

JURNAL TEKNIK SIPIL MACCA

Pengaruh Modulus Kehalusan Terhadap Kuat Tekan Beton

Gatot Hariyanto¹, Hanafi Ashad², Andi Alifuddin³

¹Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia
Jalan Urip Sumohardjo No. 225 Makassar (0411) 454534
Email: ¹atothari@gmail.com

^{2,3}Program Studi Teknik Sipil Universitas Muslim Indonesia
Jl. Urip Sumoharjo KM 05 Makassar, 90231, Indonesia
Email: ²hanafi.ashad@umi.ac.id ³andi.alifuddin@umi.ac.id

ABSTRAK

Kekuatan beton ditentukan dari pencampuran agregat kasar dan agregat halus, semen serta air, dengan atau tanpa bahan tambah (admixtures). Pada umumnya agregat menempati 60% - 75% dari volume beton atau 70% - 80% dari berat beton (*Kosmatka and Wilson, 2011*). Arah dari Riset ini yaitu [1] Menentukan perilaku modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan beton. [2] Mengetahui bentuk persamaan modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan beton. Dari hasil penelitian yang dilakukan disimpulkan : [1] Modulus kehalusan memiliki pengaruh terhadap peningkatan kuat tekan beton, dimana nilai kuat tekan beton dari 4 (empat) variasi modulus kehalusan menunjukkan perbedaan pada 28 hari untuk kekuatan tekan beton, dimana kekuatan beton sudah stabil. [2] Korelasi hubungan nilai kuat tekan terhadap modulus kehalusan dari hasil analisis perhitungan didapatkan persamaan dari grafik polinomial dengan persamaan $Y = -6,1925X^2 + 33,142X - 18,815$.

Kata Kunci: kuat tekan, modulus kehalusan , agregat

ABSTRACT

The strength of concrete is determined by mixing coarse and fine aggregate, cement and water, with or without admixtures. In general, aggregate occupies 60% - 75% of the volume of concrete or 70% - 80% of the weight of concrete (Kosmatka and Wilson, 2011). The direction of this research is [1] Determining the behavior of the aggregate fineness modulus on the strength of the concrete. [2] Knowing the form of the modulus of fineness of the aggregate to the strength of the concrete. From the results of the research, it is concluded: [1] The modulus of fineness has an effect on increasing the compressive strength of concrete, where the value of the compressive strength of concrete from 4 (four) variations of the fineness modulus shows a difference in the value of the compressive strength of concrete at the age of 28 days, where the strength of the concrete is stable. [2] Correlation of the compressive strength value to the smoothness modulus from the results of the calculation analysis obtained an equation from the polynomial graph with the equation $Y = -6,1925X^2 + 33,142X - 18,815$.

Keywords: compressive strength, fineness modulus, aggregate

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Kekuatan beton ditentukan dari pencampuran agregat kasar, agregat halus, semen, serta air, dengan atau tanpa bahan tambah (*admixtures*). Salah satu material terpenting untuk mendapatkan kinerja beton adalah pemilihan agregat kasar dan agregat halus dalam pembentukan beton (*ASTM C125*). Pada umumnya agregat menempati 60% - 75% dari volume beton atau 70% - 80% dari berat beton (Kosmatka & Wilson, 2011) dan dipengaruhi oleh proporsi campuran, sifat beton segar dan beton keras. Agregat juga harus sesuai dengan standar tertentu untuk mendapatkan kinerja yang optimal.

Menurut *ASTM C136/C137M* dan *AASHTO T27*, ukuran gradasi agregat ditentukan dari analisa saringan dan *ASTM C33/C33M* gradasi yang baik apabila masuk kedalam zona atau kurva gradasi. Sedangkan (K. W. Day et al., 2017) menjelaskan bahwa tidak semua gradasi memenuhi untuk produksi beton dan atau tidak semua gradasi memenuhi kurva ideal.

Dalam pengujian analisa saringan, susunan agregat menurut standar *ASTM E11* dan (KOSMATKA & WILSON, 2011) dapat ditentukan kurva gradasi, seperti gradasi senjang (*gap-grade*) dimana jika ukuran butiran tertentu sengaja dihilangkan atau fraksi ukuran ayakan tidak ada, tipikal ini hanya terdiri satu ukuran agregat kasar dan semua susunan agregat halus.

