yang dilakukan pengencangan torsi berulang sebanyak tiga kali mempunyai nilai *proofload* rata-rata sebesar  $130.382 \text{ N}$ . Waktu yang dibutuhkan rata-rata baut mengalami *proofload*, untuk baut baru atau baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi selama 28,33 detik. Untuk baut yang dilakukan pengencangan torsi satu kali lama *proofload* besarnya gaya tarik maksimum yang dapat diterima oleh baut tanpa mengalami deformasi permanen selama 24,17 detik dan untuk baut yang dilakukan pengencangan torsi secara berulang tiga kali mengalami gaya tarik maksimum yang dapat diterima baut tanpa mengalami deformasi permanen selama 17,50 detik.



**Gambar 4.** Kurva Rata Rata *Proofload*



**Gambar 5.** Kurva Rata Rata Waktu *Proofload*

## SIMPULAN

Baut *Grade* 10.9 M16 yang sudah dikencangkan satu kali dan pengencangan torsi tiga kali, mengalami penurunan besaran nilai *proofload* dibandingkan baut yang tidak dilakukan pengencangan torsi. Baut yang dilakukan pengencangan torsi berulang terhadap gaya tarik maksimum mengalami deformasi permanen lebih cepat dibandingkan dengan baut tanpa pengencangan torsi sebesar 17,50 detik. Penambahan jumlah torsi tidak banyak berpengaruh atau pengaruhnya signifikan terhadap propertis material baut termasuk *proofload*, kuat tarik putus. Jumlah torsi berpengaruh terhadap drat atau ulir yang rontok.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agredo Chávez, A., González-Libreros, J., Wang, C., & Sas, G. (2024). *Bridge condition index: A review of methodologies used in Bridge Management Systems*. In *Bridge Maintenance, Safety, Management, Digitalization and Sustainability (1st ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003483755-131>
- Aji, W. S., & Nugroho, S. (2014). Analisis kegagalan baut pengikat *gearbox* pada lokomotif kereta rel diesel elektrik (KRDE). *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 2(4), 413–420. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/9646/9369>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8458:2017-Metode uji pengencangan baut mutu tinggi*. Badan Standardisasi Nasional. <https://binamarga.pu.go.id/uploads/files/288/sni-84582017-tentang-metode-uji-pengencangan-baut-mutu-tinggi.pdf>
- Wedobroto, W., Hidayat, L., Widjajakusuma, J., & Kelvin. (2016). *Studi karakteristik baut mutu tinggi (A325 dan Grade 8.8) terhadap tarik dan pengaruhnya pada perencanaan sambungan*. Seminar HAKI. <https://www.researchgate.net/publication/31137817>

- Feng, S., Tu, J., Wei, S., Chi, Y., Zhang, X., & Song, X. (2020). Ultrasonic testing of axial stress of high strength bolts for bridges. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 64(1-4), 685-692. <https://doi.org/10.3233/JAE-209379>
- Gutama, A., Kurniawandy, A., & Fatra, W. (2015). Studi eksperimental variasi pretension sambungan baut baja tipe slip critical. *Jom FTEKNIK*, 2(1), 1-6. <https://media.neliti.com/media/publications/203444-studi-eksperimental-variasi-pretension-s.pdf>
- Jiang, S., Zhang, J., Wang, W., & Wang, Y. (2023). Automatic inspection of bridge bolts using unmanned aerial vision and adaptive scale unification-based deep learning. *Remote Sensing*, 15(2), 328. <https://doi.org/10.3390/rs15020328>
- Kurniasari, A. P., & Amalia, Y. (2023). Pengaruh korosi terhadap kegagalan logam pada jembatan: tinjauan pustaka. *Jurnal Teknik Mesin Universitas Trisakti*, 9(2), 45-58. <https://jurnal.pnj.ac.id/index.php/jmt/article/view/4597/2540>
- Natali, A., Cosentino, A., Morelli, F., & Salvatore, W. (2023). Multilevel approach for management of existing bridges: critical analysis and application of the Italian guidelines with the new operating instructions. *Infrastructures*, 8(4), 70. <https://doi.org/10.3390/infrastructures8040070>
- Pamungkas, P. P., Tumingan, T., & Wahyudianto, A. (2025). Pengaruh pengencangan baut grade 8.8 M22 secara berulang terhadap kekuatan struktur jembatan. *Teknika*, 20(1), 64-68. <https://doi.org/10.26623/teknika.v20i1.10722>
- Park, J. H., & Lee, J. H. (2015). Novel bolt-loosening detection technique using image processing. In *Proceedings of the 2015 International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR)* (pp. 1-6). Association for Structural Engineering and Mechanics (ASEM). [http://www.i-asem.org/publication\\_conf/asem15/5.ICSSS15/1w/W4E.5.MS581\\_2517F.pdf](http://www.i-asem.org/publication_conf/asem15/5.ICSSS15/1w/W4E.5.MS581_2517F.pdf)
- Sahrullah, S. T. (2024). *Teknologi dan rekayasa jembatan: Prinsip dan aplikasi*. Media Penerbit Indonesia.
- Samadi, D., Taghaddos, H., Nili, M. H., & Noghabaei, M. (2021). Development of a bridge maintenance system using bridge information modeling. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 54(2), 351-364. <https://doi.org/10.22059/CEIJ.2020.298837.1661>
- Wen, J., Li, Z., Hu, T., & Liu, L. (2018). Simple analysis on failure of high strength bolts in Chongqing Chaotianmen Bridge. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 439(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/439/4/042060>
- Yusuf, M., & Hermawan, F. (2023). Comparison analysis of existing bridge design based on BMS 1992 and SNI 1725-2016. *LivaS: International Journal on Livable Space*, 8(2), 43-52. <https://doi.org/10.25105/livas.v8i2.19483>