

BAB 4 ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengujian Material

Pengujian material-material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji mortar dilakukan sebelum melakukan perencanaan campuran mortar (*mix design*) dan pembuatan benda uji. Pengujian material bertujuan untuk mengetahui spesifikasi dan mutu dari setiap material yang akan digunakan. Material-material yang akan diuji adalah agregat halus (pasir Muntilan) dan mikrosilika. Pengujian bahan dan pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Katolik Soegijapranata.

Agregat halus yang digunakan dalam pengujian adalah pasir Muntilan (pasir Sungai Krasak) yang telah disaring dan lolos saringan no.4 (diameter 4,75 mm). Pasir Muntilan yang digunakan telah dicuci bersih dari lumpur dan telah dikeringkan dengan cara diangin-anginkan selama 24 jam. Pasir yang digunakan memiliki tekstur yang cenderung kasar dan berwarna abu-abu gelap. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pasir Muntilan

Mikrosilika yang digunakan dalam pengujian adalah mikrosilika merek Elkem yang diproduksi oleh PT. Akbar Budi Sakti Karawang, Jawa Barat. Mikrosilika yang digunakan memiliki tekstur halus dan berwarna abu-abu muda kebiruan. Mikrosilika yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 4.2.



(a)



(b)

Gambar 4.2 (a) Mikrosilika, (b) Mikrosilika Dalam Kemasan

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen jenis *Portland Composite Cement* (PCC) merek Tiga Roda kemasan 40 kg. Semen yang digunakan dipastikan dalam keadaan baik (tidak menggumpal). Semen yang digunakan dalam penelitian ini diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 *Portland Composite Cement* (PCC)

4.1.1. Analisis saringan agregat halus (pasir)

Pengujian analisis saringan agregat halus (pasir) mengacu pada SNI 03-1968-1990 dengan tujuan untuk mendapatkan gradasi butiran agregat halus (pasir). Langkah-langkah pengujian analisis saringan agregat halus (pasir) diperlihatkan pada Lampiran H. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan agregat halus (pasir) didapatkan:

- a. Nomor saringan = 4



Ukuran Saringan = 4,75 mm

Berat Tertahan = 0 gram

% Tertahan = 0%

% Tertahan Kumulatif = 0%

% Lolos Kumulatif = 100%

b. Nomor saringan = 8

Ukuran Saringan = 2,36 mm

Berat Tertahan = 74,5 gram

% Tertahan = $\frac{74,5}{1000} \times 100\% = 7,45\%$

% Tertahan Kumulatif = 0% + 7,45% = 7,45%

% Lolos Kumulatif = 100% - 7,45% = 92,55%

c. Nomor saringan = 16

Ukuran Saringan = 1,18 mm

Berat Tertahan = 226 gram

% Tertahan = $\frac{226}{1000} \times 100\% = 22,6\%$

% Tertahan Kumulatif = 7,45% + 22,6% = 30,05%

% Lolos Kumulatif = 100% - 30,05% = 69,95%

d. Nomor saringan = 30

Ukuran Saringan = 0,600 mm

Berat Tertahan = 223 gram

% Tertahan = $\frac{223}{1000} \times 100\% = 22,3\%$

% Tertahan Kumulatif = 30,05% + 22,3% = 52,35%

% Lolos Kumulatif = 100% - 52,35% = 47,65%

e. Nomor saringan = 50

Ukuran Saringan = 0,300 mm

Berat Tertahan = 218 gram

% Tertahan = $\frac{218}{1000} \times 100\% = 21,8\%$

% Tertahan Kumulatif = 52,35% + 21,8% = 74,15%



$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 74,15\% = 25,85\%$$

f. Nomor saringan = 100

$$\text{Ukuran Saringan} = 0,150 \text{ mm}$$

$$\text{Berat Tertahan} = 193,5 \text{ gram}$$

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{193,5}{1000} \times 100\% = 19,35\%$$

$$\% \text{ Tertahan Kumulatif} = 74,15\% + 19,35\% = 93,5\%$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 93,5\% = 6,5\%$$

g. Nomor saringan = 200

$$\text{Ukuran Saringan} = 0,075 \text{ mm}$$

$$\text{Berat Tertahan} = 59 \text{ gram}$$

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{59}{1000} \times 100\% = 5,9\%$$

$$\% \text{ Tertahan Kumulatif} = 93,5\% + 5,9\% = 99,4\%$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 99,4\% = 0,6\%$$

h. Nomor saringan = pan

$$\text{Berat Tertahan} = 6 \text{ gram}$$

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{6}{1000} \times 100\% = 0,6\%$$

$$\% \text{ Tertahan Kumulatif} = 99,4\% + 0,6\% = 100\%$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 100\% = 0\%$$

Hasil analisis saringan agregat halus (pasir) diperlihatkan dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Analisis Saringan Agregat Halus (Pasir)

No Saringan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
No. 4	4,75	0	0	0	100
No. 8	2,36	74,5	7,45	7,45	92,55
No. 16	1,18	226	22,6	30,05	69,95
No. 30	0,6	223	22,3	52,35	47,65
No. 50	0,3	218	21,8	74,15	25,85
No. 100	0,15	193,5	19,35	93,5	6,5
No. 200	0,075	59	5,9	99,4	0,6
Pan		6	0,6	100	0
Total Berat		1000	100		



Langkah selanjutnya adalah menghitung modulus halus agregat halus (pasir). Modulus halus adalah suatu indeks yang dipakai untuk mengukur kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat, semakin besar nilai modulus halus suatu agregat maka semakin besar butiran agregatnya. Modulus halus merupakan total % butiran tertahan kumulatif saringan No.100 atau yang lebih kasar.

Menurut SNI 03-2461-2002 syarat modulus halus adalah sebesar 1,5-3,8. Modulus halus agregat halus dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Modulus halus} &= \frac{\text{Total tertahan kumulatif}}{100} \\ &= \frac{7,45 + 30,05 + 52,35 + 74,15 + 93,5}{100} \\ &= \frac{257,5}{100} \\ &= 2,575 \end{aligned}$$

Jadi, modulus halus agregat halus yang digunakan sebesar 2,575 dan memenuhi syarat SNI 03-2461-2002.

4.1.2. Analisis saringan mikrosilika

Pengujian analisis saringan mikrosilika mengacu pada SNI 03-1968-1990 dengan tujuan untuk mendapatkan gradasi butiran mikrosilika. Langkah-langkah pengujian analisis saringan mikrosilika diperlihatkan pada Lampiran I. Berdasarkan hasil pengujian analisis saringan mikrosilika didapatkan:

1. Nomor saringan = 4
Ukuran Saringan = 4,75 mm
Berat Tertahan = 0 gram
% Tertahan = 0%
% Tertahan Kumulatif = 0%
% Lolos Kumulatif = 100%
2. Nomor saringan = 8
Ukuran Saringan = 2,36 mm
Berat Tertahan = 0 gram
% Tertahan = 0%



% Tertahan Kumulatif = 0%

% Lolos Kumulatif = 100%

3. Nomor saringan = 16

Ukuran Saringan = 1,18 mm

Berat Tertahan = 15,5 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{15,5}{1000} \times 100\% = 1,55\%$$

% Tertahan Kumulatif = 1,55%

% Lolos Kumulatif = 100% - 1,55% = 98,45%

4. Nomor saringan = 30

Ukuran Saringan = 0,600 mm

Berat Tertahan = 898,5 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{898,5}{1000} \times 100\% = 89,85\%$$

% Tertahan Kumulatif = 1,55% + 89,85% = 91,4%

% Lolos Kumulatif = 100% - 91,4% = 8,6%

5. Nomor saringan = 50

Ukuran Saringan = 0,300 mm

Berat Tertahan = 60 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{60}{1000} \times 100\% = 6\%$$

% Tertahan Kumulatif = 91,4% + 6% = 97,4%

% Lolos Kumulatif = 100% - 97,4% = 2,6%

6. Nomor saringan = 100

Ukuran Saringan = 0,150 mm

Berat Tertahan = 23 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{23}{1000} \times 100\% = 2,3\%$$

% Tertahan Kumulatif = 97,4% + 2,3% = 99,7%

% Lolos Kumulatif = 100% - 99,7% = 0,3%

7. Nomor saringan = 200

Ukuran Saringan = 0,075 mm



Berat Tertahan = 2 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{2}{1000} \times 100\% = 0,2\%$$

$$\% \text{ Tertahan Kumulatif} = 99,7\% + 0,2\% = 99,9 \%$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 99,9\% = 0,1\%$$

8. Nomor saringan = pan

Berat Tertahan = 1 gram

$$\% \text{ Tertahan} = \frac{1}{1000} \times 100\% = 0,1\%$$

$$\% \text{ Tertahan Kumulatif} = 99,9\% + 0,1\% = 100\%$$

$$\% \text{ Lolos Kumulatif} = 100\% - 100\% = 0\%$$

Hasil Analisis saringan mikrosilika diperlihatkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Saringan Mikrosilika

No Saringan	Ukuran Ayakan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Tertahan (%)	Tertahan Kumulatif (%)	Lolos Kumulatif (%)
No. 4	4,75	0	0	0	100
No. 8	2,36	0	0	0	100
No. 16	1,18	15,5	1,55	1,55	98,45
No. 30	0,6	898,5	89,85	91,4	8,6
No. 50	0,3	60	6	97,4	2,6
No. 100	0,15	23	2,3	99,7	0,3
No. 200	0,075	2	0,2	99,9	0,1
Pan		1	0,1	100	0
Total		1000	100		

4.1.3 Pengujian Kadar Lumpur

Pengujian kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui berapa persen kadar lumpur yang ada dalam agregat halus (pasir). Pada penelitian ini pengujian kadar lumpur dilakukan pada agregat halus (pasir) yang belum dibersihkan dari lumpur dan pada agregat halus (pasir) yang telah dibersihkan dari lumpur. Metode pengujian kadar lumpur menggunakan metode saringan atau pencucian yang mengacu pada SNI ASTM C117:2012. Langkah-langkah pengujian kadar lumpur diperlihatkan pada Lampiran J. Persentase kadar lumpur dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$$



Keterangan:

W1 = Berat agregat halus (pasir) awal (gram)

W2 = Berat agregat halus (pasir) akhir (gram)

Berdasarkan hasil pengujian kadar lumpur didapatkan:

1. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir) yang belum dibersihkan dari lumpur:

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{500-450,5}{500} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = 9,9 \%$$

Jadi kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) yang belum dibersihkan dari lumpur sebesar 9,9%.

