

## Pengaruh Variasi Faktor Air Semen Terhadap Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Abu Cangkang

Amir Mukhlis<sup>1</sup>, Agustiar<sup>2</sup>, Giovani<sup>3</sup>, Nazaruddin<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Iskandarmuda Kota Banda Aceh, 23234, Indonesia

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Aceh Kota Banda Aceh, 23245, Indonesia

<sup>3</sup>Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknik Iskandar Thani Kota Banda Aceh, 23116, Indonesia

<sup>4</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Iskandarmuda Kota Banda Aceh, 23234, Indonesia

Email: [amirmukhlis@hotmail.com](mailto:amirmukhlis@hotmail.com)<sup>1</sup>, [nazar@unida-aceh.ac.id](mailto:nazar@unida-aceh.ac.id)<sup>4</sup>

### Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi karena masih sedikitnya pemanfaatan cangkang sisa dari bagian tubuh hewan tiram daging, selama ini bagian tubuh hewan lunak tersebut yang digunakan adalah dagingnya. Untuk itu, dalam penelitian ini mencoba menggunakan bahan cangkang pada hewan tiram dalam bentuk abu sebagai bahan tambahan dalam pembuatan beton. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh persamaan regresi dari faktor air semen (FAS) terhadap kuat tekan beton yang menggunakan abu cangkang, cangkang yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang tiram daging (*ostreidae*) dalam bentuk abu, diuji pada umur 28 hari dengan 4 variasi persentase penggunaan abu cangkang dan 3 faktor air semen. Dari masing-masing variasi persentase abu cangkang yang digunakan pada campuran beton, diperoleh bahwa dengan perubahan faktor air semen (FAS) menghasilkan hubungan terhadap kuat tekan dengan hubungan terkuat berupa persamaan regresi polinomial orde 2. Pada penggunaan 0% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -89x^2 + 60x + 15,32$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 5% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -405,5x^2 + 373,65x + 58,76$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 10% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -118x^2 + 92x + 6,94$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 15% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -110x^2 + 78,5x + 8,29$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Hal ini ditunjukkan bahwa pada setiap persentase yang digunakan, kuatnya hubungan ini menghasilkan nilai  $r^2$  sebesar 1,0000. Dengan eratnya hubungan ini maka pada setiap plot titik koordinat antara variabel bebas, yaitu faktor air semen menghasilkan pengaruh terhadap kuat tekan beton yang erat. Berdasarkan pada hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagian besar persamaan yang paling mendekati model persamaan adalah pada persamaan analisis regresi polinomial orde 2.

**Kata kunci :** Abu, cangkang, kuat tekan, FAS

### 1. Pendahuluan

Saat ini cangkang merupakan salah satu material sisa dari bagian tubuh hewan, dalam hal ini cangkang kerang atau tiram. Pada umumnya, material cangkang berasal dari hewan yang bertubuh lunak yang ditopang dengan cangkang. Salah satu cangkang yang dihasilkan dari hewan adalah cangkang dari tiram daging. Tiram daging di Aceh saat ini

merupakan salah satu komoditi yang berasal dari sektor perikanan. Hewan tiram daging yang disebut dengan istilah lokal sebagai *tiron* dibudidayakan oleh masyarakat dengan memanfaatkan dagingnya. Walaupun daging dimanfaatkan sebagai bahan makanan, namun hingga saat ini cangkangnya tidak dimanfaatkan secara penuh sehingga dapat memberikan dampak buruk bagi lingkungan, sementara itu bahan cangkang secara mekanik memiliki kekerasan yang cukup tinggi.

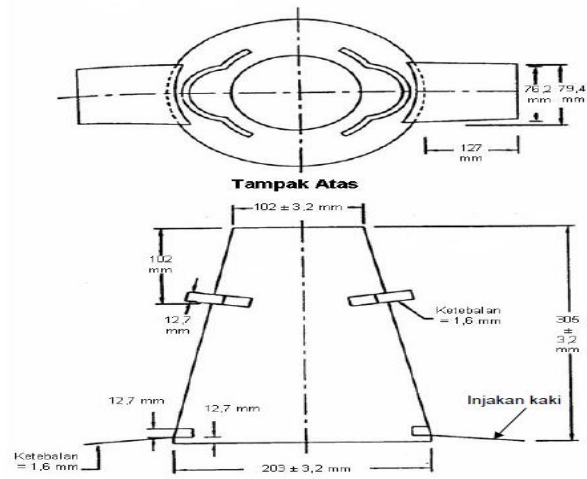
Dengan sifatnya yang cukup keras ini, maka dicoba memanfaatkan bahan cangkang dalam pembuatan beton. Hal ini dilaksanakan untuk mengatasi masalah lingkungan dan mencoba memanfaatkan material cangkang kerang. Untuk benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah beton dengan 3 variasi faktor air semen dan variasi jumlah penggunaan abu cangkang dalam bentuk persentase. Pada pembuatan benda uji, akan dilakukan uji kelecakan beton dengan melakukan tes *slump*. Kemudian, beton dirawat hingga berumur pengujian yang direncanakan, pada umur 28 hari. Beton dilakukan uji tekan dan hasilnya digunakan dalam analisis regresi dengan persamaan antara variabel independen persentase jumlah abu cangkang yang digunakan dan variabel dependen kuat tekan beton.

