

**APLIKASI METODE EKSPERIMEN *RESPONSE SURFACE* UNTUK
MENGOPTIMALKAN KUAT TEKAN DAN KUAT GESER MORTAR
CAMPURAN SERBUK BATA MERAH DAN KAPUR**

*“Application of The Surface Response Experiment Method to Optimize The Compressive
Strength and Shear Strength of Red Brick and Lime Mortar Mixed Powder”*

Artikel Ilmiah

Untuk memenuhi sebagai persyaratan
mencapai derajat sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil



Oleh:

LALU SULTHONUL AZMI

F1A 019 096

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MATARAM

2023

ARTIKEL ILMIAH

APLIKASI METODE EKSPERIMEN *RESPONSE SURFACE* UNTUK MENGOPTIMALKAN KUAT TEKAN DAN KUAT GESER MORTAR CAMPURAN SERBUK BATA MERAH DAN KAPUR

Oleh:

LALU SULTHONUL AZMI
F1A 019 096

Telah diperiksa dan disetujui oleh:


1. Pembimbing Utama



Hariyadi, S. T., M. Sc(Eng.), Dr. Eng.
NIP. 19731027 199802 1 001

Tanggal: 20 Juli 2023

2. Pembimbing Pendamping



Prof. Jauhar Faizin, S. T., M. Sc(Eng.), Ph.D.
NIP. 19740607 199802 1 001

Tanggal: 20 Juli 2023

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Hariyadi, S. T., M. Sc(Eng.), Dr.Eng.
NIP: 19731027 199802 1 001

ARTIKEL ILMIAH
APLIKASI METODE EKSPERIMEN *RESPONSE SURFACE* UNTUK
MENGOPTIMALKAN KUAT TEKAN DAN KUAT GESER MORTAR CAMPURAN
SERBUK BATA MERAH DAN KAPUR

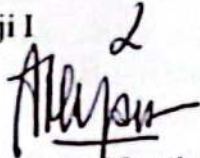
Oleh :

Lalu Sulthonul Azmi
F1A 019 096

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 14 Juli 2023
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat mencapai derajat Sarjana S-1
Jurusan Teknik Sipil

Susunan Tim Penguji


1. Penguji I



Ir Suryawan Murtiadi, M.Eng., Ph.D.
NIP. 19580718 199303 1 001

Tanggal: Juli 2023

2. Penguji II



I Wawan Sugiarta, S.T., M.T.
NIP. 19690620 199702 1 001

Tanggal: Juli 2023

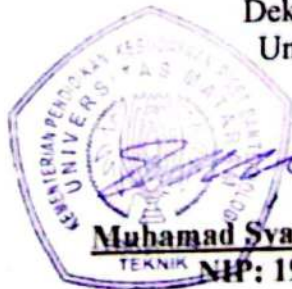
3. Penguji III



Dr. Ngudivono, S.T., M.T.
NIP. 19730505 199903 1 003

Tanggal: Juli 2023

Mengetahui
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Mataram



Muhamad Syamsu Iqbal, S.T., M.T., Ph. D.
NIP: 19720222 199903 1 002

APLIKASI METODE EKSPERIMEN RESPONSE SURFACE UNTUK MENGOPTIMALKAN KUAT TEKAN DAN KUAT GESER MORTAR CAMPURAN SERBUK BATA MERAH DAN KAPUR

Lalu Sulthonul Azmi¹, Hariyadi², Jauhar Fajrin²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram

²Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mataram Jurusan Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas Mataram

ABSTRAK

Bangunan-bangunan yang dibuat di zaman kolonial Belanda di Indonesia memiliki material pengikat khusus pada mortar berupa serbuk bata merah dan kapur yang masih berdiri sampai saat ini. Sehingga untuk memanfaatkan bahan lokal ini perlu dikaji kembali sifat fisik mortar dari campuran bahan tersebut. Pada penelitian sebelumnya untuk mencari komposisi optimum dari suatu campuran bahan untuk mencapai sifat fisik maksimum mortar digunakan metode *single factor experiment* yang memakan banyak waktu dan bahan serta hanya mengevaluasi satu faktor saja. Oleh karena itu pada penelitian ini digunakan metode eksperimen *response surface* (RSM) yang dapat meminimalkan waktu dan bahan serta dapat mengevaluasi lebih dari satu faktor dalam satu kali eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh serbuk bata merah dan kapur sebagai pengganti semen terhadap kuat tekan mortar dan kuat geser pasangan bata merah serta untuk mengetahui komposisi bahan yang dapat memaksimalkan kuat tekan dan kuat gesernya.

Dengan metode RSM dibuat benda uji mortar berbentuk kubus dengan ukuran 5cm x 5cm x 5cm dan 3 pasangan bata yang direkatkan dengan mortar. Mortar yang digunakan adalah mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% masa pengikat dan tanpa semen. Proporsi yang digunakan adalah 58% - 76% pasir, 22% - 40% kapur dan 2% - 20% bata merah. Proses analisis data menggunakan *software Design Expert 13* dengan variabel respon adalah kuat tekan mortar dan kuat geser pasangan bata merah dengan umur benda uji 28 hari.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi yang dapat menghasilkan kuat tekan maksimal ada pada mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% masa pengikat dengan komposisi 60,5% untuk pasir, 22% untuk kapur, 17,5% untuk serbuk bata merah dengan kuat tekan 5,87 MPa yang memenuhi syarat mortar tipe N (minimal kuat tekan 5,2 MPa). Sedangkan pada komposisi bahan yang dapat menghasilkan kuat geser pasangan bata merah maksimal ada pada mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% masa pengikat dengan komposisi 70% untuk pasir, 25% untuk kapur, 5% untuk serbuk bata merah dengan kuat geser 0,67 MPa. Hasil penelitian ini juga merekomendasikan sebuah persamaan umum untuk memprediksi nilai kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen masa pengikat, yaitu $y = 0,166272x_1 + 0,313482x_2 + 1,61007x_3 - 0,008388x_1x_2 - 0,016387x_1x_3 - 0,025003x_2x_3$ dengan x_1 , x_2 , x_3 berturut-turut adalah pasir, kapur, dan serbuk bata merah.

Kata kunci: Serbuk Bata Merah, Kapur, Metode RSM, Kuat Tekan Mortar, Kuat Geser Pasangan Bata Merah.

ABSTRACT

Buildings made during the Dutch colonial era in Indonesia had special binding materials in the mortar in the form of red brick powder and lime which are still standing today. So to take advantage of this local material, it is necessary to review the physical properties of the mortar from the mixture of these materials. In previous studies to find the optimum composition of a method of mixing materials to achieve maximum physical properties of mortar used a single factor experiment which takes a lot of time and materials and only evaluates one factor only. Therefore in this study the response surface (RSM) experimental method was used which can minimize time and materials and can evaluate more than one factor in one experiment. This study aims to determine the effect of red brick powder and lime as a substitute for cement on the compressive strength and shear strength of red brick masonry as well as to determine the composition of the material that can maximize the compressive strength and shear strength.

With the RSM method, a cube-shaped mortar test object was made with a size of 5cm x 5cm x 5cm and 3 bricks glued together with mortar. The mortar used was a mixture of red brick powder and lime with the addition of 15% cement by mass binder and without cement. The proportion used is 58% -76% sand, 22% - 40% lime and 2% - 20% red brick. The data analysis process used Design Expert 13 software with the response variables being the compressive strength of the mortar and the shear strength of the red bricks with the age of the specimens being 28 days.

The results showed that the composition that can produce the maximum compressive strength is in the mortar of red brick powder and lime with the addition of 15% cement mass binder with a composition of 60.5% for sand, 22% for lime, 17.5% for strong red brick powder compressive strength of 5.87 MPa which meets the requirements for type N mortar (minimum compressive strength of 5.2 MPa). While the composition of the material that can produce the maximum shear strength of red bricks is in the mortar of red brick powder and lime with the addition of 15% cement mass binder with a composition of 70% for sand, 25% for lime, 5% for red brick powder with a strong shear of 0.67 MPa. The results of this study also recommend a general equation to predict the compressive strength of red brick powder mortar and lime with the addition of cement binder mass, namely $y = 0.166272x_1 + 0.313482x_2 + 1.61007x_3 - 0.008388x_1x_2 - 0.016387x_1x_3 - 0.025003x_2x_3$ with x_1 , x_2 , x_3 are sand, lime and red brick powder respectively.