2. Hasil pengujian kadar lumpur agregat halus (pasir) yang telah dibersihkan dari lumpur:

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{W1-W2}{W1} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = \frac{500-495}{500} \times 100\%$$

$$\text{Kadar lumpur (\%)} = 1 \%$$

Jadi kadar lumpur dalam agregat halus (pasir) yang telah dibersihkan dari lumpur sebesar 1%.

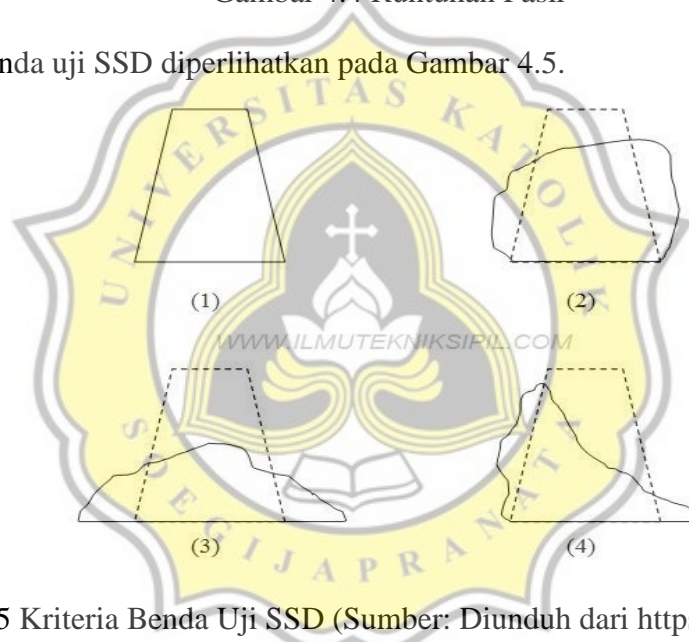
4.1.4 Pengujian *saturated surface dry* (SSD)

Pengujian *Saturated Surface Dry* (SSD) bertujuan untuk mengetahui agregat halus (pasir) termasuk dalam jenis SSD kering, ideal atau basah. Pengujian SSD pada penelitian ini mengacu pada SNI ASTM C117:2012. Pada penelitian ini, agregat halus (pasir) yang digunakan untuk pengujian SSD adalah agregat halus (pasir) yang telah dicuci bersih dari lumpur, lalu dikeringkan dengan cara diangin-anginkan selama 24 jam. Langkah-langkah pengujian SSD diperlihatkan pada Lampiran K. Berdasarkan hasil pengujian SSD didapatkan bentuk runtunan agregat halus (pasir) yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Runtuhan Pasir

Kriteria benda uji SSD diperlihatkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Kriteria Benda Uji SSD (Sumber: Diunduh dari <https://www.ilmutekniksipil.com/bahan-bangunan/pemeriksaan-ssd-pasir> pada tanggal 1 Oktober 2020 pukul 16.34 WIB)

Keterangan:

5. Kerucut terpancung SSD agregat halus (pasir),
6. Agregat halus (pasir) basah,
7. Agregat halus (pasir) kering,
8. Agregat halus (pasir) SSD (kondisi ideal).

Berdasarkan pengamatan bentuk runtuh pasir yaitu runtuh sebagian, agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikatakan dalam kondisi kering.



4.1.5 Pengujian daya serap air agregat halus (pasir)

Pengujian daya serap air agregat halus (pasir) bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan agregat halus (pasir) untuk menyerap air. Pengujian daya serap air agregat halus (pasir) pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1970-1990. Langkah-langkah pengujian daya serap air agregat halus (pasir) diperlihatkan pada Lampiran L. Berdasarkan hasil pengujian daya serap air agregat halus (pasir) didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Berat wadah besi (W1)} &= 72 \text{ gram} \\ \text{Berat pasir (W2)} &= 200 \text{ gram} \\ \text{Berat wadah besi + pasir + sisa air (W3)} &= 316,5 \text{ gram} \\ \text{Berat pasir + air (W4)} &= W3 - W1 \\ &= 316,5 \text{ gram} - 72 \text{ gram} \\ &= 244,5 \text{ gram} \\ \text{Berat sisa air (W5)} &= W4 - W2 \\ &= 244,5 \text{ gram} - 200 \text{ gram} \\ &= 44,5 \text{ gram} \\ \text{Daya serap air pasir} &= \frac{W5}{W2} \times 100 \% \\ &= \frac{44,5 \text{ gram}}{200 \text{ gram}} \times 100 \% \\ &= 22,25 \% \end{aligned}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa agregat halus (pasir) yang digunakan dalam penelitian ini memiliki daya serap air sebesar 22,5 %.

4.1.6 Pengujian daya serap air mikrosilika

Pengujian daya serap air mikrosilika bertujuan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan mikrosilika untuk menyerap air. Pengujian daya serap air mikrosilika pada penelitian ini mengacu pada SNI 03-1970-1990. Langkah-langkah pengujian daya serap air mikrosilika diperlihatkan pada Lampiran M. Berdasarkan hasil pengujian daya serap air mikrosilika didapatkan:

$$\text{Berat wadah besi (W1)} = 71,5 \text{ gram}$$



$$\begin{aligned} \text{Berat mikrosilika (W2)} &= 200 \text{ gram} \\ \text{Berat wadah besi + mikrosilika + sisa air (W3)} &= 466 \text{ gram} \\ \text{Berat mikrosilika + air (W4)} &= W3 - W1 \\ &= 466 \text{ gram} - 71,5 \text{ gram} \\ &= 394,5 \text{ gram} \\ \text{Berat sisa air (W5)} &= W4 - W2 \\ &= 394,5 \text{ gram} - 200 \text{ gram} \\ &= 194,5 \text{ gram} \\ \text{Daya serap air mikrosilika} &= \frac{W5}{W2} \times 100 \% \\ &= \frac{194,5 \text{ gram}}{200 \text{ gram}} \times 100 \% \\ &= 97,25 \% \end{aligned}$$

Jadi dapat disimpulkan bahwa mikrosilika yang digunakan dalam penelitian ini memiliki daya serap air sebesar 97,25 %.

4.2. Perencanaan Campuran Mortar (*Mix Design*)

Setelah pengujian material-material yang akan digunakan dalam pembuatan benda uji dilakukan, maka pada sub bab ini akan dijelaskan langkah-langkah yang digunakan untuk menentukan komposisi mortar (*mix design*). Perencanaan campuran mortar (*mix design*) dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-6825-2002. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wenda, K., Zuridah, S., Hastono, B. (2018), perbandingan optimal semen : agregat halus (pasir) untuk pembuatan mortar adalah 1 : 4 dan 1 : 5. Oleh karena itu, perbandingan komposisi yang digunakan adalah 1 semen : 4 agregat halus (pasir). Penentuan berat pasir dilakukan dengan cara mengisi cetakan mortar dengan pasir hingga mengisi ± 90 % ruang cetakan mortar lalu dipadatkan. Setelah itu, pasir dikeluarkan dari cetakan dan ditimbang beratnya.

Berdasarkan hasil penimbangan pasir, didapatkan pasir seberat 516,5 gram. Hasil tersebut kemudian dibulatkan menjadi 600 gram untuk menghindari kekurangan mortar yang akan dicetak. Berat semen didapatkan dari perbandingan 1 semen : 4 agregat halus (pasir). Sehingga berat semen didapat 150 gram. Air didapatkan

dengan cara 150 gram semen dibagi dengan 2 (*water ratio* 0,50) dan didapat 75 gram atau 75 ml. Akan tetapi, pada saat pencampuran mortar, 75 ml air tidak cukup untuk mendapatkan *workability* baik. Hal ini juga diakibatkan oleh agregat halus (pasir) yang digunakan dalam kondisi SSD kering. Sehingga air perlu ditambahkan dengan cara menuang air sebanyak 5 ml secara bertahap hingga dirasa sudah mendapatkan *workability* yang optimal. Hasilnya air yang dibutuhkan untuk mortar normal sebanyak 130 ml. Jadi, dapat disimpulkan bahwa untuk membuat 3 benda uji mortar berukuran masing-masing 5 cm × 5 cm × 5 cm dibutuhkan 150 gram semen, 600 gram pasir, dan 130 ml air.



Gambar 4.6 Pengisian Pasir ke Dalam Cetakan Mortar

4.3. Pembuatan Benda Uji Mortar

Setelah perencanaan campuran mortar (*mix design*) selesai dilakukan. Tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji mortar. Langkah kerja pembuatan benda uji mortar mengacu pada SNI 03-6825-2002. Pembuatan benda uji mortar dibagi menjadi 2 tahap. Tahap pertama merupakan pembuatan mortar normal, yaitu beton tanpa adanya penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur. Pembuatan benda uji mortar normal sebanyak 3 buah benda uji untuk umur mortar 7 hari dan 3 buah benda uji untuk umur mortar 28 hari.

Tahap kedua merupakan pembuatan mortar dengan penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur. Masing-masing komposisi dibuat sebanyak 3 buah benda uji untuk umur mortar 7 hari dan 3 buah benda uji untuk umur mortar 28 hari. Jadi, jumlah benda uji mortar umur 7 hari sebanyak 42 buah dan jumlah benda uji mortar



umur 28 hari sebanyak 42 buah. Berat semen, pasir, mikrosilika, lumpur dan air yang digunakan untuk tiap komposisi mortar diperlihatkan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Komposisi Mortar

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Berat Semen (gr)	Berat Pasir (gr)	Berat Mikrosilika (gr)	Berat Lumpur (gr)	Volume Air (ml)	Jumlah Benda Uji
1	0	0	150	600	0	0	130	3
2	0	10	150	600	0	60	130	3
3	5	0	150	570	30	0	140	3
4	5	10	150	570	30	60	140	3
5	10	0	150	540	60	0	150	3
6	10	10	150	540	60	60	160	3
7	15	0	150	510	90	0	170	3
8	15	10	150	510	90	60	180	3
9	20	0	150	480	120	0	190	3
10	20	10	150	480	120	60	200	3
11	25	0	150	450	150	0	210	3
12	25	10	150	450	150	60	220	3
13	30	0	150	420	180	0	230	3
14	30	10	150	420	180	60	240	3
Total								42

Penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur dengan kadar tertentu dihitung dari berat pasir. Pembuatan benda uji mortar dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Katolik Soegijapranata. Langkah-langkah pembuatan benda uji mortar normal diperlihatkan pada Lampiran N. Langkah-langkah pembuatan benda uji mortar dengan penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur (sebagai contoh komposisi mikrosilika 5 % dan lumpur 10 %) diperlihatkan pada Lampiran O.