Beberapa penelitian sistem gradasi agregat antara lain: (Ince & Çetin, 2019) menggunakan gradasi menerus dengan variasi bentuk takik (*notched*) dan tanpa takik (*un-notched*). Diuji dengan tarik belah beton menggunakan benda uji bentuk kubus. (Cook et al., 2018) dalam penelitiannya menerapkan sistem *slip-formed* dalam menentukan *workabilitas* beton. (Ekwulo & Eme, 2017) ukuran seragam dan gradasi campuran agregat pada beton normal untuk perkerasan kaku. (Sabih et al., 2016) optimasi gradasi agregat halus untuk peningkatan kinerja beton. (Vilane & Sabelo, 2016) pengaruh ukuran agregat

untuk kuat tekan beton dengan tiga variasi ukuran agregat maksimum (19mm, 13.2mm, dan 9.5mm). (Argiz et al., 2014) pengaruh gradasi agregat pada permeabilitas beton, dalam penelitiannya mengandung proporsi agregat halus lebih besar dibandingkan dengan agregat kasar.

Kajian-kajian penelitian dan inovasi tersebut diatas membawa perubahan tentang campuran beton yang memberikan kekuatan yang memadai, mutu yang terkontrol serta ekonomis.

Sehubungan hal tersebut diatas, maka dalam penelitian eksperimental, kami kembangkan dan menggabungkan berbagai kajian gradasi agregat baik halus maupun kasar yang dapat memberikan pengaruh yang berbeda pada kekuatan tekan beton sebelumnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan - rumusan masalah sebagai fokus pemikiran sekaligus sebagai acuan dalam mengadakan penelitian, sebagai berikut:

1. Bagaimana perilaku modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan tekan beton;
2. Bagaimana bentuk persamaan modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan tekan beton.

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang dikemukakan diatas, maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perilaku modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan tekan beton.
2. Untuk mengetahui bentuk persamaan modulus kehalusan agregat terhadap kekuatan tekan beton.

2. Metode Penelitian

2.1 Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian berbentuk eksperimental. Diharapkan dapat memberikan gambaran perilaku modulus kehalusan agregat terhadap kuat tekan beton

Pelaksanaan penelitian modulus kehalusan agregat dilakukan dalam tahapan-tahapan sebagai berikut:

A. Pemeriksaan sifat fisik agregat

- Berat Jenis dan Penyerapan
 - ⇒ Agregat halus, *ASTM C128-15*
 - ⇒ Agregat kasar, *ASTM C127-15*
- Analisa Saringan, *ASTM C136/C136M-14*
- Berat volume, *ASTM C29/C29M-09*
- Kadar air, *ASTM C566-13*
- Kadar lumpur, *ASTM C117-13*

B. Komposisi gradasi aggregate

- ⇒ Agregat kasar berdasarkan *ASTM C33/C33M-13*
- ⇒ Agregat Halus berdasarkan *ASTM C33/C33M-13*

2.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Mulai dari kajian sifat-sifat agregat, desain dan pengetesan beton, dilakukan seluruhnya di “Lab. Struktur & Bahan jurusan Sipil Fakultas Teknik” Universitas Muslim Indonesia. Penyelidikan ini berlangsung selama 3 (tiga) bulan.

2.3 Bahan Penelitian

A. Semen

Penyelidikan ini menggunakan semen Portland tipe PCC dengan berat jenis 3.15 kg/cm³ sesuai dengan standar *ASTM C150/C150M-15*

B. Agregat

Penelitian ini menggunakan agregat (kasar dan halus) dari Bilibili, Kabupaten Gowa. Pengujian bahan fisik memakai standar ASTM.

