

EKSPERIMENTAL KEKUATAN LEKATAN PADA SAMBUNGAN GROUTING BETON – TULANGAN DENGAN UJI PULL-OUT

Kasih Jhoniper Simanjuntak^{1*}, Eka Apriliasi¹

¹Prodi Teknik Sipil, Institut Teknologi Indonesia, Jl. Puspitek, Setu, Kec. Serpong,
Kota Tangerang Selatan, Banten

*Email: kasihjhoniper@iti.ac.id

Abstrak

Konstruksi precast memberikan efisiensi waktu tinggi dibandingkan beton cor di tempat karena elemen diproduksi di pabrik dan tidak perlu proses pengeringan di lapangan. Pengurangan durasi konstruksi berdampak langsung pada penurunan biaya proyek. (Sunishtha et al., 2019). Namun, tanpa sambungan monolit pada struktur precast dapat menurunkan kinerja struktur terhadap beban gempa. Oleh karena itu, kualitas sambungan antar elemen menjadi faktor penting yang menentukan keamanan dan perilaku struktur saat terjadi gempa (Kıpçak, 2026). Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kuat lekatan sambungan grouting pada sistem sambungan tulangan precast melalui pengujian pull-out. Dua spesimen beton mutu $f'c$ 40 MPa berukuran $200 \times 200 \times 500$ mm dibuat dengan variabel jenis material grouting, yaitu ConsolGrout 700 MF dan BASF MasterFlow 810. Pada pusat spesimen dipasang pipa hollow berdiameter luar 35 mm yang berfungsi sebagai saluran grouting dan tempat penempatan tulangan D25. Setelah beton mencapai umur 28 hari, pengujian dilakukan dengan menarik tulangan menggunakan mesin hidrolik. Beban tarik dicatat menggunakan pressure gauge, sedangkan perpindahan diukur dengan dial gauge.

Hasil pengujian menunjukkan kuat lekatan sambungan grouting BASF dan Consol masing-masing sebesar 7,674 MPa dan 5,933 MPa. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan tahanan lekatan beton normal sebesar 2,5–3,8 MPa. Pola kerusakan yang terjadi berupa concrete spalling, bukan debonding, yang mengindikasikan ikatan sambungan lebih kuat daripada beton sekitarnya. Hubungan bond-slip yang diperoleh masih menunjukkan perilaku linear tanpa penurunan tegangan yang signifikan.

Kata kunci: bond-slip, sambungan precast, grouting

Abstract

Precast construction offers time savings compared to in-situ concrete, because elements are manufactured in a factory and do not require on-site curing. This reduction in construction time has a directly impact project costs (Sunishtha et al., 2019). However, the absence of monolithic joints in precast structures can reduce their performance under seismic loads. Therefore, the quality of the joints between elements is critical in determining the structure's safety and behaviour during an earthquake (Kıpçak, 2026).

This study evaluates the bond strength of grouted joints in precast reinforced concrete joint systems using pull-out testing. Two concrete specimens of strength class $f'c$ 40 MPa, measuring $200 \times 200 \times 500$ mm, were prepared using different grouting materials: ConsolGrout 700 MF and BASF MasterFlow 810. A hollow pipe with an outer diameter of 35 mm was installed at the centre of the specimen to serve as a grouting channel and to accommodate D25 reinforcement bars. Once the concrete had reached 28 days of age, testing was carried out by pulling the reinforcement using a hydraulic machine. The tensile load was recorded using a pressure gauge, whilst the displacement was measured with a dial gauge.

The test results showed bond strengths for the BASF and Consol grout joints of 7.674 MPa and 5.933 MPa, respectively. These values are higher than the bond strength of normal concrete, which ranges from 2.5 to 3.8 MPa. The failure pattern observed was concrete spalling, not debonding, indicating that the joint bond was stronger than the surrounding concrete. The bond-slip relationship obtained still exhibited linear behaviour without a significant decrease in stress.

Keywords: bond-slip, precast connection, grouting

1. PENDAHULUAN

Metode *cast in situ* merupakan metode konvensional yang sering digunakan, namun memiliki beberapa keterbatasan seperti waktu pelaksanaan yang relative lama, kebutuhan bekisting yang besar serta kesulitan dalam pengendalian mutu secara konsisten di lapangan (Samuel & Purba, 2020).