Keywords: *Red Brick Powder, Lime, RSM Method, Compressive Strength of Mortar, Shear Strength of Red Bricks.*

PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG

Sebelum ditemukannya semen sebagai bahan pengikat yang umum digunakan saat ini pada sebuah bangunan. Bahan pengikat yang digunakan zaman dahulu berupa campuran serbuk bata merah dan kapur. Berbagai bangunan-bangunan bersejarah telah dibangun menggunakan bahan pengikat berupa serbuk bata merah dan kapur. Berbagai penelitian mengidentifikasi bahwa penambahan pozzolan ke mortar kapur sudah dilakukan sejak zaman kuno (Böke dkk, 2006). Bangunan-bangunan yang dibuat di zaman kolonial Belanda di Indonesia memiliki material pengikat khusus berupa serbuk bata merah dan kapur dan masih berdiri hingga saat ini.

Saat ini bangunan bersejarah tersebut sudah mengalami kerusakan, sehingga harus di restorasi. Dalam kasus bangunan tua yang monumental, pelestarian nilai historis dan estetika bangunan tersebut sangatlah penting. Salah satu contoh yang paling terkenal adalah penggunaan mortar berbahan dasar semen *Portland* dalam pekerjaan restorasi selama abad ke-20 (Mosquera dkk, 2002).

Namun bahan ini tidak sesuai dengan bangunan bersejarah karena komposisi sifat fisik, mekanik dan kimianya berbeda. *The Venice Charter* dalam *International Charter for The Conservation and Restoration of Monuments and Sites* mendefinisikan pedoman dimana bahan perbaikan baru harus sesuai dengan yang ada di struktur lama. Dalam kasus mortar perbaikan, pengikat tradisional seperti kapur, serbuk bata merah dan sebagian kecil semen (10% sampai 15% massa pengikat terbukti cukup untuk tujuan pengawetan (Veiga dkk, 2007).

Dalam penggunaan mortar campuran serbuk bata merah dan kapur untuk restorasi bangunan bersejarah perlu dilakukan optimasi campuran untuk mendapatkan kuat tekan mortar dan kuat geser pasangan bata yang maksimal. Oleh karena itu, dicari optimalisasi campuran serbuk bata merah dan kapur pada pembuatan mortar dapat menggunakan metode eksperimen *response surface Method (RSM)*. Dimana dengan *mixture design* pada metode ini dapat digunakan untuk memperhitungkan kontribusi lebih dari satu faktor dalam satu kali eksperimen pencampuran serta dapat memperkirakan interaksi antara faktor-faktor yang diamati. Artikel ini akan membahas hasil studi eksperimen untuk mencari komposisi optimum dari mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan menerapkan metode RSM. Proses analisis data dilakukan dengan menggunakan *software Design Expert 13*.

RUMUSAN MASALAH

Dari uraian latar belakang diatas, maka akan dilakukan penelitian tentang:

1. Bagaimana pengaruh pasir, serbuk bata merah dan kapur terhadap nilai kuat tekan pada mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen.
2. Berapakah komposisi campuran pasir, serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen pada campuran mortar yang dapat memberikan hasil optimal pada kuat tekan menggunakan metode RSM.
3. Bagaimana pengaruh pasir, serbuk bata merah dan kapur terhadap nilai kuat geser pasangan bata merah pada mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen?

4. Berapakah komposisi campuran pasir, serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen pada campuran mortar yang dapat memberikan hasil optimal pada kuat geser pasangan bata merah menggunakan metode RSM?

TUJUAN PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh pasir, serbuk bata merah dan kapur terhadap nilai kuat tekan pada mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen.
2. Untuk mengetahui komposisi campuran pasir, serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen pada campuran mortar yang dapat memberikan hasil optimal pada kuat tekan menggunakan metode RSM.
3. Untuk mengetahui pengaruh pasir, serbuk bata merah dan kapur terhadap nilai kuat geser pasangan bata merah pada mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen.
4. Untuk mengetahui komposisi campuran pasir, serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen pada campuran mortar yang dapat memberikan hasil optimal pada kuat geser pasangan bata merah menggunakan metode RSM.

DASAR TEORI

TINJAUAN PUSTAKA

(Stefanidou dkk, 2010) telah melakukan penelitian mengenai *Thermal Conductivity of Building Materials Employed in the Preservation of Traditional Structures*. Dalam penelitian ini serangkaian campuran

yang menggabungkan kapur, dua jenis pozzolan alami, debu batu bata, dan berbagai jenis semen telah diproduksi untuk mengukur konduktivitas termalnya untuk pertama kalinya. Hasil Penelitiannya menunjukkan bahwa selain cocok dengan bahan bangunan lama yang asli di monumen dan struktur bersejarah, bahan pengikat ini juga dapat menambahkan karakteristik lingkungan.

Lestari (2016) meneliti mengenai evaluasi sifat fisik mortar plesteran yang terbuat dari: campuran pasir semen *portland*, kapur; dan campuran pasir, serbuk bata merah, kapur. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan sifat fisik dan mekanik antara mortar yang terbuat dari campuran semen dan pasir (MPC), campuran kapur dan pasir (MKP), campuran semen, kapur dan pasir (MSKP), serta campuran serbuk bata merah, kapur, dan pasir (MBKP). Hasil yang dicapai berupa bobot isi maksimum terjadi pada campuran MPC yaitu $2,27 \text{ gr/cm}^3$, campuran MBKP menyerap air paling tinggi dengan persentase penyerapan 16,87%, dan kuat tekan maksimum terjadi pada campuran MPC sebesar 17,52 MPa.

(Da Cruz, 2020) juga meneliti terkait juga meneliti terkait dengan analisis kuat tekan beton K-175 dengan campuran serbuk kapur dan serbuk batu bata untuk penghematan semen sebagai bahan pengikat dasar. Penelitian ini membuat beton dengan mutu K-175 yang dibagi dalam dua jenis pembuatan yaitu beton normal dan beton dengan campuran 5% kapur dan serbuk batu bata, 10% kapur dan serbuk batu bata, 20% kapur dan serbuk batu bata, serta 30% kapur dan serbuk batu bata, di mana setiap campuran semen diganti dengan kapur sebesar 70% dari persen pembuatan campuran beton dan 30% dari serbuk batu bata. Dari penelitian

tersebut didapatkan bahwa beton dengan campuran 10% kapur dan bubuk bata merah dapat digunakan sebagai bahan bangunan struktural karena memiliki nilai kuat tekan yang optimal dibanding dengan beton normal yang hanya mencapai nilai kuat tekan sebesar 234,5 kg/cm³.

Pada penelitian Kharisma, dkk (2014) tentang pengaruh penggunaan limbah batu bata sebagai semen merah terhadap kuat tekan dan kuat tarik mortar. Penelitian ini menggunakan mortar berukuran 5 x 5 x 5 cm³ dengan komposisi 1 semen merah : 1 kapur : 3 Pasir dan menggunakan variasi perbandingan semen merah batu bata baru dengan semen merah limbah batu bata sebesar 0%-100%, 20%-80%, 40%-60%, 80%-20%, dan 100%-0% pada campuran mortar. Hasil yang didapatkan kuat tekan rata-rata tertinggi pada variasi 40% limbah bata dengan 60% bata baru dengan nilai 28,742 kg/cm² dan kuat tarik tertinggi terletak pada variasi yang sama 40%-60% dengan nilai 4,036 kg/cm².

Ariestha (2018) mengenai pengoptimalan kualitas bata non bakar dengan penambahan abu ampas tebu. Proses analisis data yang dilakukan metode RSM dengan bantuan *software* Minitab 17. Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah pengaruh penambahan abu ampas tebu pada bata non bakar dengan penambahan ampas tebu menghasilkan kuat tekan yaitu 20,34 kg/cm² sedangkan untuk bata bakar biasa hanya memiliki kuat tekan 11,27 kg/cm². Proporsi material yang menghasilkan kuat tekan tertinggi adalah proporsi binder 18,90% dengan semen 17,02% dan ampas tebu 1,89%, proporsi pasir yaitu 26% dan proporsi tanah 55,09%.

