

Investigasi Peningkatan Efisiensi Penggunaan Baja Pada Bangunan Beton Bertulang

Fikkri Ahmad

Abstract. Since its invention in the 19th century until today, reinforced concrete has become a leading construction material due to its qualities; it is a strong and durable building material that can be used in any form of architecture at an affordable and reasonable cost. Thus, humanity has abandoned traditional building materials (stone, earth, straw, lime, wood and hemp, etc.) to benefit from the many advantages of reinforced concrete (Yasser et al., 2013). However, this conversion comes at a cost; the environmental consequences are serious, cement is the third largest emitter of CO₂ after cars and coal-fired power plants, and the same applies to steel, despite significant progress in recycling (Ranjitham et al., 2021).

Keywords: Steel, Reinforced concrete, Efficiency

Abstrak. Sejak ditemukan pada abad ke-19 hingga saat ini, beton bertulang telah menjadi bahan konstruksi terdepan karena kualitasnya; itu adalah bahan bangunan yang kuat dan tahan lama yang dapat digunakan dalam bentuk arsitektur apa pun dengan biaya yang terjangkau dan masuk akal. Dengan demikian, umat manusia telah meninggalkan bahan bangunan tradisional (batu, tanah, jerami, kapur, kayu dan rami, dll.) untuk mendapatkan keuntungan dari banyak keunggulan beton bertulang (Yasser et al., 2013). Namun demikian, konversi ini harus dibayar mahal; konsekuensi lingkungan sangat serius, semen adalah penghasil CO₂ terbesar ketiga setelah mobil dan pembangkit listrik tenaga batu bara, dan hal yang sama berlaku untuk baja, meskipun ada kemajuan signifikan dalam daur ulang (Ranjitham et al., 2021).

Kata kunci: Baja, Beton bertulang Efisiensi

LATAR BELAKANG

Dalam beberapa tahun terakhir, telah terjadi peningkatan minat dan penggunaan tulangan baja tahan karat pada bangunan beton, karena sifat khasnya seperti keuletan yang tinggi, siklus hidup yang panjang, ketahanan korosi yang sangat baik, dan perkembangan pengerasan regangan yang signifikan (Shadmand et al., 2020). Penggabungan baja dalam beton untuk mengkompensasi kekuatan tariknya yang buruk mengurangi umurnya secara signifikan, bukan itu yang biasa kita bayangkan; itu hanya seratus tahun. Setelah itu, semuanya harus dipertahankan, jika tidak dibongkar. Penghancuran bangunan mewakili lebih dari 56% limbah yang harus didaur ulang selama umur bangunan (Baarimah et al., 2016). Generasi mendatang tidak dapat menanggung biaya seperti itu. Sudah waktunya untuk meninjau kembali cara membangun dan hidup, meskipun hanya Sebagian. Hal ini dilakukan untuk membatasi dampak konstruksi modern terhadap lingkungan dan meningkatkan umur bangunan. Warisan arsitektur nenek moyang kita memberi kita harapan bahwa kita dapat melihat sesuatu secara berbeda; konstruksi ekologis dan berkelanjutan (Ede et al., 2017).

KAJIAN TEORETIS

Dalam rekayasa struktural, baja tahan karat umumnya digunakan untuk aplikasi penahan beban terutama karena ketahanan korosinya yang unggul. Ini memiliki kemampuan bentuk dan daur ulang yang baik, karakteristik mekanik yang sangat baik, siklus hidup yang panjang, dan membutuhkan perawatan yang sangat sedikit (D'Amico et al., 2021). Jika dibandingkan dengan baja ringan, baja tahan karat memiliki kapasitas pengerasan regangan dan keuletan yang unggul, membuatnya ideal untuk digunakan sebagai bagian ulet yang memperingkatkan akan terjadinya keruntuhan. Baja pertama kali digunakan pada bangunan pada tahun 1920 untuk keperluan fasad dan atap. Baja baru-baru ini mendapatkan popularitas dalam aplikasi bantalan beban yang membutuhkan kekuatan, keuletan, daya tahan dan kekakuan, serta ketahanan yang tinggi (Moynihan & Allwood, 2014).

