

ANALISIS NUMERIK MODULUS ELASTISITAS BETON GRADASI

M. Mirza Abdillah Pratama

Abstrak: Beton gradasi merupakan material konstruksi yang tergolong baru yang dapat mereduksi penggunaan semen untuk menciptakan elemen struktur bangunan yang berperforma tinggi. Beton gradasi dibentuk dengan menggabungkan dua jenis campuran beton atau lebih yang memiliki mutu yang berbeda sehingga diperoleh elemen bangunan yang memiliki properties material yang bervariasi pada setiap ketinggiannya. Hasil penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa kuat tekan beton gradasi ditentukan oleh beton yang memiliki kekuatan terendah, sementara studi terkait modulus elastisitas beton gradasi belum dilaksanakan lebih lanjut. Model uji terdiri atas enam jenis beton gradasi yang menggabungkan mutu 24.7 – 30 MPa; 24.7 – 40 MPa; 24.7 – 50 MPa; 24.7 – 57.2 MPa; 24.7 – 60 MPa; dan 24.7 – 70 MPa. Model kontrol merupakan model beton normal dengan mutu seragam 24.7 MPa. Hasil analisis program berupa data beban – deformasi untuk mendapatkan modulus elastisitas beton dari masing-masing model. Hasil analisis menunjukkan bahwa beton gradasi dapat meningkatkan modulus elastisitas beton. Nilai modulus elastisitas tersebut dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menggabungkan dua mutu beton dengan selisih kuat tekan yang drastis. Pengaplikasian beton gradasi ini dapat meningkatkan tingkat layan elemen struktur bangunan karena semakin tinggi modulus elastisitas beton maka semakin rendah nilai defleksi yang dihasilkan.

Kata-kata kunci: Beton gradasi; Tegangan-regangan beton; Modulus elastisitas.

Abstract: Graded concrete is a relatively new construction material that could possibly optimise the use of cement as binding agent in concrete without sacrificing the structural performance significantly. The concept of graded concrete is by combining two different concrete mixes of more with specific compaction method to diminish the transition joint so that a material with functionally properties grading achieved. Previous researches show that the strength of graded concrete is determined by the lowest concrete strength, but the study focussing on the resulting elastic modulus has not been conducted intensively. The numerical analysis is robust in predicting the behaviour of testing material so it is possible to conduct a modelling of graded concrete, especially to study the modulus of elasticity of the graded concrete using finite element analysis programme. Six models of cylindrical graded concrete with different variation of concrete strength disparity is studied in this research, which are 24.7 – 30 MPa; 24.7 – 40 MPa; 24.7 – 50 MPa; 24.7 – 57.2 MPa; 24.7 – 60 MPa; and 24.7 – 70 MPa. The findings are then compared to the testing result of normal concrete 24.7 MPa. The load – deformation relationship from the simulation result is then analysed to obtain the modulus of elasticity. The research found that the modulus of elasticity of concrete material could be increased by adopting the concept of graded concrete. The application of graded concrete also could improve the level of serviceability of structures.

Keywords: Graded concrete. Concrete stress-strain, Modulus of elasticity

PENDAHULUAN

Modulus elastisitas merupakan salah satu karakteristik material yang menjadi tolok ukur material tersebut dalam menahan deformasi elastis akibat beban kerja (Nemati, 2015; Yoshitake et al., 2012). Modulus elastisitas dapat diperoleh dengan membandingkan besarnya tegangan terhadap regangan material pada kondisi elastis. Pada material beton, tegangan elastis beton diasumsikan setara dengan 30% beban puncak. Pada kondisi ini, beton dianggap masih berperilaku linier dan belum mengalami retak yang menyebabkan penurunan kekakuan material. Besarnya modulus elastisitas material berkaitan erat dengan kekakuan struktur yang dihasilkan (Pratama et al., 2018a; Pratama et al., 2017). Pada analisis lebih lanjut, kekakuan struktur berhubungan dengan besarnya defleksi yang ditimbulkan oleh elemen. Semakin tinggi modulus elastisitas material, maka semakin besar kekakuan struktur yang dihasilkan sehingga defleksi yang dihasilkan akan semakin kecil (Pratama et al., 2018b).

