

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat Penelitian

Prosedur pembentukan spesimen komposit dan pengambilan data spesimen hasil proses uji fisik dan mekanis dilakukan di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. Jalan Ir. H. Juanda No.15, Samarinda. Untuk proses pengujian *bending* dilakukan di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan. Jalan Soekarno Hatta No. KM 15, Karang Joang Balikpapan.

3.2 Metode Penelitian

Eksperimen digunakan dalam penelitian ini tentang komposit pengecoran mineral. Spesimen dikenakan berbagai kondisi untuk melakukan penelitian. Pengaruh satu variabel terhadap variabel lainnya diteliti dengan menggunakan metode Taguchi dan analisis varians dalam penelitian ini. Bertujuan mencari faktor-faktor yang mempengaruhi nilai respon sesuai dengan *orthogonal array* yang ditentukan dengan pengujian mekanik. Dalam penelitian ini, menggunakan perbandingan pencampuran bahan komposit yang terdiri dari pasir kuarsa, *carbon nanotubes*, silikon dioksida dan dicampur *phenolic resin* sebagai pengikat komposit. Tujuan yang ingin diperoleh adalah untuk mengetahui nilai kekuatan atau sifat mekanik komposit pada cetak tekan panas. Tahapan metode yang dilakukan pada pengambilan data dalam eksperimen ini yaitu sebagai berikut:

1. Metode Referensi

Suatu proses untuk menelusuri berbagai informasi mengenai data yang diperlukan melalui pengujian dan penelitian yang ada kaitannya pada permasalahan yang akan dibahas. Literatur yang digunakan adalah yang berhubungan dengan pasir kuarsa, *carbon nanotubes (CNTs)*, silikon dioksida (SiO_2), *phenolic resin*, serta uji kekerasan dan uji *bending*.

2. Metode Pengamatan

Suatu proses pengumpulan data yang dilakukan dengan mengamati kegiatan yang akan diteliti, tentang material, ukuran dan bentuk spesimen yang akan diaplikasikan sebagai teknik observasi.

3. Dokumentasi

Suatu teknik pengumpulan informasi secara langsung pada eksperimen dengan mencari data dan kumpulan arsip-arsip yang berkaitan dengan permasalahan yang akan diteliti.

3.3 Metode Analisis Data

Analisis varians dimungkinkan untuk menggunakan perangkat lunak minitab untuk menemukan korelasi antara faktor dan tingkat yang mempengaruhi sifat mekanik yang dibutuhkan oleh *analisis varians taguchi (ANOVA)*. Selama

pembuatan model untuk fungsi sifat (stabilitas) dan kekakuan (kekakuan dinamis). Beberapa jenis batuan beku dalam dengan perkuatan harus diuji sampai ditemukan faktor dominan dan kontribusi optimum pada spesimen. Sesuai dengan fungsi rekayasa, model akan mengalami kondisi statis dan dinamis serta beban termal berdasarkan laboratorium pengujian skala untuk mengetahui faktor dominan dan kontribusi optimal.

Fokus penelitian adalah variabel penelitian yaitu topik yang diteliti. Ada tiga jenis variabel dalam penelitian ini: variabel independen, dependen, dan kontrol.

1. Variabel Bebas

Adalah kondisi yang menyebabkan efek yang merupakan variabel independen. Di sini, variabel independen dapat dipahami sebagai salah satu yang sedang dipelajari untuk efeknya pada variabel dependen tertentu. Variasi faktor dan tingkat digunakan sebagai variabel bebas dalam penelitian ini.

2. Variabel Tetap

Untuk mengetahui ada atau tidaknya pengaruh variabel bebas, penelitian ini menggunakan parameter atau faktor yang disebut variabel tetap. Kekerasan permukaan dan kekuatan lentur adalah dua variabel konstan dalam penelitian ini.

3. Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini variabel kontrol yang dikendalikan untuk mencegah faktor lain yang tidak diteliti yaitu:

- a. Standar ASTM C580 mengacu pada spesimen persegi panjang dengan panjang 20 cm, lebar 2 cm, dan tinggi 2 cm, sesuai dengan ukuran yang ditentukan.
- b. Pengeringan suhu normal selama 24 jam.
- c. Pasir kuarsa, nanotube karbon, silikon dioksida dan resin fenolik adalah beberapa bahan yang digunakan.

3.4 Persiapan Bahan dan Alat Penelitian

Untuk itu perlu mempersiapkan bahan dan alat untuk percobaan ini terlebih dahulu. Bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian ini antara lain:

3.4.1 Bahan

Bahan uji yang akan digunakan pada eksperimen untuk pencampuran material komposit antara lain:

1. Pasir Kuarsa

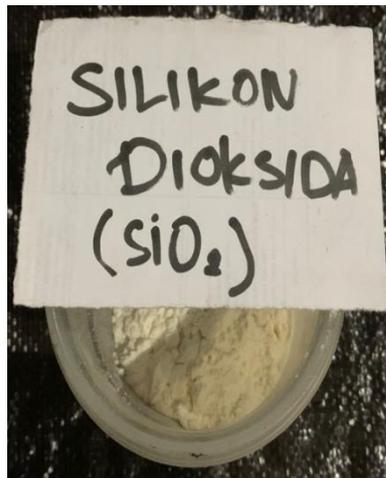
Pasir kuarsa putih, dengan kekerasan Mohs 7 dan berat jenis 2,50-2,70 dan densitas 2,65 g/cm³, adalah pasir yang digunakan dalam proyek ini. Gambar 3.1 menunjukkan sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Pasir Kuarsa