Beton bertulang yang menggunakan baja telah mengalami peningkatan besar dalam penggunaan dalam beberapa tahun terakhir, sebagai tanggapan atas permintaan yang terus meningkat akan struktur dan infrastruktur agar lebih tahan lama, efisien, dan berkelanjutan (Aljazaeri et al., 2022). Saat ini, standar desain yang ada menyarankan penggunaan aturan desain yang sama untuk beton bertulang baja tahan karat seperti beton bertulang baja karbon tradisional, karena kurangnya informasi alternatif. Namun, ini tidak didasarkan pada data pengujian atau kinerja. Dengan demikian, ada kebutuhan nyata untuk mengembangkan pemahaman yang lengkap dan mendasar tentang perilaku lekatan beton bertulang baja tahan karat, untuk mencapai metode desain struktur beton bertulang yang lebih berkelanjutan dan andal (Ostrowski et al., 2022). Sehingga penelitian ini akan menyelidiki hal-hal terkait peningkatan efisiensi penggunaan baja pada bangunan beton bertulang.

METODE

Jenis penelitian yang diterapkan dalam kajian ini berupa jenis penelitian kualitatif. Sedangkan desain penelitian ini adalah deskriptif yang bersumber dari berbagai bahan literatur seperti artikel, buku, jurnal hingga penelitian yang telah dilakukan (Afrizal, 2016). Tidak hanya itu, penulis juga akan mengkaji dan mengkritisi gagasan, pengetahuan serta penemuan ilmiah yang memiliki kontribusi yang baik terhadap orientasi akademik. Selanjutnya penelitian yang dilakukan ini diharapkan bisa menyumbangkan kontribusi baik secara teori maupun metodologi pada tema yang dipilih penulis dalam penelitian ini, Analisa yang sifatnya deskriptif ini digunakan untuk mendeskripsikan fenomena, isu, data dan fakta yang berkembang di masyarakat (Arikunto, 2010). Data inilah yang akan dioleh dan dikembangkan oleh peneliti untuk mendapatkan informasi yang berkaitan dengan topik penelitian yang dipilih oleh peneliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Keberlanjutan Bangunan Beton Bertulang

Setelah air, beton adalah produk yang paling umum digunakan di seluruh dunia dan bahan bangunan yang signifikan. Oleh karena itu, sangat penting bagi pembangunan berkelanjutan untuk mempertimbangkan dampak lingkungan terkait dari struktur beton bertulang. Oleh karena itu, sangat penting bagi pembangunan berkelanjutan untuk mempertimbangkan dampak lingkungan terkait dari struktur beton bertulang. Emisi global CO₂ dari produksi semen, bahan bakar fosil selain industri lainnya merupakan 70% dari emisi rumah kaca secara global dengan 35,8 GtCO₂ pada tahun 2016 Emisi semacam ini dapat diminimalkan secara signifikan dengan mengoptimalkan emisi pada tahap desain untuk setiap material structural (Saud Alotaibi, 2021). Sebenarnya, pengurangan kebutuhan material merupakan salah satu langkah yang dapat mengurangi dampak lingkungan secara efektif dalam industri konstruksi. Biasanya, struktur beton bertulang dibangun untuk memenuhi kriteria termasuk daya tahan, kemudahan servis, dan keamanan, sedangkan langkah-langkah untuk meminimalkan konsumsi energi tidak dilakukan dengan benar. Contoh strategi yang paling nyata untuk memastikan keberlanjutan bangunan beton bertulang adalah dengan menerapkan material canggih, teknologi tepat guna, dan sistem struktur yang efisien (Voulgari et al., 2019).

Selain itu, evaluasi lingkungan struktur beton bertulang memerlukan penilaian dampak lingkungan selama produksi bahan, pemeliharaan, konstruksi, operasi/penggunaan, dan akhir umur bangunan. Dengan banyaknya bahan yang digunakan dalam proyek konstruksi di dunia, emisi yang terkait dengan bahan penting untuk emisi sepanjang umur bangunan (Mirmakhmutovich, 2022). Namun, tahap operasi bertanggung jawab atas sebagian besar emisi bangunan beton bertulang. Di sisi lain, tahap penggunaan hanya mewakili sejumlah kecil emisi dalam siklus hidup bangunan. Literatur sebelumnya telah melaporkan bahwa karena terdapat sumber energi terbarukan yang nyata dalam matriks energi, sistem struktur akan menjadi kontributor beban lingkungan bangunan beton bertulang. Oleh karena itu, signifikansi emisi CO₂ dan konsumsi energi yang disebabkan oleh fase selain penggunaan bangunan meningkat dan akurasi metodologi prediksi meningkat, yang mengarah pada desain hemat energi untuk bangunan lebih lanjut (Alkufi & Al-Sherrawi, 2018).