2.4 Pelaksanaan Pengujian

Buat pengetesan digunakan benda uji beton berukuran diameter 150 x 300 mm. Sesuai *ASTM C39/C39M15a*. Tegangan dihitung berdasarkan rumus berikut :

$$f_c' = \frac{P}{A} \quad (1)$$

dimana:

- f_c' = kuat tekan (MPa)
- P = beban hancur (N)
- A = luas penampang (mm²)

2.5 Variabel Penelitian

Faktor bebas untuk penyelidikan ini yaitu modulus kehalusan pasir (pasir FM) dan variabel terikatnya adalah kuat tekan

3. Hasil dan Pembahasan

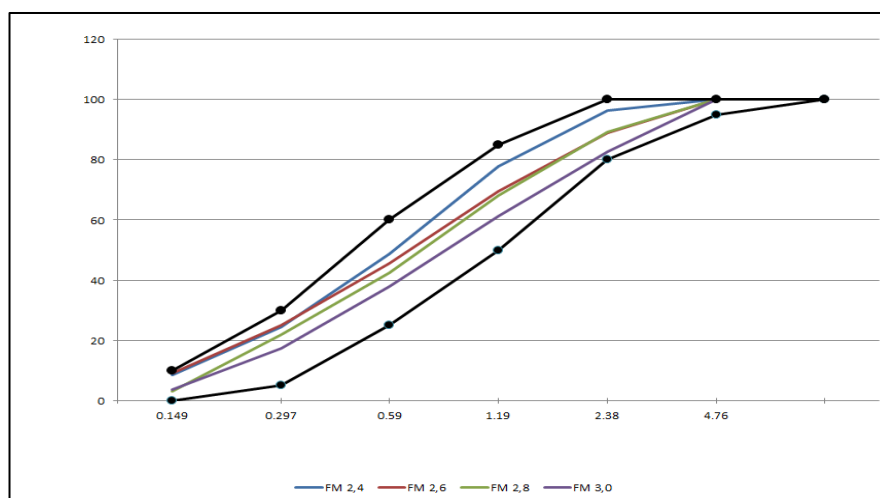
3.1 Hasil Penyelidikan

Riset ini merupakan riset eksperimental yang dilaksanakan pada Lab. Struktur & Bahan, Fak. Teknik Universitas Muslim Indonesia. Penyelidikan ini memakai material dari daerah Bilibili Kabupaten Gowa untuk agregat halus dan kasar serta portlan semen yang digunakan adalah type PCC berdasarkan spesifikasi *ASTM C150/C150M15*.

A. Pengujian Material

1. Agregat Halus

Analisa ayakan agregat halus (pasir) untuk nilai modulus kehalusan 2.4, 2.6, 2.8 dan 3.0 adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Grafik analisa saringan pasir untuk 4 modulus kehalusan

- a. Kadar Lumpur
Penyelidikan kandungan lumpur pada agregat halus sebesar 3,0 %, lihat lampiran. Agregat halus ini memenuhi persyaratan ASTM C117-13, yaitu tidak boleh melebihi 5%.
- b. Kadar Air
Penyelidikan kadar air agregat menghasilkan 3,31%. persentase air ini dipakai untuk menentukan banyaknya air yang dikandung atau dibutuhkan agregat.
- c. Berat Isi
Penyelidikan menunjukkan hasil berat isi rata-rata 1580 kg/m³, sesuai dengan persyaratan agregat normal (ASTM C29/C29M09), yaitu berat isi butir halus untuk campuran sebesar 2,200 - 2,500 kg/m³ dan tidak kurang 1,200 kg / m³
- d. Berat Jenis dan Penyerapan Air
Hasil pengujian bulk density 2,58, kondisi SSD 2,64, apparent 2,171 dan penyerapan 1,687%.

Tabel 1. Hasil pengujian sifat fisik agregat halus

Uraian	Hasil Pungujian	Standar	Keterangan
Berat jenis	2,64	ASTM C128-15	Memenuhi
Penyerapan	1,689 %	ASTM C128-15	Memenuhi
Berat isi	1580 kg/m ³	ASTM C29/C29M-09	Memenuhi
Kadar air	3,31 %	ASTM C566-13	Memenuhi
Kadar lumpur	3,0 %	ASTM C117-13	Memenuhi

Berdasarkan hasil pengujian sifat fisik agregat halus pada tabel 1 semua pengujian yang dilakukan memenuhi standar dari masing-masing pengujian .