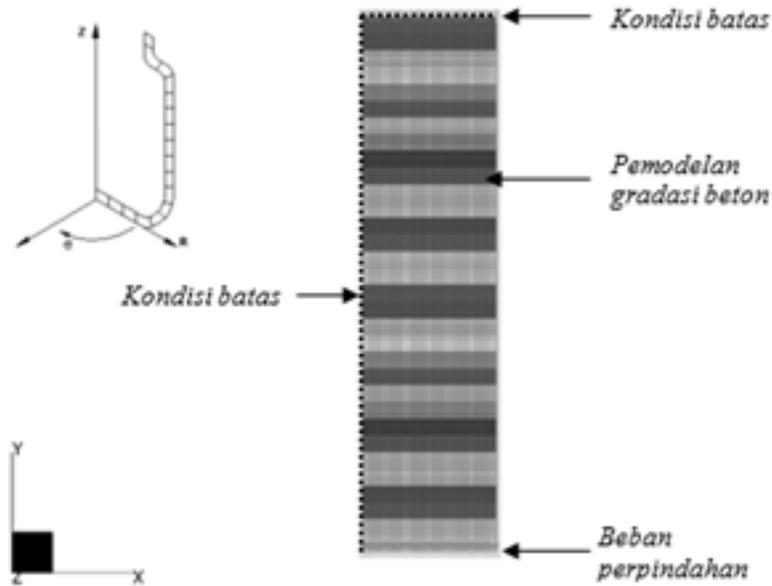
Hasil riset eksperimental sebelumnya menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton dapat ditingkatkan dengan menerapkan skenario gradasi mutu beton pada elemen beton bertulang yang dirancang. Pengujian eksperimental sederhana pada silinder beton menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton gradasi setara dengan yang dihasilkan oleh beton mutu tinggi, namun dengan penggunaan material yang lebih hemat (Han et al., 2016; Gan et al., 2015). Penggunaan beton gradasi pada elemen struktur diprediksi dapat menghemat penggunaan semen hingga 50 persen sehingga biaya konstruksi lebih optimum (Aylie et al., 2015).

Riset eksperimental lebih lanjut dengan variasi selisih kuat tekan beton diperlukan untuk memvalidasi temuan sebelumnya, sementara

pengujian eksperimental tersebut memerlukan alokasi anggaran yang cukup besar. Pada penelitian ini, investigasi terkait efek kesenjangan mutu beton pada beton gradasi terhadap modulus elastisitas dilakukan secara numerik menggunakan program analisis elemen hingga.

METODE

Pemodelan dan analisis numerik dalam penelitian ini menggunakan program Strand7. Program ini memfasilitasi analisis non-linear sehingga sangat sesuai untuk memodelkan material beton. Model yang dianalisis terdiri atas dua kelompok, yaitu model uji dan model kontrol. Model uji terdiri atas enam jenis beton gradasi yang menggabungkan mutu 24.7 – 30 MPa; 24.7 – 40 MPa; 24.7 – 50 MPa; 24.7 – 57.2 MPa; 24.7 – 60 MPa; dan 24.7 – 70 MPa. Model kontrol merupakan model beton normal dengan mutu seragam 24.7 MPa. Seluruh model tersebut berbentuk silinder untuk kemudian dimodelkan dengan pendekatan axisymmetric untuk mereduksi derajat kebebasan yang timbul. Pemodelan axisymmetric memungkinkan spesimen berbentuk sirkular untuk dimodelkan secara 2-dimensi dengan kondisi batas yang telah disesuaikan sehingga diperoleh model yang representative terhadap kondisi saat pengujian. Silinder beton diuji secara uniaksial tekan untuk memperoleh data hubungan tegangan dan regangan material. Pembebanan model dilakukan dengan memberikan beban perpindahan pada barisan nodal bagian atas sebesar 1 mm ke arah bawah (Y-) sedangkan nodal sisi atas diberikan kondisi batas sehingga memungkinkan nodal tersebut dapat bergerak secara horizontal (Crisfield, 1983). Nodal-nodal bagian dalam diberikan constraint yang memungkinkan nodal bergerak secara vertical akibat pembebanan uniaksial. Data hubungan tegangan – regangan beton dibuat sesuai dengan rekomendasi CEB – FIB Model Code 2010. Pemodelan beton gradasi ditunjukkan pada Gambar 1.