4.4. Perawatan Benda Uji (*Curing*)

Perawatan benda uji atau *curing* dilakukan setelah benda uji selesai dibuat. *Curing* bertujuan untuk menjaga supaya mortar tidak terlalu cepat kehilangan air karena terjadinya penguapan. *Curing* juga merupakan suatu cara untuk menjaga kelembaban dan suhu beton yang dilakukan tepat setelah proses *finishing* beton selesai dan waktu *final setting* tercapai (24 jam setelah benda uji selesai dibuat).

SNI 03-2847-2002 mensyaratkan *curing* selama 7 (tujuh) hari untuk beton atau mortar normal. *Curing* benda uji mortar dilakukan dengan cara merendam benda uji mortar di dalam bak yang berisi air bersih. Bak ditutup dengan menggunakan

papan agar kotoran-kotoran tidak masuk ke dalam bak. *Curing* benda uji mortar dilakukan hingga benda uji mortar berumur 6 hari dan 27 hari atau selama 5 hari dan 26 hari. Proses perawatan benda uji (*curing*) diperlihatkan pada Gambar 4.7 dan Gambar 4.8.



Gambar 4.7 Proses *Curing* Benda Uji Mortar Umur 7 Hari



Gambar 4.8 Proses *Curing* Benda Uji Mortar Umur 28 Hari

4.5. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan pada umur mortar 7 dan 28 hari. Tata cara pengujian kuat tekan mortar berdasarkan SNI 03-6825-2002. Pengujian kuat tekan mortar dilakukan dengan menggunakan *compression testing machine* yang tersedia di Laboratorium Bahan Bangunan Universitas Katolik Soegijapranata. *Compression testing machine* yang digunakan dapat memberikan hasil nilai kuat tekan mortar secara langsung dalam satuan kilo newton (kN).



4.5.1. Langkah-langkah pengujian kuat tekan mortar

Pengujian kuat tekan mortar dilakukan setelah proses *curing* selesai dan benda uji mortar telah mencapai umur yang direncanakan yaitu 7 dan 28 hari. Sebelum pengujian dilakukan, benda uji mortar diambil dari bak perendaman pada umur 6 hari dan 27 hari untuk proses pengeringan selama 24 jam. Pengeringan dilakukan dengan cara diangin-anginkan. Benda uji mortar juga harus dipastikan bersih dari kotoran-kotoran yang menempel.

Uji kuat tekan bertujuan untuk mengetahui kemampuan dari benda uji tersebut menahan gaya tekan. Uji kuat tekan dilakukan di Laboratorium Bahan Bangunan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata. Langkah-langkah pengujian kuat tekan mortar diperlihatkan pada Lampiran P. Berdasarkan hasil pengujian kuat tekan mortar didapatkan:

Tabel 4.4 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan (kN)
			1	2	3	
1	0	0	16,5	17,5	18	17,33
2	0	10	17	16,5	17,5	17,00
3	5	0	21,5	19	20	20,17
4	5	10	19	20	21,5	20,17
5	10	0	18	20	19	19,00
6	10	10	19	19	18,5	18,83
7	15	0	30	20	30	26,67
8	15	10	22	30	28	26,67
9	20	0	20	22	22	21,33
10	20	10	22	25	25	24,00
11	25	0	27	20	20	22,33
12	25	10	22	22	28	24,00
13	30	0	22	20	18	20,00
14	30	10	22	20	22	21,33

Tabel 4.5 Hasil Uji Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan (kN)
			1	2	3	
1	0	0	60	58	58	58,67
2	0	10	62	60	60	60,67
3	5	0	70	62	65	65,67



No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Rata-rata Hasil Uji Kuat Tekan (kN)
			1	2	3	
4	5	10	68	68	70	68,67
5	10	0	65	68	62	65,00
6	10	10	70	62	60	64,00
7	15	0	82	80	85	82,33
8	15	10	80	82	82	81,33
9	20	0	72	75	72	73,00
10	20	10	75	72	78	75,00
11	25	0	75	72	70	72,33
12	25	10	70	70	75	71,67
13	30	0	70	68	62	66,67
14	30	10	65	62	70	65,67

4.5.2 Berat isi benda uji mortar

Perhitungan berat isi mortar bertujuan untuk mengetahui berat mortar per satuan volume. Berat isi mortar dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\rho_m = \frac{B_m}{V}$$

Keterangan:

ρ_m = berat isi mortar (gr/cm^3)

B_m = berat benda uji (gr)

V = volume benda uji (cm^3)

Contoh perhitungan berat isi benda uji mortar pada umur 7 hari adalah sebagai berikut:

1. Berat isi benda uji mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur)

$$\begin{aligned} \text{Volume benda uji mortar} &= 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \\ &= 125 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Berat benda uji mortar (B_m)

- a. Berat benda uji mortar sampel 1 = 262 gram
- b. Berat benda uji mortar sampel 2 = 279,5 gram
- c. Berat benda uji mortar sampel 3 = 271 gram



Berat isi benda uji mortar ($\tilde{\rho}_m$)

a. Berat isi benda uji mortar sampel 1 = $\frac{262 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,1 gram/cm³

b. Berat isi benda uji mortar sampel 2 = $\frac{279,5 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,23 gram/cm³

c. Berat isi benda uji mortar sampel 3 = $\frac{271 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,17 gram/cm³

2. Berat isi benda uji mortar dengan penggantian mikrosilika sebesar 5% dan penambahan lumpur sebesar 10 %

Volume benda uji mortar = $5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$
= 125 cm³

Berat benda uji mortar (Bm)

a. Berat benda uji mortar sampel 1 = 277,5 gram

b. Berat benda uji mortar sampel 2 = 281 gram

c. Berat benda uji mortar sampel 3 = 277 gram

Berat isi benda uji mortar ($\tilde{\rho}_m$)

a. Berat isi benda uji mortar sampel 1 = $\frac{277,5 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,22 gram/cm³

b. Berat isi benda uji mortar sampel 2 = $\frac{281 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,25 gram/cm³

c. Berat isi benda uji mortar sampel 3 = $\frac{277 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,22 gram/cm³

Berat benda uji mortar dan berat isi benda uji mortar diperlihatkan dalam Tabel 4.6.



Tabel 4.6 Berat dan Berat Isi Benda Uji Mortar Umur 7 Hari

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Berat Benda Uji (gram)			Rata-rata Berat Benda Uji (gram)	Berat Isi Mortar (gram/cm ³)			Rata-rata Berat Isi Mortar (gram/cm ³)
			1	2	3		1	2	3	
1	0	0	262	279,5	271	270,83	2,10	2,24	2,17	2,17
2	0	10	284	285	276,5	281,83	2,27	2,28	2,21	2,25
3	5	0	272	274,5	271	272,50	2,18	2,20	2,17	2,18
4	5	10	277,5	281	277	278,50	2,22	2,25	2,22	2,23
5	10	0	270,5	272	269	270,50	2,16	2,18	2,15	2,16
6	10	10	266,5	268,5	266,5	267,17	2,13	2,15	2,13	2,14
7	15	0	249,5	249,5	253,5	250,83	2,00	2,00	2,03	2,01
8	15	10	251	247	253,5	250,50	2,01	1,98	2,03	2,00
9	20	0	242,5	245	240	242,50	1,94	1,96	1,92	1,94
10	20	10	245,5	241,5	244	243,67	1,96	1,93	1,95	1,95
11	25	0	237	229,5	227	231,17	1,90	1,84	1,82	1,85
12	25	10	225,5	235	236	232,17	1,80	1,88	1,89	1,86
13	30	0	229,5	227,5	222,5	226,50	1,84	1,82	1,78	1,81
14	30	10	236	235,5	233,5	235,00	1,89	1,88	1,87	1,88

Contoh perhitungan berat isi benda uji mortar pada umur 28 hari adalah sebagai berikut:

1. Berat isi benda uji mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika dan penambahan lumpur).

$$\begin{aligned} \text{Volume benda uji mortar} &= 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \\ &= 125 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Berat benda uji mortar (B_m)

- a. Berat benda uji mortar sampel 1 = 268,5 gram
- b. Berat benda uji mortar sampel 2 = 268 gram
- c. Berat benda uji mortar sampel 3 = 265,5 gram

Berat isi benda uji mortar (\mathcal{I}_m)

- a. Berat isi benda uji mortar sampel 1 = $\frac{268,5 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,15 gram/cm³
- b. Berat isi benda uji mortar sampel 2 = $\frac{268 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,14 gram/cm³



$$\begin{aligned} \text{c. Berat isi benda uji mortar sampel 3} &= \frac{265,5 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3} \\ &= 2,12 \text{ gram/cm}^3 \end{aligned}$$

2. Berat isi benda uji mortar dengan penggantian mikrosilika sebesar 5% dan penambahan lumpur sebesar 10 %

$$\begin{aligned} \text{Volume benda uji mortar} &= 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm} \\ &= 125 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Berat benda uji mortar (B_m)

- a. Berat benda uji mortar sampel 1 = 287 gram
b. Berat benda uji mortar sampel 2 = 284 gram
c. Berat benda uji mortar sampel 3 = 283,5 gram

Berat isi benda uji mortar (ρ_m)

- a. Berat isi benda uji mortar sampel 1 = $\frac{287 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,3 gram/cm³
b. Berat isi benda uji mortar sampel 2 = $\frac{284 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,27 gram/cm³
c. Berat isi benda uji mortar sampel 3 = $\frac{283,5 \text{ gram}}{125 \text{ cm}^3}$
= 2,27 gram/cm³

Berat benda uji mortar dan berat isi benda uji mortar diperlihatkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Berat dan Berat Isi Benda Uji Mortar Umur 28 Hari

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Berat Benda Uji (gram)			Rata-rata Berat Benda Uji (gram)	Berat Isi Mortar (gram/cm ³)			Rerata Berat Isi Mortar (gram/cm ³)
			1	2	3		1	2	3	
1	0	0	268,5	268	265,5	267,33	2,15	2,14	2,12	2,14
2	0	10	293	294,5	296,5	294,67	2,34	2,36	2,37	2,36
3	5	0	275	271,5	271	272,50	2,20	2,17	2,17	2,18
4	5	10	287	284	283,5	284,83	2,30	2,27	2,27	2,28
5	10	0	272,5	273	271,5	272,33	2,18	2,18	2,17	2,18
6	10	10	263	264,5	267,5	265,00	2,10	2,12	2,14	2,12
7	15	0	264	263,5	265	264,17	2,11	2,11	2,12	2,11