2. Agregat Kasar

Rekapitulasi Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat Kasar sebagai berikut :

Tabel 2. Pengujian sifat fisik agregat kasar

Uraian	Hasil Pemeriksaan	Standar	Keterangan
Berat jenis	2,58	ASTM C127-15	Memenuhi
Penyerapan air Agregat	1,72 %	ASTM C127-15	Memenuhi
Modulus kehalusan	6,917	ASTM C136/C136M-14	Memenuhi
Berat isi	1463 kg/m ³	ASTM C29/C29M-09	Memenuhi
Kadar air	1,28 %	ASTM C566-13	Memenuhi
Kadar lumpur	0,406 %	ASTM C117-13	Memenuhi
Keausan/Abrasi	16,85 %	ASTM C117-13	Memenuhi

Pada pengujian sifat fisik agregat kasar didapatkan hasil pengujian yang semuanya memenuhi standar ASTM untuk masing-masing pengujian.

3. Pemeriksaan Semen

Pada penelitian ini menggunakan semen type PCC dengan BJ 3,15 kg/cm² sesuai standar ASTM C150/C150M15, dan hasil

penyelidikan densitas semen didapatkan densitas rata-rata 1.18 kg/m³.

B. Mix Design

Pada penyelidikan ini rancangan beton (*Mix Design*) menggunakan metode cara *SNI 7656-2012*, modulus kehalusan pasir (FM) digunakan untuk menentukan persentase agregat halus dalam gabungan agregat

agar mencapai nilai slump yang direncanakan. Hasil perhitungan desain campuran (mix design) untuk variasi modulus kehalusan dilihat pada Tabel berikut :

Tabel 3. Komposisi bahan beton normal 1 M³

Hal		Modulus Kehalusan (FM) Pasir			
		2.4	2.6	2.8	3.0
Material	Semen (kg)	397	397	397	397
	Pasir (kg)	725	755	785	815
	Batu Pecah (kg)	966	936	907	878
	Air (litr)	205	205	205	205
Parameter	Slump Rencana (mm)	75 - 100	75 - 100	75 - 100	75 - 100
	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	25	25	25	25
	Berat Beton (kg)	2293	2293	2294	2295
	Faktor Air Semen	0,52	0,52	0,52	0,52

tabel 3 Komposisi berat beton dalam kondisi normal untuk kebutuhan 1 m³ beton dari

masing-masing variasi nilai modulus kehalusan

Tabel 4. Komposisi bahan beton dalam kondisi lapangan 1 M³

Hal		Modulus Kehalusan (FM) Pasir			
		2.4	2.6	2.8	3.0
Material	Semen (kg)	388	390	392	394
	Pasir (kg)	587	622	657	692
	Batu Pecah (kg)	1140	1106	1072	1039
	Air (litr)	201	202	203	204
Parameter	Slump Rencana (mm)	75 - 100	75 - 100	75 - 100	75 - 100
	Kuat Tekan Rencana (Mpa)	25	25	25	25
	Berat Beton (kg)	2316	2320	2324	2329
	Faktor Air Semen	0,52	0,52	0,52	0,52

Tabel 4 Komposisi berat beton dalam kondisi lapangan untuk kebutuhan 1 m³ beton dari masing-masing variasi nilai modulus kehalusan.

C. Pembuatan Benda Uji

Hasil pengujian rata-rata nilai slump test untuk masing-masing modulus kehalusan pada waktu pembuatan benda uji beton sebagai berikut:

Tabel 5. Nilai *slump test* terhadap variasi modulus kehalusan

Kode Benda Uji	Modulus Kehalusan (FM)	FAS	Slump (mm)	Slump Rencana (mm)
A1.4	2.4	0,52	90,00	75 - 100
A2.4	2.6	0,52	85,00	75 - 100
A3.4	2.8	0,52	80,00	75 - 100
A4.4	3.0	0,52	76,00	75 - 100

Tabel 5 diatas memperlihatkan hasil rata-rata pengujian slump tes untuk pembuat benda uji dari nilai variasi modulus kehalusan.