Sunyoto (2022) juga melakukan penelitian yang menggunakan metode *response surface* (RSM) yaitu mengenai

komposisi optimum campuran *fly ash* dan *bottom ash* ditinjau dari kuat tekan mortar. Proses analisis data menggunakan *software* Minitab 17. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penggantian sebagian semen dengan *fly ash* dan penggantian sebagian pasir dengan *bottom ash* pada mortar akan dapat meningkatkan kuat tekan mortar. Komposisi campuran yang dapat menghasilkan kuat tekan maksimal yaitu pada proporsi 65,4% untuk pasir, 12,8% untuk semen, 5% untuk *fly ash* dan 16,8% untuk *bottom ash*.

LANDASAN TEORI

Mortar

Berdasarkan SNI 03-6825-2002, mortar semen *portland* didefinisikan sebagai campuran antara pasir, air dan semen *portland* (bahan perekat) dengan komposisi tertentu. Berdasarkan SNI 03-6882-2002 terdapat 4 tipe mortar yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi kuat tekan mortar.

Mortar	Tipe	Kuat Tekan Rata-rata 28 Hari Min. (MPa)
Kapur Semen	M	17,2
	S	12,4
	N	5,2
	O	2,5
Semen Pasangan	M	17,2
	S	12,4
	N	5,2
	O	2,4

Sumber : SNI 03-6882-2002

Material Penyusun Mortar

Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus berdasarkan asalnya dibedakan menjadi dua yaitu dari alam dan hasil olahan. Untuk mengetahui sifat fisik agregat halus (pasir), maka dilakukan pengujian sebagai berikut:

a. Analisis Ayakan

Analisa saringan agregat adalah penentuan prosentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan, yang kemudian angka-angka persentasenya ditabelkan dan digambarkan pada grafik atau kurva distribusi butir. Distribusi butiran agregat halus (pasir) dikelompokkan dalam empat zona (daerah), seperti yang terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Batas gradasi halus.

Lubang Ayakan (mm)	% Berat Butir yang Lewat Ayakan			
	I	II	III	IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Sumber : Mulyono, 2003

b. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis pasir adalah perbandingan antara massa padat pasir dan massa air dengan volume yang sama. Berdasarkan berat jenisnya, agregat dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu agregat normal dengan berat jenis antara 2,5 sampai 2,7, agregat berat dengan berat jenis lebih dari 2,8 dan agregat ringan dengan berat jenis kurang dari 2,0 (SNI 03-6820-2002).

c. Berat Satuan Agregat Halus

Berat satuan pasir adalah berat pasir dalam satu satuan volume bejana. Berat satuan dapat dihitung dengan membagi berat pasir dalam bejana dengan volume bejana tersebut. Berat satuan untuk agregat normal berkisar antara 1,2 sampai 1,6 (SNI 03-6820-2002).

d. Kandungan Lumpur Agregat Halus

Didalam SNI 03-6820-2002 disebutkan bahwa kadar lolos ayakan no.200 (kadar lumpur) merupakan unsur perusak yang ada di dalam agregat halus (pasir). Menurut Standar SNI 03-6820-2002, pasir yang digunakan tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5%, sehingga dalam

penggunaannya tidak perlu dilakukan proses pencucian terlebih dahulu.

Air

Menurut Standar SK SNI S-04-1989-F air sebagai bahan bangunan sebaiknya memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Air harus bersih.
2. Tidak mengandung garam-garam yang dapat larut dan dapat merusak beton (asam, zat organik dan sebagainya) lebih dari 15 gram/liter.
3. Tidak mengandung lumpur, minyak dan benda melayang lainnya lebih dari 2 gram/liter.
4. Tidak mengandung klorida (Cl) lebih dari 0,5 gram/liter.
5. Tidak mengandung senyawa sulfat (sebagai SO₃) lebih dari 1 gram/liter.

Semen

Semen adalah bahan pengikat yang banyak digunakan dalam dunia konstruksi. Semen dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu semen *non-hidrolik* dan semen *hidrolik*.

Bata Merah

Definisi bata merah atau batu bata menurut SNI-15-2094-2000 merupakan suatu unsur bangunan yang diperuntukkan pembuatan konstruksi bangunan dan yang dibuat dari tanah dengan atau tanpa campuran bahan-bahan lain, dibakar cukup tinggi, hingga tidak dapat hancur lagi bila direndam dalam air. Komposisi kimia dari limbah batu bata terdiri dari 54-61% silika oksida (SiO₂) dan 22-32% alumina oksida (Al₂O₃) (Castro, dkk, 2009).

Kapur

Menurut SNI 03-4147-1996, kapur terbagi menjadi 5 jenis, yaitu:

1. Kapur tipe I adalah kapur yang mengandung kalsium hidrat tinggi; dengan kadar Magnesium Oksida (MgO) paling tinggi 4% berat,

2. Kapur tipe II adalah kapur Magnesium atau Dolomit yang mengandung Magnesium Oksida lebih dari 4% dan paling tinggi 36% berat,
3. Kapur tohor (CaO) adalah hasil pembakaran batu kapur pada suhu $\pm 90^{\circ}\text{C}$, dengan komposisi sebagian besar Kalsium Karbonat (CaCO_3),
4. kapur padam adalah hasil pemadaman kapur tohor dengan air, sehingga membentuk hidrat $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$. Kapur padam adalah hasil pemadaman kapur tohor (adalah kapur tohor yang telah bersenyawa dengan air dan membentuk hidrat).

Kuat Tekan

Pengertian kuat tekan mortar menurut SNI 03-6825-2002 adalah gaya maksimum per satuan luas yang bekerja pada benda uji mortar semen *portland* berbentuk kubus dengan umumnya ukuran 5 cm x 5 cm x 5 cm. Kekuatan tekan mortar dapat dihitung dengan rumus (SNI 03-6825-2002) :

$$f'c = \frac{P_{max}}{A} \quad (1)$$

dengan:

$f'c$ = Kuat tekan mortar (MPa)

P_{max} = Gaya tekan maksimum (N)

A = Luas penampang benda uji (mm^2)

Kuat Geser Pasangan Bata Merah

Menurut SNI 03-4166-1996, pengujian kuat geser pasangan bata merah dilakukan dengan menggunakan benda uji yang tersusun dari 3 buah bata utuh yang nilai kuat geser horizontal (f_{vh}) dianalisa menggunakan persamaan (2). Ketebalan mortar efektif pada pengujian kuat geser pasangan bata merah adalah 1,5 cm (Purnomo, 2016).

$$f_{vh} = \frac{P_u}{2bh} \quad (2)$$

dengan:

f_{vh} = Kuat Geser Horizontal (MPa)

P_u = Beban Maksimum Benda Uji (N)

b = Lebar Bidang Geseran (mm)

h = Tinggi Bidang Geseran (mm)

Desain Experimen RSM

Menurut (Montgomery, 2001) metode permukaan respon atau response surface methodology adalah gabungan teknik matematika dan teknik statistika yang digunakan untuk membuat model dan menganalisis suatu respon, dimana beberapa variabel bebas mempengaruhi respon tersebut dan tujuan akhirnya adalah untuk mengoptimalkan respon dalam suatu percobaan.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian

Metode yang digunakan untuk analisis data pada penelitian ini adalah experiment RSM dengan bantuan *software Design Expert 13* yang dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram.