Metodologi saat ini tentang keberlanjutan bangunan RC mengasumsikan bahwa tingkat dampak lingkungan harus terintegrasi dengan pendekatan desain seperti kinerja lingkungan selain kinerja daya tahan, keselamatan dan kemudahan servis yang diakui dengan baik. Studi baru telah menunjukkan minat untuk mempertimbangkan faktor lingkungan saat membahas optimasi struktur beton bertulang. Dalam sebuah studi menunjukkan bahwasannya penggunaan

estimasi-estimasi yang didasarkan pada pendekatan simulasi anil dapat meminimalkan keseluruhan biaya struktural dan total emisi CO₂ yang terkandung dalam struktur. Dari perspektif biaya tersebut, optimalisasi komponen struktural beton bertulang sederhana di mana energi yang terkandung bisa berkurang (Sun et al., 2022).

Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa desain optimasi anggota struktural untuk energi terwujudkan terkecil menyebabkan penurunan energi terkandung sebesar 10%, menyebabkan peningkatan biaya sebesar 5% dibandingkan dengan desain optimalisasi biaya. Pengurangan energi yang terkandung sangat tergantung pada nilai rasio biaya tulangan baja dengan beton dan rasio tersebut harus mempertimbangkan biaya material baja dan beton dan biaya konstruksi termasuk biaya pengcoran beton dan biaya pemasangan tulangan (Pushpakumara et al., 2013). Selain itu, hasil menunjukkan bahwa penampang energi mewujudkan minimum memiliki pengurangan volume beton dengan jumlah tulangan yang lebih tinggi dari penampang yang dirancang dimaksudkan untuk biaya minimum. Sehingga metode pengoptimalan yang dikembangkan ini bisa digunakan untuk membantu pengambil keputusan dalam menyeimbangkan tujuan ekonomi dan keberlanjutan (El Basha et al., 2018).

Efisiensi Penggunaan Baja pada Bangunan Beton Bertulang

Bangunan beton bertulang yang efisien atau hemat energi adalah realitas zaman kita, salah satu faktor integral dalam pembangunan berkelanjutan lingkungan manusia. Sejak akhir tahun 70-an abad lalu, mereka telah berubah dari proyek tunggal menjadi objek nyata: bangunan aktif energi, pasif energi, nol, hemat energi, yang merupakan sintesis dari arsitektur, perencanaan, desain, solusi teknik yang ditujukan untuk mengurangi sumber daya energi yang dikonsumsi oleh bangunan tanpa kehilangan keandalan dan kenyamanannya (Yu, 2011). Akumulasi pengalaman dalam desain dan konstruksi bangunan hemat energi menunjukkan bahwa efisiensi bukanlah karakteristik statis yang ditetapkan pada tahap desain, tetapi dinamis yang terbentuk sepanjang siklus hidup bangunan. Peran utama dalam pembentukan efisiensi energi dimiliki oleh proses organisasi dari siklus hidup bangunan, karena proses organisasi dalam kehidupan sistem apa pun adalah syarat terpenting untuk keberhasilan perjalannya dari awal hingga akhir - dari ide hingga pencapaian tujuan. Dengan demikian, arah saat ini dan salah satu tugas utama produksi konstruksi modern adalah penggunaan sumber daya energi secara rasional dan peningkatan efisiensi energi struktur beton bertulang (Hajirasouliha et al., 2012).

Konstruksi adalah salah satu sektor ekonomi nasional yang paling padat material. Biaya bahan yang dihabiskan langsung untuk pembangunan gedung dan struktur mencapai lebih dari setengah total biaya pekerjaan konstruksi dan instalasi. Konstruksi menghabiskan lebih dari 30% dari semua produksi di bidang produksi material. Bahan bangunan dan struktur bangunan masa depan ditentukan pada tahap desain. Pada saat yang sama, kriteria pemilihan yang penting adalah efisiensi energinya, termasuk biaya sumber daya energi untuk produksinya (Al-Ayish, 2017). Bahan bangunan utama dari mana bangunan terutama dibangun adalah beton, batu bata (keramik dan silikat) dan kayu. Proses teknologi untuk produksi bahan bangunan, produk, dan struktur membutuhkan sumber daya energi yang signifikan, terutama yang intensif energi seperti produk beton, kaca, dan logam (Mailyan & Mailyan, 2016).