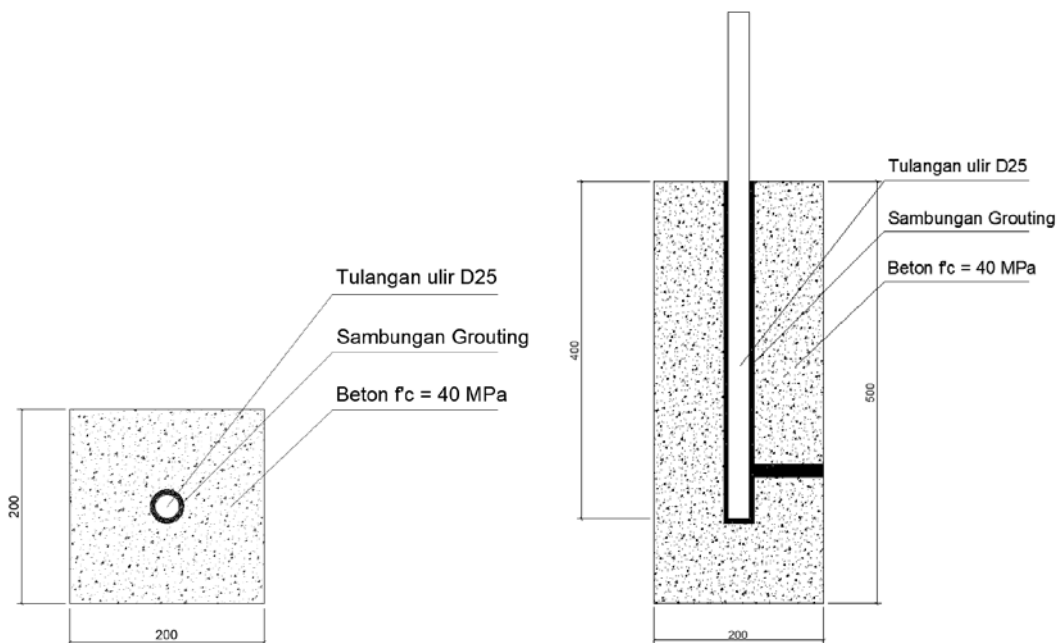
Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, metode *precast* mulai banyak diterapkan. Konstruksi *precast* menggunakan lebih sedikit tenaga kerja dibandingkan beton cor di tempat, dan karena elemen struktur telah dikeringkan di pabrik, tidak perlu dilakukan pengeringan di lapangan. Penghematan waktu selama konstruksi akan menurunkan biaya konstruksi, meningkatkan kualitas pekerjaan, mengurangi biaya pemeliharaan, dan menghindari biaya pembongkaran dan pemasangan cetakan. Biaya perbaikan yang disebabkan oleh kualitas kerja yang buruk, teknik konstruksi yang cacat, tenaga kerja yang tidak terlatih, bahan yang berkualitas rendah, dan masalah lingkungan di lokasi dapat dihindari (Sunishtha et al., 2019).

Namun, tanpa sambungan monolit pada struktur precast dapat menurunkan kinerja struktur terhadap beban gempa. Oleh karena itu, kualitas sambungan antar elemen menjadi faktor penting yang menentukan keamanan dan perilaku struktur saat terjadi gempa (Kıpçak, 2026).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Material dan Spesimen

Pada single pull-out test diuji empat benda uji yang dibagi menjadi 2 spesimen dengan variabel bahan grouting. Bahan grouting yang digunakan adalah cement-like grouting anti-shrinkage ConsolGrout 700 MF dan BASF Masterflow 810. Benda uji / spesimen merupakan beton f'_c 40 MPa dengan dimensi 200 x 200 x 500 mm yang ditengah benda uji diberikan pipa hollow OD 35 mm dibiarkan berlubang yang nantinya dimasukkan tulangan dan dialirkan grouting. Pada bagian samping benda uji diberikan lubang suntik dengan diameter 15 mm sebagai titik injeksi bahan grouting ke dalam celah tulangan. Sketsa benda uji dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Sketsa Benda Uji Pull-Out Test

2.2 Lokasi Pengujian

Lokasi pengujian dilakukan di bengkel manufaktur *pre-cast* Inti Beton, PT. Java Inti Sarana, Salakan, Trihanggo, Sleman, D.I. Yogyakarta. Spesimen, data dan alat uji digunakan untuk membantu pemilihan grouting terbaik dalam pelaksanaan konstruksi Gedung Kantor INTICON Trihanggo, Sleman, D.I. Yogyakarta.