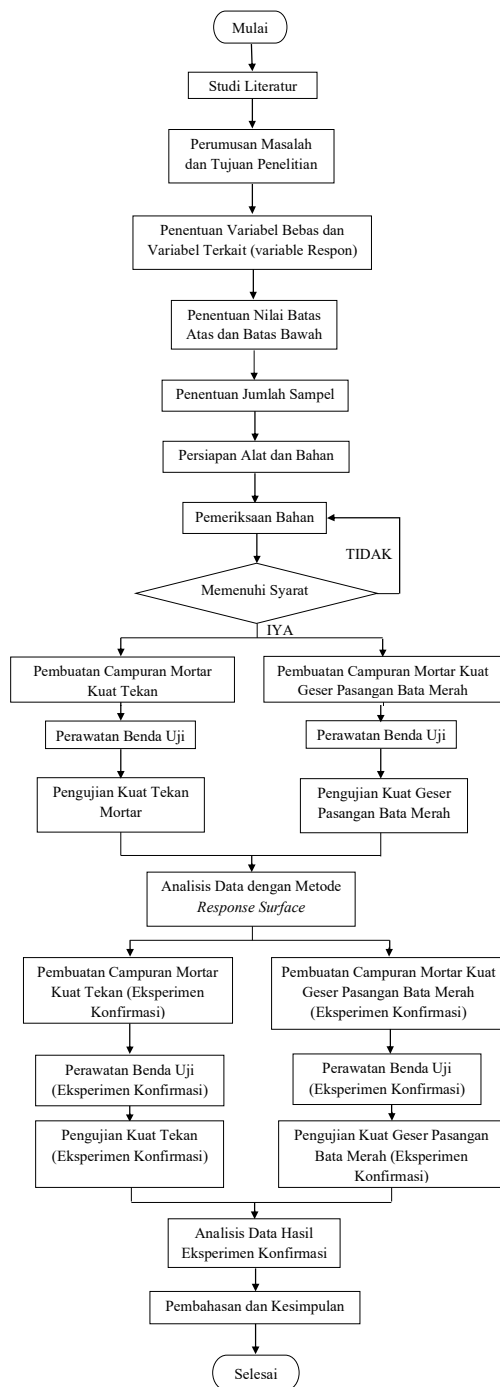
Desain Experimen

Pada penelitian ini untuk menentukan batas bawahnya digunakan perbandingan 1:3 antara massa pengikat dengan pasir sehingga didapatkan batas bawahnya adalah 30% untuk pengikatnya (25% kapur dan 5% serbuk bata merah) dan 60% untuk pasirnya. Sehingga setelah melakukan running pada *software Design Expert 13* yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rancangan experimen *mixture design*.

Sampel	Variabel			Respon
	x_1	x_2	x_3	
1	70,00	25,00	5,00	y_1
2	65,00	30,00	5,00	y_2
3	65,00	25,00	10,00	y_3
4	60,00	35,00	5,00	y_4
5	60,00	30,00	10,00	y_5
6	60,00	25,00	15,00	y_6
7	63,33	28,33	8,34	y_7
8	66,67	26,67	6,66	y_8
9	61,67	31,67	6,66	y_9
10	61,67	26,67	11,66	Y_{10}

Bagan Alir Penelitian



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemeriksaan Bahan Penyusun Mortar

1. Air

Air yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah air yang berasal dari Laboratorium Struktur dan Bahan Fakultas Teknik Universitas Mataram. Berdasarkan hasil pemeriksaan secara visual, didapatkan

air tersebut jernih, tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak berasa. Sehingga didapatkan air tersebut layak digunakan dalam pembuatan benda uji dan sudah memenuhi syarat sesuai dengan SK SNI S-04-1989-F.

2. Semen *Portland*

Semen yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen *portland* komposit (PCC) merk Tiga Roda. Berdasarkan pemeriksaan secara visual, semen yang digunakan tidak menggumpal dan dalam keadaan kering. Sehingga semen tersebut layak digunakan dalam pembuatan benda uji.

3. Agregat Halus (Pasir)

Agregat halus dalam penelitian ini berupa pasir yang berasal dari Lombok Timur. Hasil pengujian awal agregat halus ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian agregat halus (pasir)

No.	Jenis Pengujian	Pasir
1	Berat Satuan Lepas	1,210 gr/cm ³
2	Berat Satuan Padat	1,376 gr/cm ³
3	Berat Jenis SSD	2,544
4	Penyerapan Air	1,767 %
5	Kandungan Lumpur	3,706 %
6	Gradasi	III
7	Ukuran (Lolos Ayakan)	No. 4 : 100 %
		No. 8 : 100%
		No. 16 : 99,86 %
		No. 40 : 60,13 %
		No. 60 : 31,90 %
		No. 100 : 9,43 %
8	Modulus Halus Butiran	2,987

Berdasarkan Tabel 3. Didapatkan bahwa pasir ini sesuai dengan spesifikasi agregat halus normal berdasarkan SNI 03-6820-2002, sehingga pasir ini dapat digunakan dalam pembuatan mortar.

4. Hasil Pengujian Kimia Serbuk Bata Merah dan Kapur.

Serbuk bata merah yang digunakan berasal dari limbah bata merah hasil reruntuhan gempa Lombok dan kapur yang digunakan berasal dari kapur tohor di Desa Mangkung, Lombok Tengah yang kedua bahan ini disaring menggunakan ayakan no.

200. Adapun hasil uji kimianya dapat dilihat pada Tabel 4. dan Tabel 5.

Tabel 4. Kandungan senyawa kimia dalam bata merah.

No.	Kandungan Senyawa Oksida	Berat Sempel (%)
1	CaO	0,46
2	SiO ₂	64,84
3	Al ₂ O ₃	21,54
4	Fe ₂ O ₃	7,87
5	SO ₃	0,23
6	MgO	1,94
7	LOI	0,88
8	SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	94,07

Sumber : Nalobila, dkk., 2019

Tabel 5. Komposisi kimia batu kapur hasil pengujian dengan XRF.

No.	Kandungan Senyawa Oksida	Berat Sempel (%)
1	Ca	92,1
2	Fe	2,38
3	Mg	0,9
4	Si	3,0
5	In	1,4
6	Ti	0,14
7	Mn	0,03
8	Lu	0,14

Sumber : Lukman, dkk., 2012

5. Hasil Pengujian Fisik Bata Merah dan Kapur

Pengujian fisika yang dilakukan pada penelitian ini adalah uji konsistensi normal. Hasil pengujian konsistensi normal dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil pengujian konsistensi normal.

No.	Variasi Persentase Campuran Pengikat (%) Semen PCC : Kapur : Serbuk Bata Merah	Berat Semen PCC (gram)	Berat Kapur (gram)	Berat Serbuk Bata Merah (gram)	Total Berat Pengikat (gram)	Konsistensi Air (%)	Penurunan Jarum (mm)
1	(100 : 0 : 0)	350	0	0	350	25	7
		350	0	0	350	26,4	10
		350	0	0	350	30	18
2	(0 : 50 : 50)	0	175	175	350	40	6
		0	175	175	350	41,5	10
		0	175	175	350	50	33
3	(15 : 25 : 60)	52,5	87,5	210	350	40	3
		52,5	87,5	210	350	43,9	10
		52,5	87,5	210	350	55	30
4	(15 : 80 : 5)	52,5	280	17,5	350	55	7
		52,5	280	17,5	350	56,5	10
		52,5	280	17,5	350	60	17
5	(0 : 25 : 75)	0	87,5	262,5	350	35	5
		0	87,5	262,5	350	37,0	10
		0	87,5	262,5	350	45	30
6	(0 : 95 : 5)	0	332,5	17,5	350	50	6
		0	332,5	17,5	350	60	9
		0	350	0	350	60	10
7	(0 : 100 : 0)	0	0	350	350	35	5
		0	0	350	350	40,0	10
		0	0	350	350	50	20
9	(6 : 79 : 15)	21	276,5	52,5	350	50	9

Hasil konsistensi normal pada penelitian tersebut menunjukkan terjadinya peningkatan konsistensi air seiring dengan

penambahan persentase penggunaan serbuk bata merah dan kapur. Hal ini terjadi karena serbuk bata merah dan kapur lebih banyak menyerap air daripada semen.

Hasil dan Pembahasan Experimen

1. Berat Sampel Berdasarkan Desain Experimen RSM

Berat masing-masing bahan yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari persen benda uji dikali berat mortar normal yaitu 270 gram dan disajikan dalam Tabel 7. dan Tabel 8.

Tabel 7. Berat setiap bahan dengan penambahan semen 15% massa pengikat.