2. Silikon Dioksida (SiO_2)

Silikon dioksida terbentuk melalui ikatan kovalen yang kuat, serta memiliki struktur lokal yang jelas, empat atom oksigen terikat pada posisi sudut tetrahedral disekitar atom pusat yaitu atom silikon. Sesuai pada gambar 3.2 berikut ini:



Gambar 3. 2 Silikon Dioksida

3. *Carbon Nanotubes (CNTs)*

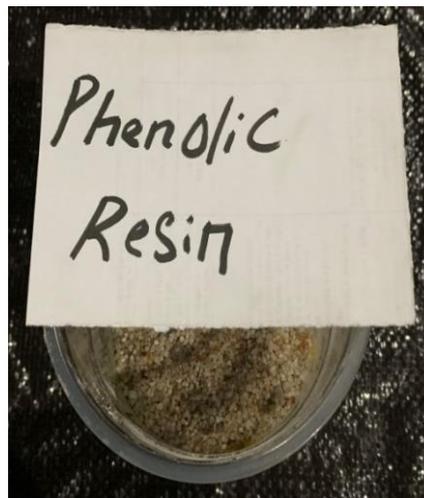
Dibandingkan dengan bahan lain, komposisi karbon yang digunakan dengan rasio panjang:lebar 132.000.000:1 lebih unggul. Meningkatkan kekuatan tarik sebesar 25% dan kekakuan sebesar 40% dalam struktur tertutup yang terbuat dari karbon nanotube lebih kecil dari 100 nm. Sesuai pada gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3. 3 *Carbon Nanotubes*

4. Resin

Resin yang dipakai adalah bubuk resin fenolik termoset dalam bentuk bahan matriks yang tahan panas dan air dan memiliki keuletan dan sifat padat. Sesuai pada gambar 3.4 berikut ini:



Gambar 3. 4 *Phenolic Resin*

5. Grease

Grease digunakan untuk dioleskan ke cetakan agar material komposit hasil cetakan tidak lengket dengan cetakan. Sesuai pada gambar 3.5 berikut ini:



Gambar 3.5 Grease

3.4.2 Alat

Peralatan yang akan digunakan pada penelitian untuk pembuatan spesimen uji antara lain:

1. Timbangan Digital

Timbangan dipergunakan untuk mengukur berat atau massa pada pasir kuarsa, *phenolic resin*, *carbon nanotubes (CNTs)* dan silikon dioksida, untuk digabungkan agar selaras dengan perhitungannya. Selain itu pengecekan hasil pengujian komposit untuk mengetahui perhitungan yang sesuai dengan yang telah ditentukan sehingga didapat perbandingan takaran yang optimal. Sesuai pada gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6 Timbangan Digital

2. Mesin Pengepresan Cetak Tekan Panas

Dengan menggunakan mesin pres, material dipress setelah tercampur untuk meminimalkan rongga atau celah udara yang dapat mengakibatkan kerusakan atau cacat pada material. Sesuai gambar 3.7 berikut ini:



Gambar 3. 7 Mesin Pengepresan Cetak Tekan Panas

3. Dongkrak

Dongkrak digunakan sebagai tekanan pencetakan komposit, dongkrak dipilih karena mampu memberikan tekanan ke cetakan komposit dengan sangat baik. Sesuai pada gambar 3.8 berikut ini:



Gambar 3. 8 Dongkrak Hidrolik

4. Alat Pencetakan Spesimen

Cetakan plat besi digunakan sebagai pencetakan komposit, cetakan plat besi dipilih karena mampu menahan volume komposit dengan baik. Sesuai pada gambar 3.9 berikut ini:



Gambar 3. 9 Alat Pencetakan Spesimen

5. Pengayak

Ayakan tergantung pada ukuran dan bentuk pasir, saringan atau ayakan digunakan untuk memisahkan butiran. Dengan memisahkan butiran yang tidak diinginkan menjadi satu atau lebih kelompok berdasarkan ukuran tertentu dan seragam. Sesuai pada gambar 3.10 berikut ini:



Gambar 3. 10 Pengayak

6. *Mixer* (Pencampuran)

Mixer digunakan sebagai alat pencampur semua material yang sudah diukur sesuai perbandingan masing-masing beratnya, kemudian diaduk hingga bahan tercampur dengan merata. Sesuai pada gambar 3.11 berikut ini:



Gambar 3. 11 *Mixer*

7. Gelas Plastik

Gelas plastik digunakan sebagai tempat untuk meletakkan bahan komposit yang sudah di timbang masing-masing beratnya. Sesuai pada gambar 3.12 berikut ini:



Gambar 3. 12 Gelas Plastik

8. *Vernier Caliper*

Vernier Caliper diaplikasikan sebagai alat ukur untuk mengetahui panjang, lebar, dan tebal pada cetakan spesimen yang dibuat. Sigmat yang digunakan untuk pengukuran yaitu mitutoyo mempunyai ketelitian 0,05 mm. Sesuai pada gambar 3.13 berikut ini:



Gambar 3. 13 Vernier Caliper

9. Gerinda

Gerinda digunakan untuk merapikan hasil dari pencetakan spesimen yang tidak teratur dengan cara diratakan menggunakan mesin gerinda. Sesuai pada gambar 3.14 berikut ini:



Gambar 3. 14 Mesin Gerinda

10. Amplas

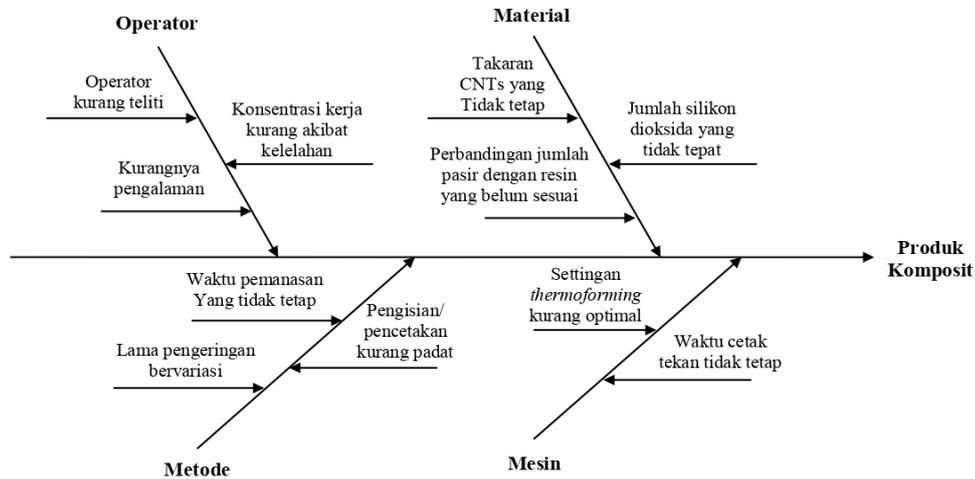
Amplas berfungsi sebagai *finishing* untuk menyempurnakan hasil spesimen. Amplas yang digunakan memiliki kekasaran 200. Sesuai pada gambar 3.15 berikut ini:



Gambar 3. 15 Amplas

3.5 Pemilihan *Orthogonal Array*

Sebelum menentukan matriks *orthogonal array* yang digunakan, terlebih dahulu menentukan faktor-faktor kontrol. Faktor-faktor kontrol dilakukan dengan menggunakan diagram tulang ikan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.16 berikut ini:



Gambar 3. 16 *Fishbone Diagram*

Orthogonal array merupakan salah satu metodologi untuk merancang percobaan yang efisien, untuk mengetahui target pengujian penelitian. *Orthogonal array* berfungsi untuk menetapkan harga penelitian yang paling mampu mengetahui banyaknya penjelasan semua faktor dan level yang berpengaruh pada eksperimen. Pemilihan matriks *orthogonal array* harus seimbang dengan faktor dan level yang dipilih. (Setyanto & Lukodono, 2017). Proses paling penting dari matriks *orthogonal array* adalah pemilihan berdasarkan pada letak gabungan variabel-variabelnya dari masing-masing desain jumlah eksperimen, terhadap faktor dan levelnya sehingga *orthogonal array* yang dipilih cocok. Bentuk matriks *orthogonal array* pada penelitian ini sesuai dengan faktor dan level berdasarkan pada tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Kombinasi Faktor dan Level

Parameter/Faktor	Level		
	I	II	III
Ratio (agregat : Filler) [A]	80:20	75:25	70:30
Tekanan Cetak (<i>Compress Strength</i>) [B]	100	150	200
Suhu Pembentukan °C, (<i>thermoforming</i>) [C]	170	180	190
% wt CNTs [D]	1%	1,5%	2%

Keterangan : *Holding time* : 15 menit, *Filler* (resin serbuk-*silane*)
Ratio Agregat : Coarse (C) : Medium (M) : fine (F) : SiO₂ : % CNTs)

Taguchi *ANOVA* digunakan untuk menganalisis data dan mengidentifikasi pengaturan yang paling efektif. Komposit batuan beku harus memiliki konduktivitas termal yang rendah selain sifat kekakuan dan kekuatan yang tinggi. Menemukan *orthogonal array* yang tepat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti nilai faktor dan bagaimana nilai level setiap faktor berinteraksi satu sama lain. Matriks *orthogonal array* dapat dipilih berdasarkan berapa banyak derajat kebebasan yang tersedia dalam sampel. Untuk keakuratan hasil dan biaya melakukan penelitian, penting untuk memilih jumlah tingkat yang cukup untuk percobaan. Semakin banyak level yang diamati, semakin banyak data yang dikumpulkan, sehingga hasilnya lebih akurat. Saat level dinaikkan, lebih banyak pengamatan akan dilakukan, meningkatkan biaya keseluruhan penelitian. Matriks *orthogonal array* harus dipilih jika ada lebih banyak nilai eksperimen daripada derajat kebebasan dalam penelitian. Untuk tabel *orthogonal array* yang diaplikasikan sesuai tipe tabel *orthogonal array* yang digunakan adalah L9 (3^4) dengan tiga level dan empat faktor:

Tabel 3. 2 Desain Eksperimen dengan *Orthogonal Array* L₉ (3^4)

Kondisi Percobaan	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sumber: (Maulidia et al., 2020)

Sebuah tabel 3.2 *orthogonal array* digunakan untuk menyusun eksperimen yang disesuaikan dengan faktor dan level yang telah ditentukan sebelumnya. L9 (3^4) adalah notasi susunan *orthogonal array* yang benar untuk digunakan untuk menunjukkan bahwa diperlukan minimal sembilan percobaan.

3.6 Penentuan Jumlah Eksperimen

Ada total sembilan percobaan dan tiga pengulangan, dengan total 27 data pengamatan yang digunakan untuk menentukan susunan *orthogonal array* dalam penelitian ini. Berdasarkan tabel 3.3, berikut adalah *set up* eksperimen untuk setiap perlakuan.