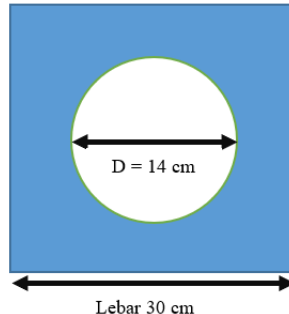
2.3 Metode Pengujian

Dua benda uji dipasang tulangan ulir diameter 25 mm, lalu setiap benda uji diinjeksi grouting sesuai dengan kode benda uji. Benda uji CONSOL diinjeksi dengan bahan grouting ConsolGrout 700 MF (*micro fibre*) sedangkan benda uji BASF injeksi dengan bahan grouting BASF Masterflow 810. Setelah injeksi penuh yang ditandai dengan bahan grouting keluar dari atas maka injeksi grouting dihentikan. Benda uji lalu disiapkan masuk ke alat uji tarik. Tulangan D25 diluar beton dilas dengan pelat tumpu lalu ditarik kebawah dengan mesin hidrolik. Hasil beban tarik dicatat dengan *pressure gauge* dan defleksi dicatat dengan *dial gauge*. Alat uji dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Uji Pull-Out dan Perletakan Spesimen

Pada bagian atas alat uji diberikan pelat tumpu sebagai penahan balok beton pada saat tulangan ditarik. Pada pelat tumpu diberikan lubang untuk jalur tulangan ditarik. Tebal dari pelat tumpu sebesar 25 mm dengan dimensi pelat yaitu 30x30 cm. Tampak atas dari alat uji disketsakan pada Gambar 3



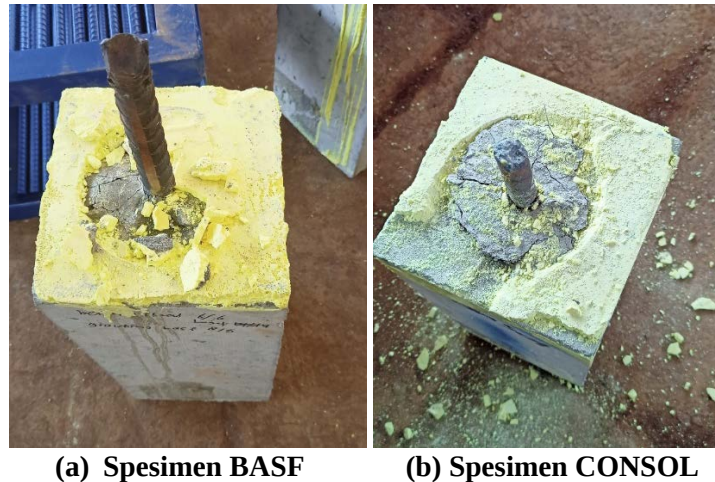
Gambar 3 Tampak Atas Pelat Tumpu Alat Uji

Hasil kerusakan dicatat dan didokumentasikan untuk mengetahui tipe kerusakan yang terjadi. Kerusakan yang diharapkan pada sambungan bukan kerusakan akibat *slip* ataupun *debonding* karena kerusakan tersebut mengindikasikan sambungan pada grouting tidak kuat dalam melekatkan beton dengan tulangan. Kerusakan yang diharapkan adalah kerusakan beton atau *concrete spalling* dimana beton akan mengalami kerusakan geser akibat tarik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penelitian