Kombinasi	Berat Bahan (gram)			
	Pasir	Serbuk Bata Merah	Kapur	Semen
K1	189	67,5	13,5	12,15
K2	175,5	81	13,5	14,175
K3	175,5	67,5	27	14,175
K4	162	94,5	13,5	16,2
K5	162	81	27	16,2
K6	162	67,5	40,5	16,2
K7	170,991	76,491	22,518	14,851
K8	180,009	72,009	17,982	13,499
K9	166,509	85,509	17,982	15,524
K10	166,509	72,009	31,482	15,524

Tabel 8. Berat setiap bahan tanpa semen.

Kombinasi	Berat Bahan (gram)		
	Pasir	Serbuk Bata Merah	Kapur
KT1	189	67,5	13,5
KT2	175,5	81	13,5
KT3	175,5	67,5	27
KT4	162	94,5	13,5
KT5	162	81	27
KT6	162	67,5	40,5
KT7	170,991	76,491	22,518
KT8	180,009	72,009	17,982
KT9	166,509	85,509	17,982
KT10	166,509	72,009	31,482

2. Kebutuhan Air Campuran Mortar

Adapun kebutuhan air untuk setiap kombinasi mortar dengan FAS 0,75 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 9. Kebutuhan air setiap kombinasi dengan penambahan semen.

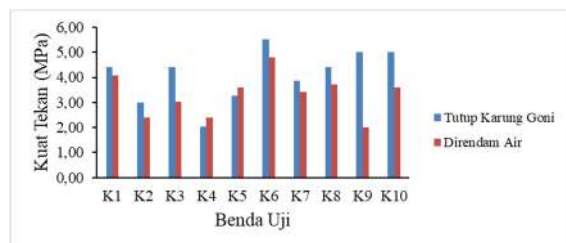
Kombinasi	Berat Bahan (gram)				Kebutuhan Air (ml)
	Pasir	Serbuk Bata Merah	Kapur	Semen	
K1	189	67,5	13,5	12,15	69,86
K2	175,5	81	13,5	14,175	81,51
K3	175,5	67,5	27	14,175	81,51
K4	162	94,5	13,5	16,2	93,15
K5	162	81	27	16,2	93,15
K6	162	67,5	40,5	16,2	93,15
K7	170,991	76,491	22,518	14,851	85,40
K8	180,009	72,009	17,982	13,499	77,62
K9	166,509	85,509	17,982	15,524	89,26
K10	166,509	72,009	31,482	15,524	89,26

Tabel 10. Kebutuhan air setiap kombinasi tanpa semen.

Kombinasi	Berat Bahan (gram)			Kebutuhan Air (ml)
	Pasir	Serbuk Bata Merah	Kapur	
KT1	189	67,5	13,5	60,75
KT2	175,5	81	13,5	70,88
KT3	175,5	67,5	27	70,88
KT4	162	94,5	13,5	81,00
KT5	162	81	27	81,00
KT6	162	67,5	40,5	81,00
KT7	170,991	76,491	22,518	74,26
KT8	180,009	72,009	17,982	67,49
KT9	166,509	85,509	17,982	77,62
KT10	166,509	72,009	31,482	77,62

3. Hasil Perbandingan Perawatan Benda Uji

Untuk mendapatkan kuat tekan yang maksimal pada mortar serbuk bata merah dan kapur maka perawatan sangat berperan dalam menjaga kuat tekan benda uji sampai hari ke 28.



Gambar 2. Perbandingan kuat tekan mortar serbuk bata merah dengan penambahan semen 15% yang diredam air dengan ditutup karung goni.

4. Hasil Pengujian Kuat Tekan Mortar

Pengujian kuat tekan dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM).



Gambar 3. Pengujian kuat tekan mortar.

Hasil pengujian kuat tekan mortar dapat dilihat pada Tabel 11. dan Tabel 12.

Tabel 11. Hasil pengujian kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% dari massa pengikat.

Kombinasi	Kuat Tekan Mortar (MPa)			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
K1	4,40	4,00	3,88	4,09
K2	2,80	3,00	2,86	2,89
K3	4,40	4,40	4,40	4,40
K4	1,80	2,00	2,02	1,94
K5	2,45	3,23	3,26	2,98
K6	5,20	5,51	5,00	5,24
K7	2,83	2,63	3,60	3,02
K8	3,09	2,80	3,67	3,19
K9	3,23	2,80	2,80	2,94
K10	3,80	3,40	5,00	4,07

Tabel 12. Hasil pengujian kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa penambahan semen.

Kombinasi	Kuat Tekan Mortar (MPa)			Kuat Tekan Rata-Rata (MPa)
	Sampel 1	Sampel 2	Sampel 3	
KT1	4,40	4,69	4,33	4,47
KT2	1,65	1,80	2,40	1,95
KT3	2,65	3,47	2,86	2,99
KT4	1,67	1,86	1,86	1,79
KT5	2,24	2,00	2,40	2,21
KT6	2,40	3,60	3,60	3,20
KT7	1,84	1,20	1,82	1,62
KT8	2,40	2,60	1,63	2,21
KT9	1,20	1,20	1,20	1,20
KT10	2,40	2,20	2,80	2,47

5. Hasil Pengujian Kuat Geser Pasangan Bata Merah

Pengujian kuat geser dilakukan dengan menggunakan alat *Compression Testing Machine* (CTM).



Gambar 4. Pengujian kuat geser.

Hasil pengujian kuat geser ini dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Hasil pengujian kuat geser pasangan bata merah pada mortar serbuk bata merah dan kapur.

Kombinasi	Kuat Geser Mortar dengan Penambahan Semen 15% Massa Pengikat (MPa)	Kuat Geser Mortar Tanpa Semen (MPa)
1	0,67	0,02
2	0,15	0,04
3	0,29	0,02
4	0,06	0,13
5	0,08	0,06
6	0,58	0,04
7	0,21	0,02
8	0,38	0,02
9	0,10	0,04
10	0,06	0,04

Analisis Eksperimen Metode RSM

1. Model Pada Kuat Tekan

Dalam tahap analisis data menggunakan software design expert 13 untuk kuat tekan mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa penambahan semen didapatkan hasil yang tertera pada Tabel 14. dan Tabel 15.

Tabel 14. Rekomendasi model pada kuat tekan mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001	0.0548	0.7719	0.7446	
Quadratic	0.0753	0.1321	0.8064	0.7840	Suggested
Special Cubic	0.4703	0.0921	0.8026	0.7726	
Cubic	0.0467	0.5056	0.8385	0.7758	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0799	0.5055	0.8385	0.7758	
Quartic vs Cubic	0.1344	1.0000	0.8555	0.6301	Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.1344	1.0000	0.8555	0.6301	Aliased

Tabel 15. Rekomendasi model pada kuat tekan mortar tanpa semen.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	< 0.0001	< 0.0001	0.4705	0.3540	
Quadratic	< 0.0001	0.0740	0.8103	0.7467	
Special Cubic	0.0303	0.2535	0.8393	0.7778	Suggested
Cubic	0.2066	0.3293	0.8486	0.7734	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0526	0.3293	0.8486	0.7734	
Quartic vs Cubic	0.6109	1.0000	0.8411	0.7048	Aliased
Quartic vs Sp Quartic	0.6109	1.0000	0.8411	0.7048	Aliased

Untuk mengetahui apakah model ini merupakan bentuk hubungan yang sesuai antara respon (y) dan variabel bebasnya (x), maka dilakukan analisis dengan metode ANOVA (*Analysis of Variance*). Hasil dari

ANOVA ini dapat dilihat pada Tabel 16. dan Tabel 17.

Tabel 16. Analisis model orde II.

ANOVA for Quadratic model

Response 1: Kuat Tekan

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	23.36	5	4.67	25.16	< 0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	21.91	2	10.95	58.99	< 0.0001	
AB	0.1068	1	0.1068	0.5754	0.4555	
AC	0.4077	1	0.4077	2.20	0.1514	
BC	0.9491	1	0.9491	5.11	0.0331	
Residual	4.46	24	0.1857			
Lack of Fit	1.28	4	0.3192	2.01	0.1321	not significant
Pure Error	3.18	20	0.1590			
Cor Total	27.81	29				

Tabel 17. Analisis model orde III.

