

Perbandingan Efektivitas Metode Perkuatan Jalan Tol Ir Wiyoto Wiyono Menggunakan FRP, Steel-Plate Dan Tanpa Perkuatan

Ricki Mahendra Basri¹, Sutrisno²

¹Mahasiswa Program Studi Kontruksi Bangunan, Politeknik TEDC Bandung

²Dosen Program Studi Konstruksi Bangunan, Politeknik TEDC Bandung

Email: rickimahendra777@gmail.com, sutrisno@poltektedc.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis efektivitas perkuatan struktur pada Jalan Tol Layang Ir. Wiyoto Wiyono (ruas Pluit–Tanjung Priok) sepanjang 2 km yang mengalami penurunan kinerja setelah beroperasi lebih dari 36 tahun. Studi ini membandingkan metode perkuatan eksternal pada slab beton menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) dan *Steel Plate Bonding* (SPB) melalui simulasi numerik SAP2000. Parameter evaluasi mencakup reaksi tumpuan, gaya geser, momen lentur, tegangan, defleksi, dan kapasitas beban maksimum. Hasil menunjukkan bahwa FRP mampu meningkatkan reaksi tumpuan 71%, gaya geser 46%, dan menurunkan defleksi hingga 83%. Di sisi lain, metode SPB memberikan performa lebih unggul dengan peningkatan reaksi tumpuan 76%, gaya geser 52%, serta reduksi defleksi yang sangat signifikan mencapai 99%. Meskipun kedua metode efektif dalam meningkatkan kekakuan dan mengendalikan deformasi struktur, keduanya tidak memberikan peningkatan berarti pada kapasitas beban maksimum. Oleh karena itu, penerapan FRP maupun SPB lebih direkomendasikan untuk memperkuat struktur eksisting guna memperpanjang masa layan dan meningkatkan standar keselamatan jalan tol tanpa mengubah kapasitas beban utamanya secara drastis.

Kata Kunci: Jembatan Slab, FRP, Pelat Baja, SAP2000.

ABSTRACT

This study analyzes the effectiveness of structural strengthening on a 2 km segment of the Ir. Wiyoto Wiyono Elevated Toll Road (Pluit–Tanjung Priok section), which has experienced performance degradation after more than 36 years of operation. The research compares external strengthening methods for reinforced concrete slabs using Fiber Reinforced Polymer (FRP) and Steel Plate Bonding (SPB) through SAP2000 numerical simulations. The evaluation parameters include support reactions, shear force, bending moment, stress, deflection, and maximum load capacity. The results indicate that FRP can increase support reactions by 71% and shear force by 46%, while reducing deflection by up to 83%. Conversely, the SPB method demonstrated superior performance with a 76% increase in support reactions, a 52% increase in shear force, and a highly significant deflection reduction of 99%. While both methods are effective in enhancing structural stiffness and controlling deformation, neither provided a substantial increase in maximum load capacity. Therefore, the application of either FRP or SPB is highly recommended for strengthening existing structures to extend service life and improve safety standards without drastically altering the primary load capacity.

Keywords: Slab Bridge, FRP, Steel Plate Bonding, SAP2000.

1. PENDAHULUAN

Jalan Tol Pelabuhan 1 atau Harbour Road 1 merupakan salah satu koridor jalan tol strategis di Jakarta Utara yang berada di bawah pengelolaan PT Citra Marga Nusaphala Persada. Ruas jalan tol ini melintasi kawasan strategis mulai dari Tanjung Priok, Ancol, hingga Pluit, serta termasuk dalam jaringan Jalan Tol Lingkar Dalam Jakarta dengan total panjang sekitar 13 km. Ruas jalan tol ini terhubung dengan Jalan Tol Dalam Kota (Jakarta Intra Urban Tollway) serta Jalan Tol Akses Tanjung Priok yang memiliki keterkaitan langsung dengan *Jakarta Outer Ring Road* (JORR).