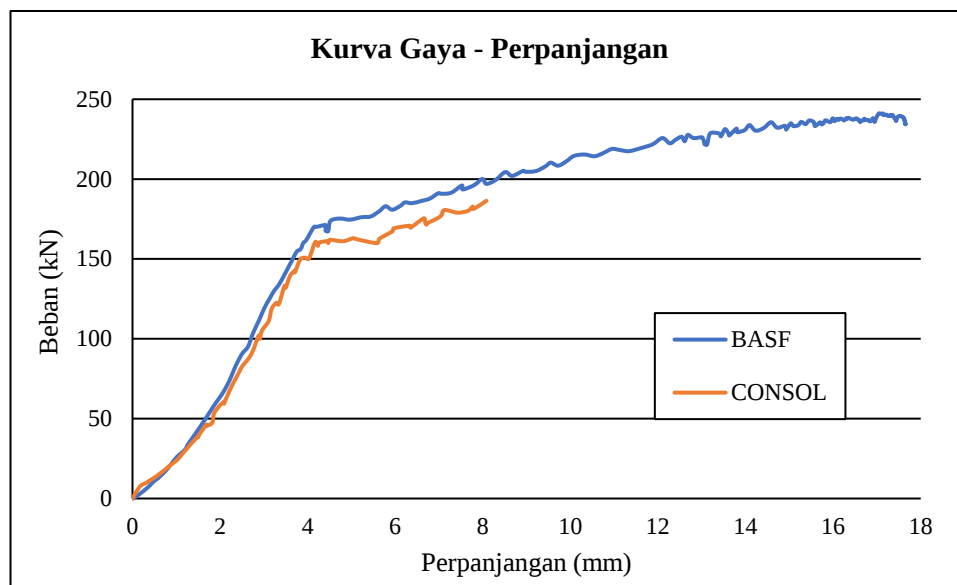
Kerusakan yang terjadi pada spesimen uji CONSOL dan spesimen uji BASF ditunjukkan kerusakan pada beton. Kerusakan beton yang terjadi adalah *concrete spalling*. Hal ini mengindikasikan dengan tebal sambungan grouting 5 mm sudah mampu untuk menghindari perilaku *debonding* pada beton – tulangan. Hasil kuat lekatan pada spesimen CONSOL adalah 5,933 MPa, dan hasil kuat lekatan pada spesimen BASF adalah 7,674 MPa. Kondisi kerusakan pada spesimen dapat dilihat pada Gambar 4.



(a) Spesimen BASF (b) Spesimen CONSOL

Gambar 4 Kerusakan *Spalling* pada Spesimen

Berdasarkan respons kurva gaya–perpanjangan ($P-\Delta$), spesimen belum menunjukkan indikasi terjadinya debonding. Kurva masih memperlihatkan perilaku yang stabil tanpa adanya penurunan kapasitas beban yang signifikan, yang mengindikasikan bahwa kegagalan ikatan berupa slip pada antarmuka sambungan belum berkembang. Beban maksimum sebelum terjadinya *spalling* dan penelitian dihentikan pada spesimen BASF adalah 239,4 kN dan pada spesimen CONSOL adalah 186,4 kN. Kurva gaya–perpanjangan ($P-\Delta$) dapat dilihat pada Gambar 5. Belum bisa disimpulkan bagaimana kapasitas ultimit dari sambungan grouting tulangan – beton dibebani tarik (*pull-out*) dikarenakan belum terlihat adanya penurunan beban yang signifikan.



Gambar 5 Kurva Gaya – Perpanjangan ($P-\Delta$) Spesimen BASF dan CONSOL

3.2 Pembahasan

Kegagalan pada uji *pull-out* dapat berupa *concrete spalling* dan *debonding failure*. Perilaku *bond-slip* pada spesimen yang mengalami kerusakan *debonding* menyebabkan adanya kehilangan tegangan akibat slip yang ditunjukkan dengan penurunan tegangan lekatan. Spesimen yang mengalami kerusakan *splitting* tidak menunjukkan degradasi tegangan melainkan kegagalan secara tiba-tiba setelah tegangan puncaknya (Chao et al., 2025).