D. Hasil Perhitungan Kuat Tekan

Pengujian benda uji beton menggunakan standar *ASTM C39/C39M-15a*. Tegangan dihitung dengan persamaan:

$$f_c' = \frac{P}{A}$$

Dimana

f_c' = kuat tekan (MPa)

P = beban (N)

A = luas penampang (mm^2)

Tabel hasil pengujian beban hancur benda uji beton dari variasi modulus kehalusan:

Tabel 6. Tabel kuat tekan untuk modulus kehalusan 2,4

Kode Benda Uji	Modulus Kehalusan (FM)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm)	Har i	Berat Benda Uji (kg)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
A1.1a	2,4	300	150	17,662.50	3	12,345	173	9,79	9,98
A1.1b						12,452	176	9,96	
A1.2a					7	12,357	280	15,85	16,08
A1.2b						12,368	288	16,31	
A1.3a					21	12,367	420	23,78	23,72
A1.3b						12,292	418	23,67	
A1.4a					28	12,379	442	25,02	25,05
A1.4b						12,237	443	25,08	

Tabel 6 Terlihat hasil pengujian tekan beton untuk nilai modulus kehalusan 2,4 pada masing-masing umur beton rencana berada pada kuat tekan yang direncanakan. Berdasarkan hasil pengujian memperlihatkan sebaran kuat tekan aktual berada pada kuat tekan rencana sesuai umur beton, hal tersebut

menunjukkan bahwa beton merupakan material yang bersifat heterogen. Sebaran kuat tekan aktual yang berada di sekitar kuat tekan rencana umur beton, menunjukkan bahwa kuat tekan beton tidak dipengaruhi secara signifikan oleh modulus kehalusan pasir.

Tabel 7. Tabel kuat tekan untuk modulus kehalusan 2,6

Kode Benda Uji	Modulus Kehalusan (FM)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm)	Hari	Berat Benda Uji (kg)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
A2.1a	2,6	300	150	17,662.50	3	12,369	176	9,96	9,99
A2.1b						12,361	177	10,02	
A2.2a					7	12,391	289	16,36	16,33
A2.2b						12,362	288	16,31	
A2.3a					21	12,396	420	23,78	23,81
A2.3b						12,471	421	23,84	
A2.4a					28	12,567	451	25,53	25,51
A2.4b						12,436	450	25,48	

Tabel 7 Dari hasil pengujian tekan beton untuk nilai modulus kehalusan 2,6 dapat

dilihat variasi kenaikan kekuatan beton pada umur 3, 7, 21 dan 28 hari.

Tabel 8. Tabel kuat tekan untuk modulus kehalusan 2,8

Kode Benda Uji	Modulus Kehalusan (FM)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm)	Hari	Berat Benda Uji (kg)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
A3.1a	2,8	300	150	17,662.50	3	12,245	177	10,02	10,11
A3.1b						12,256	180	10,19	
A3.2a					7	12,391	285	16,14	16,16
A3.2b						12,313	286	16,19	
A3.3a					21	12,409	421	23,84	23,86
A3.3b						12,558	422	23,89	
A3.4a					28	12,385	450	25,48	25,42
A3.4b						12,456	448	25,36	

Tabel 8 Dari hasil pengujian tekan beton untuk nilai modulus kehalusan 2,8 dapat

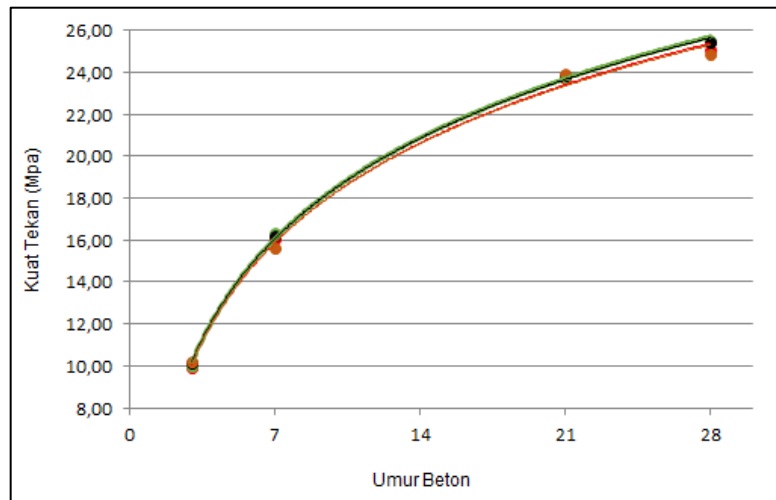
dilihat variasi kenaikan kekuatan beton pada umur 3, 7, 21 dan 28 hari.