Tabel 1. Identifikasi Kelayakan Penggunaan Baja Pada Beton Bertulang

Variabel	Deskripsi
Keamanan	Struktur Baja dan beton bertulang sama-sama menghasilkan struktur yang cukup kuat untuk menahan api, angin kencang, salju lebat, rayap, dan kebakaran. Namun, struktur baja mungkin memiliki keunggulan yang paling signifikan dibandingkan struktur beton bertulang dalam menghadapi gempa bumi. Ringan dan daktilitas baja membantu rangka struktural menyerap dan mengurangi dampak destruktif gempa bumi. Sambungan baja berkekuatan tinggi memungkinkan sedikit deformasi pada sambungan tetapi berhasil menahan anggota agar tidak terpisah, mencegah mudah runtuhan bangunan atau bagian di bawah tekanan.
Keberlanjutan & Dampak Lingkungan	Hingga 90% dari semua Struktur Baja di pasaran saat ini dibuat dari daur ulang. Baja dapat didaur ulang berulang kali tanpa kehilangan kekuatannya. Industri Baja telah mempertahankan gas rumah kaca di bawah tingkat produksi yang diperbolehkan dan masih menjadi lebih baik. Bahan beton alami bagi lingkungan kita, artinya tidak berbahaya bagi dunia kita.
Desain	Beton dapat dengan mudah dibentuk menjadi bentuk yang tidak terlalu diinginkan, tetapi tidak seperti baja, beton memiliki kemampuan terbatas untuk menjangkau ketinggian dan jarak yang sangat jauh. Anggota Struktur Baja dapat ditata dalam segmen panjang tanpa memerlukan penopang perantara, menghilangkan penghalang sehingga memaksimalkan ruang
Konstruksi Kekuatan	Komponen Struktur Baja dibuat di luar lokasi sementara komponen beton bertulang sebagian besar dibuat di tempat. Menggunakan Struktur Baja memiliki keuntungan besar dibandingkan beton bertulang dalam skenario ini karena fabrikasi multi komponen baja dapat dilakukan secara bersamaan

	<p>sementara komponen beton bertulang dicor secara bertahap, bagian demi bagian, satu per satu dengan interval 28 hari (curing) demi satu. . Selain itu, mengingat Struktur Baja relatif ringan, struktur khususnya bangunan struktur baja dengan rangka baja memerlukan pondasi yang lebih kecil dibandingkan dengan struktur beton bertulang. Ketika modifikasi diperlukan, pelepasan sederhana dari bagian struktur baja jauh lebih mungkin daripada menghancurkan bagian beton bertulang yang besar.</p>
	<p>Baja memiliki rasio kekuatan terhadap berat tertinggi di antara bahan bangunan, termasuk beton. Baja delapan kali (8X) lebih kuat dari beton dalam hal tarik dan geser; baja tangguh tidak seperti beton; dan baja memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap tegangan tarik, tekan, dan lentur. Insinyur Jepang umumnya menolak menggunakan beton untuk struktur kelas atas karena kaku, lemah dan berat, dan kontrol kualitas adalah tugas yang sulit dilakukan.</p>
Biaya	<p>Struktur Baja ekonomis. Sebagian besar pasokan pasar berasal dari daur ulang, membuat baja jauh lebih murah daripada bahan lainnya. Menjadi ringan, ini memberikan pengurangan besar dalam biaya tenaga kerja karena penanganan dan transportasi yang lebih mudah dan pemasangan yang lebih cepat. Beton memiliki banyak bahan seperti semen, pasir & kerikil, air, dan berbagai aditif. Dan untuk menghasilkan beton bertulang, tulangan harus diintegrasikan kemudian dibentuk dan dicor ke penampang yang diinginkan. Jumlah bahan dan perakitannya yang lama menghasilkan pengeluaran konstruksi yang tinggi. Menurut sebuah penelitian, sistem Struktur Rangka Baja biaya 5 sampai 7% lebih rendah dari sistem rangka beton bertulang.</p>

Sumber: (Aljazaeri et al., 2022); (El Basha et al., 2018)

Efektivitas penambahan serat baja pada kolom beton yang menerima beban aksial telah dipelajari oleh banyak peneliti. Penambahan serat baja di dalam beton menyebabkan pengurangan workability dan peningkatan kekuatan dan daktilitas beton. Penambahan serat baja pada kolom beton menyebabkan peningkatan daya dukung dan mengubah cover spalling dari teknik mendadak menjadi teknik bertahap (Alkufi & Al-Sherrawi, 2018). Dilanjutkan bahwasannya Penggunaan dua atau lebih jenis serat dalam kombinasi yang sesuai berpotensi meningkatkan sifat beton secara keseluruhan dan juga menghasilkan kinerja beton. Penambahan serat baja memungkinkan kolom untuk memiliki regangan aksial puncak dan ultimat yang jauh lebih tinggi dan nilai dilatasi puncak (Tamrazyan & Alekseytsev, 2021).