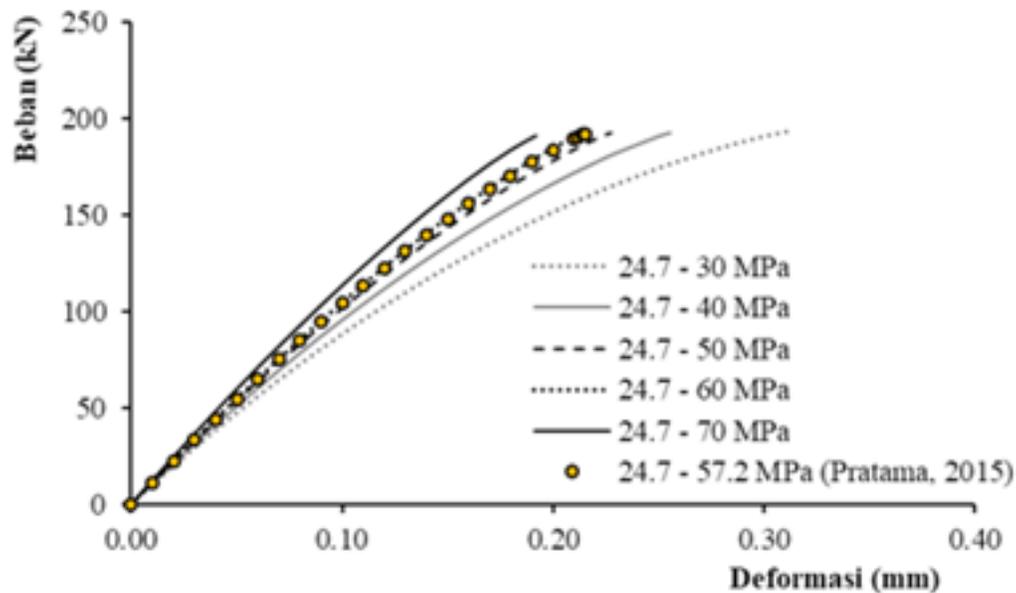


Gambar 1. Pemodelan spesimen uji beton gradasi menggunakan Strand7

HASIL

Hasil analisis program berupa bacaan gaya yang bekerja pada nodal dijumlahkan untuk memperoleh total beban ekuivalen yang bekerja pada tiap perpindahan yang diberikan. Perpindahan dapat diperoleh dari salah satu nodal yang terletak pada serat terluar ujung

bebas. Total beban yang bekerja pada tiap perpindahan dapat ditunjukkan dalam sebuah grafik yang menghubungkan beban terhadap deformasi spesimen (Gambar 2). Gambar 2 menunjukkan bahwa kurva beban – deformasi beton 24.7 – 70 MPa memiliki kemiringan yang lebih tegak dibandingkan 24.7 – 30 MPa.