Tegangan dari material adhesif pada uji *pull-out* dapat dihitung berdasarkan tegangan yang terjadi pada luasan tulangan yang tertanam pada beton atau grouting (l_a) (Zhao et al., 2012). Tegangan lekatan dihitung dengan Persamaan 1.

$$\tau_u = \frac{F_u}{\pi d l_a} \quad (1)$$

Dengan:

τ_u = kuat lekatan (MPa)

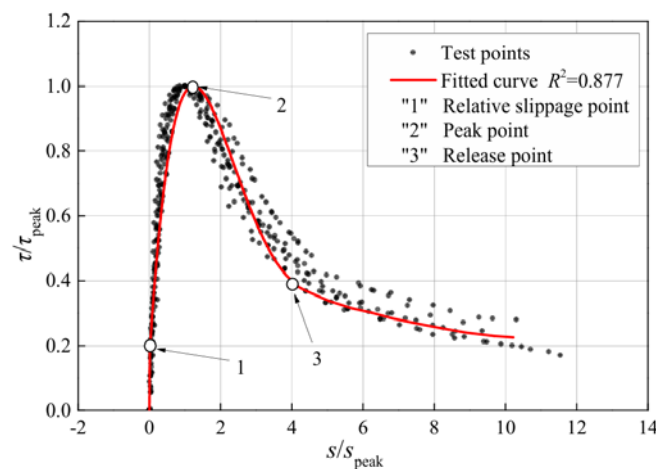
F_u = Beban ultimit

d = diameter tulangan

l_a = panjang lekatan pada beton

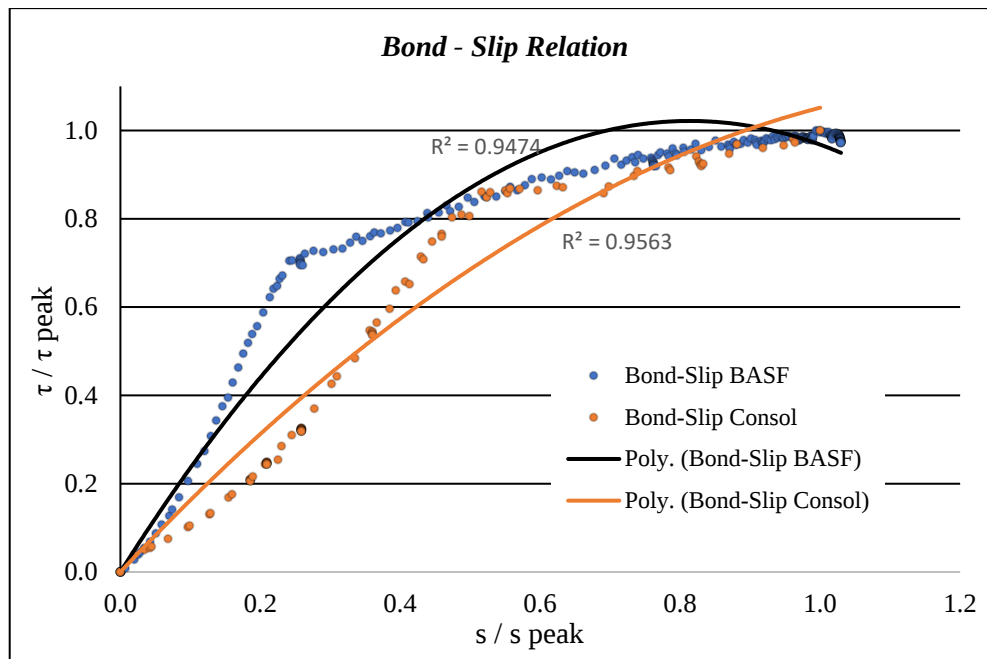
Dari persamaan (1) dengan $d = 25$ mm dan $l_a = 400$ mm didapatkan hasil kuat lekatan spesimen BASF adalah sebesar 7,674 MPa dan hasil kuat lekatan spesimen CONSOL adalah sebesar 5,933 MPa. Berdasarkan penelitian (Eligehausen et al., 1983) rerata kuat lekatan untuk sambungan monolit beton – tulangan ulir adalah $0,4 - 0,6 \sqrt{f'c}$ sehingga didapatkan untuk mutu beton $f'c = 40$ MPa yaitu 2,5 – 3,8 MPa, dapat disimpulkan sambungan grouting dapat dianggap monolit dan melebihi kekuatan lekatan beton yang dicor bersamaan dengan tulangan.