Bahan beton merupakan material yang memiliki komposisi semen, air, agregat halus, agregat kasar, dan bahan tambahan yang diperlukan bila ada. Secara umum, beton memiliki berat jenis  $2.200 \text{ kg/m}^3$  sampai dengan  $2.500 \text{ kg/m}^3$  (Syarif, dkk., 2016). Beton menggunakan agregat alam yang diperoleh dengan proses pemecahan secara alami atau buatan, atau dalam keadaan utuh (Silas, dkk., 2012). Agregat alami diperoleh dari alam seperti dari daerah pegunungan atau dari aliran sungai.

Beton dibentuk dari bahan pengikat dan bahan agregatnya. Umumnya bahan pengikat yang digunakan adalah bahan semen. Selain semen, bahan pengikat yang digunakan adalah abu terbang dan kapur. Semen adalah material pembentuk beton yang berfungsi pengikat pada agregat sehingga bahan beton menjadi massa yang padat (Riyanto, 2015). Salah satu semen yang digunakan pada pembuatan beton adalah semen portland. Berdasarkan jenisnya, semen terdiri dari semen jenis I, semen jenis II, semen jenis III, semen jenis IV, dan semen jenis V (BSN, 2004).

Bahan pengisi beton terdiri dari agregat halus dan agregat kasar. Sebagian agregat halus yang digunakan adalah material pasir. Untuk agregat kasar yang sebagian besar digunakan adalah kerikil. Agregat halus yang digunakan pada beton berupa pasir alam dengan ukuran maksimum 5 mm. Pasir dibentuk dari disintegrasi batuan secara alami atau dari pemecahan batu secara buatan (Riyanto, 2015). Agregat kasar yang digunakan pada beton berupa kerikil dengan ukuran butir antara 5 mm sampai dengan 40 mm. Kerikil dibentuk dari hasil proses disintegrasi batuan secara alami atau melalui proses pemecahan batu dari mesin pemecah batu atau *stone crusher* (Riyanto, 2015).

Untuk mengetahui kelecakan beton, perlu dilakukan uji *slump*. Pengujian dilakukan dengan memasukkan beton segar ke dalam cetakan tertentu. Cetakan ini berbentuk kerucut yang terpotong dengan diameter bawah berukuran 20,3 cm dan diameter atas 10,2 cm. Tinggi kerucut adalah 30,5 mm (BSN, 2008). Di bagian bawah cetakan terdapat injakan kaki dan pada bagian atasnya terdapat pegangan. Cetakan kerucut Abram dapat dilihat pada gambar 1.



**Gambar 1.** Cetakan untuk uji *slump*  
Sumber: BSN (2008)

Setelah dilakukan pengecoran pada material beton ke cetakannya, maka beton perlu dilakukan perawatan. Perawatan pada benda uji dilakukan dalam keadaan lembap pada temperatur  $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$  dengan temperatur ruang (BSN, 2011) sejak dari pencetakan hingga pengujian. Selama 48 jam pertama, lingkungan yang digunakan untuk perawatan harus bebas dari getaran (BSN, 2011).

Kuat tekan pada beton adalah salah satu dari kinerja utama pada beton (Angraini, 2008). Kuat tekan ini merupakan kemampuan beton dalam menahan gaya tekan pada tiap satuan luas. Pada saat menerima beban tekan, bagian dalam beton memiliki tegangan tarik yang kecil, namun diabaikan sehingga diasumsikan semua tegangan tekan ditahan oleh beton. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh berbagai faktor susunan campuran, keadaan temperatur dari tempat perawatannya hingga mengeras. Kuat tekan beton ( $F_c'$ ) diperoleh dari perbandingan dari beban terhadap luas (Pribadi & Sastra, 2018) atau dapat ditulis seperti pada persamaan 1 (BSN, 2011).

$$F_c' = P/A \quad (1)$$

Di mana:

$F_c'$  = Kuat tekan beton (MPa)

$P$  = Beban maksimum (N atau kg)

$A$  = Luas permukaan ( $\text{mm}^2$  atau  $\text{cm}^2$ )

Untuk benda uji silinder, luas permukaan ( $A$ ) didapat dari persamaan 2.

$$A = \frac{1}{4}\pi D^2$$

(2)

Dengan D adalah diameter benda uji (mm)

Kuat tekan beton yang ditargetkan berdasarkan deviasi standar secara selama pembuatan beton (BSN, 2003). Cangkang adalah material yang terdapat pada hewan yang bertubuh lunak dan tulang adalah material yang terdapat pada hewan bertulang. Biasanya material ini merupakan sisa dari tubuh hewan dan merupakan bagian yang paling akhir bertahan. Pada umumnya, cangkang atau tulang dibentuk oleh kalsium dengan kadar yang tinggi. Secara fungsi, cangkang dan tulang berguna untuk melindungi organ internal dan menopang tubuh. Bentuk cangkang dan tulang untuk mendukung tubuh mempunyai bentuk rangka. Sifat cangkang seperti sifat tulang yang secara teknis memiliki kekuatan yang tinggi namun beratnya relatif lebih ringan dibandingkan dengan beton (Mukhlis, dkk., 2014).