Tabel 3. 3 Susunan Pencampuran Data Perlakuan

No Eksperimen	Ratio Agregat : Filler	Tekanan Cetak	Thermoforming	%wt CNTs
	A	B	C	D
Eksperimen 1	1	1	1	1
	80:20	100	170	1%
Eksperimen 2	1	2	2	2
	80:20	150	180	1,5%
Eksperimen 3	1	3	3	3
	80:20	200	190	2%
Eksperimen 4	2	1	2	3
	75:25	100	180	2%
Eksperimen 5	2	2	3	1
	75:25	150	190	1%
Eksperimen 6	2	3	1	2
	75:25	200	170	1,5%
Eksperimen 7	3	1	3	2
	70:30	100	190	1,5%
Eksperimen 8	3	2	1	3
	70:30	150	170	2%
Eksperimen 9	3	3	2	1
	70:30	200	180	1%

Keterangan :

Kasar = 100 mesh

Sedang = 200 mesh

Halus = 300 mesh

1. Perbandingan Agregat (Pasir Kuarsa)

Eksperimen 1 = 50 : 25 : 25 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 2 = 60 : 20 : 20 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 3 = 60 : 25 : 15 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 4 = 50 : 25 : 25 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 5 = 60 : 20 : 20 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 6 = 60 : 25 : 15 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 7 = 50 : 25 : 25 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 8 = 60 : 20 : 20 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

Eksperimen 9 = 60 : 25 : 15 = Pasir Kuarsa kasar : Pasir Kuarsa sedang : Pasir Kuarsa halus

2. Perbandingan Agregat : Resin

Eksperimen 1 = 80 : 20 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 2 = 80 : 20 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 3 = 80 : 20 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 4 = 75 : 25 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 5 = 75 : 25 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 6 = 75 : 25 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 7 = 70 : 30 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 8 = 70 : 30 = Pasir Kuarsa : Resin

Eksperimen 9 = 70 : 30 = Pasir Kuarsa : Resin

Penentuan dari masing-masing kombinasi eksperimen telah disesuaikan dengan matriks *orthogonal array* yang terpilih. Sehingga faktor dan level yang ditentukan terpenuhi sesuai dengan metode yang digunakan.

3.7 Penentuan Komposisi Komposit

Komposisi dari pasir kuarsa dan *phenolic resin* secara langsung mempengaruhi sifat-sifat komposit. Perbandingan persentase matriks dan *filler* dapat ditentukan dari volume dan massa komposit. Sifat komposit sangat ditentukan oleh perbandingan yang ideal dari kedua komponen matriks dan *filler*. Berikut ini merupakan pengelompokan level pembentuk komposit sesuai pada tabel 3.4 berikut ini:

Tabel 3. 4 Pengelompokan Level Pembentuk Komposit

No	Pasir Kuarsa	Phenolic Resin	Carbon Nanotubes	Silikon Dioksida
1.	80%	20%	1%	2%
2.	75%	25%	1,5%	2%
3.	70%	30%	2%	2%

Komposisi komponen-komponen penyusun komposit terdiri dari matriks (penguat) dan *filler* (pengisi). Salah satu variabel terpenting dari menentukan karakteristik material komposit yaitu terdapat unsur atau persentase antara matriks

dan pasir. Sehingga sebelum melakukan pembuatan dan pencampuran bahan dilakukan desain komposisi terlebih dahulu antara matriks (penguat) dan *filler* (pengisi). Untuk ukuran cetakan dan massa jenis dari material yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. Ukuran cetakan = Panjang 20 cm, Lebar 2 cm, Tinggi 2 cm
2. Massa jenis pasir kuarsa = 1,165 gr/cm³
3. Massa jenis *phenolic resin* = 1,168 gr/cm³
4. Massa jenis silikon dioksida = 2,65 gr/cm³
5. Massa jenis *carbon nanotubes* = 0,16 gr/cm³

3.8 Perhitungan Komposisi Komposit

Perhitungan komposisi komposit dihitung berdasarkan perhitungan volume total cetakan. Bentuk cetakan yang dibuat persegi panjang dengan ukuran cetakan yaitu 20 cm x 2 cm x 2 cm. Untuk menghitung volume cetakan dapat dilakukan dibawah ini:

1. Menghitung volume cetakan

Asumsi dipakai volume cetakan = volume komposit total, sehingga perhitungannya adalah:

$$\text{Volume cetakan (V}_{\text{cet}}) = \text{Volume komposit (V}_{\text{komp}})$$

Sehingga, volume komposit:

$$\begin{aligned} V_{\text{komp}} &= \text{panjang (p)} \times \text{lebar (l)} \times \text{tinggi (t)} \\ &= 20 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \\ &= 80 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

2. Menghitung volume pasir kuarsa

80 % pasir kuarsa : 20 % *phenolic resin*

$$\begin{aligned} \text{Volume pasir (V}_p) &= \frac{V_p \times V_{\text{komp}}}{100 \%} \\ &= \frac{80 \% \times 80 \text{ cm}^3}{100 \%} \\ &= 64 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

3. Menghitung massa pasir kuarsa

Dengan massa jenis pasir kuarsa (ρ) = 1,165 gr/cm³

Maka, massa pasir kuarsa (M_p)

$$\begin{aligned} M_p &= \rho \times V_p \\ &= 1,165 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 64 \text{ cm}^3 \\ &= 74,56 \text{ gr} \end{aligned}$$