Tabel 9. Tabel kuat tekan untuk modulus kehalusan 3,0

Kode Benda Uji	Modulus Kehalusan (FM)	Tinggi (mm)	Diameter (mm)	Luas Penampang (mm)	Hari	Berat Benda Uji (kg)	Beban Hancur (KN)	Kuat Tekan (Mpa)	Kuat Tekan Rata-Rata (Mpa)
A4.1a	3,0	300	150	17,662.50	3	12,262	181	10,25	10,19
A4.1b						12,320	179	10,13	
A4.2a					7	12,212	274	15,51	15,63
A4.2b						12,396	278	15,74	
A4.3a					21	12,606	425	24,06	23,95
A4.3b						12,541	421	23,84	
A4.4a					28	12,361	440	24,91	24,88
A4.4b						12,465	439	24,85	

Tabel 9 Dari hasil pengujian tekan beton untuk nilai modulus kehalusan 3,0 dapat

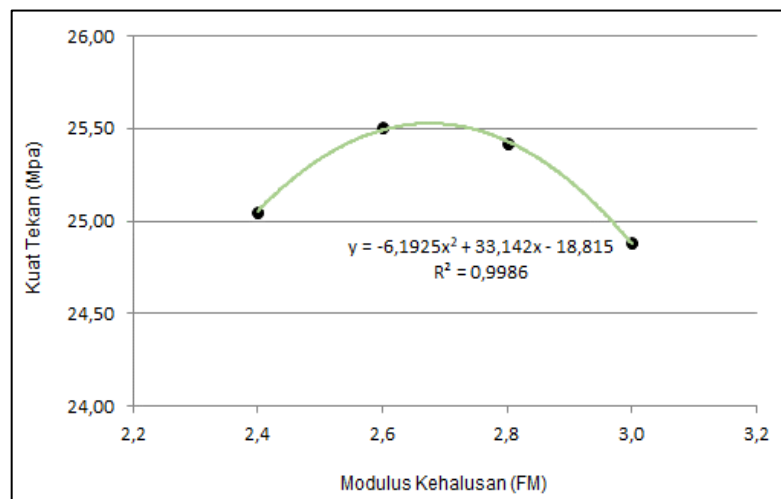
dilihat variasi kenaikan kekuatan beton pada umur 3, 7, 21 dan 28 hari.



Gambar 2. Pengaruh variasi modulus kehalusan terhadap kuat tekan beton

Gambar 2 tersebut memperlihatkan kekuatan tekan pada 4 variasi umur beton untuk masing-masing modulus kehalusan agregat

memperlihatkan kekuatannya tidak terlalu signifikan perbedaannya.



Gambar 3. Pengaruh variasi modulus kehalusan terhadap kuat tekann beton untuk 28 hari

Gambar 3 memperlihatkan untuk masing-masing modulus kahalusan terjadi adanya perbedaan kekuatan beton dimana semakin kecil nilai modulus kehalusan (FM 2,4) menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah dan akan menunjukkan kenaikan kuat tekan seiring peningkatan nilai modulus kehalusan sampai batas tertinggi sebesar 2,675 setelah itu akan ada penurunan nilai kekuatan beton pada 28 hari seiring peningkatan nilai modulus kehalusan

3.2 Pembahasan

Hasil penelitian Pengaruh Modulus Kehalusan Terhadap Kuat Tekan Beton memberikan hasil sebagai berikut :

A. Pengaruh Hubungan Modulus Kehalusan Terhadap Nilai Slump

Pada tabel 5. Pengaruh modulus kehalusan terhadap nilai slump aktual menunjukkan semua nilai slump tersebut memiliki nilai perbedaan rata-rata 5 mm, namun masih pada tingkat kelecakan yang sama. Ini menunjukkan bahwa

perubahan modulus kehalusan pada agregat tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kelecakan beton segar.

B. Pengaruh Hubungan Modulus Kehalusan Terhadap Berat Beton Basah

Pengaruh modulus kehalusan pasir terhadap volume beton basah Berdasarkan tabel 3. dilihat bahwa semakin kecil nilai modulus kehalusan agregat halus menyebabkan penurunan volume beton basah, ini disebabkan komposisi agregat kasar yang ditetapkan adalah sama untuk semua jenis modulus kehalusan. Oleh karena itu dapat diketahui bahwa semakin rendah nilai modulus kehalusan maka semakin tinggi proporsi agregat kasar dalam campuran beton, yang ditandai dengan bertambahnya volume beton basah.