Pada tulang, terdapat mineral pembentuk yang dinamakan hidroksiapatit (Wathi, dkk., 2014). Senyawa ini merupakan salah satu senyawa dalam kategori mineral apatit, mineral anorganik utama yang membentuk tulang dan gigi. Warna mineral ini adalah putih, abu-abu, kuning dan hijau kekuningan. Di dunia medis mineral hidroksiapatit digunakan untuk implan pada gigi dan tulang (Yuliana, dkk., 2017). Bentuk senyawa hidroksiapatit dari sintesis tulang sapi (Fadhliah, dkk., 2016) dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2.** Senyawa hidroksiapatit dari sintesis tulang sapi  
Sumber : Fadhliah, dkk. (2016)

Secara kimiawi, tulang merupakan pembentukan mineral kalsium fosfat, kolagen dan protein elastis yang dapat menambah ketahanan terhadap retak, mineral kalsium fosfat berbentuk hidroksiapatit dengan rumus kimia  $Ca_5(PO_4)_3(OH)$ . Untuk kekuatan, tulang memiliki kuat tekan hingga 170 MPa, kuat tarik pada angka 104 sampai dengan 121 MPa, dan kuat geser berkisar pada 51,6 MPa (Mukhlis, dkk., 2014).

Persamaan properti mekanik antara tulang dengan beton adalah sama-sama memiliki kekuatan yang relatif cukup tinggi, baik pada kuat tekan, kuat tarik, dan kuat geser, keduanya juga sama-sama bersifat getas (Mukhlis, 2014). Untuk perbedaannya, berat sendiri beton relatif lebih besar sedangkan berat sendiri tulang relatif lebih kecil walaupun keduanya relatif sama-sama kuat.

Untuk mendapatkan persamaan yang mendekati antara variabel terikat dengan variabel bebas, menggunakan analisis regresi. Analisis regresi adalah suatu analisis pada statistik yang dipakai untuk memprediksi hubungan sebab-akibat antara variabel bebas dengan variabel terikat (Alwi, dkk., 2018). Persamaan regresi dibuat dengan variabel terikat atau variabel respons dan p variabel bebas atau prediktor (Sunaryo & Setiawan, 2011). Secara matematis, bentuk persamaan regresi adalah:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^p \beta_k x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

Dengan,

y = Variabel respons

x = Prediktor

i = 1, 2, 3, ..., n

$\beta$  = Parameter model

$\varepsilon$  = Kesalahan yang diasumsikan identik, independen dan berdistribusi normal dengan rata-rata nol dan varian konstanta

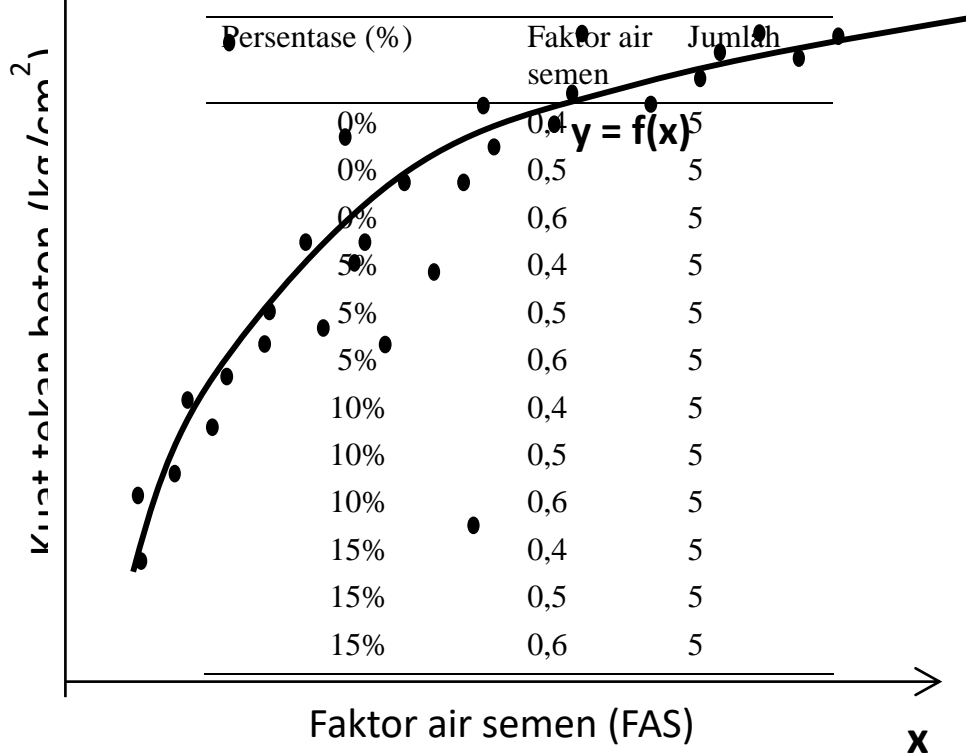
Penelitian ini dilaksanakan agar dapat mengetahui persamaan regresi antara variabel bebas faktor air semen dengan variabel terikat kuat tekan beton. Dengan adanya penelitian ini, maka akan diperoleh persamaan regresi yang dapat digunakan pada pengaruh faktor air semen terhadap kuat tekan beton pada beton yang menggunakan bahan abu cangkang.