No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Berat Benda Uji (gram)			Rata-rata Berat Benda Uji (gram)	Berat Isi Mortar (gram/cm ³)			Rerata Berat Isi Mortar (gram/cm ³)
			1	2	3		1	2	3	
8	15	10	261	268	266,5	265,17	2,09	2,14	2,13	2,12
9	20	0	247	253	250	250,00	1,98	2,02	2,00	2,00
10	20	10	259,5	258	259	258,83	2,08	2,06	2,07	2,07
11	25	0	241,5	240,5	239	240,33	1,93	1,92	1,91	1,92
12	25	10	249,5	253,5	251	251,33	2,00	2,03	2,01	2,01
13	30	0	232	230	229	230,33	1,86	1,84	1,83	1,84
14	30	10	231,5	234	234,5	233,33	1,85	1,87	1,88	1,87

4.5.3. Perhitungan kuat tekan mortar

Pengujian kuat tekan mortar yang dilakukan dengan menggunakan alat uji kuat tekan (*compression testing machine*) menghasilkan gaya tekan maksimum saat mortar mengalami retak atau pecah. Pengujian kuat tekan benda uji mortar *compression testing machine* menghasilkan kuat tekan mortar dalam satuan kN. Menurut SNI 03-6825-2002, untuk menghitung kuat tekan benda uji mortar dengan satuan MPa dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\sigma_b' = \frac{P_{maks}}{A}$$

Keterangan:

σ_b' = Kuat tekan benda uji mortar (MPa)

P_{maks} = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas permukaan benda uji mortar (mm²)

Pada penelitian ini, alat uji kuat tekan (*compression testing machine*) yang digunakan menghasilkan gaya tekan maksimum dalam satuan kN. Sehingga untuk mendapatkan gaya tekan maksimum dalam satuan N, gaya tekan maksimum dikalikan dengan 1000.

Sehingga didapatkan rumus kuat tekan benda uji mortar umur 7 hari sebagai berikut:



$$\sigma_b' = \frac{P_{maks} \times 1000}{A}$$

Keterangan:

σ_b' = Kuat tekan benda uji mortar (MPa)

P_{maks} = Gaya tekan
maksimum (kN)

A = Luas permukaan benda uji mortar (mm²)

Perhitungan luas penampang benda uji mortar:

$$\begin{aligned} A &= s \times s \\ &= 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \\ &= 2.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

A = Luas penampang (mm²)

s = sisi (mm)

Contoh perhitungan kuat tekan benda uji mortar umur 7 hari:

1. Benda uji mortar normal umur 7 hari

Perhitungan kuat tekan benda uji mortar:

1. Benda uji mortar sampel 1

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{16,5 \times 1000}{2500} \\ &= 6,6 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2. Benda uji mortar sampel 2

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{17,5 \times 1000}{2500} \\ &= 7,0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Benda uji mortar sampel 3

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{18 \times 1000}{2500} \end{aligned}$$



$$= 7,2 \text{ MPa}$$

2. Benda uji mortar dengan penambahan mikrosilika sebesar 5 % dan penambahan lumpur sebesar 10 % umur 7 hari

Perhitungan kuat tekan benda uji mortar:

- a. Benda uji mortar sampel 1

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{\text{maks}} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{19 \times 1000}{2500} \\ &= 7,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- b. Benda uji mortar sampel 2

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{\text{maks}} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{20 \times 1000}{2500} \\ &= 8,0 \text{ MPa}\end{aligned}$$

- c. Benda uji mortar sampel 3

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{\text{maks}} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{21,5 \times 1000}{2500} \\ &= 8,6 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kuat tekan mortar (MPa) umur 7 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari

No.	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Kuat Tekan Mortar (MPa)		
			1	2	3	1	2	3
1	0	0	16,5	17,5	18	6,6	7,0	7,2
2	0	10	17	16,5	17,5	6,8	6,6	7,0
3	5	0	21,5	19	20	8,6	7,6	8,0
4	5	10	19	20	21,5	7,6	8,0	8,6
5	10	0	18	20	19	7,2	8,0	7,6
6	10	10	19	19	18,5	7,6	7,6	7,4
7	15	0	30	20	30	12,0	8,0	12,0



No.	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Kuat Tekan Motar (MPa)		
			1	2	3	1	2	3
8	15	10	22	30	28	8,8	12,0	11,2
9	20	0	20	22	22	8,0	8,8	8,8
10	20	10	22	25	25	8,8	10,0	10,0
11	25	0	27	20	20	10,8	8,0	8,0
12	25	10	22	22	28	8,8	8,8	11,2
13	30	0	22	20	18	8,8	8,0	7,2
14	30	10	22	20	22	8,8	8,0	8,8

Standar deviasi atau simpangan baku adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah nilai data. Dalam penelitian ini nilai data yang dimaksud adalah kuat tekan mortar. Menurut SNI 03-2847-2002, standar deviasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(\sigma_b' - \sigma_{bm}')^2}{(n-1)}}$$

Keterangan :

Sd = standar deviasi

σ_b' = kuat tekan benda uji mortar (MPa)

σ_{bm}' = kuat tekan rata-rata benda uji mortar (MPa)

n = jumlah benda uji mortar

Perhitungan standar deviasi kuat tekan mortar umur 7 hari (sebagai contoh: Komposisi No.1) adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kuat tekan rata-rata benda uji mortar (σ_{bm}')

$$\begin{aligned}\sigma_{bm}' &= \frac{6,6 \text{ MPa} + 7,0 \text{ MPa} + 7,2 \text{ MPa}}{3} \\ &= 6,93 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Menghitung penyimpangan/selisih kuadrat ($(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2$) kuat tekan masing-masing benda uji (σ_{bi}') terhadap kuat tekan rata-rata (σ_{bm}')

$$\begin{aligned}\text{a. Benda uji mortar sampel 1} &= (\sigma_{b1}' - \sigma_{bm}')^2 \\ &= (6,6 - 6,93)^2 \\ &= 0,111 \text{ MPa}\end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{b. Benda uji mortar sampel 2} &= (\sigma_{b2}' - \sigma_{bm}')^2 \\ &= (7,0 - 6,93)^2 \\ &= 0,004 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. Benda uji mortar sampel 3} &= (\sigma_{b3}' - \sigma_{bm}')^2 \\ &= (7,2 - 6,93)^2 \\ &= 0,071 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3. Menghitung jumlah penyimpangan/selisih kuadrat [$\Sigma(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2$]

$$\begin{aligned} \Sigma(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2 &= (\sigma_{b1}' - \sigma_{bm}')^2 + (\sigma_{b2}' - \sigma_{bm}')^2 + (\sigma_{b3}' - \sigma_{bm}')^2 \\ &= (0,111 \text{ MPa} + 0,004 \text{ MPa} + 0,071 \text{ MPa}) \\ &= 0,187 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Menghitung standar deviasi (Sd)

$$\begin{aligned} Sd &= \sqrt{\frac{\Sigma(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2}{(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{0,187}{(3-1)}} \\ &= 0,306 \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai kuat tekan mortar karakteristik

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan mortar karakteristik} &= \sigma_{bm}' - (1,645 \times Sd) \\ &= 6,93 - (1,645 \times 0,306) \\ &= 6,432 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi kuat tekan mortar karakteristik umur 7 hari komposisi No.1 adalah 6,432 MPa. Hasil perhitungan kuat tekan mortar karakteristik umur 7 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.9.

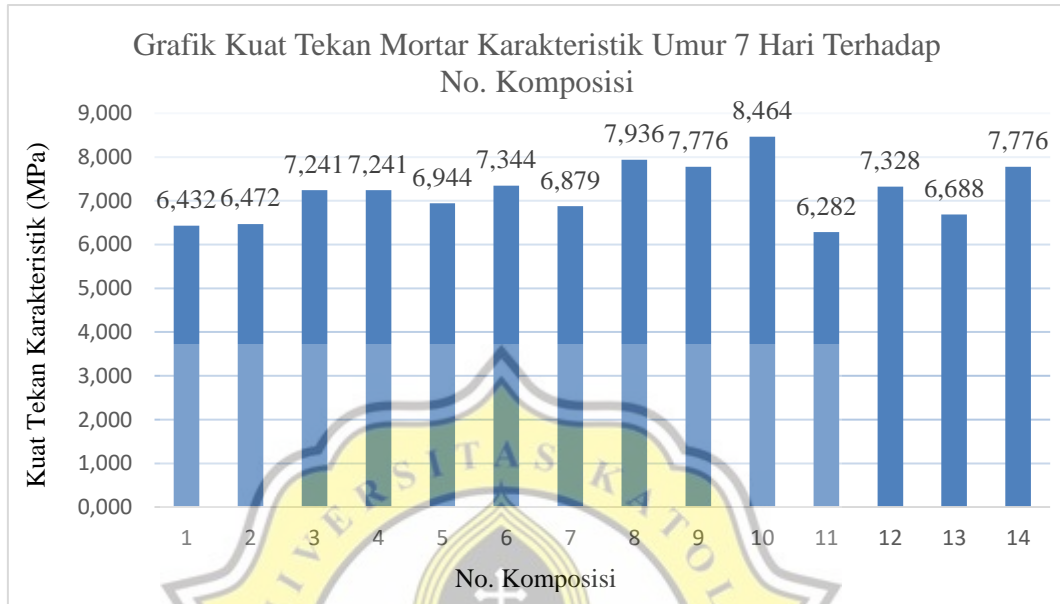


Drift Tugas Akhir
Pengaruh Proporsi Mikrosilika dan Kandungan Lumpur Terhadap Kuat Tekan Mortar