Sebagai jalur vital guna menghubungkan kawasan pelabuhan, industri, dan pusat aktivitas perkotaan, Jalan Tol Ir. Wiyoto Wiyono MSc memiliki volume kendaraan harian yang sangat tinggi. Mengacu pada laporan tahunan PT Citra Marga Nusaphala Persada tahun 2024, nilai lalu lintas harian rata-rata pada ruas Cawang–Tanjung Priok–Ancol Timur–Jembatan Tiga/Pluit tercatat sebesar 238.489 kendaraan per hari, dengan kenaikan sebesar 0,34% dibandingkan tahun sebelumnya. Tingginya aktivitas lalu lintas ini didominasi oleh kendaraan berat, khususnya truk kontainer dan kendaraan niaga lainnya yang menuju dan dari Pelabuhan Tanjung Priok, dengan persentase yang diperkirakan mencapai 20% hingga 40%. Selain itu, kendaraan penumpang seperti mobil pribadi dan bus komuter juga memiliki kontribusi yang signifikan, terutama pada jam-jam sibuk.

Kondisi lalu lintas dengan beban berulang dan intensitas tinggi tersebut berpotensi menyebabkan penurunan kinerja struktur jalan tol, baik dari segi kekuatan maupun kekakuan. Apabila tidak ditangani dengan baik, degradasi struktur dapat menimbulkan risiko keselamatan, meningkatkan potensi kecelakaan, serta berdampak pada kerugian ekonomi dan terganggunya mobilitas masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemeliharaan dan perkuatan struktur yang tepat guna memastikan kinerja dan keselamatan jalan tol tetap terjaga.

Salah satu pendekatan yang banyak diterapkan dalam perbaikan struktur eksisting adalah metode perkuatan eksternal, seperti penggunaan *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* dan *Steel Plate Bonding (SPB)*. Kedua metode tersebut dikenal mampu meningkatkan kapasitas dan kinerja struktur tanpa memerlukan pembongkaran besar, yang memberikan efisiensi dalam hal waktu pelaksanaan dan biaya. Dalam konteks Jalan Tol Ir. Wiyoto Wiyono, MSc, penerapan metode perkuatan yang tepat diharapkan dapat memperpanjang umur layanan struktur serta meningkatkan tingkat keselamatan pengguna jalan.

2. KAJIAN TEORI

2.1 Jalan Tol

Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2024 Pasal 1 Ayat 3, jalan tol merupakan jalan umum yang termasuk dalam sistem jaringan jalan nasional, di mana setiap pengguna jalan dikenakan kewajiban pembayaran tarif sebagai bentuk kompensasi atas pelayanan yang diberikan. Jalan tol dirancang untuk memberikan tingkat pelayanan yang lebih tinggi dibandingkan jalan umum non-tol, baik dari segi kapasitas, kecepatan tempuh, maupun aspek keselamatan. Sebagai infrastruktur transportasi strategis, jalan tol berperan penting dalam menunjang mobilitas barang dan jasa serta mendukung pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, keberlanjutan fungsi jalan tol sangat bergantung pada kondisi struktur yang andal dan mampu menopang beban lalu lintas dalam periode pelayanan yang panjang.

2.2 *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*

Fiber Reinforced Polymer (FRP) yang dikenal sebagai polimer bertulang serat dalam bahasa Indonesia, merupakan material komposit yang tersusun atas serat penguat dan matriks polimer. Serat



penguat berfungsi sebagai elemen utama dalam menahan beban tarik dan memberikan kekuatan serta kekakuan yang tinggi, sedangkan matriks polimer berperan dalam mengikat serat, mendistribusikan tegangan, serta melindungi serat dari pengaruh lingkungan. Jenis serat yang umum digunakan dalam sistem FRP meliputi serat karbon (Carbon Fiber Reinforced Polymer/CFRP), serat kaca (Glass Fiber Reinforced Polymer/GFRP), dan serat *aramid* (Aramid Fiber Reinforced Polymer/AFRP). Masing-masing jenis serat memiliki karakteristik mekanik yang berbeda, seperti kekuatan tarik, modulus elastisitas, dan ketahanan terhadap korosi. Keunggulan utama FRP dalam perkuatan struktur adalah bobotnya yang ringan, ketahanan terhadap korosi, serta kemudahan aplikasi di lapangan tanpa memerlukan peralatan berat. Dalam perkuatan struktur beton bertulang, FRP umumnya diaplikasikan secara eksternal dengan metode penempelan menggunakan resin epoksi, sehingga mampu meningkatkan kapasitas lentur maupun geser elemen struktur tanpa menambah beban mati secara signifikan.