## 2. Metode Penelitian

Material yang telah diperoleh dilakukan pemeriksaan bahan dan melakukan perencanaan campuran beton. Limbah cangkang yang sudah didapat dan dikumpulkan akan dibersihkan terlebih dahulu dan dihancurkan sampai memiliki ukuran yang sama dengan agregat. Cangkang yang digunakan pada penelitian ini adalah cangkang tiram daging (*ostreidae*). Setelah hasil *job mix design* beton diperoleh, dilakukan pembuatan benda uji. Jumlah total benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah sebanyak 60 buah. Untuk setiap variasi, menggunakan uji tekan dengan jumlah benda uji sebanyak 5 buah yang digunakan untuk melaksanakan pengujian sebanyak 5 kali. Pengujian dilaksanakan pada umur beton telah mencapai 28 hari. Masing-masing variasi yang memiliki 5 benda uji, dibuat dimulai dari pembuatan beton segar. Beton segar dibuat dengan mencampur seluruh bahan, termasuk bahan pengikat dan bahan pengisinya. Dengan tercampurnya bahan pengikat dengan air, maka reaksi pengerasan beton diawali dari pencampuran ini. Dalam kondisi segar, semen pada beton masih berupa campuran

pasta yang masih basah. Setelah beton segar telah dibuat, maka dilaksanakan uji *slump* sebagai salah satu syarat pemenuhan tinggi nilai *slump* sesuai dengan persyaratan pada *job mix*, bila hasilnya memenuhi ( $10 \pm 2$  cm) maka beton segar tersebut akan dapat digunakan untuk pembuatan benda uji. Benda uji yang dibuat pada penelitian ini adalah benda uji silinder beton.

Tabel 1. Variasi benda uji yang digunakan



Benda uji dibuat menggunakan cetakan (*molding*) yang mencetak benda uji menjadi bentuk silinder tinggi 30 cm dan diameter 15 cm, kemudian permukaan dalam cetakan diolesi cairan minyak agar beton segar tidak melekat ke bidang cetakan. Setelah cetakan dibuat, maka 1 hari setelahnya, cetakan dibuka dan dimasukkan ke dalam bak penyimpanan benda uji yang berisi air (perawatan benda uji). Sesuai dengan umur beton yang direncanakan, yaitu umur 28 hari, masing-masing benda uji dilakukan uji tarik belah dengan mesin uji tekan.

Uji tekan beton dilaksanakan dengan menggunakan mesin uji tekan. Beban diberikan secara perlahan-lahan ke arah vertikal sampai didapatkan nilai maksimumnya. Bidang beban tekan yang diberikan secara merata pada benda uji. Setiap pelaksanaan uji tekan pada masing-masing benda uji, maka hasil pengujian dicatat dan dilakukan analisis regresi penggunaan agregat tulang sapi terhadap kuat tarik belah beton. Variabel bebasnya ( $x$ ) adalah jumlah persentase tulang sapi yang digunakan dalam satuan persen dan variabel terikatnya ( $y$ ) adalah kuat tarik belah beton dalam satuan  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

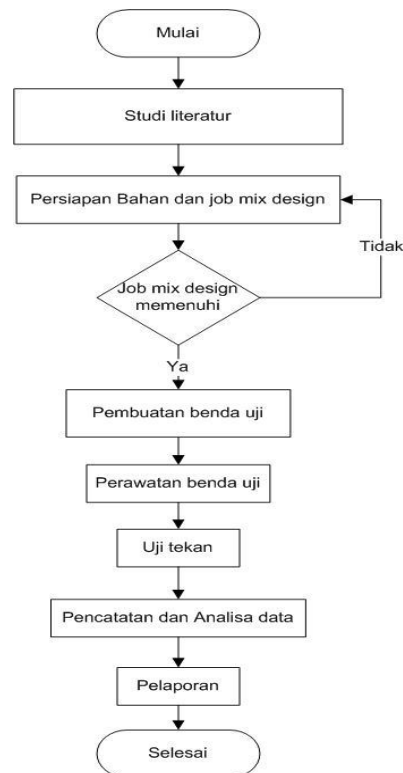
Hasil uji tekan dimasukkan ke dalam tabel perhitungan dan dilakukan analisis regresi terhadap data tersebut. Analisis regresi yang dilaksanakan akan menggunakan bantuan *software* analisis regresi. Hasil analisis regresi akan menghasilkan persamaan persentase penggunaan tulang sapi terhadap kuat tekan beton dengan bentuk persamaan  $y = f(x)$ . Selain itu juga, analisis regresi akan menghasilkan nilai *r square* yang menunjukkan kuatnya hubungan antara variabel bebas dengan variabel terikat.

Dari hasil analisis data, dapat diketahui bagaimana pengaruh faktor air semen terhadap kuat tekan beton yang menggunakan bahan abu cangkang.

Sketsa grafik hasil pengujian beton dapat dilihat pada gambar 3.