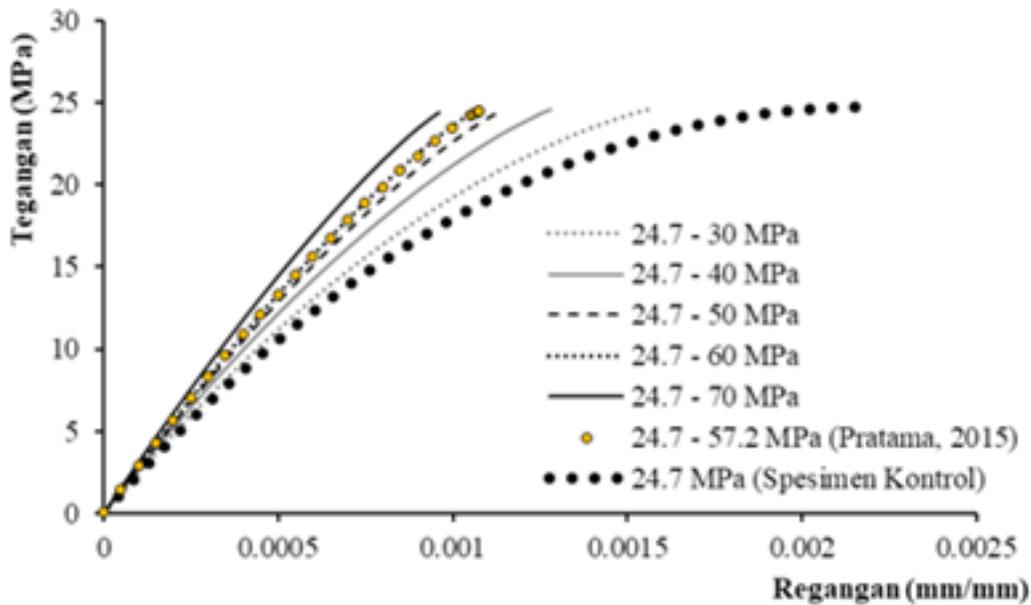


Gambar 2. Hubungan beban dan perpindahan

Data pengujian berupa grafik beban – perpindahan (Gambar 2) dianalisis lebih lanjut menjadi grafik hubungan tegangan – regangan beton sehingga modulus elastisitas beton dan pengaruh rasio kuat tekan beton yang digunakan pada beton gradasi terhadap rasio modulus elastisitas yang dicapai dapat diperoleh.

Tegangan beton dapat dianalisis dengan membandingkan setiap kenaikan beban terhadap luasan spesimen silinder beton yang dimodelkan. Regangan diperoleh dengan membandingkan deformasi spesimen pada setiap kenaikan beban. Titik-titik data selanjutnya dihubungkan untuk memperoleh grafik hubungan tegangan – regangan beton (Gambar 3).

beton normal memiliki grafik yang paling rebah, spesimen ini memiliki regangan puncak paling besar dibandingkan dengan yang lain; mencapai 0.0022. Beton gradasi 24.7 – 70 MPa memiliki regangan puncak 0.0009. Berdasarkan hasil analisis tersebut, beton gradasi dengan selisih kuat tekan yang signifikan dapat mengubah perilaku material dari kondisi daktail menjadi lebih getas. Perubahan perilaku material tersebut bersamaan dengan peningkatan modulus elastisitas apabila beton mutu rendah digabungkan dengan beton mutu tinggi dalam sistem beton gradasi.



Gambar 3. Hubungan tegangan dan regangan beton gradasi

Gambar 3 menunjukkan bahwa kurva tegangan – regangan model yang diuji memiliki gradien yang berbeda untuk tiap jenisnya. Beton control 24.7 MPa memiliki gradien yang paling rendah dibandingkan beton gradasi 24.7 – 70 MPa. Walaupun demikian, keseluruhan benda uji memiliki capaian kuat tekan yang cenderung seragam, dengan nilai regangan puncak yang bervariasi. Karena

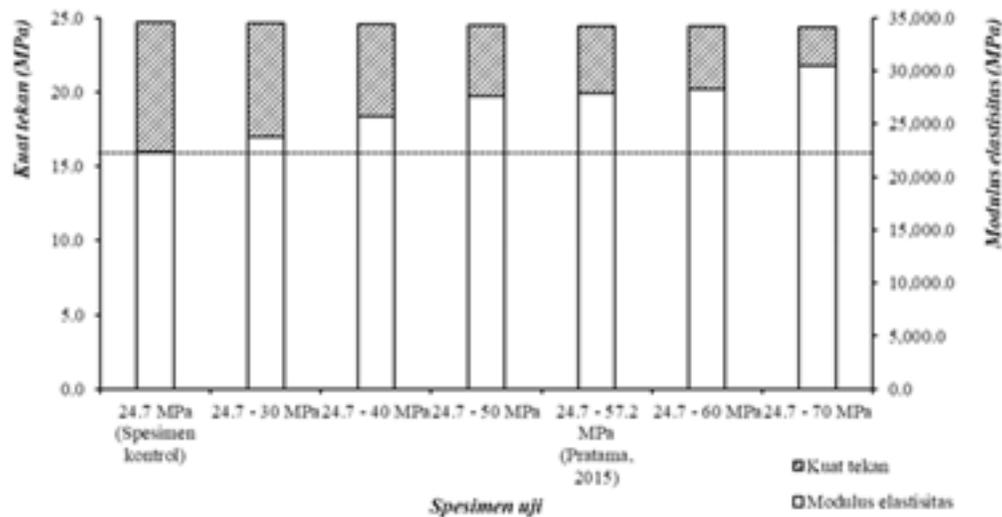
Analisis modulus elastisitas beton dalam penelitian ini dilakukan dengan menghitung secant modulus setiap model yang diuji. Perhitungan modulus elastisitas tersebut dilakukan pada saat 30% beban puncak atau setara dengan 7 MPa. Bacaan regangan saat level tegangan 7 MPa pada 24.7 MPa; 24.7 – 30 MPa; 24.7 – 40 MPa; 24.7 – 50 MPa; 24.7 – 57.2 MPa; 24.7 – 60 MPa; dan 24.7 – 70 MPa ber-