ANOVA for Special Cubic model

Response 1: Kuat Tekan

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	23.32	6	3.89	26.25	< 0.0001	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	13.55	2	6.78	45.76	< 0.0001	
AB	0.0911	1	0.0911	0.6148	0.4410	
AC	0.6316	1	0.6316	4.26	0.0504	
BC	0.7563	1	0.7563	5.11	0.0336	
ABC	0.7893	1	0.7893	5.33	0.0303	
Residual	3.41	23	0.1481			
Lack of Fit	0.6146	3	0.2049	1.47	0.2535	not significant
Pure Error	2.79	20	0.1396			
Cor Total	26.73	29				

2. Model Pada Kuat Geser Pasangan Bata Merah

Pada tahap analisis data menggunakan software design expert 13 untuk kuat geser mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa penambahan semen didapatkan hasil yang tertera pada Tabel 18. dan Tabel 19.

Tabel 18. Rekomendasi model pada kuat geser mortar dengan penambahan semen 15% massa pengikat.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0494		0.4555	-0.4563	Suggested
Quadratic	0.1164		0.7509	-1.0780	
Special Cubic	0.5643		0.7084	-2.3612	
Cubic	0.3395		0.8992	-7.7912	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.3987		0.8989	-7.8168	
Quartic vs Cubic					Aliased
Quartic vs Sp Quartic					Aliased

Tabel 19. Rekomendasi model pada kuat geser mortar tanpa semen.

Source	Sequential p-value	Lack of Fit p-value	Adjusted R ²	Predicted R ²	
Linear	0.0161		0.6048	0.0351	
Quadratic	0.0987		0.8342	-0.4629	
Special Cubic	0.5185		0.8122	-1.3073	
Cubic	0.0278		0.9996	0.9620	Aliased
Sp Quartic vs Quadratic	0.0322		0.9996	0.9630	Suggested
Quartic vs Cubic					Aliased
Quartic vs Sp Quartic					Aliased

Untuk mengetahui apakah model ini merupakan bentuk hubungan yang sesuai antara respon (y) dan variabel bebasnya (x), maka dilakukan analisis dengan metode ANOVA (*Analysis of Variance*). Hasil dari ANOVA ini dapat dilihat pada Tabel 20. dan Tabel 21.

Tabel 20. Analisis model orde I.

ANOVA for Linear model
Response 1: Kuat Geser

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.2527	2	0.1264	4.76	0.0494	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.2527	2	0.1264	4.76	0.0494	
Residual	0.1856	7	0.0265			
Cor Total	0.4384	9				

Tabel 21. Analisis model orde V.

ANOVA for Special Quartic model
Response 1: Kuat Geser

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.0100	8	0.0013	2647.60	0.0150	significant
⁽¹⁾ Linear Mixture	0.0069	2	0.0035	7335.52	0.0083	
AB	0.0000	1	0.0000	40.25	0.0995	
AC	0.0000	1	0.0000	56.04	0.0845	
BC	2.823E-06	1	2.823E-06	5.97	0.2472	
A ² BC	3.946E-06	1	3.946E-06	8.35	0.2121	
AB ² C	0.0007	1	0.0007	1522.63	0.0163	
ABC ²	0.0001	1	0.0001	251.41	0.0401	
Residual	4.726E-07	1	4.726E-07			
Cor Total	0.0100	9				

3. Pengujian Model Eksperimen

a. Uji Lack Of Fit (Kesesuaian Model)

Berdasarkan analisis data dengan model *quadratic* dan *special cubic* untuk kuat tekan, diperoleh hasil yang menunjukkan tidak adanya *lack of fit* ($p\text{-value} > \alpha$) yaitu $0,1321 > 0,05$ dan $0,2535 > 0,05$ serta nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ yaitu $2,01 < 2,73$ dan $1,47 < 2,96$. Sehingga hipotesis nol (H_0) diterima, yang berarti terdapat kesesuaian model atau tidak terdapat ketidaksesuaian model. Sedangkan pada kuat geser model *linear* dan *special quartic* tidak memiliki *lack of fit* sehingga model dikatakan sesuai.

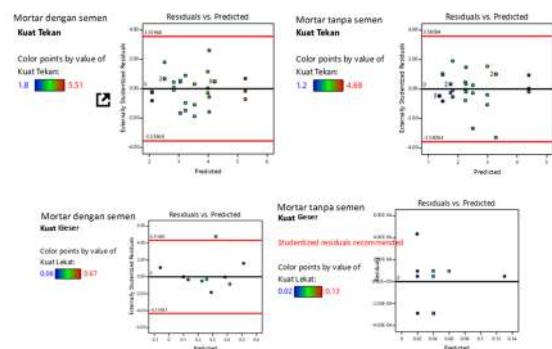
b. Uji Serentak

Uji serentak memiliki persyaratan yaitu $p\text{-value}$ bernilai lebih kecil dibandingkan dengan angka signifikansi (α) yaitu 5% dan $F_{hitung} > F_{tabel}$. Berdasarkan hasil analisis data dengan model *quadratic* dan *special cubic* pada kuat tekan dan model *linear* dan

special quartic pada kuat geser bernilai lebih kecil dari α dan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$. Hal ini menunjukkan bahwa variabel bebas memberikan kontribusi yang signifikan terhadap model yang terbentuk.

c. Uji Asumsi Identik

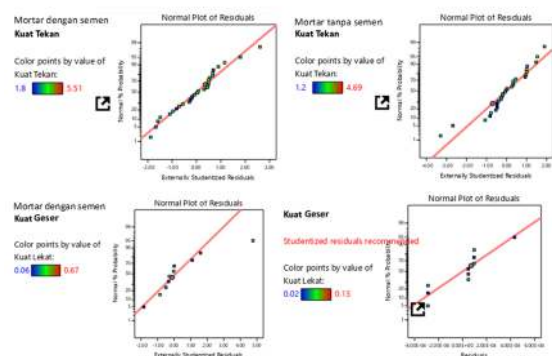
Pada Gambar 5. menunjukkan hubungan *plot residuals* dengan *fitted value*, dimana terlihat residual tersebar secara acak dan tidak membentuk pola tertentu, sehingga dapat dikatakan bahwa asumsi residual identik terpenuhi.



Gambar 5. Uji asumsi identik.

d. Uji Kenormalan

Pada Gambar 6. ditunjukkan plot dari residual, dimana titik-titik residual yang ada berada mendekati garis lurus berwarna merah, sehingga dapat dikatakan bahwa residual telah memenuhi asumsi kenormalan.

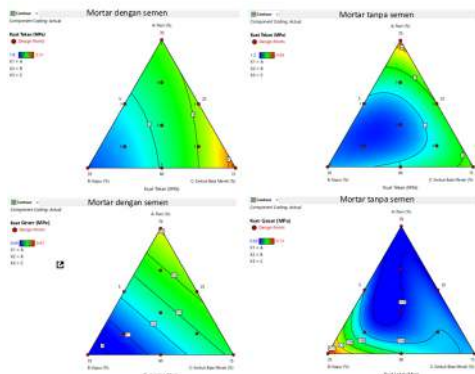


Gambar 6. Uji asumsi kenormalan.

4. Analisis Karakteristik Permukaan Respon

Hasil analisis menggunakan metode *response surface* menghasilkan 2D gambar

yaitu grafik contour dan grafik *surface* seperti pada Gambar 7.

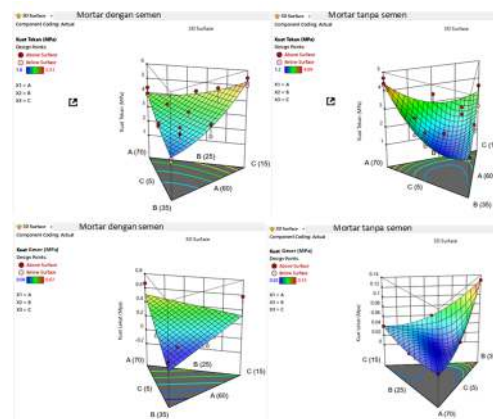


Gambar 7. *Contour plots.*

Dapat dilihat bahwa gambar *plot* kontur untuk kuat tekan mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan 15% semen memiliki nilai tertinggi yaitu 5,51 MPa dengan variabel bebas yang paling mempengaruhi tingginya kuat tekan adalah penambahan serbuk bata merah. Sedangkan pada kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa penambahan semen memiliki nilai kuat tekan tertinggi yaitu 4,69 MPa dengan variabel bebas yang paling mempengaruhi tingginya kuat tekan adalah penambahan pasir.