**Gambar 3.** Sketsa grafik hubungan faktor air semen terhadap kuat tarik belah beton

Adapun diagram alir penelitian ini berdasarkan metode yang telah dipaparkan adalah:



**Gambar 4.** Diagram alir penelitian

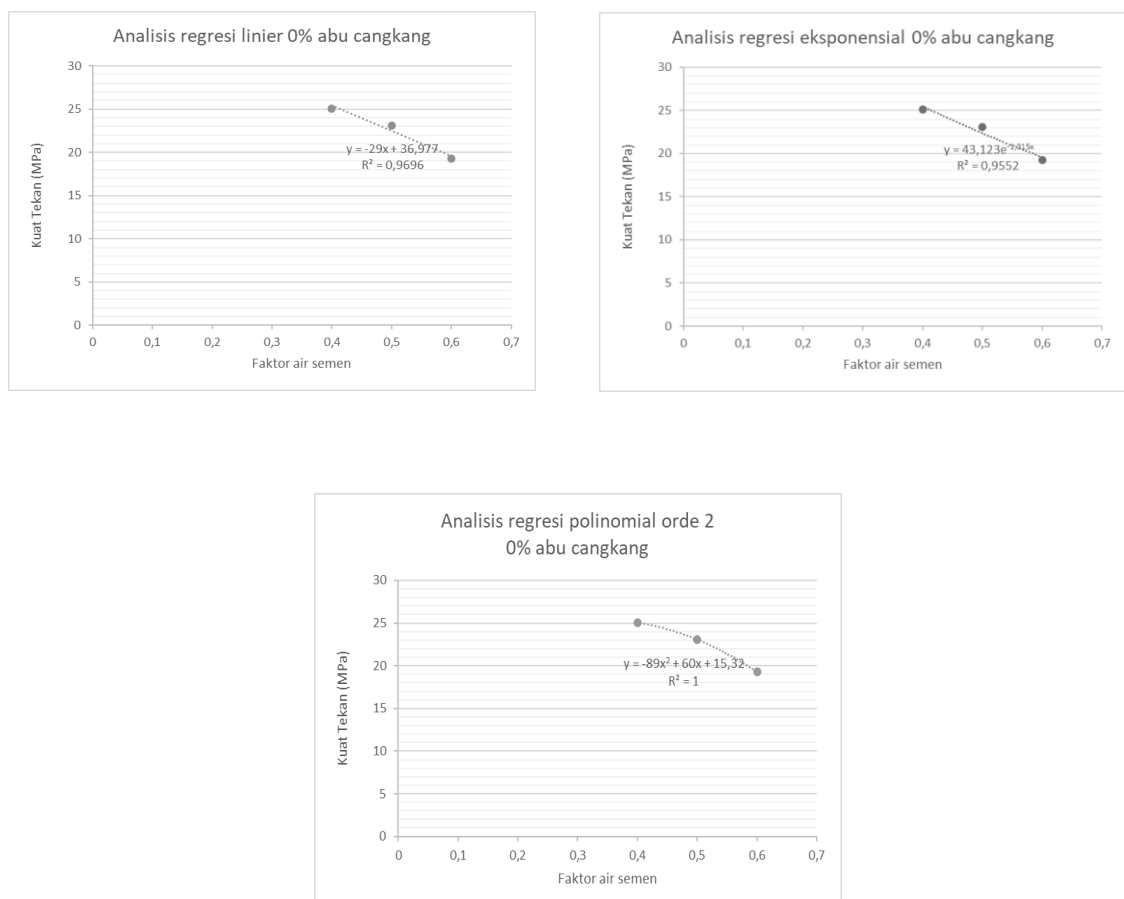
### 3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan di laboratorium, maka didapat hasil penelitian. Hasil berdasarkan pengujian adalah hasil dari benda uji dengan variasi persentase penggunaan abu cangkang kerang 0%, 5%, 10%, dan 5%. Hasil ini diplot ke dalam data untuk menghasilkan analisis regresi untuk mendapatkan persamaan. Persamaan yang digunakan pada analisis regresi ini adalah persamaan regresi linier, persamaan regresi eksponensial, dan persamaan regresi polinomial orde 2.

#### 3.1. Hasil Analisis Regresi Abu Cangkang 0%

Untuk regresi abu cangkang 0%, diperoleh persamaan analisis regresi linier  $y = -29x + 36,977$  dengan  $r^2 = 0,9696$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh pengurangan faktor air semen sebanyak 29 kali dan ditambah dengan 36,977. Untuk persamaan analisis regresi eksponensial diperoleh  $y = 43,123e^{-1,315x}$  dengan  $r^2 = 0,9552$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh 43,123 kali bilangan natural pangkat -1,315 dikalikan dengan faktor air semennya. Untuk persamaan analisis regresi polinomial orde 2, diperoleh  $y = -89x^2 + 60x + 15,32$  dengan

$r^2 = 1,0000$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh -89 kali dari kuadrat faktor air semen, ditambah dengan 60 kali faktor air semennya dan ditambah dengan 15,32. Hasil analisis regresi dengan 0% abu cangkang dapat dilihat pada gambar 5.