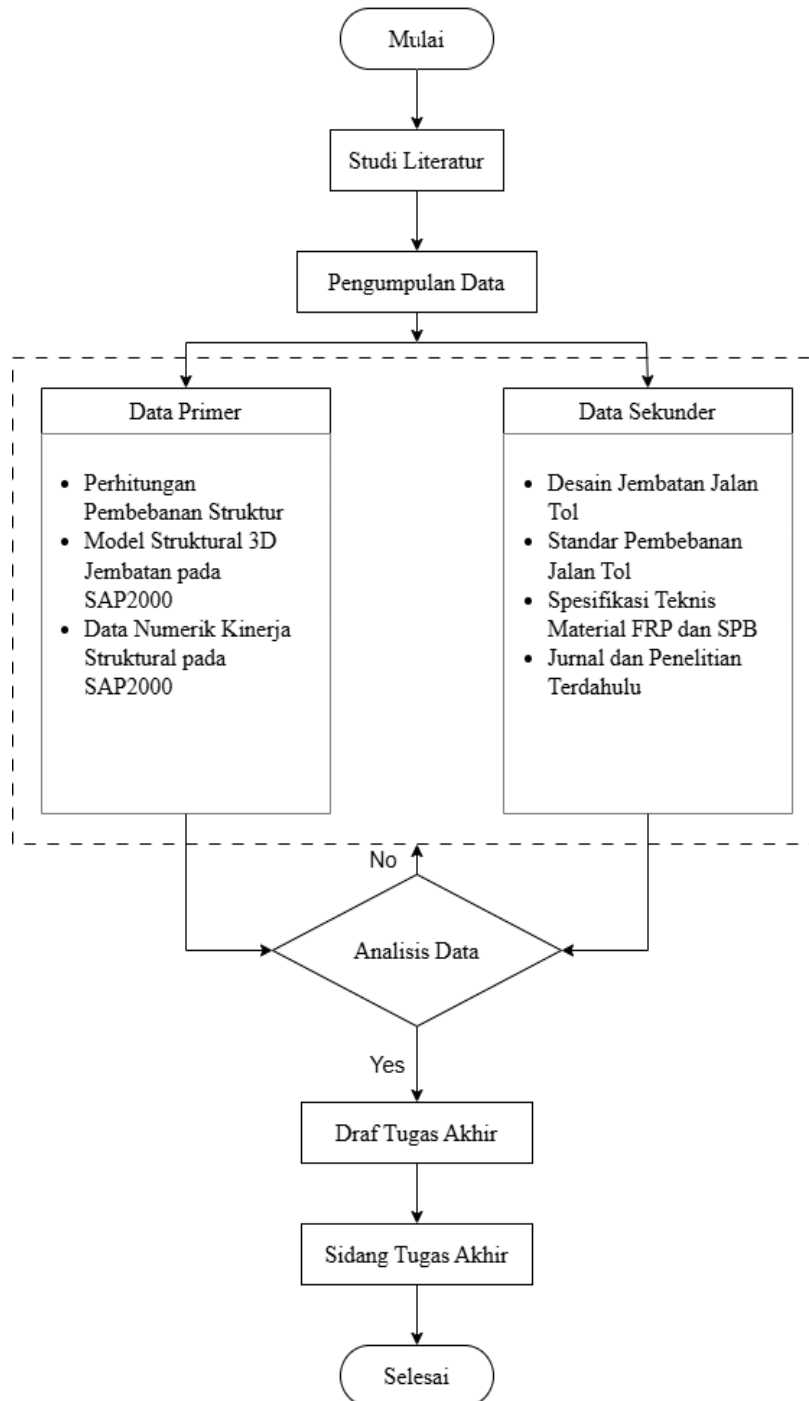
2.3 SAP2000

SAP2000 dikembangkan oleh Computers and Structures, Inc. (CSI) sebagai perangkat lunak analisis dan desain struktur berbasis metode elemen hingga (Finite Element Method/*FEM*). Perangkat lunak tersebut dirancang untuk melakukan pemodelan, analisis, serta evaluasi perilaku berbagai tipe struktur, mencakup bangunan gedung hingga struktur jembatan. Dalam penelitian ini, SAP2000 digunakan untuk memodelkan struktur slab jembatan jalan tol serta menganalisis respons struktur terhadap berbagai kombinasi beban sesuai dengan standar pembebanan yang berlaku. Hasil analisis yang diperoleh berupa gaya dalam, reaksi tumpuan, defleksi, serta parameter struktural lainnya yang selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam evaluasi efektivitas metode perkuatan.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang dirancang secara sistematis guna mencapai tujuan yang telah ditetapkan:

1. Mulai
Tahap awal penelitian dimulai dengan perumusan permasalahan serta penetapan tujuan penelitian.
2. Studi Literatur
Kemudian dilanjutkan dengan studi literatur yang bertujuan memperoleh landasan teori serta referensi yang relevan terkait perkuatan struktur, metode analisis numerik, dan metode pengambilan keputusan multikriteria.
3. Pengumpulan data
Tahap berikutnya merupakan proses pengumpulan data yang mencakup data geometri struktur, material, serta data pembebanan yang mengacu pada standar perencanaan jembatan. Data tersebut digunakan sebagai dasar dalam pemodelan struktur dan analisis numerik.
4. Analisis data
Setelah itu dilakukan analisis data menggunakan perangkat lunak SAP2000 untuk memperoleh respons struktur dari masing-masing metode perkuatan.
5. Laporan TA
Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan tugas akhir mengacu pada hasil analisis dan pembahasan yang telah disajikan.
6. Selesai



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis numerik dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak SAP2000. Struktur dimodelkan dalam tiga kondisi, yaitu tanpa perkuatan, dengan perkuatan FRP, dan dengan perkuatan SPB. Penentuan pembebanan struktur mengacu pada ketentuan SNI 1725:2016 mengenai pembebanan jembatan, dengan hasil analisis yang diperoleh berupa reaksi tumpuan, gaya dalam,

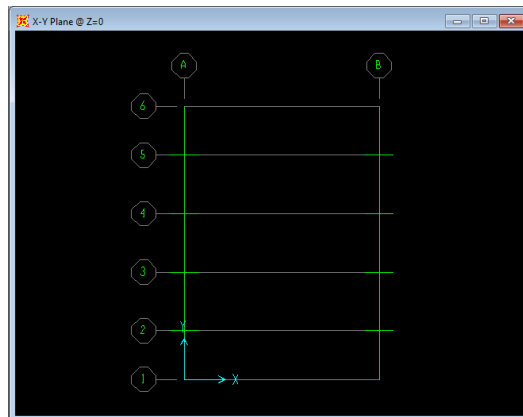
defleksi, serta parameter struktural lainnya diekspor dalam bentuk tabel untuk selanjutnya dianalisis dan dibandingkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

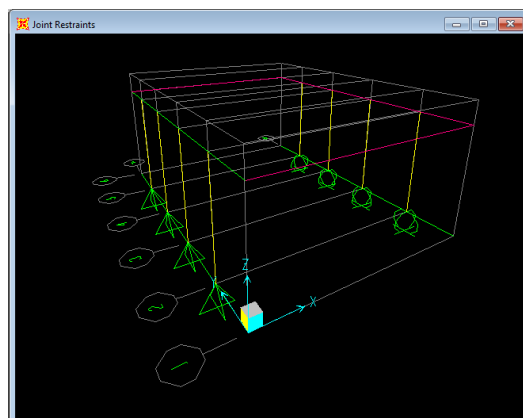
Pembebanan struktur dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan standar pembebanan jembatan yang berlaku. Beban yang diperhitungkan meliputi berat sendiri struktur, beban mati tambahan, beban lalu lintas, gaya pengereman, beban angin, efek temperatur, serta beban gempa. Besaran pembebanan aktual yang diterapkan dalam analisis disesuaikan dengan kondisi struktur eksisting dan data lapangan.

