

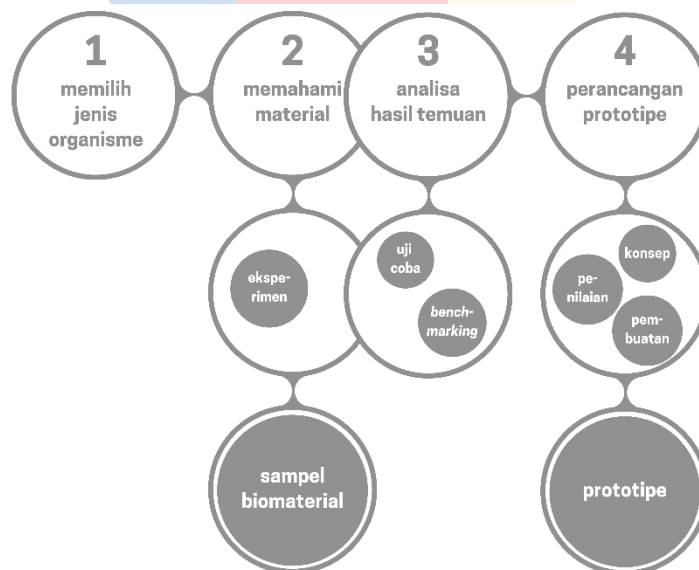
Metode MDD juga sudah banyak diterapkan dalam proses perancangan dengan berbagai material, seperti limbah kopi (Zeeuw van der Laan, 2013), tekstil 3D print (Lussenburg et al, 2014), material *electroluminescent* (Claus, 2016), sampah plastik (Ghazal, 2016; Majumdar et al., 2017; Veelaert, Du Bois, Hubo, Van Kets, & Ragaert, 2017), tekstil daur ulang (Van den Dool, 2016), dan komposit tekstil-bioplastik daur ulang (Oskam et al., 2017).

3.2 Penentuan Sumber Data dan Lokasi Penelitian

Sumber data penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer terdiri dari hasil eksperimen objek penelitian, hasil uji coba objek penelitian, hasil wawancara dengan subjek penelitian, dan dokumentasi. Objek penelitian yang dimaksud adalah organisme-organisme hidup yang melalui proses eksplorasi sehingga menjadi biomaterial. Seluruh proses eksplorasi dengan objek penelitian dilakukan di rumah dan lab kampus. Subjek penelitian yang dimaksud adalah pengguna dan desainer di Indonesia. Data sekunder terdiri dari studi literatur yang diambil dari buku, jurnal, laporan, dan Internet.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dirancang dengan dasar metode penelitian MDD yang disesuaikan dengan keperluan penelitian.



Gambar 35 – Prosedur Penelitian Berdasarkan MDD (Dokumentasi Pribadi, 2022)





Berikut penjelasan komprehensif tahap-tahap prosedur penelitian berdasarkan metode penelitian MDD:

1. Memilih Jenis Organisme

Di tahap pertama, beberapa jenis organisme dipilih sebagai perwakilan dari masing-masing organisme hidup (bakteri, alga, jamur, dan tanaman) untuk dijadikan objek penelitian. Pemilihan objek penelitian dilakukan dengan mempertimbangkan aspek keumuman, kelayakan, keterjangkauan, dan kompleksitas pengolahan jenis organisme.