4. Menghitung volume *phenolic resin*

$$\text{Volume } \textit{phenolic resin} (V_r) = \frac{V_r \times V_{\text{komp}}}{100 \%}$$

$$= \frac{20 \% \times 80 \text{ cm}^3}{100 \%}$$

$$= 16 \text{ cm}^3$$

5. Massa *phenolic resin*

Dengan massa jenis *phenolic resin* (ρ) = 1,168 gr/cm³

Maka, massa *phenolic resin* (M_r)

$$M_r = \rho \times V_r$$

$$= 1,168 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 16 \text{ cm}^3$$

$$= 18,688 \text{ gr}$$

6. Menghitung volume silikon dioksida (SiO₂)

$$\text{Volume silikon dioksida (V}_s) = \frac{V_r \times V_{\text{komp}}}{100 \%}$$

$$= \frac{2 \% \times 80 \text{ cm}^3}{100 \%}$$

$$= 1,6 \text{ cm}^3$$

7. Massa silikon dioksida (SiO₂)

Dengan massa jenis silikon dioksida (ρ) = 2,65 gr/cm³

Maka, massa silikon dioksida (M_s)

$$M_s = \rho \times V_s$$

$$= 2,65 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 1,6 \text{ cm}^3$$

$$= 4,24 \text{ gr}$$

8. Menghitung volume *carbon nanotubes* (CNTs)

$$\text{Volume carbon nanotubes (V}_c) = \frac{V_c \times V_{\text{komp}}}{100 \%}$$

$$= \frac{1 \% \times 80 \text{ cm}^3}{100 \%}$$

$$= 0,8 \text{ cm}^3$$

9. Massa *carbon nanotubes* (CNTs)

Dengan massa jenis *carbon nanotubes* (ρ) = 0,16 gr/cm³

Maka, massa *carbon nanotubes* (M_c)

$$M_c = \rho \times V_c$$

$$= 0,16 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \times 0,8 \text{ cm}^3$$

$$= 0,128 \text{ gr}$$

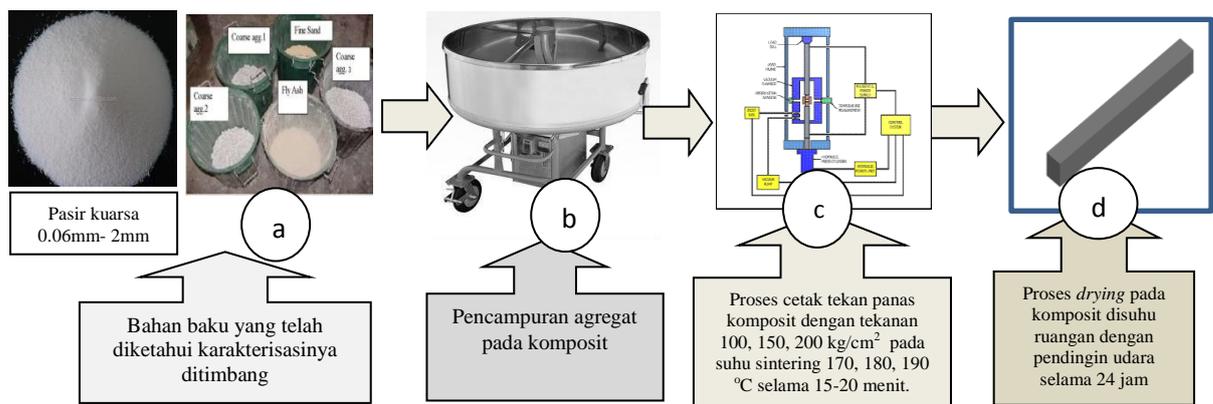
Dari perhitungan di atas, maka didapatkan data komposisi perhitungan volume dan massa dari komposit sesuai pada tabel 3.5 berikut ini:

Tabel 3. 5 Komposisi Perhitungan Volume dan Massa Komposit

Volume Cetakan (cm ³)	Volume Pasir Kuarsa (cm ³)	Volume Phenolic Resin (cm ³)	Volume Silikon Dioksida (cm ³)	Volume CNTs (cm ³)	Massa Jenis Pasir Kuarsa (gr)	Massa Jenis Phenolic Resin (gr)	Massa Jenis Silikon Dioksida (gr)	Massa Jenis CNTs (gr)
80	64	16	1,6	0,8	74,56	18,688	4,24	0,128
80	60	20	1,6	1,2	69,9	23,36	4,24	0,192
80	56	24	1,6	1,6	65,24	28,032	4,24	0,256

3.9 Tahapan Pembuatan Komposit

Kekuatan komposit sangat dipengaruhi oleh perbandingan pencampuran bahan *filler* dan matriks yang digunakan. Parameter dan level berpengaruh terhadap proses pembuatan dan pembentukan spesimen uji sesuai metode taguchi. Cetakan bertekanan tinggi standar dengan perlakuan sintering panas berdasarkan suhu kristalisasi batuan beku digunakan untuk membuat spesimen sesuai dengan standar ASTM D580. Gambar 3.17 menggambarkan tahapan pembentukan spesimen berdasarkan teknologi yang digunakan:



(a) Bahan baku (*defined*) (b) *Hot mixing* (c) Proses *casting* (d) Spesimen sifat mekanis

Gambar 3. 17 Tahapan Pembentukan Komposit

Langkah-langkah dalam pembuatan komposit yaitu sebagai berikut:

1. Menimbang berat pasir kuarsa, *phenolic resin*, silikon dioksida dan *carbon nanotubes* sesuai dengan persentase perbandingan yang sudah dihitung pada matriks dan *filler*.
2. Melakukan pencampuran material sesuai takaran perbandingan, lalu di *mixer* hingga rata dan tercampur semua.
3. Menyiapkan cetakan komposit sesuai yang digunakan, kemudian oleskan seluruh permukaan cetakan dengan menggunakan *grease*.
4. Tuangkan komposit ke dalam cetakan dengan merata hingga tidak ada rongga yang kosong.