turut-turut adalah 0.00031; 0.00029; 0.00027; 0.00026; 0.00025; 0.00025; dan 0.00023; sehingga modulus elastisitas yang dihasilkan berturut-turut adalah 22,317.7 MPa; 23,745.7 MPa; 25,729.3 MPa; 27,605.2 MPa; 27,197.0 MPa; 27,983.1 MPa; dan 30,500.2 MPa. Hasil menunjukkan bahwa modulus elastisitas beton meningkat dengan menerapkan prinsip gradasi mutu pada spesimen. Peningkatan modulus elastisitas secara drastic diperoleh dari beton gradasi yang disusun dengan campuran beton yang memiliki selisih mutu yang signifikan. Rekapitulasi hasil analisis pada setiap jenis spesimen yang diuji dapat dilihat pada Tabel 1.

Interaksi antara selisih mutu beton pada spesimen beton gradasi terhadap capaian kuat tekan dan modulus elastisitas ditunjukkan pada Gambar 4. Data menunjukkan bahwa penggunaan selisih kuat tekan yang drastic pada beton gradasi dapat menghasilkan beton dengan modulus elastisitas yang meningkat hingga 37% dibandingkan beton normal. Apabila beton gradasi ini diterapkan pada elemen struktur bangunan, defleksi yang terjadi dapat berkurang sehingga tingkat layan struktur dapat meningkat. Hal ini mengingat bahwa modulus elastisitas beton merupakan salah satu parameter yang menentukan besarnya lendutan pada suatu elemen.

Tabel 1. Rekapitulasi capaian kuat tekan dan modulus elastisitas beton gradasi

Spesimen Uji	Mutu rendah (MPa)	Mutu tinggi (MPa)	Kuat tekan aktual (MPa)	Modulus elastisitas (MPa)
24.7 Mpa (Spesimen kontrol)	24.7	24.7	24.7	22,317.70
24.7 - 30 MPa	24.7	30	24.6	23,745.70
24.7 - 40 MPa	24.7	40	24.5	25,729.30
24.7 - 50 MPa	24.7	50	24.5	27,605.20
24.7 - 57.2 Mpa (Pratama, 2015)	24.7	57.2	24.5	27,197.00
24.7 - 60 MPa	24.7	60	24.4	27,983.10
24.7 - 70 MPa	24.7	70	24.4	30,500.20



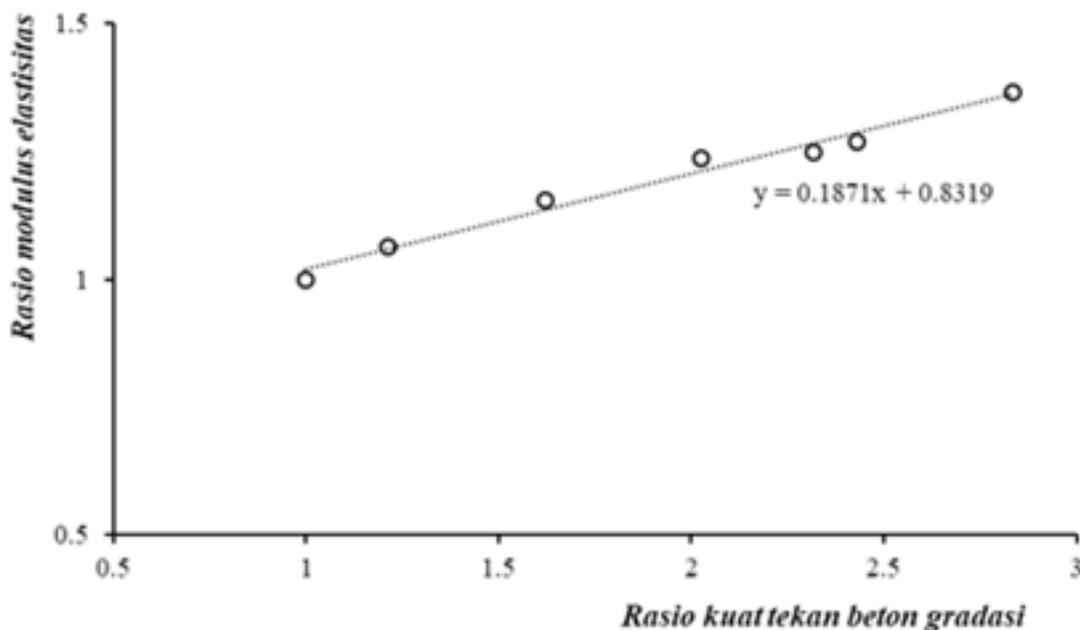
Gambar 4. Kuat tekan dan modulus elastisitas beton gradasi