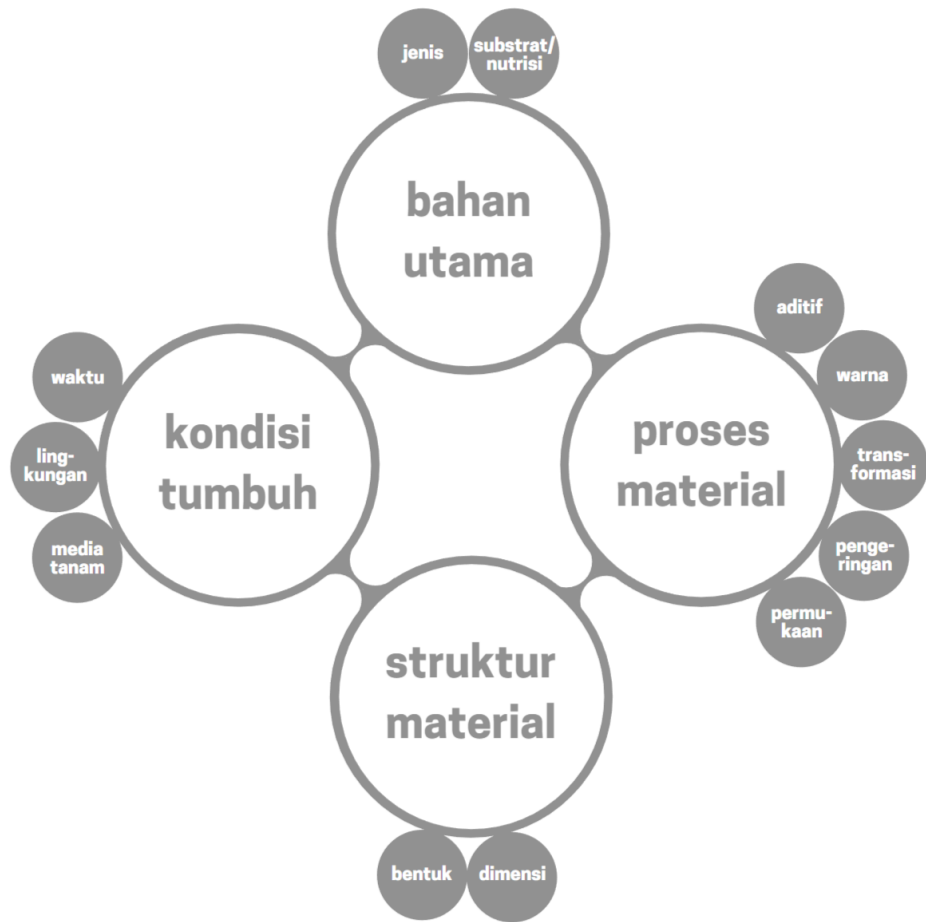
Tabel 6 – Objek Penelitian

No.	Organisme	Jenis	Gambar	Alasan
1	Bakteri	SCOBY (<i>Symbiotic Culture of Bacteria and Yeast</i>)	 Gambar 36 – SCOBY (leelalicious.com, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • mudah didapat • mudah ditumbuhkan • hasil akhir bisa bervariasi
2	Alga	Agar-agar (<i>Gelidium amansii</i>)	 Gambar 37 – Agar Lembar (tokopedia.com, 2021)  Gambar 38 – Agar Bubuk (shop.indomarkt.com, 2022)	<ul style="list-style-type: none"> • tipe olahan alga yang mudah ditemukan • mudah diproses • mudah dibentuk • hasil akhir bisa bervariasi

3	Jamur (miselium)	Jamur tiram putih (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	 Gambar 39 – Jamur Tiram (istockphoto.com, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • mudah didapat • hasil akhir bisa bervariasi • bisa dicetak menjadi berbagai bentuk • sudah umum digunakan dalam pembuatan produk berbasis miselium
		Jamur Ling Zhi/Reishi (<i>Ganoderma lucidum</i>)	 Gambar 40 – Jamur Lingzhi (pngwing.com, 2022)	
4	Tanaman	<i>Wheatgrass</i> (<i>Triticum aestivum</i>)	 Gambar 41 – <i>Wheatgrass</i> (amazon.com, 2021)	<ul style="list-style-type: none"> • penumbuhan cepat • perawatan sederhana • memiliki akar serabut • penumbuhan akar mudah diintervensi
		<i>Oatgrass</i> (<i>Avena sativa</i>)	 Gambar 42 – <i>Oatgrass</i> (petsoid.com, 2022)	

2. Memahami Material


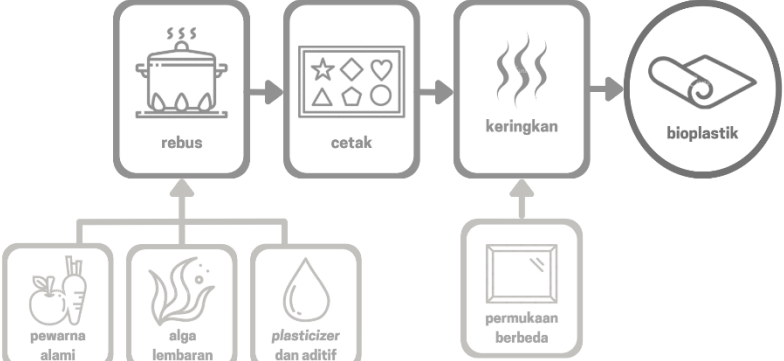
Tahap kedua berfokus pada pemahaman material melalui eksplorasi jenis organisme terpilih secara langsung. Kegiatan eksplorasi yang dilakukan berupa eksperimen mulai dari pembuatan material hingga pemrosesan akhir material. Seluruh proses eksperimen akan dipandu menggunakan taksonomi material di bawah yang dilengkapi parameter-parameter desain untuk memperoleh berbagai hasil yang variatif.