5. Masukkan cetakan komposit ke mesin cetak tekan panas untuk proses pencetakan komposit.
6. Biarkan beberapa menit agar bahan komposit menjadi satu dan merekat menjadi padat.
7. Keringkan selama 24 jam dengan suhu normal, lalu lepaskan dari cetakan.
8. Bentuk komposit sesuai spesimen uji, lalu dihaluskan permukaan dan sisi-sisi spesimen dengan menggunakan amplas.
9. Setelah selesai langkah-langkah tersebut, spesimen siap diuji.

3.10 Prosedur Penelitian

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan pada proses percobaan eksperimen yang dilaksanakan terhadap penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Proses Pembentukan Spesimen

a. Pembuatan Cetakan

Pembuatan cetakan spesimen dibuat dari plat besi yang digabungkan menjadi tiga cetakan yang kemudian dilas. Cetakan berbentuk persegi panjang dengan panjang 20 cm, lebar 2 cm dan tinggi 2 cm. Sebelum diaplikasikan untuk membentuk komposit, cetakan terlebih dahulu harus di oleskan *grease* agar cetakan tidak lengket dalam pembuatan dan mudah saat spesimen diambil dari cetakan.



Gambar 3. 18 Pembentukan Cetakan

b. Pengayakan Pasir Kuarsa

Pengayakan pasir kuarsa dilakukan untuk memisahkan perbandingan pasir kuarsa agar menjadi tiga bentuk yaitu kasar, sedang dan halus. Pemilihan 3 bentuk pasir kuarsa tersebut untuk mengetahui bentuk yang baik pada komposit. Sedangkan untuk *phenolic resin* dan silikon dioksida yang digunakan hanya bentuk yang halus tanpa harus diayak.



Gambar 3. 19 Pengayakan Pasir Kuarsa

c. Penakaran Bahan

Bahan yang ditimbang yaitu pasir kuarsa, *carbon nanotubes*, silikon dioksida dan *phenolic resin*. Perbandingan sesuai spesifikasi penakaran matriks dan *filler* yang dilakukan pada penelitian yang telah dihitung sebelumnya sesuai berat pada masing-masing bahan uji.



Gambar 3. 20 Penakaran Bahan

d. Pencampuran Bahan

Pencampuran dilakukan untuk menggabungkan seluruh bahan uji yang telah dihitung perbandingannya pada masing-masing bahan dari pasir kuarsa, *carbon nanotubes* dan silikon dioksida. Untuk mempermudah pencampuran semua bahan hingga merata, pasir kuarsa, *carbon nanotubes* dan silikon dioksida dicampur sesuai takaran lalu diaduk dengan *mixer* hingga bahan merata sempurna. Kemudian dimasukkan *phenolic resin* yang berguna untuk meningkatkan dan mempercepat kekerasan komposit.



Gambar 3. 21 Pencampuran Bahan

e. Pencetakan Bahan dan Perlakuan Penekanan

Setelah semua bahan tercampur dan diaduk hingga rata kemudian dituangkan pada cetakan yang sudah dioleskan *grease*. Tuang komposit ke cetakan ratakan hingga permukaannya rata. Kemudian diberi perlakuan proses cetak tekan panas dengan mesin pengepresan cetak tekan panas pada tekanan 100 kg/cm², 150 kg/cm², dan 200 kg/cm² dengan suhu *thermoforming* 170 °C, 180 °C dan 190 °C. Penekanan dilakukan dengan tujuan mengurangi adanya rongga atau pori-pori yang kosong yang akan mengakibatkan cacat pada komposit. Penekanan komposit dilakukan 15-20 menit dengan tujuan meningkatkan kekuatan dan kekerasan pada komposit. Satu kali pencetakan komposit menghasilkan tiga spesimen.



Gambar 3. 22 Pencetakan Spesimen dan Penekanan Panas

f. *Finishing*

Material dikeringkan selama 24 jam dengan suhu normal dan dilakukan *finishing*. Untuk merapikan hasil spesimen dengan cara diratakan menggunakan mesin gerinda, lalu diampelas untuk menyempurnakan hasil spesimen.



Gambar 3. 23 Hasil Komposit

2. Pengujian Kekerasan *Micro Vickers*

Indentor berbentuk berlian atau piramida persegi kecil berbentuk piramida digunakan untuk memeriksa kekerasan suatu benda menggunakan metode uji kekerasan mikro *vickers*. Penguji kekerasan portabel digunakan untuk tujuan ini, jadi pastikan baterai terisi penuh sebelum menggunakannya. Pilih unit HV, dan penerimaan penindasan kekerasan dibagi menjadi tiga bagian, depan, tengah, dan belakang, masing-masing. Untuk menghasilkan data, letakkan indentor pada permukaan yang rata dan tekan ujung alat.

3. Pengujian *Bending*

Pengujian lentur digunakan untuk mengevaluasi kualitas material secara visual. Untuk mengetahui daktilitas dan elastisitas material perlu dilakukan pengujian bending. Selama pengujian lentur, bagian atas dan bawah benda mengalami tegangan yang berbeda.