Peningkatan selisih kuat tekan beton gradasi dapat meningkatkan modulus elastisitas beton yang dicapai (Gambar 5). Penggunaan beton dengan selisih mutu hingga tiga kali lipat dapat meningkatkan modulus elastisitas hingga satu setengah kali lipat dibanding beton normal. Beton gradasi ini dinilai sangat menguntungkan karena tingkat layan struktur dapat meningkat dengan penggunaan semen yang lebih minimum.

tas, karena regangan puncak beton berkurang.

DAFTAR RUJUKAN

- Nemati KM. Relationship between the compressive strength and modulus of elasticity of high-strength concrete. CBM-CI Int Work. 2015;
- Yoshitake I, Rajabipour F, Mimura Y, Scanlon A. A prediction method of Tensile young's modulus of concrete at early age. Adv Civ Eng. 2012



Gambar 5. Hubungan rasio kuat tekan terhadap capaian rasio modulus elastisitas beton gradasi

SIMPULAN

Hasil penelitian secara numeris menunjukkan bahwa penggunaan beton gradasi dapat meningkatkan capaian modulus elastisitas beton secara signifikan namun dengan menggunakan beton mutu tinggi yang minimum. Peningkatan modulus elastisitas tersebut dapat mencapai satu setengah kali lipat dengan memanfaatkan beton dengan selisih kuat tekan tiga kali. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa beton gradasi dengan selisih mutu beton yang drastic dapat mengubah kegagalan elemen dari kondisi daktail menjadi lebih ge-

- Pratama MMA, Umniati BS, Arumsari Mu tiara Wulandari B, Han AL, Sthenly Gan B, Zhabrinna Z. Modulus elasticity of the graded concrete, a preliminary re search. Hajek P, Han AL, Kristiawan S, Chan WT, Ismail M b., Gan BS, et al., editors. MATEC Web Conf [Internet]. 2018 Aug 22;195:01005. Available from: <https://www.matec-conferences.org/10.1051/matecconf/201819501005>
- Pratama MMA, Aylie H, Gan BS, Um niati BS, Risdanareni P, Fauziyah S. Ef fect of concrete strength gradation to the

- compressive strength of graded concrete, a numerical approach. In: AIP Conference Proceedings [Internet]. 2017. p. 020029. Available from: <http://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.5003512>
- Pratama MMA, Umniati BS, Prasiwi G, Han AL, Sthenly Gan B, Risdanareni P, et al. Effect of monotonic lateral load on the performance of reinforced graded concrete column, an experimental study. Hajek P, Han AL, Kristiawan S, Chan WT, Ismail M b., Gan BS, et al., editors. MATEC Web Conf [Internet]. 2018 Aug 22;195:02022. Available from: <https://www.matec-conferences.org/10.1051/mateconf/201819502022>
- Han A, Gan BS, Pratama MMA. Effects of Graded Concrete on Compressive Strengths. Int J Technol [Internet]. 2016 Jul 28;7(5):732. Available from: <http://www.ijtech.eng.ui.ac.id/index.php/journal/article/view/3449>
- Gan BS, Aylie H, Pratama MMA. The Behavior of Graded Concrete, an Experimental Study. Procedia Eng [Internet]. 2015;125:885–91. Available from: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877705815033937>
- Aylie H, Gan BS, As'ad S, Pratama MMA. Parametric Study of the Load Carrying Capacity of Functionally Graded Concrete of Flexural Members. Int J Eng Technol Innov [Internet]. 2015;5(4):233–41. Available from: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84957600233&partnerID=MN8TOARS>
- Crisfield MA. An arc-length method including line searches and accelerations. Int J Numer Methods Eng. 1983;19(9):1269–89.