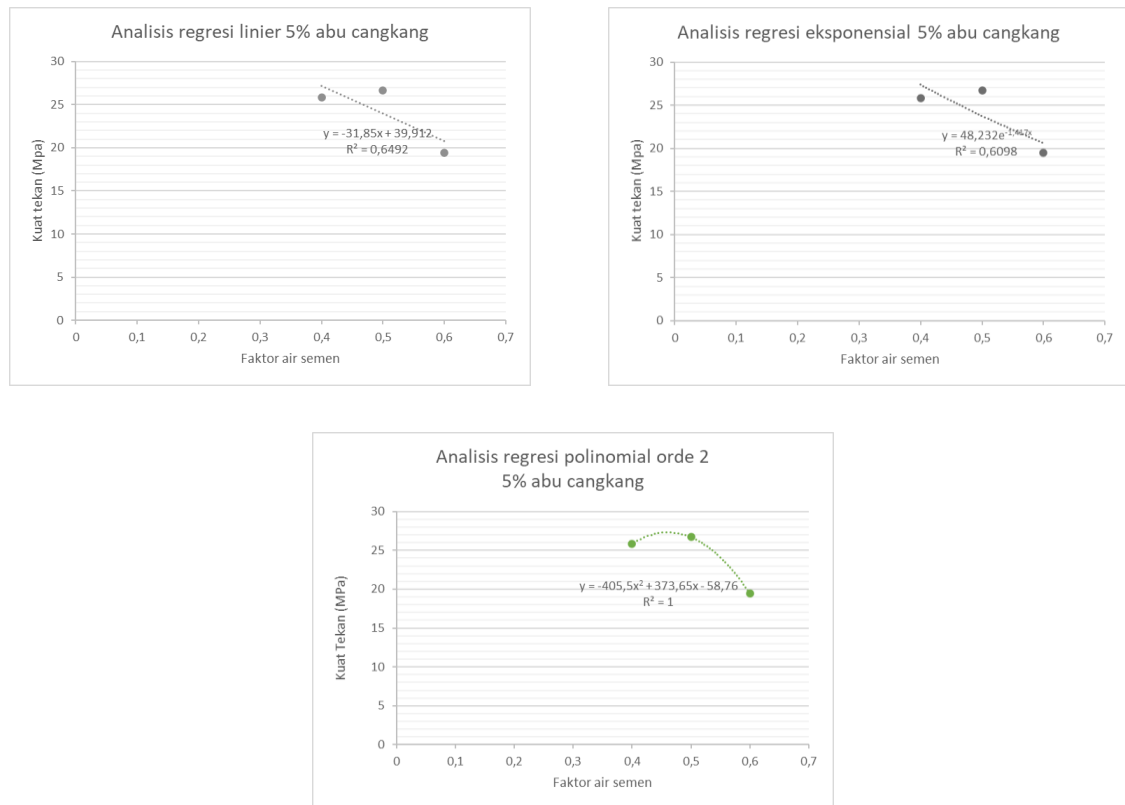
**Gambar 5.** Hasil analisis regresi 0% abu cangkang

### 3.2. Hasil Analisis Regresi Abu Cangkang 5%

Untuk regresi abu cangkang 5%, diperoleh persamaan analisis regresi linier  $y = -31,85x + 39,912$  dengan  $r^2 = 0,6492$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh pengurangan faktor air semen sebanyak 31,85 kali dan ditambah dengan



39,912. Untuk persamaan analisis regresi eksponensial diperoleh  $y = 48,232e^{-1,417x}$  dengan  $r^2 = 0,6098$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh 48,232 kali bilangan natural pangkat -1,417 dikalikan dengan faktor air semennya. Untuk persamaan analisis regresi polinomial orde 2, diperoleh  $y = -405,5x^2 + 373,65x + 58,76$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh -405,5 kali dari kuadrat faktor air semen, ditambah dengan 373,65 kali faktor air semennya dan ditambah dengan 58,76. Hasil analisis regresi dengan 5% abu cangkang dapat dilihat pada gambar 6.