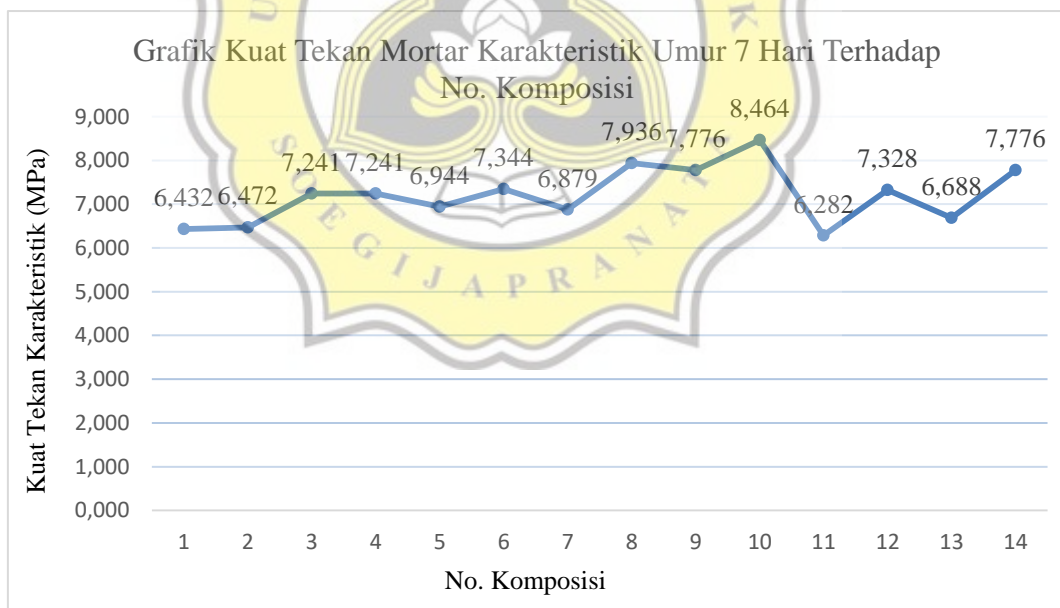
Tabel 4.9 Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari

A	B	C	D	F			G	H			I	J	K
				F1	F2	F3		(F1-σ'bm)	(F2-σ'bm)	(F3-σ'bm)			
No.	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)	Kuat Tekan Mortar (Mpa)			Rata-Rata Kuat Tekan Mortar (Mpa)	(σ'b1- σ'bm) ²			Σ(σ'b1- σ'bm) ²	Standar Deviasi / Sd	Kuat Tekan Mortar Karakteristik (MPa)
			1 2 3	1	2	3		1	2	3			
1	0	0	16,5 17,5 18	6,6	7,0	7,2	6,933	0,111	0,004	0,071	0,187	0,306	6,432
2	0	10	17 16,5 17,5	6,8	6,6	7,0	6,800	0,000	0,040	0,040	0,080	0,200	6,472
3	5	0	21,5 19 20	8,6	7,6	8,0	8,067	0,284	0,218	0,004	0,507	0,503	7,241
4	5	10	21,5 19 20	7,6	8,0	8,6	8,067	0,218	0,004	0,284	0,507	0,503	7,241
5	10	0	18 20 19	7,2	8,0	7,6	7,600	0,160	0,160	0,000	0,320	0,400	6,944
6	10	10	19 19 18,5	7,6	7,6	7,4	7,533	0,004	0,004	0,018	0,027	0,115	7,344
7	15	0	30 20 30	12,0	8,0	12,0	10,667	1,778	7,111	1,778	10,667	2,309	6,879
8	15	10	22 30 28	8,8	12,0	11,2	10,667	3,484	1,778	0,284	5,547	1,665	7,936
9	20	0	20 22 22	8,0	8,8	8,8	8,533	0,284	0,071	0,071	0,427	0,462	7,776
10	20	10	22 25 25	8,8	10,0	10,0	9,600	0,640	0,160	0,160	0,960	0,693	8,464
11	25	0	27 20 20	10,8	8,0	8,0	8,933	3,484	0,871	0,871	5,227	1,617	6,282
12	25	10	22 22 28	8,8	8,8	11,2	9,600	0,640	0,640	2,560	3,840	1,386	7,328
13	30	0	22 20 18	8,8	8,0	7,2	8,000	0,640	0,000	0,640	1,280	0,800	6,688
14	30	10	22 20 22	8,8	8,0	8,8	8,533	0,071	0,284	0,071	0,427	0,462	7,776
Rata-rata Kuat Tekan Mortar Keseluruhan (σ'bm)													

Berdasarkan Tabel 4.9, didapatkan grafik kuat tekan mortar karakteristik umur 7 hari terhadap No. komposisi sebagai berikut:



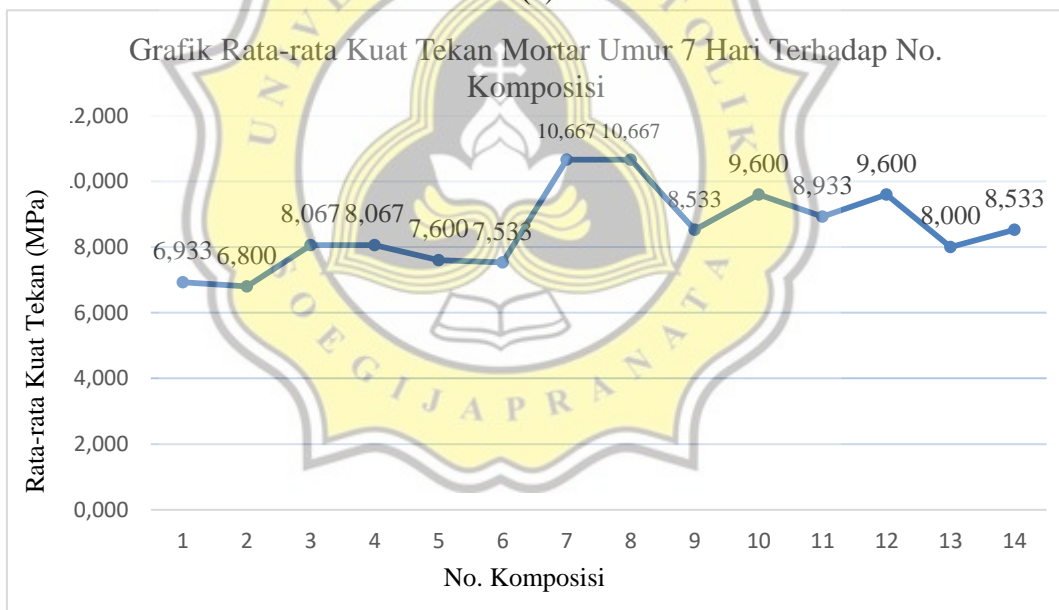
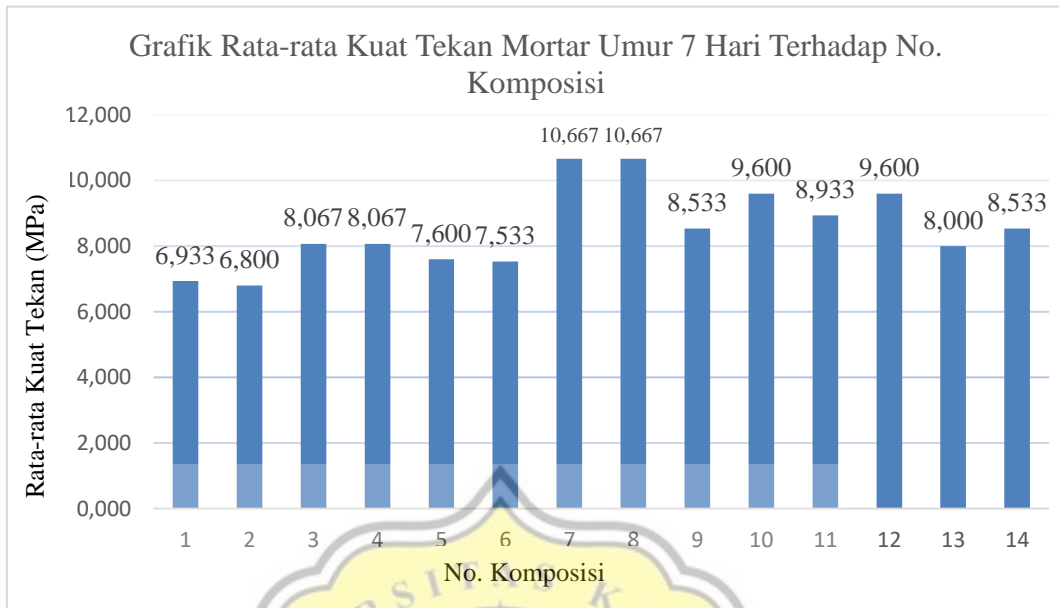
(a)



(b)

Gambar 4.9 (a) Grafik Kuat Tekan Mortar Karakteristik Umur 7 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Batang), (b) Grafik Kuat Tekan Mortar Karakteristik Umur 7 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Garis)

Berdasarkan Tabel 4.9, didapatkan grafik rata-rata kuat tekan mortar umur 7 hari terhadap No. komposisi sebagai berikut:



(a)
(b)
Gambar 4.10 (a) Grafik Rata-rata Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Batang), (b) Grafik Rata-rata Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Garis)

Berdasarkan Tabel 4.9 dan Gambar 4.10 dapat disimpulkan bahwa substitusi atau penggantian mikrosilika dapat meningkatkan kuat tekan mortar umur 7 hari. Akan tetapi, peningkatan kuat tekan mortar hanya terjadi sampai komposisi No.7 dan No.8 yang merupakan mortar dengan penggantian 15% mikrosilika tanpa



penambahan lumpur dan mortar dengan penggantian 15% mikrosilika dan penambahan lumpur 10%. Dengan kata lain, kuat tekan mortar optimal dicapai pada komposisi No.7 dan No.8.

Berikut merupakan hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang serupa. Sari, A.A.P., Anif, B., dan Mizwar, Z. (2019), melakukan penelitian dengan menambahkan mikrosilika ke dalam semen pada campuran beton mutu tinggi dengan kadar 5%, 10%, 15% dan 30% dari berat semen. Didapatkan kuat tekan beton optimal dicapai pada beton dengan penambahan 15% mikrosilika pada umur 28 hari. Mahyar, H. (2013), melakukan penelitian dengan menambahkan mikrosilika dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan beton normal dengan kadar mikrosilika 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Didapatkan kuat tekan beton optimal dicapai pada beton dengan penambahan 15% mikrosilika.

Jika dibandingkan, hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang serupa yaitu kuat tekan optimal dicapai pada penambahan atau penggantian mikrosilika sebesar 15%.

Pengaruh penggantian mikrosilika dengan kadar tertentu pada mortar umur 7 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.10 berikut. Tabel 4.10 memperlihatkan peningkatan kuat tekan (%) mortar dengan penggantian mikrosilika dengan kadar tertentu terhadap kuat tekan mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika). Sebagai contoh mortar komposisi No.3 yang merupakan mortar dengan penggantian mikrosilika dengan kadar 5% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 16,346% dari mortar komposisi No.1 atau mortar normal.