Kurva *bond-slip relation* dihubungkan dengan dengan normalisasi data yaitu dengan membagi tegangan geser aktual terhadap tegangan geser maksimum pada sumbu-y serta membagi nilai slip aktual terhadap slip pada saat tercapainya tegangan maksimum pada sumbu-x. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih objektif terhadap karakteristik dan perkembangan mekanisme lekatan pada hasil uji spesimen (Chao et al., 2025). Grafik umum hubungan tegangan lekatan dengan slip (*bond-slip relation*) dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva Hubungan Bond-Slip (Chao et al., 2025)

Perbandingan perilaku lekatan antara spesimen BASF dan CONSOL dilakukan melalui normalisasi data. Pendekatan ini memungkinkan evaluasi yang lebih objektif terhadap karakteristik dan perkembangan mekanisme lekatan pada kedua spesimen. Hasil kurva tegangan lekatan-slip pada spesimen BASF maupun CONSOL masih berada pada tahap respons linier-elastis. Hingga akhir pengujian, belum teramati penurunan tegangan lekatan yang mengindikasikan terjadinya kerusakan antarmuka (debonding) atau kegagalan lekatan. Kondisi plastis tidak terlihat dikarenakan kegagalan ini prematur, kapasitas tarik alat tidak cukup untuk melewati keadaan elastis lekatan sambungan. Luas tahanan lekatan beton disekitar sambungan membesar disebabkan oleh diameter lubang pelat tumpu yang besar sehingga menyebabkan kapasitas tarik lokal sambungan meningkat. Kurva hubungan antara tegangan lekatan ternormalisasi dan slip ternormalisasi ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7 Kurva Bond-Slip Relation

4. KESIMPULAN

- Hasil penelitian menunjukkan kuat lekatan (bond strength) pada sambungan grouting BASF dan CONSOL masing masing 5,933 MPa dan 7,674 MPa dengan tebal sambungan yaitu 5 mm sudah lebih kuat dibandingkan tahanan lekatan beton yaitu 2,5 – 3,8 MPa. Hal ini juga ditunjukkan dengan kerusakan pada spesimen yaitu kerusakan concrete spalling bukan kerusakan debonding. Bond-slip relation yang didapatkan mengindikasikan kuat lekatan masih dalam keadaan linear atau belum menunjukkan penurunan tegangan (tahap debonding)
- Konfigurasi pelat tumpu yang digunakan diduga turut memengaruhi mekanisme keruntuhan yang terjadi. Diameter lubang pelat tumpu yang relatif besar menyebabkan area beton yang tertahan di sekitar tulangan menjadi lebih luas, sehingga kapasitas beton dalam menahan gaya tarik lokal meningkat. Kondisi tersebut dapat menggeser mode kegagalan dari bond-slip menuju kerusakan beton berupa concrete spalling atau splitting. Oleh karena itu, apabila penelitian selanjutnya ditujukan untuk mengamati perilaku bond-slip secara lebih dominan, diameter lubang pelat tumpu disarankan untuk diperkecil hingga mendekati diameter tulangan yang digunakan. Dengan demikian, pengaruh penahanan beton oleh pelat tumpu dapat diminimalkan sehingga mekanisme slip antara tulangan dan beton dapat diamati secara lebih representatif

DAFTAR PUSTAKA

- Chao, S., Li, C., Dong, J., & Lu, Z. (2025). Towards Selecting an Optimal Bonding Test Method for Rebar–Concrete: Comparison Between Pull-Out Test and Full-Beam Test. *Buildings*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/buildings15132375>
- Eligehausen, R., Popov, E., & Bertero, V. V. (1983). *Local Bond Stress-Slip Relationships of Deformed Bars Under Generalized Excitations : Test and Analytical Model*.

- Kıpçak, F. (2026). Numerical Evaluation of The Bending Performance of Precast Beam-Column Connections. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, (Advanced Online Publication). <https://doi.org/10.65206/pajes.1871118>
- Samuel, A., & Purba, E. (2020). Comparison Analysis Of Cost And Time In Situ Concrete Implementation Method With Pre Cast. In *Jurnal Mekintek* (Vol. 11, Number 2). www.ejournal.isha.or.id/index.php/Mekintek
- Sunishtha, Gupta, H., & Sond, P. S. (2019). A Review Paper on Comparative Delta Analysis of Structural Quantities for Different Construction Systems. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(4), 97–99.
- Zhao, S., Ding, X., & Liu, S. (2012). Numerical simulation of bond properties of steel bars in concrete with machine-made sand. *Applied Mechanics and Materials*, 238, 176–180. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.238.176>