

INTISARI

Jembatan rangka baja berperan penting dalam pembangunan infrastruktur dengan keunggulan fleksibilitas desain, kemudahan dan kecepatan konstruksi, dan kemampuan menahan beban berat serta bentang panjang, terutama di daerah sulit dijangkau. Namun, sambungan antar elemen struktur menjadi tantangan utama, khususnya dalam pengaturan kekencangan baut yang memengaruhi distribusi tegangan dan kapasitas sambungan, serta kondisi permukaan baja yang berdampak pada koefisien friksi dan kekuatan sambungan. Untuk meningkatkan keandalan sambungan, diperlukan kajian variasi *preload* baut, koefisien friksi, serta dampak kelelahan material akibat beban dinamis. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi elemen kritis rangka jembatan, pengaruh *preload* baut dan friksi terhadap kapasitas *slip* dan *yield* sambungan serta dampaknya pada umur fatik sambungan, dengan harapan menghasilkan desain sambungan aman dan tahan lama.

Penelitian ini diawali dengan analisis statis jembatan dengan Midas Civil untuk mendapatkan batang yang menerima gaya terbesar berdasarkan beban mati dan beban lalu lintas, serta menentukan tegangan maksimum akibat beban kendaraan. Setelah dipilih salah satu sambungan yang diuji, selanjutnya dilakukan pemodelan elemen hingga (FEM) pada sambungan menggunakan Abaqus. Pemodelan digunakan elemen solid 3D, interaksi *surface-to-surface contact* dengan koefisien friksi, dan penerapan *preload* baut untuk menganalisis distribusi tegangan dan kapasitas *slip* sambungan. Analisis fatik menggunakan metode kurva S-N (AASHTO 2020) untuk menghitung sisa umur sambungan berdasarkan kriteria *infinite* atau *finite life*. Jembatan sebagai studi kasus penelitian ini adalah jembatan kelas A berdasarkan standar Bina Marga 2005 dengan material baja SM 490 BJ 55 dan baut mutu tinggi JIS B 1180 Grade 8.3, dengan beban meliputi beban mati, beban mati tambahan (utilitas), dan beban kendaraan sesuai SNI 1725-2016.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada tipe jembatan kelas A standar Bina Marga 2005 bentang 60 m elemen struktur tengah bentang (*top chord*) menerima gaya aksial terbesar akibat beban mati sebesar -4341,4 kN dan tambahan gaya akibat kendaraan mencapai -5613,7 kN. Kapasitas *slip* sambungan meningkat dengan bertambahnya *preload* dan koefisien friksi, di mana validasi metode analitik AISC dan simulasi Abaqus menunjukkan perbedaan rata-rata hanya 1,6%. *Preload* baut dan koefisien friksi juga meningkatkan kapasitas *yield* sambungan, *preload* yang terlalu tinggi dapat menyebabkan kegagalan lokal akibat konsentrasi tegangan di area lubang baut. *Preload* optimum ditemukan pada $0,7 f_y$, dengan kapasitas maksimum sambungan mencapai 5563,82 kN (koefisien friksi 0,3) dan 8585,49 kN (koefisien friksi 0,5). Analisis menunjukkan bahwa *slip* memengaruhi distribusi tegangan di sekitar baut dan pelat, meningkatkan risiko retakan mikro dan mengurangi umur sambungan. Umur sambungan bergantung pada *preload* dan koefisien friksi. Pada friksi 0,3, umur terbatas pada 19661725 siklus ($0,5 f_y$), sedangkan pada friksi 0,5, umur meningkat dari 505936 siklus ($0,2 f_y$) menjadi 10392828 siklus ($0,3 f_y$) dan mencapai tak terhingga di $0,4 f_y$. Keamanan fatik tercapai di atas *preload* $0,6 f_y$ (friksi 0,3) dan di atas $0,4 f_y$ (friksi 0,5).

Kata kunci: Jembatan rangka baja, *Preload* baut, Koefisien friksi, Kapasitas *slip*, Analisis fatik.

ABSTRACT

Steel truss bridges are essential to infrastructure development, providing design flexibility, ease of construction, and the capacity to support heavy loads and long spans, particularly in remote locations. However, the connections between structural elements pose a significant challenge, particularly in managing bolt tightening, which affects stress distribution and joint capacity. Additionally, the surface condition of the steel affects the friction coefficient and overall joint strength. To enhance connection reliability, it is necessary to study variations in bolt preload, friction coefficients, and the impact of material fatigue caused by dynamic loading. This research aims to identify critical elements in the bridge truss, evaluate the influence of bolt preload and friction on the slip and yield capacity of connections, and assess their impact on the fatigue life of the joints, with the goal of developing safe and durable connection designs.

This research begins with a static analysis of the bridge using Midas Civil to identify the member experiencing the highest force under on dead load and traffic load, as well as to determine the maximum stress due to vehicle loads. Once a connection to be tested was selected, a Finite Element Modeling (FEM) is conducted on the connection using Abaqus. The modeling employs 3D solid elements, surface-to-surface contact interactions with a friction coefficient, and bolt preload application to analyze stress distribution and the slip capacity of the joint. Fatigue analysis was performed using the S-N curve method (AASHTO 2020) to estimate the remaining life of the connection based on infinite or finite life criteria. The bridge used as the case study for this research is a class A bridge based on the Bina Marga 2005 standard, with SM 490 BJ 55 steel and high-strength bolts (JIS B 1180 Grade 8.3), subjected to dead load, additional dead load (utilities), and vehicle load in accordance with SNI 1725-2016.

The research results indicate that, in a Class A bridge with a 60 m span based on the Bina Marga 2005 standard, the mid-span structural element (top chord) experiences the highest axial force due to dead load at -4341.4 kN, with an additional force from vehicle loads reaching -5613.7 kN. The slip resistance of the connection increases with higher preload and friction coefficient, validation of the AISC analytical method against Abaqus simulation reveals an average difference of only 1.6%. Preload and friction coefficient also enhance the yield capacity of the connection; however, excessive preload can cause local failure due to stress concentration around the bolt holes. The optimum preload is found at $0.7f_y$, with the maximum connection capacity reaching 5563.82 kN (friction coefficient 0.3) and 8585.49 kN (friction coefficient 0.5). The analysis shows that slip affects the stress distribution around the bolts and plates, increasing the risk of microcracks and reducing the connection's fatigue life. Fatigue life depends on preload and friction coefficient. At a friction coefficient of 0.3, the fatigue life is limited to 19661725 cycles ($0.5f_y$), whereas at a friction coefficient of 0.5, the fatigue life increases from 505936 cycles ($0.2f_y$) to 10392828 cycles ($0.3f_y$) and reaches infinity at $0.4f_y$. Safe fatigue performance is achieved above $0.6f_y$ (friction coefficient 0.3) and above $0.4f_y$ (friction coefficient 0.5).

Keywords: *Steel truss bridge, Bolt preload, Friction coefficient, Slip capacity, Fatigue analysis.*