Tabel 4.10 Peningkatan Kuat Tekan Terhadap Mortar Komposisi No.1 / Mortar Normal

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Peningkatan Kuat Tekan Terhadap Komposisi No.1 / Motar Normal (%)
3	5	16,346
5	10	9,615
7	15	53,846
9	20	23,077
11	25	28,856
13	30	15,385

Pengaruh penambahan lumpur sebesar 10% terhadap kuat tekan mortar umur 7 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.11 berikut. Tabel 4.11 memperlihatkan peningkatan atau penurunan kuat tekan (%) mortar dengan penambahan lumpur sebesar 10%



terhadap mortar tanpa penambahan lumpur. Sebagai contoh mortar komposisi No.1 atau mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) dengan penambahan 10% lumpur mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 3,448% dari mortar komposisi No.2 atau mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) tanpa penambahan lumpur. Peningkatan kuat tekan ditunjukkan dengan simbol (+) dan penurunan kuat tekan ditunjukkan dengan simbol (-).

Tabel 4.11 Peningkatan/ Penurunan Kuat Tekan Akibat Penambahan Lumpur

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Peningkatan/Penurunan Kuat Tekan (%)
1	0	0	- 1,923
2	0	10	
3	5	0	0
4	5	10	
5	10	0	- 0,877
6	10	10	
7	15	0	0
8	15	10	
No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Peningkatan/Penurunan Kuat Tekan (%)
9	20	0	+ 12,5
10	20	10	
11	25	0	+ 7,463
12	25	10	
13	30	0	+ 6,67
14	30	10	

Jadi dapat disimpulkan bahwa lumpur dalam mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) dapat menurunkan kuat tekan mortar. Akan tetapi, pada mortar dengan penggantian mikrosilika sebesar 20%, 25%, dan 30%, penambahan lumpur justru tidak menurunkan kuat tekan mortar. Dengan kata lain, terdapat kemungkinan bahwa penggantian mikrosilika dapat mengurangi pengaruh buruk lumpur dalam mortar. Akan tetapi hal ini juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti campuran yang kurang homogen atau pemadatan yang kurang baik sehingga hasil yang didapat tidak akurat.

Pada grafik rata-rata kuat tekan mortar umur 7 hari terhadap No. komposisi yang diperlihatkan dalam Gambar 4.10, terdapat perbedaan data yang cukup jauh seperti yang terjadi antara komposisi No. 9 dan No.10, No.11 dan No.12, No.13 dan No.14. Hal ini dapat disebabkan oleh penggunaan kadar air yang berbeda, pemadatan yang



berbeda antar komposisi satu dan yang lain, perbedaan tinggi dan berat antar benda uji mortar, perbedaan jumlah oli yang digunakan untuk melumasi cetakan benda uji mortar, perbedaan hari pembuatan sehingga terdapat kemungkinan perbedaan kadar air dalam pasir yang digunakan dan campuran mortar yang kurang homogen.

Langkah selanjutnya adalah menghitung kuat tekan mortar umur 28 hari. Kuat tekan mortar umur 28 hari dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma_b' = \frac{P_{maks} \times 1000}{2500}$$

Keterangan:

σ_b' = Kuat tekan benda uji mortar (MPa)

P_{maks} = Gaya tekan maksimum (kN)

A = Luas permukaan benda uji mortar (mm^2)

Perhitungan luas penampang benda uji mortar:

$$\begin{aligned} A &= s \times s \\ &= 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm} \\ &= 2.500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Keterangan:

A = Luas penampang (mm^2)

s = sisi (mm)

Contoh perhitungan kuat tekan benda uji mortar umur 28 hari:

1. Benda uji mortar normal umur 28 hari

Perhitungan kuat tekan benda uji mortar:

a. Benda uji mortar sampel 1

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{60 \times 1000}{2500} \\ &= 24 \text{ MPa} \end{aligned}$$

b. Benda uji mortar sampel 2



$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{58 \times 1000}{2500} \\ &= 23,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Benda uji mortar sampel 3

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{58 \times 1000}{2500} \\ &= 23,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

2. Benda uji mortar dengan penambahan mikrosilika sebesar 5 % dan penambahan lumpur sebesar 10 % umur 28 hari

Perhitungan kuat tekan benda uji mortar:

a. Benda uji mortar sampel 1

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{68 \times 1000}{2500} \\ &= 27,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

b. Benda uji mortar sampel 2

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{68 \times 1000}{2500} \\ &= 27,2 \text{ MPa}\end{aligned}$$

c. Benda uji mortar sampel 3

$$\begin{aligned}\sigma_b' &= \frac{P_{maks} \times 1000}{2500} \\ &= \frac{70 \times 1000}{2500} \\ &= 28 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Kuat tekan mortar (MPa) umur 28 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.12.



Tabel 4.12 Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

No Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Kuat Tekan Mortar (MPa)		
			1	2	3	1	2	3
1	0	0	60	58	58	24,00	23,20	23,20
2	0	10	62	60	60	24,80	24,00	24,00
3	5	0	70	62	65	28,00	24,80	26,00
4	5	10	68	68	70	27,20	27,20	28,00
5	10	0	65	68	62	26,00	27,20	24,80
6	10	10	70	62	60	28,00	24,80	24,00
7	15	0	82	80	85	32,80	32,00	34,00
8	15	10	80	82	82	32,00	32,80	32,80
9	20	0	72	75	72	28,80	30,00	28,80
10	20	10	75	72	78	30,00	28,80	31,20
11	25	0	75	72	70	30,00	28,80	28,00
12	25	10	70	70	75	28,00	28,00	30,00
13	30	0	70	68	62	28,00	27,20	24,80
14	30	10	65	62	70	26,00	24,80	28,00

Standar deviasi atau simpangan baku adalah ukuran yang digunakan untuk mengukur jumlah variasi atau sebaran sejumlah nilai data. Dalam penelitian ini nilai data yang dimaksud adalah kuat tekan mortar. Menurut SNI 03-2847-2002, standar deviasi dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(\sigma_b' - \sigma_{bm}')^2}{(n-1)}}$$

Keterangan :

Sd = standar deviasi

σ_b' = kuat tekan benda uji mortar (MPa)

σ_{bm}' = kuat tekan rata-rata benda uji mortar (MPa)

n = jumlah benda uji mortar

Perhitungan standar deviasi kuat tekan mortar umur 28 hari (sebagai contoh:

Komposisi No.1) adalah sebagai berikut:

1. Menghitung kuat tekan rata-rata benda uji mortar (σ_{bm}')

$$\begin{aligned}\sigma_{bm}' &= \frac{24,00 \text{ MPa} + 23,20 \text{ MPa} + 23,20 \text{ MPa}}{3} \\ &= 23,467 \text{ MPa}\end{aligned}$$



2. Menghitung penyimpangan/selisih kuadrat $(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2$ kuat tekan masing-masing benda uji (σ_{bi}') terhadap kuat tekan rata-rata (σ_{bm}')

a. Benda uji mortar sampel 1 $= (\sigma_{b1}' - \sigma_{bm}')^2$
 $= (24,00 - 23,467)^2$
 $= 0,284 \text{ MPa}$

b. Benda uji mortar sampel 2 $= (\sigma_{b2}' - \sigma_{bm}')^2$
 $= (23,20 - 23,467)^2$
 $= 0,071 \text{ MPa}$

c. Benda uji mortar sampel 3 $= (\sigma_{b3}' - \sigma_{bm}')^2$
 $= (23,20 - 23,467)^2$
 $= 0,071 \text{ MPa}$

3. Menghitung jumlah penyimpangan/selisih kuadrat $[\sum(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2]$

$$\begin{aligned} \sum(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2 &= (\sigma_{b1}' - \sigma_{bm}')^2 + (\sigma_{b2}' - \sigma_{bm}')^2 + (\sigma_{b3}' - \sigma_{bm}')^2 \\ &= (0,284 \text{ MPa} + 0,071 \text{ MPa} + 0,071 \text{ MPa}) \\ &= 0,427 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4. Menghitung standar deviasi (Sd)

$$\begin{aligned} Sd &= \sqrt{\frac{\sum(\sigma_{bi}' - \sigma_{bm}')^2}{(n-1)}} \\ &= \sqrt{\frac{0,427}{(3-1)}} \\ &= 0,462 \end{aligned}$$

5. Menghitung nilai kuat tekan mortar karakteristik

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan mortar karakteristik} &= \sigma_{bm}' - (1,645 \times Sd) \\ &= 23,467 - (1,645 \times 0,462) \\ &= 22,709 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Jadi kuat tekan mortar karakteristik umur 28 hari komposisi No.1 adalah 22,709 MPa.

Hasil perhitungan kuat tekan mortar karakteristik umur 28 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.13.

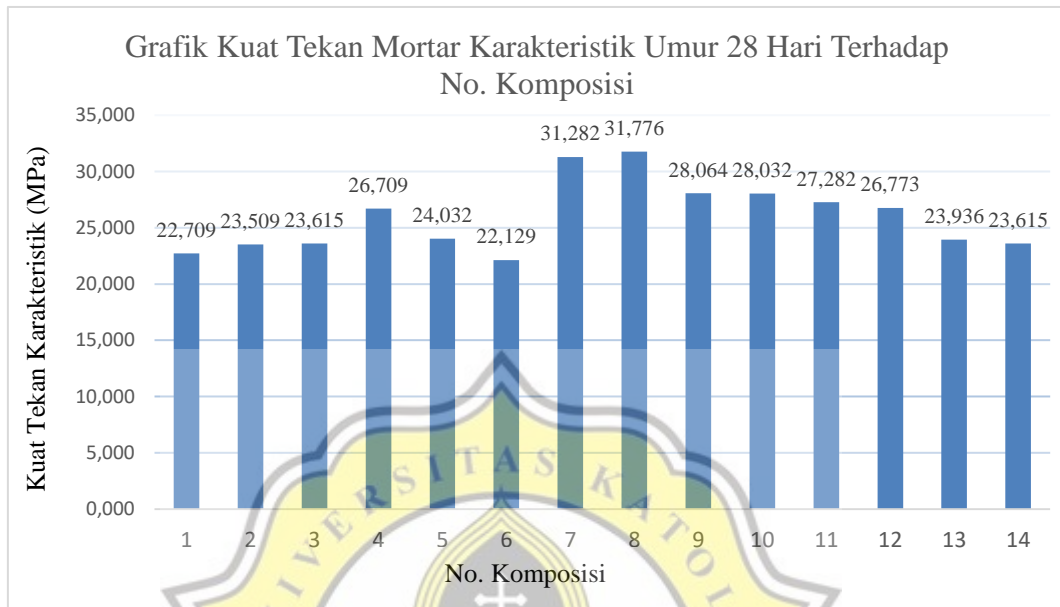


Draft Tugas Akhir
Pengaruh Proporsi Mikrosilika dan Kandungan Lumpur Terhadap Kuat Tekan Mortar