Tabel 1. Perhitungan Beban dan Standar (kNm)

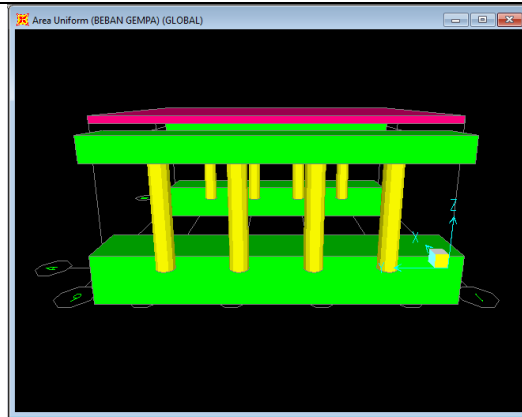
Jenis Beban	RSNI T-02-2005	SNI 1725:2016	Aktual
Berat Sendiri Struktur (MS)	53719.1	53719.1	6530.3
Beban Mati Tambahan (MA)	20251.8	20251.8	644.4
Beban Lajur "D" (TD)	19358.8	19358.8	3013.2
Gaya Rem (TB)	447.1	398.9	112.7
Beban Angin (EW)	922.6	1312.23	864
Pengaruh Temperatur (ET)	117.7	117.7	0.0001
Beban Gempa (EQ)	33594.6	23565.6	1076.2



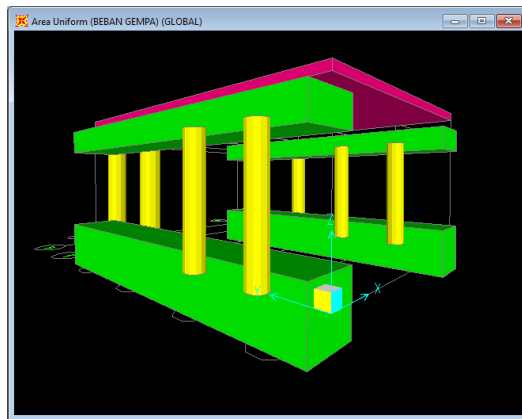
Gambar 2. Pemodelan Jembatan (a)



Gambar 3. Pemodelan Jembatan (b)



Gambar 4. Pemodelan Jembatan (c)



Gambar 5. Pemodelan Jembatan (d)

Analisis dilakukan mengacu pada ketentuan SNI 1725:2016 mengenai standar pembebanan jembatan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Metode Tanpa Perkuatan

Nama	Nilai	Satuan
Reaksi Tumpuan	3212.5	kN
Momen Lentur Maksimum	1772.8	kNm/m
Gaya Geser Maksimum	1.522E-10	kN/m
Defleksi Maksimum	0.157	m
Tegangan	29953.2	kN/m ²
Beban Maksimum	167624.1	kN

Tabel 3. Hasil Perhitungan Metode FRP

Nama	Nilai	Satuan	Peningkatan
Reaksi Tumpuan	942	kN	71%
Momen Lentur Maksimum	1381.8	kNm/m	22%
Gaya Geser Maksimum	8.224E-11	kN/m	46%
Defleksi Maksimum	0.026	m	83%
Tegangan	23114.9	kN/m ²	23%
Beban Maksimum	167624	kN	0%



Tabel 4. Hasil Perhitungan Metode SPB

Nama	Nilai	Satuan	Peningkatan
Reaksi Tumpuan	771.9	kN	76%
Momen Lentur Maksimum	1131.5	kNm/m	36%
Gaya Geser Maksimum	7.347E-11	kN/m	52%
Defleksi Maksimum	0.001	m	99%
Tegangan	18865	kN/m ²	37%
Beban Maksimum	167645.9	kN	-0.01%

Untuk menentukan metode perkuatan yang paling efektif, dilakukan analisis dengan menerapkan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). Kriteria yang digunakan dalam analisis tersebut meliputi kinerja struktur, karakteristik material, dan implikasi teknis. Hasil perhitungan AHP menunjukkan bahwa metode perkuatan menggunakan FRP memperoleh nilai prioritas tertinggi dibandingkan SPB, terutama karena keunggulannya dalam hal ketahanan terhadap korosi, kemudahan aplikasi, dan efisiensi waktu pelaksanaan.