Pengaruh keberadaan serat baja pada kolom beton bertulang secara bertahap telah dipelajari oleh beberapa peneliti dengan hasil sebagai berikut.

1. Penambahan serat baja pada kolom beton bertulang dapat menyebabkan peningkatan daya dukung beban puncak kolom dan peningkatan yang signifikan pada respon pasca puncak kolom.
2. Daktilitas akan meningkat ketika serat baja ditambahkan ke dalam penutup kolom beton.
3. Penambahan serat baja mempengaruhi perilaku beban-defleksi, kapasitas kekuatan ultimit, daktilitas dan kekangan kolom beton bertulang mutu tinggi yang dibebani secara eksentrik.
4. Serat baja mengurangi retakan pada permukaan kolom, terutama retakan geser, dan mencegah retakan semakin lebar selama pembebahan hingga penghancuran beton pada tekan.
5. Kelayakan serat baja sebagai pengganti tulangan melintang pada kolom beton bertulang semakin dikonfirmasi.
6. Tegangan lentur kolom beton bertulang serat lebih besar daripada kolom beton bertulang.
7. Peningkatan kekuatan dan daktilitas kolom yang diperkuat dengan serat baja hybrid disebabkan oleh fungsi serat baja makro dan mikro.
8. Fraksi volume serat baja memiliki pengaruh besar pada perilaku struktural dan mode kegagalan specimen (Limbare & Dode, 2018); (Hajirasouliha et al., 2012); (Shi et al., 2022).

KESIMPULAN

Beton merupakan salah satu material bangunan yang paling sering digunakan. Sehingga sangat penting bagi kalangan kontruksi untuk mempertimbangkan dampak lingkungan dari struktur beton bertulang ini guna mewujudkan pembangunan yang berkelanjutan. Hal ini dikarenakan efisiensi dalam menggunakan beton bertulang menjadi salah satu realita yang tidak bisa dielakkan dan menjadi salah satu faktor yang berpengaruh terhadap pembangunan berkelanjutan nanti di masa depan. Dengan kata lain salah satu peran dan tugas dari pelaku kontruksi modern saat ini adalah penggunaan sumber daya secara rasional dengan cara meningkatkan efisiensi struktur beton bertulang. Beberapa penelitian terkait efisiensi beton bertulang ini telah dilakukan, beberapa diantaranya dengan melakukan penambahan serat baja pada komposisi beton bertulang. Hasil yang diperoleh dari penambahan

serat baja pada beton bertulang ini diantaranya adalah adanya peningkatan daya dukung, peningkatan pada sifat beton bertulang secara keseluruhan, hingga pada peningkatan kinerja beton bertulang yang dihasilkan. Tidak hanya itu, serat baja juga bisa mengurangi retakan pada kolom beton bertulang dan jika dilihat dari sisi kelayakannya serat baja bisa digunakan sebagai pengganti datu tulangan melintang pada strukstur kolom beton bertulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal. (2016). Metode Penelitian Kualitatif: Sebuah Upaya Mendukung Penggunaan Penelitian Kualitatif Dalam Berbagai Disiplin Ilmu. PT. Raja Grafindo Persada.
- Al-Ayish, N. (2017). Environmental Impact of Concrete Structures - with Focus on Durability and Resource Efficiency. In Thesis. KTH Royal Institute of Technology.
- Aljazaeri, Z. R., Al-Qabbani, H. K., & Al-Hadithy, L. K. (2022). Efficient use of steel fiber in high-strength reinforced concrete columns. International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration, 9(88), 286–298. <https://doi.org/10.19101/IJATEE.2021.875201>
- Alkufti, H. A., & Al-Sherrawi, M. H. (2018). Efficiency of Steel Fiber on Carrying Capacity of Short Square Columns. Civil Engineering Journal, 4(7), 1584. <https://doi.org/10.28991/cej-0309197>
- Arikunto, S. (2010). Prosedur Penelitian (Suatu Pendekatan Praktik). Rineka Cipta.
- Baarimah, A. O., Maszura, S., & Mohsin, S. (2016). An Overview of Using Steel Fibers in Reinforced Concrete Structural Elements to Improve Shear Reinforcement. The National Conference for Postgraduate Research 2016, 260–265.
- D'Amico, B., Pomponi, F., & Hart, J. (2021). Global potential for material substitution in building construction: The case of cross laminated timber. Journal of Cleaner Production, 279. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123487>
- Ede, A. N., Olofinnade, O. M., Enyi-Abonta, E., & Bamigboye, G. O. (2017). Implications of construction materials on energy efficiency of buildings in tropical regions. International Journal of Applied Engineering Research, 12(18), 7873–7883.
- El Basha, M. M., Hassan, T. K., Mohamed, M. N., & Elnawawy, O. A. M. (2018). Efficiency of hollow reinforced concrete encased steel tube composite beams. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(3), 720–735.
- Hajirasouliha, I., Asadi, P., & Pilakoutas, K. (2012). An efficient performance-based seismic design method for reinforced concrete frames. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 41(4), 663–679. <https://doi.org/10.1002/eqe.1150>
- Limbare, P., & Dode, P. (2018). Comparative study of Reinforced Concrete frame structure Steel-Concrete composite structure subjected to static and dynamic loading. International Journal of Engineering and Applied Sciences, 5(3), 257264.
- Mailyan, D., & Mailyan, L. (2016). Ecologically Safe and Techno Economically Efficient Reinforced Concrete Constructions of Equal Resistance. MATEC Web of Conferences, 73. <https://doi.org/10.1051/matecconf/20167304020>