C. Pengaruh Hubungan Modulus Kehalusan Terhadap Kuat Tekan Beton

Tabel 6, 7, 8, dan 9 dapat dilihat kuat tekan untuk umur beton rencana pada setiap modulus kehalusan berada pada kuat tekan yang direncanakan. Pengujian kuat tekan aktual memperlihatkan berada pada kuat tekan rencana beton sesuai umur, ini memperlihatkan bahwa material beton bersifat heterogen. Kuat tekan sebenarnya mendekati kuat tekan rencana umur beton, Bahwa kekuatan beton tidak dipengaruhi secara signifikan oleh modulus kehalusan agregat halus. Pada korelasi umur 3 sampai 21 hari untuk semua jenis modulus kehalusan pasir sementara pada umur beton 28 hari pada semua jenis modulus kehalusan seperti gambar 3 memperlihatkan bahwa adanya perbedaan kekuatan beton dimana semakin kecil nilai modulus kehalusan (FM 2.4) menunjukkan kuat tekan yang lebih rendah dan akan menunjukkan kenaikan kuat tekan seiring peningkatan nilai modulus kehalusan sampai batas tertinggi sebesar 2,675 setelah itu akan ada penurunan nilai kekuatan beton pada

28 hari seiring peningkatan nilai modulus kehalusan.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan tes dan diskusi yang dilakukan dalam penelitian ini:

- 1) Modulus kehalusan agregat halus berpengaruh pada peningkatan kekuatan beton, sehingga kekuatan beton dari 4 (empat) variasi modulus kehalusan menunjukkan perbedaan pada umur 28 hari yang seharusnya kekuatan beton stabil setelah 28 hari.
- 2) Korelasi nilai kuat tekan dengan modulus kehalusan dari hasil analisis perhitungan didapatkan persamaan dari grafik polinomial dengan persamaan $Y = -6,1925X^2 + 33,142X - 18,815$.

4.2 Saran

Penulis menyarankan hal-hal berikut sebagai saran pembahasan untuk penelitian lebih lanjut:

- 1) Penggunaan jenis semen mempengaruhi hasil kuat tekan beton, sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut dengan jenis semen yang berbeda. pada modulus kehalusan butir halus untuk campuran beton.
- 2) Nilai variabel kehalusan pasir terhadap mekanik, kuat lentur dan kuat tarik beton perlu diteliti lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- Cook, M. D., Ghaeezadah, A., & Ley, M. T. (2018). Impacts of coarse-aggregate gradation on the workability of slip-formed concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(2), 04017265.
- Ekwulo, E. O., & Eme, D. B. (2017). Effect of aggregate size and gradation on compressive strength of normal strength concrete for rigid pavement. *American Journal of Engineering Research*, 6(9),

- 112–116.
- Ince, R., & Çetin, S. Y. (2019). Effect of grading type of aggregate on fracture parameters of concrete. *Magazine of Concrete Research*, 71(16), 860–868.
- KOSMATKA, S. H., & WILSON, M. L. (2011). Design and control of concrete mixtures. 15^a edição. Illinois: Portland Cement Association.
- Sabih, G., Tarefder, R. A., & Jamil, S. M. (2016). Optimization of gradation and fineness modulus of naturally fine sands for improved performance as fine aggregate in concrete. *Procedia Engineering*, 145, 66–73.
- Vilane, B. R. T., & Sabelo, N. (2016). The effect of aggregate size on the compressive strength of concrete. *Journal of Agricultural Science and Engineering*, 2(6), 66–69.
- Argiz, C., Menéndez, E., Moragues, A., & Sanjuán, M. Á. (2014). Recent advances in coal bottom ash use as a new common Portland cement constituent. *Structural Engineering International*, 24(4), 503–508.
- Day, K. W., Lawson, G., & Burge, P. (2017). Clinicians' experiences of shared trauma after the shootings at Virginia Tech. *Journal of Counseling & Development*, 95(3), 269–278.