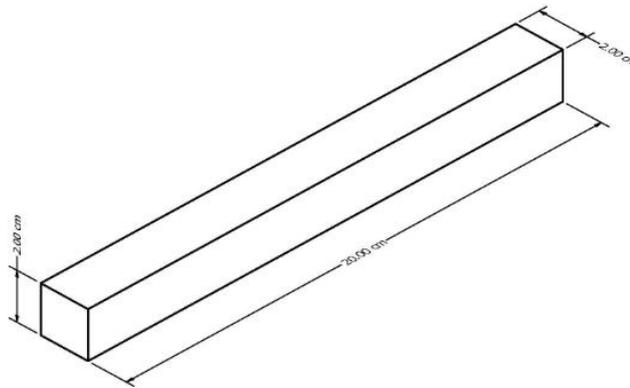
3.11 Proses Pengujian dan Standar Pengujian

Prosedur pembuatan komposit material dan pengujian spesimen berdasarkan standar pengujian masing-masing yang digunakan yaitu sebagai berikut:

3.11.1 Prosedur Pengujian Kekerasan

Pada penelitian ini digunakan lekukan mikro vickers untuk mengukur kekerasan. Kekerasan ditentukan dengan mengurangkan panjang diagonal indentor dari sudut puncak piramida persegi lurus, yang berukuran 136° . Untuk mengetahui nilai kekerasan material komposit uji. Laboratorium Teknik Mesin

Universitas Muhammadiyah di Kalimantan Timur, Indonesia, melakukan uji kekerasan. Pengujian menggunakan *portable hardness tester*, dengan ukuran tebal spesimen 2 cm, lebar 2 cm dan panjang 20 cm menggunakan standar ASTM AE384.



Gambar 3. 24 Standar Uji

Prosedur pengujian sesuai standar uji meliputi tahapan-tahapan berikut ini.

1. Menyiapkan spesimen sesuai standar ketentuan ASTM AE384.
2. Ratakan permukaan spesimen menggunakan gerinda dan amplas.
3. Pada menu *display monitor* pilih simbol material kemudian pilih jenis material.
4. Menentukan skala kekerasan, skala kekerasan yang dipilih yaitu HV.
5. Posisikan ujung indenter pada permukaan material uji lalu diamkan sebentar.
6. Tarik *trop lip* ke bawah, kemudian tekan *impact device*.
7. Nilai kekerasan material tersebut akan terlihat pada *display monitor portable hardness tester*.
8. Ulangi semua langkah di atas pada semua spesimen.



Gambar 3. 25 Portable Hardness Tester



Gambar 3. 26 Pengujian Kekerasan pada Komposit

3.11.2 Prosedur Pengujian *Bending*

Pengujian *bending* dilakukan untuk mengukur ketahanan kekuatan komposit terhadap beban lentur. Kekuatan lentur pada komposit dipengaruhi oleh ikatan molekul antar penyusunnya. Metode tekukan tiga titik digunakan untuk uji tekukan, yang melibatkan pembebanan benda uji dari tiga titik, dua titik tumpu di tepi dan satu titik pembebanan di mesin uji tekukan. ASTM C580 adalah standar yang digunakan untuk pengujian. Tahapan berikut terdiri dari prosedur pengujian seperti yang didefinisikan oleh standar pengujian.

1. Menyiapkan spesimen uji sesuai ketentuan ASTM C580.
2. Mesin yang digunakan dalam pengujian *bending* adalah *Universal Testing Machine* di Laboratorium Terpadu Institut Teknologi Kalimantan.
3. Mengukur dimensi spesimen meliputi panjang, lebar dan tebal.
4. Mengatur lebar tumpuan sesuai dengan benda spesimen.
5. Mengeser tumpuan tepat pada tengah-tengah indenter.
6. Pemasangan spesimen uji pada tumpuan.
7. Menggeser indenter hingga menempel pada spesimen uji dan mengatur skala beban dan *dial indicator* pada posisi nol.
8. Pembebanan *bending* dengan kecepatan konstan hingga terjadi defleksi sampai material mengalami kegagalan.
9. Hasil pengujian *bending* pada komposit akan keluar di layar monitor.



Gambar 3. 27 Pengujian *Bending* Menggunakan *Universal Testing Machine*

3.12 Teknik Analisa Data

Hasil data yang dihasilkan dengan metode taguchi, khususnya melalui eksperimen. Eksperimen adalah teknik penelitian yang digunakan untuk menyelidiki hubungan antara satu variabel dan interaksinya dengan berbagai variabel lainnya. Hal ini diperlukan untuk melakukan pengukuran dan kontrol yang sangat teliti pada variabel eksperimental untuk memahami efek ini. Tabel, grafik, dan representasi visual lainnya dari data. Tahapan analisis yang dilakukan pada penelitian ini untuk melakukan pengolahan data dan pengumpulan data berupa perhitungan, pengumpulan dan pengaturan data yang disajikan dalam bentuk layout tertentu. Adapun tahapan tersebut yaitu sebagai berikut:

1. *Analisis Varians (ANOVA)*

Analisis varians (ANOVA) merupakan metode analisis data yang diperlukan dalam meneliti data yang telah disusun dan diolah dalam perancangan eksperimen secara statistik. *Analisis varians* dirancang untuk membantu mengetahui kontribusi faktor, sehingga akurasi perkiraan standar dapat ditetapkan. *Analisis varians* pada matriks *orthogonal array* dilakukan berdasarkan jumlah percobaan dari masing-masing jumlah faktor dimana jumlah tersebut harus sama atau lebih dari jumlah kuadrat untuk pada masing-masing kolom.