Pada kuat geser mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat memiliki nilai tertinggi yaitu 0,67 MPa dengan variabel bebas yang paling mempengaruhi tingginya kuat geser adalah penambahan pasir. Sedangkan pada kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa penambahan semen memiliki nilai kuat geser tertinggi yaitu 0,13 MPa dengan variabel bebas yang paling mempengaruhi tingginya kuat tekan adalah penambahan kapur.

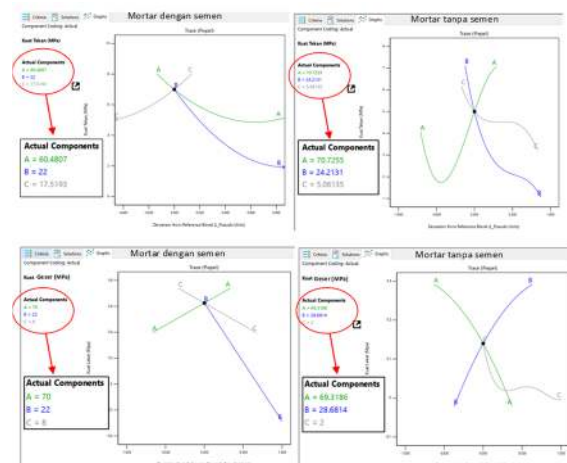
Penentuan kondisi optimum dari faktor diatas dapat dibuktikan dengan bentuk kurva tiga dimensi yang membentuk puncak optimum.



Gambar 8. *Surface plot.*

5. Hasil Optimasi

Dari gambar 3D *surface plot* nilai optimum berada pada ujung grafik dan tidak menunjukkan grafik cembung, sehingga apabila dicari nilai optimalnya menunjukkan persentase di ujung yang tidak memerlukan uji konfirmasi. Untuk itu dicoba memperlebar jangkauan grafiknya dengan memperkecil batas bawahnya. Didapatkan nilai optimum dari masing-masing benda uji yang dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. *Optimization plot.*

Hasil dan Pembahasan Desain Konfirmasi

Berikut adalah hasil perbandingan kuat tekan mortar hasil optimasi dengan mortar normal.

Tabel 22. Perbandingan kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat.

Sampel	Kuat Tekan (MPa)	
	Mortar Optimasi	Mortar Normal
1	5,80	13,40
2	5,40	12,80
3	6,40	10,80
Rata-Rata	5,87	12,33

Tabel 23. Perbandingan kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa semen.

Sampel	Kuat Tekan (MPa)	
	Mortar Optimasi	Mortar Normal
1	2,80	13,40
2	2,60	12,80
3	2,60	10,80
Rata-Rata	2,67	12,33

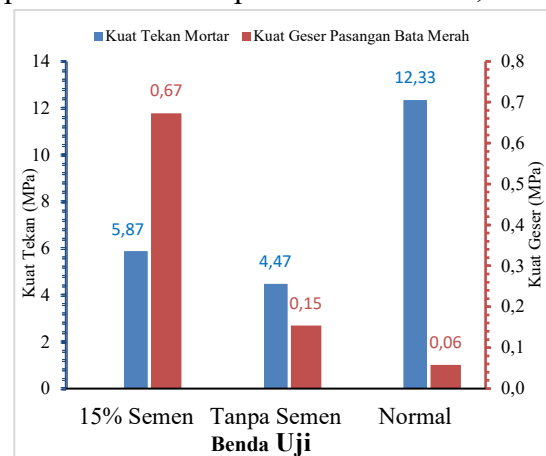
Pada Tabel 20. dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan rata-tara optimasi untuk mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan 15% semen adalah 5,87 MPa dimana nilai ini tidak berbeda jauh dengan nilai prediksi yaitu 6 MPa. Perbedaan antara nilai prediksi dan nilai penelitian adalah 2,22% atau dapat dikatakan lebih kecil dari 5%. Untuk itu direkomendasikan persamaan umum untuk kuat tekannya yaitu $y = 0,166272x_1 + 0,313482x_2 + 1,61007x_3 - 0,008388x_1x_2 - 0,016387x_1x_3 - 0,025003x_2x_3$ dengan x_1, x_2, x_3 berturut-turut adalah pasir, kapur, dan serbuk bata merah. Sedangkan pada Tabel 21. dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan rata-rata optimasi untuk kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa semen adalah 2,67 MPa dimana nilai ini di bawah jauh nilai prediksi yaitu 5 MPa dan dibawah nilai kuat tekan rata-rata mortar sampel 1 yang memiliki nilai kuat tekan 4,47 MPa. Sehingga yang digunakan untuk nilai kuat tekan optimum mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa semen adalah 4,47 MPa.

Berikut adalah hasil perbandingan kuat geser mortar hasil optimasi dengan mortar normal.

Tabel 24. Perbandingan kuat geser mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa semen.

Sampel	Kuat Geser (MPa)	
	Mortar Optimasi	Mortar Normal
Dengan Semen	0,38	0,06
Tanpa Semen	0,15	

Pada Tabel 22. dapat dilihat bahwa nilai kuat tekan optimasi untuk geser tekan mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat adalah 0,38 MPa dimana nilai ini di bawah jauh nilai prediksi yaitu 0,7 MPa dan dibawah nilai kuat geser mortar sampel 1 yang memiliki nilai kuat tekan 0,67 MPa. Sehingga yang digunakan untuk nilai kuat geser pasangan bata merah optimum mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa semen adalah 0,67 MPa. Sedangkan pada nilai kuat geser pasangan bata merah optimasi pada mortar serbuk bata merah dan kapur tanpa semen adalah 0,15 MPa dimana nilai ini tidak berbeda jauh dengan nilai prediksi yaitu 0,14 MPa. Perbedaan antara nilai prediksi dan nilai penelitian adalah 6,67%.



Gambar 10. Perbandingan kuat tekan mortar dan kuat geser pasangan bata merah.

Berdasarkan Gambar 10. didapatkan bahwa nilai kuat tekan mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa penambahan semen sama sekali lebih rendah dibandingkan dengan mortar normal akan tetapi mortar ini memiliki nilai kuat tekan diatas mortar serbuk bata merah dan kapur pada penelitian sebelumnya dan menurut spesifikasi SNI 03-6882-2002 telah memenuhi nilai minimum kuat tekan mortar tipe N (minimum kuat tekan 5,2 MPa) yang direkomendasikan untuk mortar dinding penahan beban *interior* dan *eksterior*.

Gambar 10. didapatkan juga bahwa nilai kuat geser mortar serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat dan tanpa penambahan semen sama sekali lebih tinggi dibandingkan dengan mortar normal. Hal itu dikarenakan mortar normal memerlukan air untuk mempertahankan hidrasi dan kekuatan mortarnya, sedangkan pasangan bata merah cenderung menyerap air pada mortar yang berakibat mortar normal kekurangan air yang berdampak pada menurunnya kuat gesernya. Akan tetapi pada mortar serbuk bata merah dan kapur berbanding terbalik yaitu ketika air dalam mortarnya diserap pasangan bata merah akan meningkatkan kuat gesernya.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Kuat tekan yang dihasilkan sebagai berikut:
 - a) Mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat menunjukkan pengaruh signifikan serbuk bata merah dalam meningkatkan nilai kuat tekan menjadi 5,87 MPa yang dapat memenuhi spesifikasi mortar tipe N

(minimal nilai kuat tekan 5,2 MPa). Untuk itu direkomendasikan persamaan umum untuk kuat tekannya yaitu $y = 0,166272x_1 + 0,313482x_2 + 1,61007x_3 - 0,008388x_1x_2 - 0,016387x_1x_3 - 0,025003x_2x_3$ dengan x_1 , x_2 , x_3 berturut-turut adalah pasir, kapur, dan serbuk bata merah.