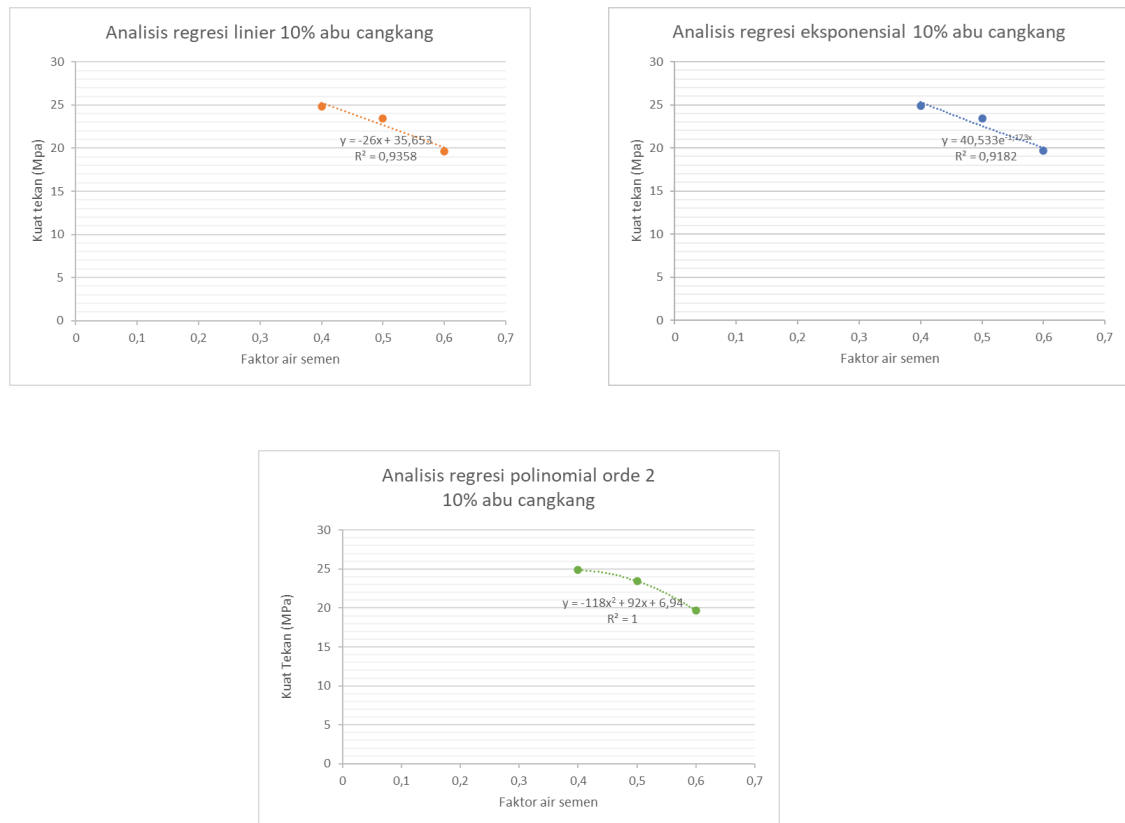


Gambar 6. Hasil analisis regresi 5% abu cangkang

### 3.4. Hasil Analisis Regresi Abu Cangkang 10%

Untuk regresi abu cangkang 10%, diperoleh persamaan analisis regresi linier  $y = -26x + 35,653$  dengan  $r^2 = 0,9358$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh pengurangan faktor air semen sebanyak 26 kali dan ditambah dengan 35,653. Untuk persamaan analisis regresi eksponensial diperoleh  $y = 40,533e^{-1,173x}$  dengan  $r^2 = 0,9182$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh 40,533 kali bilangan natural pangkat -1,173 dikalikan dengan faktor air semennya. Untuk persamaan analisis regresi polinomial orde 2, diperoleh  $y = -118x^2 + 92x + 6,94$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh -118 kali

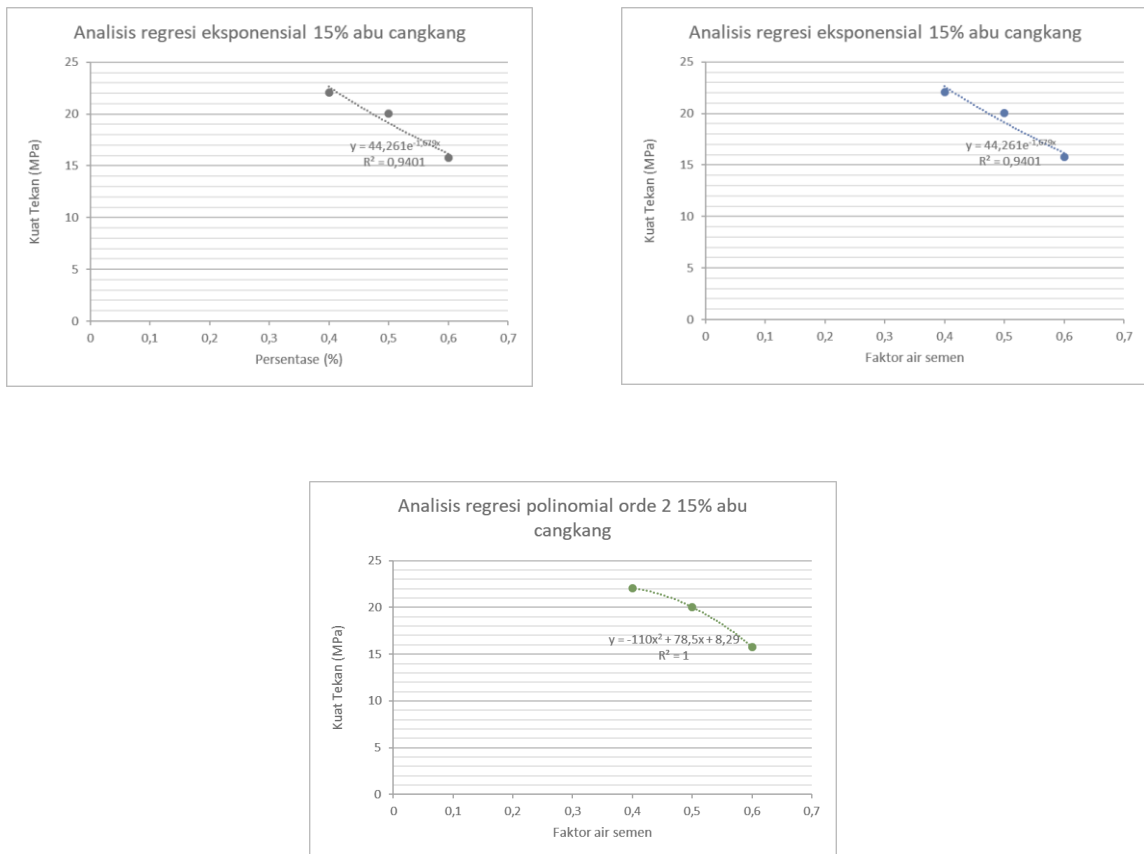
dari kuadrat faktor air semen, ditambah dengan 92 kali faktor air semennya dan ditambah dengan 6,94. Hasil analisis regresi dengan 10% abu cangkang dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 7.** Hasil analisis regresi 10% abu cangkang

### 3.5. Hasil Analisis Regresi Abu Cangkang 15%

Untuk regresi abu cangkang 15%, diperoleh persamaan analisis regresi linier  $y = -31,5x + 35,057$  dengan  $r^2 = 0,9609$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh pengurangan faktor air semen sebanyak 31,5 kali dan ditambah dengan 35,057. Untuk persamaan analisis regresi eksponensial diperoleh  $y = 44,261e^{-1,679x}$  dengan  $r^2 = 0,9401$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh 44,261 kali bilangan natural pangkat -1,679 dikalikan dengan faktor air semennya. Untuk persamaan analisis regresi polinomial orde 2, diperoleh  $y = -110x^2 + 78,5x + 8,29$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Hasil ini mendefinisikan bahwa kuat tekan beton dipengaruhi oleh -110 kali dari kuadrat faktor air semen, ditambah dengan 78,5 kali faktor air semennya dan ditambah dengan 8,29. Hasil analisis regresi dengan 15% abu cangkang dapat dilihat pada gambar 8.