Tabel 5. Nilai Kriteria AHP

Kriteria	Nilai
Kinerja	0.106
Karakteristik Material	0.260
Implikasi Teknik	0.633

Tabel 6. Nilai Kinerja (AHP)

Kinerja	Nilai
Momen Maksimum	0.092
Beban Maksimum	0.006
Defleksi Maksimum	0.902

Tabel 7. Nilai Karakteristik Material (AHP)

Karakteristik Material	Nilai
Berat	0.096
Korosi	0.251
Kuat	0.653

Tabel 8. Nilai Implikasi Teknik (AHP)

Implikasi Teknik	Nilai
Aplikasi	0.090
Biaya	-0.085
Waktu	0.995

Tabel 9. Alternatif AHP

Kriteria	Kinerja	Karakteristik Material	Implikasi Teknik
FRP	40.83%	Kuat	Aplikasi
SPB	49.9983%	Korosi	Biaya

Tabel 10. Hasil Akhir AHP

Kriteria	Kinerja	Karakteristik Material	Implikasi Teknik	Total	Ranking
FRP	0.000674	0.170	0.057	0.228	1
SPB	0.096	0.065	-0.053	0.107	2

5. KESIMPULAN

Hasil analisis numerik serta evaluasi menggunakan metode AHP, dapat disimpulkan bahwa kedua metode perkuatan, yaitu FRP dan SPB, mampu meningkatkan kinerja struktur slab jembatan jalan tol. Metode SPB menunjukkan peningkatan kinerja struktural yang lebih besar, khususnya dalam hal pengurangan defleksi dan peningkatan kapasitas lentur serta geser. Namun demikian, metode FRP memperoleh nilai prioritas tertinggi dalam analisis AHP karena keunggulannya dari segi karakteristik material dan implikasi teknis. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa perkuatan eksternal tidak memberikan peningkatan yang signifikan terhadap kapasitas beban maksimum struktur. Oleh karena itu, penerapan FRP maupun SPB lebih tepat ditujukan untuk meningkatkan kekakuan, mengendalikan deformasi, serta memperpanjang umur layanan struktur eksisting.

DAFTAR PUSTAKA

- Arcon Radian Abadi. (2022). FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) Pada Perkuatan Struktur Bangunan. Diakses dari arcon.id.
- Blaschko, M., Niedermeier, R., and Zilch, K. (1996). Bond failure modes of flexural members strengthened with FRP. *Fiber Compos. in Infrastruct., Proc., 2nd Int. Conf. on Compos. in infrastructure.*, H. Saadatmanesh and MR Ehsani, eds., 315–327.
- Brosens, K., and van Gemert, D. (1997). Anchoring stresses between concrete and carbon fiber reinforced laminates. *Non-Metallic (FRP) Reinforcement for Concrete Struct., Proc., 3rd Int. Symp.*, Japan Concrete Institute, Sapporo, 1, 271–278.
- Euneke Widyaningsih, Bernardinus Herbudiman, Setyo Hardono (2016), Kajian Eksperimental Kapasitas Sambungan Material Fiber Reinforced Polymer, *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, Vol.2 No.3, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan (Institut Teknologi Nasional).
- Fauzi, M., & Ariyanto, R. (2016). Analisis Struktur Perkuatan Jembatan Beton Menggunakan Steel Plate Bonding Dan Fiber Reinforced Polymer (FRP) Untuk Mendukung Efisiensi Biaya Pekerjaan. *Tugas Akhir*, Universitas Gadjah Mada.
- Purnomo, Ayu (2019). Analisis Struktur Perkuatan Jembatan Beton Menggunakan Steel Plate Bonding dan Fiber Reinforced Polymer (FRP) untuk Mendukung Efisiensi Biaya Pekerjaan. *Teknik Pengelolaan dan Pemeliharaan Infrastruktur Sipil*, Universitas Gadjah Mada.
- SPADA UNS. (n.d.). SAP2000®. Materi Kuliah Universitas Sebelas Maret.
- Widyawati, P. (1998). Pengembangan teknologi perkuatan jembatan lama dengan sistem steel plate bonding. *Perpustakaan Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR*.
- Zhang, S., Raoof, M., and Wood, L.A. (1997). Prediction of peeling failure of reinforced concrete beams with externally bonded plates. *Proc., Inst. of Civ. Engrs., Struct. and Build.*, London, 122, 493-496.
- Ziraba, YN, Baluch, MH, Basunbul, AM, Azad, AK, Al-Sulaimani, GJ, and Sharif, IA (1995). Combined experimental-numerical approach to characterization of steel-glue-concrete interface. *Mat. and Struct.*, Paris, 28, 518-525.