- b) Mortar campuran serbuk bata merah dan kapur tanpa semen menunjukkan pengaruh signifikan pasir dalam meningkatkan nilai kuat tekan menjadi 4,47 MPa yang dapat memenuhi spesifikasi mortar tipe O (minimal nilai kuat tekan 2,5 MPa), namun kedua mortar ini memiliki nilai kuat tekan di bawah mortar semen yaitu 12,33 MPa.
2. Komposisi optimum yang dihasilkan untuk memaksimalkan kuat tekan sebagai berikut:
 - a) Komposisi Optimum mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat yang menghasilkan nilai kuat tekan maksimal adalah 60,5% pasir, 22% kapur dan 17,5% serbuk bata merah dengan nilai sebesar 5,87 MPa. Komposisi ini direkomendasikan untuk digunakan untuk mortar dinding penahan beban *interior* dan *eksterior*.
 - b) Komposisi Optimum mortar campuran serbuk bata merah dan kapur tanpa semen yang menghasilkan nilai kuat tekan maksimal adalah 70% pasir, 25% kapur dan 5% serbuk bata merah dengan nilai sebesar 4,47 MPa.
 3. Kuat geser pasangan bata merah yang dihasilkan sebagai berikut:
 - a) Untuk mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat menunjukkan pengaruh signifikan pasir dalam meningkatkan nilai kuat geser pasangan bata merah menjadi 0,67 MPa.

- b) Untuk mortar campuran serbuk bata merah dan kapur tanpa semen menunjukkan pengaruh signifikan kapur dalam meningkatkan nilai geser pasangan bata merah menjadi 0,15 MPa. Kedua mortar ini dapat melebihi nilai kuat geser pasangan bata merah dan kapur pada mortar semen yaitu 0,06 MPa.
4. Komposisi optimum yang dihasilkan untuk memaksimalkan kuat geser pasangan bata merah sebagai berikut:
- a) Komposisi Optimum mortar campuran serbuk bata merah dan kapur dengan penambahan semen 15% massa pengikat yang menghasilkan nilai kuat geser pasangan bata merah maksimal adalah 70% pasir, 25% kapur dan 5% serbuk bata merah dengan nilai sebesar 0,67 MPa.
- b) Komposisi Optimum mortar campuran serbuk bata merah dan kapur tanpa semen yang menghasilkan nilai kuat geser pasangan bata merah maksimal adalah 69,3% pasir, 28,7% kapur dan 2% serbuk bata merah dengan nilai sebesar 0,15 MPa.

Saran

1. Penelitian selanjutnya lebih memperlebar lagi jangkauan grafiknya dengan menurunkan batas bawah variabel kapur dan pasirnya agar didapat grafik cembung optimalnya.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian terkait dengan penggunaan serbuk bata merah dan kapur pada mortar dengan umur pengujian yang lebih lama.
3. Penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian lebih lanjut mengenai campuran mortar dengan bahan substitusi lain dengan menggunakan metode RSM ini.
4. Pada saat pembuatan benda uji pasangan bata merah untuk uji kuat geser mortar sebaiknya memastikan perendaman bata dalam air sudah sesuai agar mortar tidak keluar dari luasan gesernya pada saat dilekatkan dengan bata dan ukurannya sudah sesuai pada mesin CTM.
5. Pada saat pengukuran luasan geser pada pasangan bata sebaiknya diukur untuk semua benda uji agar hasil yang didapatkan lebih baik lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariestha, A. Y. (2018). Aplikasi Response Surface Method (RSM) Untuk Mengoptimalkan Kualitas Batu Bata Non Bakar Dengan Penambahan Abu Ampas Tebu. *Universitas Mataram*, 3.
- Böke, H., Akkurt, S., Ipekoğlu, B. & Uğurlu, E. (2006). Characteristics of brick used as aggregate in historic brick-lime mortars and plasters. *Cement and Concrete Research*, 36(6), 1115–1122. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.03.011>.
- Castro, F. A., Jacques E. M., Carlos F. O. G., & Benmansour, H. (2009). Photoinduced Hole Transfer in Semiconducting Polymer/Low-Bandgap Cyanine Dye Blends: Evidence for Unit Charge Separation Quantum Yield. *Journal Physical Chemistry Chemical Physics*, 39, 8886–8894.
- Da Cruz, J. (2020). Analisa Kuat Tekan Beton K-175 dengan Campuran Serbuk Kapur dan Serbuk Batu Bata Untuk Penghematan Penggunaan Semen sebagai Bahan Pengikat Dasar. *Perpustakaan Pusat Unikom*, 3–4.
- Kharisma, E. M. (2014). *Pengaruh Penggunaan Limbah Batu Bata*

- Sebagai Semen Merah Terhadap Kuat Tarik Langsung Mortar (Semen Merah, Kapur, Pasir)*. 8(2), 136–141.
- Lestari, E. S. (2016). Evaluasi sifat fisik mortar untuk plesteran yang terbuat dari: campuran pasir semen *portland*, kapur; dan campuran pasir, serbuk bata merah, kapur. *Repository Universitas Negeri Malang*. <http://repository.um.ac.id/143685/>.
- Lukman, M., Yudyanto., H. (2012). Sintesis Biomaterial Komposit CaO-SiO₂ Berbasis Material Alam (Batuan Kapur Dan Pasir Kuarsa) Dengan Variasi Suhu Pemanasan Dan Pengaruhnya Terhadap Porositas, Kekerasan Dan Mikrostruktur. *Journal Sains*, 2.
- Montgomery, D. C. (2001). Design and Analysis of Experiments. *John Wiley & Sons*.
- Mosquera, M. J., Benítez, D. & Perry, S. H. (2002). Pore structure in mortars applied on restoration: Effect on properties relevant to decay of granite buildings. *Cement and Concrete Research*, 32(12), 1883–1888.
- Mulyono, T. (2003). Teknologi Beton. *Andi. Yogyakarta*.
- Nalobile, P., Wachira, J. M., Thiong'o, J. K., & Marangu, J. M. (2019). Pyroprocessing and The Optimum Mix Ratio of Rice Husks, Broken Bricks and Spent Bleaching Earth to Make Pozzolanic Cement. *Heliyon*, 9, 5.
- Purnomo, P. (2016). Efek Variasi Ketebalan Mortar Pumice Breccia terhadap Kuat Geser Pasangan Bata Merah. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 14–15.
- SK SNI S-04-1989-F. Spesifikasi Bahan Bangunan Bagian A (Bahan bangunan bukan logam). *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-4147-1996. Spesifikasi Kapur Untuk Stabilisasi Tanah. *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-4166-1996. Metode Pengujian Kuat Geser Dinding Pasangan Bata Merah Di Laboratorium. *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-6820-2002. Spesifikasi Agregat Halus untuk Pekerjaan Adukan dan Plesteran dengan Bahan Dasar Semen. *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-6825-2002. Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen *Portland* Untuk Pekerjaan Sipil. *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI 03-6882-2002. Spesifikasi Mortar Untuk Pekerjaan Pasangan. *Standar Nasional Indonesia*.
- SNI-15-2094-2000. Bata Merah untuk Pasangan Dinding. *Standar Nasional Indonesia*.
- Stefanidou, M., Assael, M., Antoniadis, K. & Matziaroglou, G. (2010). Thermal conductivity of building materials employed in the preservation of traditional structures. *International Journal of Thermophysics*, 31(4–5), 844–851.
- Sunyoto, R. V. (2022). Komposisi Optimum Campuran Fly Ash dan Bottom Ash Ditinjau Dari Kuat Tekan Mortar Dengan Metode Permukaan Respon (RSM). *Repository Universitas Mataram*.
- Veiga, M. R., Velosa, A. L. & Magalhães, A. C. (2007). Evaluation of mechanical compatibility of renders to apply on old walls based on a restrained shrinkage test. *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, 40(10), 1115–1126.