2. Uji F

Uji *hipotesis* F adalah pembuktian yang dilakukan untuk mengamati pengaruh keseluruhan variabel bebas secara seragam terhadap variabel terikat. Dengan menganalisis hasil variasi yang tidak berpengaruh, dibuktikan dengan adanya perlakuan yang berbeda dan pengaruh faktor pada percobaan. Uji hipotesis F dilakukan untuk membandingkan variabel yang diakibatkan oleh masing-masing jumlah faktor dan variasi *error*. Variasi *error* adalah variasi setiap percobaan dalam pengamatan yang timbul karena gangguan faktor-faktor yang tidak dapat dikontrol.

3. *Pooling Up*

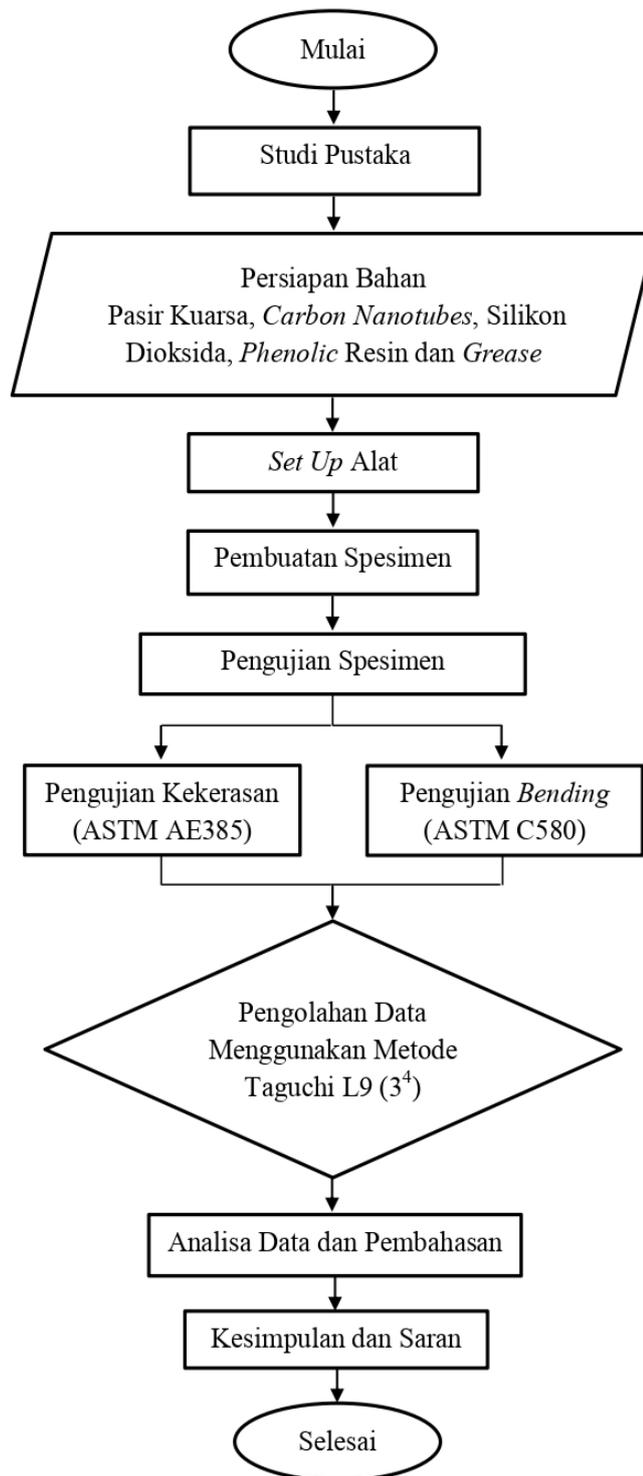
Pooling up pada metode taguchi digunakan untuk memperkirakan variasi *error* yang berpengaruh pada analisis percobaan. Sehingga perkiraan yang dihasilkan akan menjadi lebih unggul. *Pooling up* digunakan untuk mengetahui jumlah faktor yang ada atau tidak adanya pengaruh menjadi *error*. *Pooling up* dilakukan apabila nilai jumlah kuadrat varian relatif kecil atau bernilai nol, sehingga dapat diamati faktor yang berpengaruh. Umumnya jumlah eksperimen serupa dengan atau lebih dari separuh jumlah derajat variabel kebebasan yang dipakai pada penelitian.

4. *Signal to Noise Ratio*

Signal to noise ratio diaplikasikan untuk menentukan variabel yang mempunyai kontribusi untuk mengurangi variasi suatu respon. *Signal to noise ratio* merupakan perancangan atau pembuatan untuk mengetahui perubahan pengulangan data pada suatu nilai yang mempengaruhi faktor dan level varian yang disebabkan oleh efek variabel *signal to noise ratio* itu sendiri. Penggunaan *signal to noise ratio* berguna untuk melihat faktor dan level mana yang mempengaruhi pada hasil eksperimen untuk mengurangi *noise*.

3.13 Diagram Alir Penelitian

Prosedur penelitian proses *thermoforming* komposit *mineral casting* berpenguat *carbon nanotubes* dan silikon dioksida seperti ditampilkan sesuai dengan gambar 3.28 pada bagan alur penelitian berikut ini.



Gambar 3. 28 Diagram Alir Penelitian