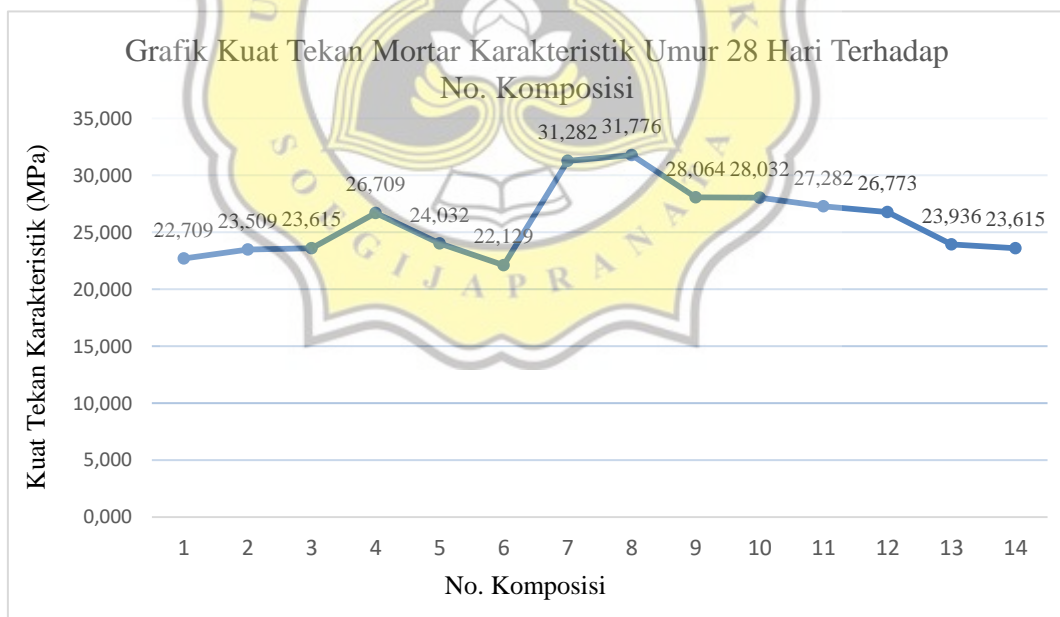
Tabel 4.13 Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari

A	B	C	D			F			G	H			I	J	K			
										Kuat Tekan Mortar (Mpa)						$(\sigma_{b1} - \sigma_{bm})^2$		
										F1	F2	F3				(F1- σ_{bm})	(F2- σ_{bm})	(F3- σ_{bm})
No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Hasil Uji Kuat Tekan (kN)			Kuat Tekan Mortar (Mpa)			Rata-Rata Kuat Tekan Mortar (Mpa)				ΣH	$\sqrt{I(n-1)}$	$\sigma_{bm} \cdot (1.645 \cdot x.I)$			
			1	2	3	1	2	3		1	2	3		Standar Deviasi / Sd	Kuat Tekan Mortar Karakteristik (MPa)			
1	0	0	60	58	58	24,00	23,20	23,20	23,467	0,284	0,071	0,071	0,427	0,462	22,709			
2	0	10	62	60	60	24,80	24,00	24,00	24,267	0,284	0,071	0,071	0,427	0,462	23,509			
3	5	0	70	62	65	28,00	24,80	26,00	26,267	3,004	2,151	0,071	5,227	1,617	23,615			
4	5	10	68	68	70	27,20	27,20	28,00	27,467	0,071	0,071	0,284	0,427	0,462	26,709			
5	10	0	65	68	62	26,00	27,20	24,80	26,000	0,000	1,440	1,440	2,880	1,200	24,032			
6	10	10	70	62	60	28,00	24,80	24,00	25,600	5,760	0,640	2,560	8,960	2,117	22,129			
7	15	0	82	80	85	32,80	32,00	34,00	32,933	0,018	0,871	1,138	2,027	1,007	31,282			
8	15	10	80	82	82	32,00	32,80	32,80	32,533	0,284	0,071	0,071	0,427	0,462	31,776			
9	20	0	72	75	72	28,80	30,00	28,80	29,200	0,160	0,640	0,160	0,960	0,693	28,064			
10	20	10	75	72	78	30,00	28,80	31,20	30,000	0,000	1,440	1,440	2,880	1,200	28,032			
11	25	0	75	72	70	30,00	28,80	28,00	28,933	1,138	0,018	0,871	2,027	1,007	27,282			
12	25	10	70	70	75	28,00	28,00	30,00	28,667	0,444	0,444	1,778	2,667	1,155	26,773			
13	30	0	70	68	62	28,00	27,20	24,80	26,667	1,778	0,284	3,484	5,547	1,665	23,936			
14	30	10	65	62	70	26,00	24,80	28,00	26,267	0,071	2,151	3,004	5,227	1,617	23,615			

Berdasarkan Tabel 4.13, didapatkan grafik kuat tekan mortar karakteristik umur 28 hari terhadap No. Komposisi sebagai berikut:



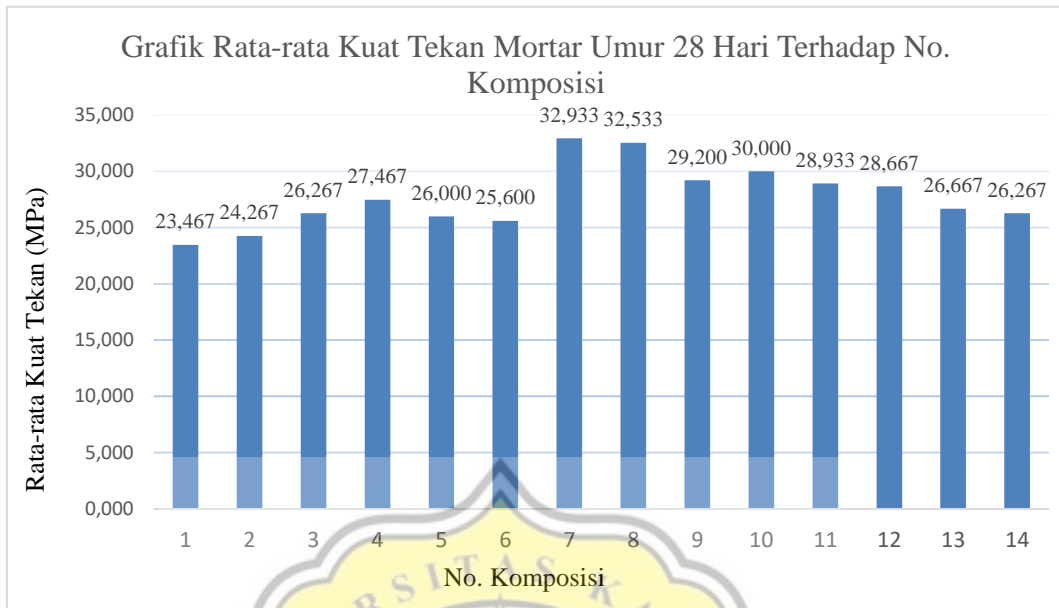
(a)



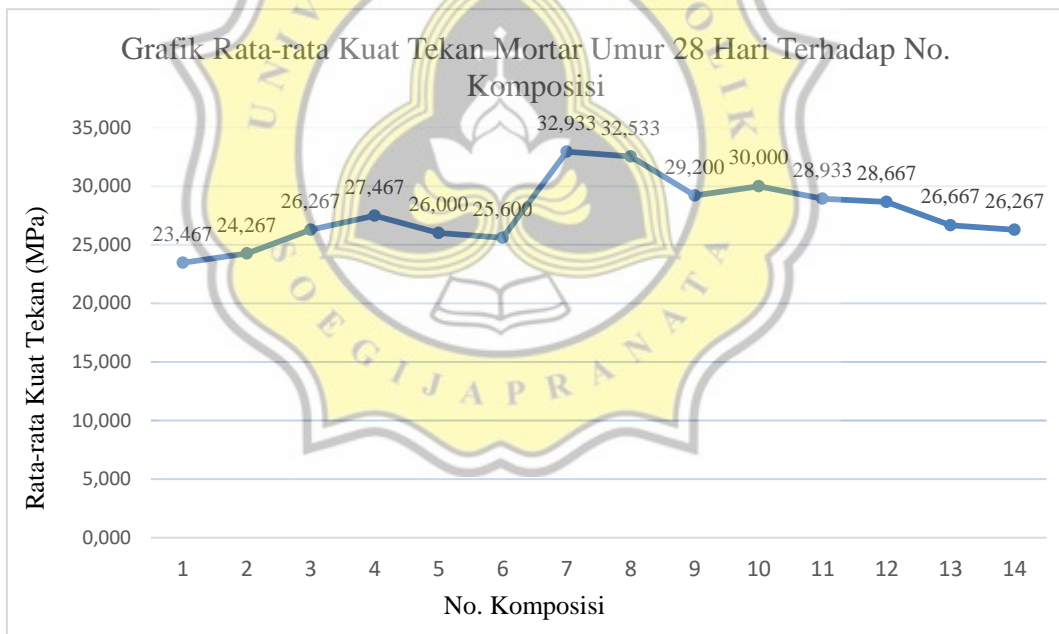
(b)

Gambar 4.11 (a) Grafik Kuat Tekan Mortar Karakteristik Umur 28 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Batang), (b) Grafik Kuat Tekan Mortar Karakteristik Umur 28 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Garis)

Berdasarkan Tabel 4.13, didapatkan grafik rata-rata kuat tekan mortar umur 28 hari terhadap No. komposisi sebagai berikut:



(a)



(b)

Gambar 4.12 (a) Grafik Rata-rata Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Batang), (b) Grafik Rata-rata Kuat Tekan Mortar Umur 28 Hari Terhadap No. Komposisi (Grafik Garis)

Berdasarkan Tabel 4.13 dan Gambar 4.12 dapat disimpulkan bahwa substitusi atau penggantian mikrosilika dapat meningkatkan kuat tekan mortar umur 28 hari. Akan tetapi, peningkatan kuat tekan mortar hanya terjadi sampai komposisi No.7 yang



merupakan mortar dengan penggantian 15% mikrosilika tanpa penambahan lumpur. Dengan kata lain, kuat tekan mortar optimal dicapai pada komposisi No.7.