- Mirmakhmutovich, M. (2022). Development of Ways to Improve the Energy Efficiency of Residential Buildings with Reinforced Concrete Tank Walls. *Journal of Pedagogical Inventions and Practices*, 8, 32–35.
- Moynihan, M. C., & Allwood, J. M. (2014). Utilization of structural steel in buildings. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 470(2168). <https://doi.org/10.1098/rspa.2014.0170>
- Ostrowski, K. A., Chastre, C., Furtak, K., & Malazdrewicz, S. (2022). Consideration of Critical Parameters for Improving the Efficiency of Concrete Structures Reinforced with FRP. *Materials*, 15(8). <https://doi.org/10.3390/ma15082774>
- Pushpakumara, B. H. J., De Silva, S., & De Silva, G. H. M. J. S. (2013). Investigation on Efficiency of Repairing and Retrofitting Methods for Chloride induced Corrosion of Reinforced Concrete Structures. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 46(4), 19. <https://doi.org/10.4038/engineer.v46i4.6807>
- Ranjitham, M., Deepika Sree, S. K., & Danyaa, M. B. (2021). Investigation of Hybrid Concrete Using Steel and Polypropylene Fibres. *Springer Proceedings in Materials*, 5(5), 89–96. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8319-3_10
- Saud Alotaibi, F. (2021). Sustainability of Reinforced Concrete Buildings: A Review Study. *EIMJ*, 1–15.
- Shadmand, M., Hedayatnasab, A., & Kohnehpooshi, O. (2020). Retrofitting of reinforced concrete beams with steel fiber reinforced composite jackets. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 33(5), 770–783. <https://doi.org/10.5829/IJE.2020.33.05B.08>
- Shi, X., Rong, X., Nan, L., Wang, L., & Zhang, J. (2022). A New Steel-Joint Precast Concrete Frame Structure : Energy Efficiency. *Buildings*, 12, 1–25. <https://doi.org/doi.org/10.3390/buildings12111974>
- Sun, C., Zhuang, M. L., & Dong, B. (2022). Experimental Evaluation of Effect Factors on Seismic Performance of Concrete Columns Reinforced with HTRB630 High-Strength Steel Bars. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s40069-022-00533-9>
- Tamrazyan, A., & Alekseytsev, A. (2021). The efficiency of varying parameters when optimizing reinforced concrete structures. *E3S Web of Conferences*, 263. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126302001>
- Voulgari, E., Zacharopoulou, A., Chousidis, N., & Batis, G. (2019). Corrosion Behavior of Reinforcement Steel Embedded in Cement Mortars Using Different Protection Systems. *Materials Sciences and Applications*, 10(06), 461–474. <https://doi.org/10.4236/msa.2019.106034>
- Yasser, Y., Parung, H., Tjaronge, M. W., & Djamiluddin, R. (2013). Studi on the Efficiency Using Nature Materials in the Structural Elements of Reinforced Concrete Beam - Neliti. *2nd International Conference on Engineering and Technology Development 2013, Ictd*, 167–178.
- Yu, X. (2011). Improving the Efficiency of Structures Using Mechanics Concepts [University of Manchester]. In Thesis. https://www.research.manchester.ac.uk/portal/files/54517086/FULL_TEXT.PDF