**Gambar 8.** Hasil analisis regresi 15% abu cangkang

### 3.6. Pembahasan

Dari masing-masing variasi persentase abu cangkang yang digunakan pada campuran beton, diperoleh bahwa dengan perubahan faktor air semen (FAS) menghasilkan hubungan terhadap kuat tekan dengan hubungan terkuat berupa persamaan regresi polinomial orde 2. Pada penggunaan 0% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -89x^2 + 60x + 15,32$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 5% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -405,5x^2 + 373,65x + 58,76$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 10% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -118x^2 + 92x + 6,94$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Untuk penggunaan 15% abu cangkang menghasilkan persamaan analisis regresi  $y = -110x^2 + 78,5x + 8,29$  dengan  $r^2 = 1,0000$ . Hal ini ditunjukkan bahwa pada setiap persentase yang digunakan, kuatnya

hubungan ini menghasilkan nilai  $r^2$  sebesar 1,0000. Dengan eratnya hubungan ini maka pada setiap plot titik koordinat antara variabel bebas, yaitu faktor air semen menghasilkan pengaruh terhadap kuat tekan beton yang erat.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan bahwa sebagian besar persamaan yang paling mendekati model persamaan adalah pada persamaan analisis regresi polinomial orde 2. Hubungan yang kuat antara kedua variabel ditunjukkan dengan dihasilkannya nilai  $r^2$  sebesar 1,0000 untuk semua persentase penggunaan abu cangkang.

#### Referensi

- [1] Syarif, A., Setyawan, C. & Farida, I., 2016. Analisa Uji Kuat Tekan Beton dengan Bahan Tambah Batu Bata Merah. *Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*, 14(1), pp. 46-56.
- [2] Silas, K. Y., Ramang, R. & Cornelis, R., 2012. Substitusi Agregat Halus Beton Menggunakan Kapur Alam dan Menggunakan Pasir Laut pada Campuran Beton. *Jurnal Teknik Sipil, FST Undana*, 1(4), pp. 74-86.
- [3] Riyanto, H., 2015. Pengaruh Penggunaan Semen Pozzolan Tipe-A terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil UBL*, 6(1), pp. 684-695.
- [4] BSN, 2004. *Semen Portland (SNI 15-2049-2004)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [5] BSN, 2008. *Cara Uji Slump Beton (SNI 1972:2008)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [6] BSN, 2011. *Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium (SNI 2493:2011)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [7] Anggraini, R., 2008. Pengaruh Penambahan Phyropilit terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 2(3), pp. 163-174.
- [8] Pribadi, J. A. & Sastra, M., 2018. Ekosemen Sebagai Media Perikat Pengganti Semen Untuk Beton. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 2(1), pp. 44-51.
- [9] BSN, 1990. *Cara uji kuat tekan beton dengan benda uji silinder (SNI 03-1974-2011)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [10] BSN, 2003. *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal (SNI 03-2834-1993)*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- [11] Wathi, A. F. D., Wardani, S. & Khunur, M. M., 2014. Pengaruh Perbandingan Massa Ca:P terhadap Sintesis Hidroksiapatit Tulang Sapi dengan Metode Kering. *Kimia Student Journal, Universitas Brawijaya, Malang*, 1(2), pp. 196-202.
- [13] Yuliana, R., Rahim, E. A. & Hardi, J., 2017. Sintesis Hidroksiapatit dari Tulang Sapi dengan Metode Basah pada Berbagai Waktu Pengadukan dan Suhu Sintering. *Jurnal Kovalen*, 3(3), pp. 201-210.
- [14] Fadhliah, N., Irhamni & Jalil, Z., 2016. Sintesis Hidroksipalatit yang Berasal dari Tulang Sapi Aceh. *Journal of Aceh Physics Society*, 3(2), pp. 19-21.
- [15] Mukhlis, A., 2014. *Beton Agregat Tulang Ikan Lele*. Banda Aceh: Makalah Seminar Nasional Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, 2014.

- [16] Mukhlis, A. & Bunyamin, 2020, Pengaruh Penggunaan Agregat Tulang Sapi Terhadap Kuat Tekan Beton, PORTAL Jurnal Teknik Sipil Vol. 12, No. 1, April 2020.
- [17] Alwi, W., Ermawati & Husain, S., 2018. Analisis Regresi Logistik Biner untuk Memprediksi Kepuasan Pengunjung pada Rumah Sakit Umum Daerah Majene. Jurnal MSA, 6(1), pp. 20-26.
- [18] Sunaryo, S. & Setiawan, 2011. Mengatasi Masalah Multikolinieritas dan Outlier dengan Pendekatan Robpca. Jurnal Matematika, Saint dan Teknologi, 12(1), pp. 1-10.