Berikut merupakan hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang serupa. Sari, A.A.P., Anif, B., dan Mizwar, Z. (2019), melakukan penelitian dengan menambahkan mikrosilika ke dalam semen pada campuran beton mutu tinggi dengan kadar 5%, 10%, 15% dan 30% dari berat semen. Didapatkan kuat tekan beton optimal dicapai pada beton dengan penambahan 15% mikrosilika pada umur 28 hari. Mahyar, H. (2013), melakukan penelitian dengan menambahkan mikrosilika dalam campuran beton untuk meningkatkan kuat tekan beton normal dengan kadar mikrosilika 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Didapatkan kuat tekan beton optimal dicapai pada beton dengan penambahan 15% mikrosilika.

Jika dibandingkan, hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang serupa yaitu kuat tekan optimal dicapai pada penambahan atau penggantian mikrosilika sebesar 15%.

Pengaruh penggantian mikrosilika dengan kadar tertentu terhadap kuat tekan mortar umur diperlihatkan dalam Tabel 4.14 berikut. Tabel 4.14 memperlihatkan peningkatan kuat tekan (%) mortar dengan penggantian mikrosilika dengan kadar tertentu terhadap kuat tekan mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika). Sebagai contoh mortar komposisi No.3 yang merupakan mortar dengan penggantian mikrosilika dengan kadar 5% mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 12,069% dari mortar komposisi No.1 atau mortar normal.

Tabel 4.14 Peningkatan Kuat Tekan Terhadap Mortar Komposisi No.1 / Mortar Normal

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Peningkatan Kuat Tekan Terhadap Komposisi No.1 / Motar Normal (%)
3	5	12,069
5	10	6,897
7	15	46,552
9	20	24,138
11	25	20,690
13	30	6,897

Pengaruh penambahan lumpur sebesar 10% terhadap kuat tekan mortar umur 28 hari diperlihatkan dalam Tabel 4.15 berikut. Tabel 4.15 memperlihatkan peningkatan atau penurunan kuat tekan (%) mortar dengan penambahan lumpur



sebesar 10% terhadap mortar tanpa penambahan lumpur. Sebagai contoh mortar komposisi No.1 atau mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) dengan penambahan 10% lumpur mengalami peningkatan kuat tekan sebesar 3,448% dari mortar komposisi No.2 atau mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) tanpa penambahan lumpur. Peningkatan kuat tekan ditunjukkan dengan simbol (+) dan penurunan kuat tekan ditunjukkan dengan simbol (-).

Tabel 4.15 Peningkatan/ Penurunan Kuat Tekan Akibat Penambahan Lumpur

No. Komposisi	Kadar Mikrosilika (%)	Kadar Lumpur (%)	Peningkatan/Penurunan Kuat Tekan (%)
1	0	0	+ 3,448
2	0	10	
3	5	0	+ 7,692
4	5	10	
5	10	0	- 3,226
6	10	10	
7	15	0	- 3,529
8	15	10	
9	20	0	+ 8,333
10	20	10	
11	25	0	+ 7,143
12	25	10	
13	30	0	+ 12,903
14	30	10	

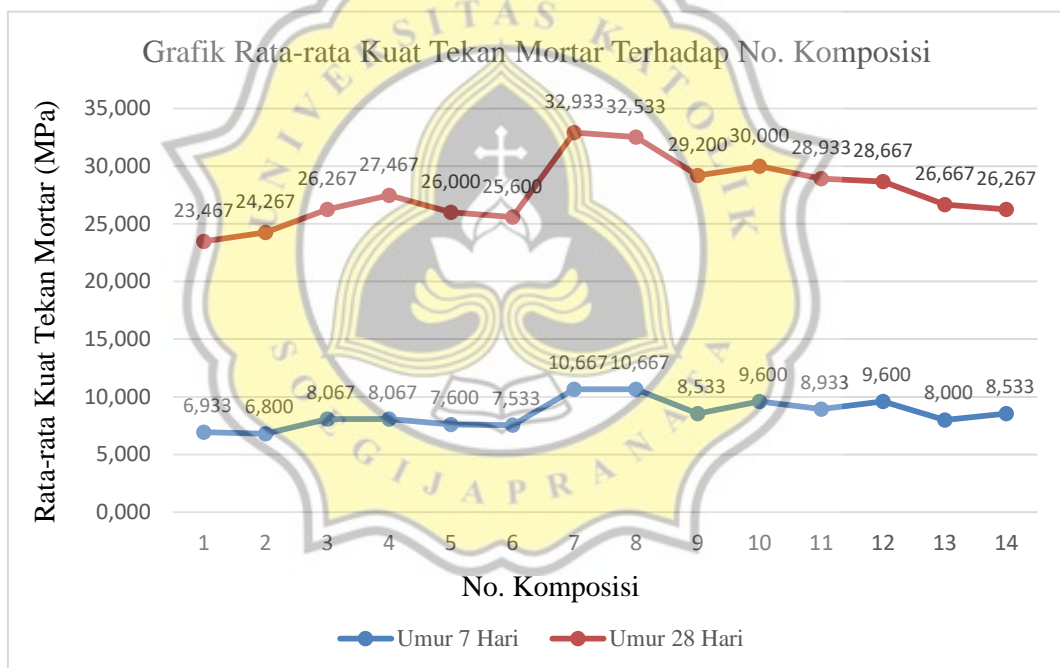
Jadi dapat disimpulkan bahwa lumpur dalam mortar normal (tanpa penggantian mikrosilika) justru tidak menurunkan kuat tekan mortar yang seharusnya menurunkan kuat tekan mortar. Lumpur dalam mortar dengan penggantian mikrosilika sebesar 10% dan 15% dapat menurunkan kuat tekan mortar. Akan tetapi, pada mortar dengan penggantian mikrosilika sebesar 5%, 20%, 25%, dan 30%, penambahan lumpur justru tidak menurunkan kuat tekan mortar. Dengan kata lain, terdapat kemungkinan bahwa penggantian mikrosilika dapat mengurangi pengaruh buruk lumpur dalam mortar. Akan tetapi hal ini juga dapat dipengaruhi oleh faktor lain seperti campuran yang kurang homogen atau pemadatan yang kurang baik sehingga hasil yang didapat tidak akurat.

Pada grafik rata-rata kuat tekan mortar umur 28 hari terhadap No. komposisi yang diperlihatkan dalam Gambar 4.12, terdapat perbedaan kuat tekan yang cukup signifikan seperti yang terjadi antara komposisi No.4 dan No.5. Hal ini dapat



disebabkan oleh penggunaan kadar air yang berbeda, pemadatan yang berbeda antar komposisi satu dan yang lain, perbedaan tinggi dan berat antar benda uji mortar, perbedaan jumlah oli yang digunakan untuk melumasi cetakan benda uji mortar, perbedaan hari pembuatan sehingga terdapat kemungkinan perbedaan kadar air dalam pasir yang digunakan dan campuran mortar yang kurang homogen.

Berdasarkan perhitungan kuat tekan mortar rata-rata umur 7 hari dan 28 hari didapatkan grafik rata-rata kuat tekan mortar terhadap No. komposisi yang diperlihatkan dalam Gambar 4.13. Grafik berikut memperlihatkan perbandingan rata-rata kuat tekan mortar umur 7 hari dan 28 hari.

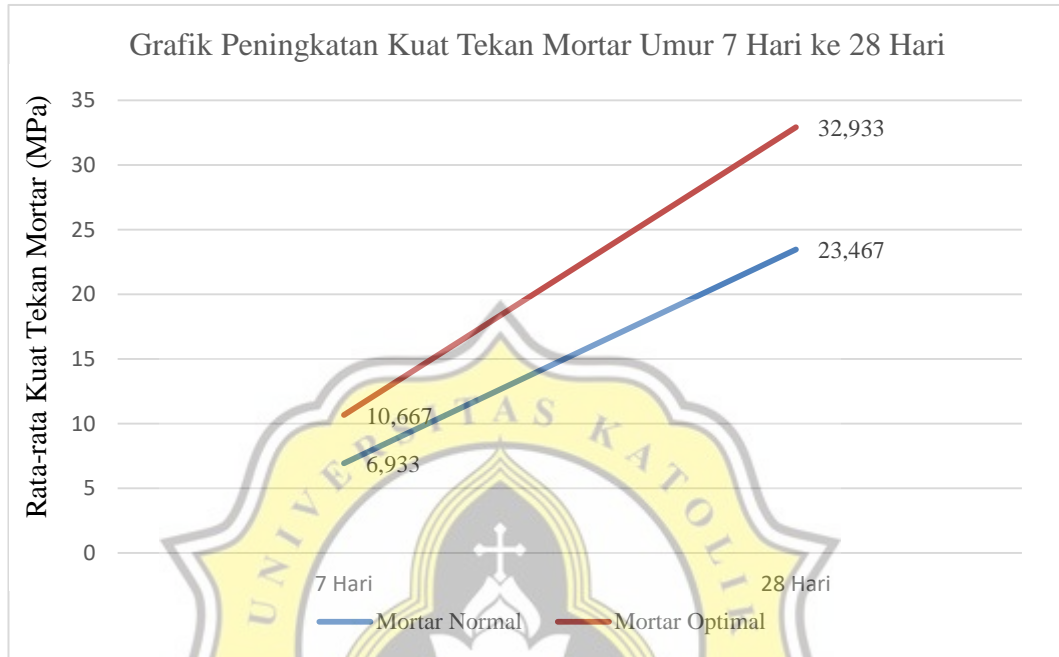


Gambar 4.13 Grafik Rata-rata Kuat Tekan Mortar Terhadap No. Komposisi

Berdasarkan grafik rata-rata kuat tekan mortar terhadap No. komposisi dalam Gambar 4.13 didapatkan kuat tekan mortar normal umur 7 hari sebesar 6,933 MPa dan kuat mortar normal umur 28 hari sebesar 23,467 MPa. Kuat tekan mortar optimal umur 7 hari sebesar 10,667 MPa dan kuat tekan mortar optimal umur 28 hari sebesar 32,933 MPa. Sehingga didapatkan peningkatan kuat tekan mortar normal umur 7 hari ke 28 hari sebesar 238,483% dan peningkatan kuat tekan mortar



optimal umur 7 hari ke 28 hari sebesar 208,737%. Peningkatan tersebut diperlihatkan dalam Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Grafik Peningkatan Kuat Tekan Mortar Umur 7 Hari ke 28 Hari