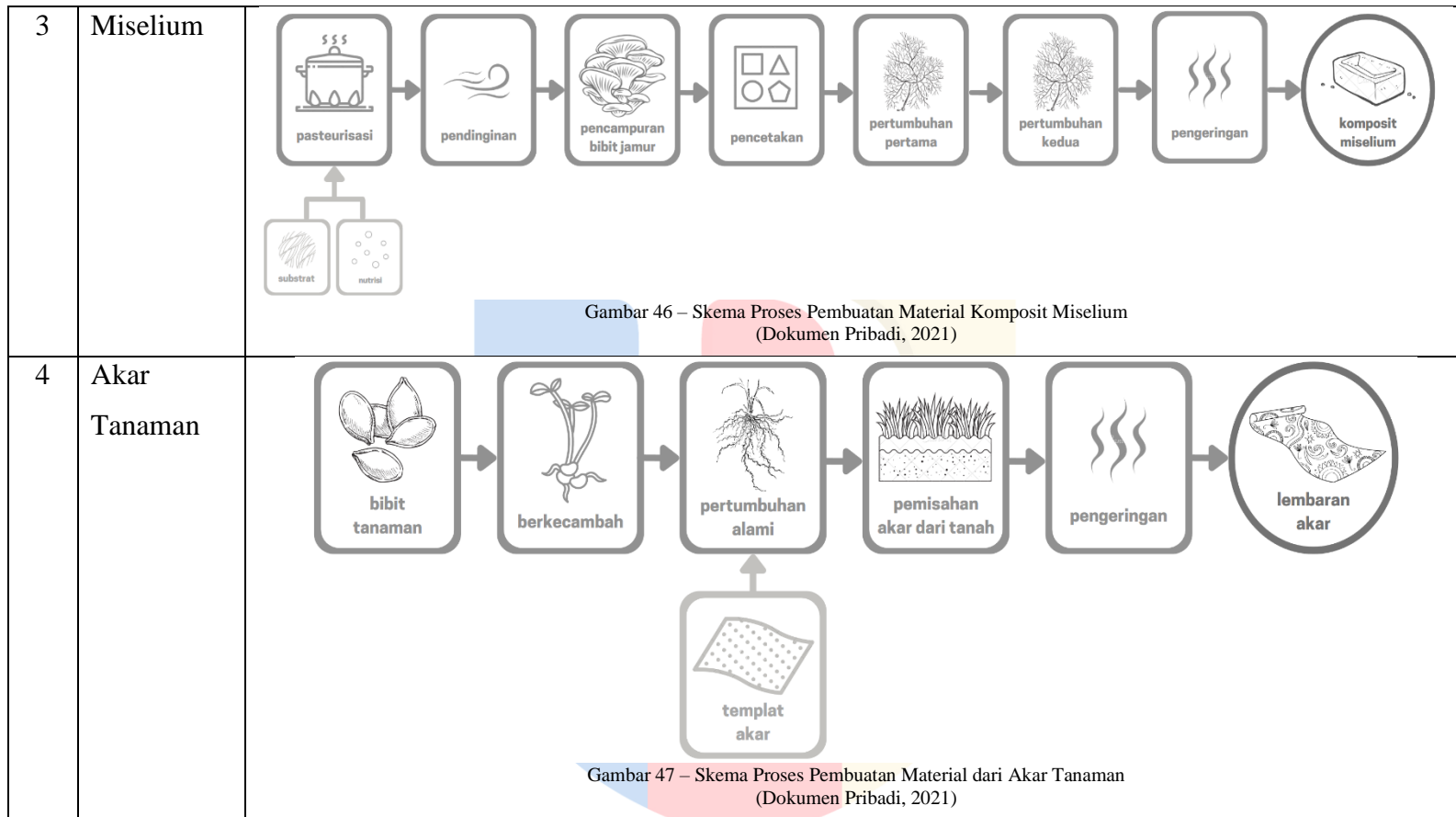


Gambar 43 – Taksonomi Material
(Dokumen Pribadi, 2021)

Berikut skema proses pengembangan material untuk masing-masing jenis organisme:

Tabel 7 – Skema Proses Pembuatan Material

No.	Organisme	Proses Pembuatan
1	SCOBY	 <p data-bbox="963 845 1489 893">Gambar 44 – Skema Proses Pembuatan Material dari SCOBY (Dokumen Pribadi, 2021)</p>
2	Agar-agar	 <p data-bbox="974 1300 1478 1348">Gambar 45 – Skema Proses Pembuatan Material dari Agar (Dokumen Pribadi, 2021)</p>



Luaran akhir dari tahap ini adalah beberapa sampel material hasil eksperimen berdasarkan parameter-parameter taksonomi material. Proses pembuatan masing-masing sampel material didokumentasi dan dilakukan analisa.

3. Analisa Hasil Temuan

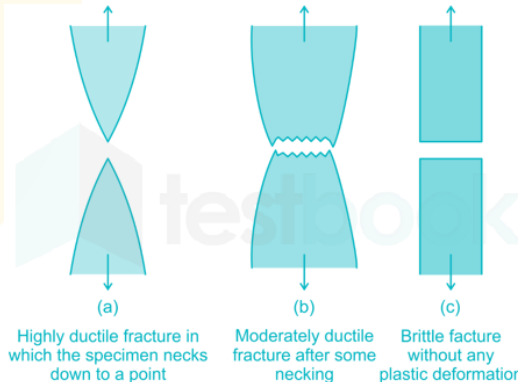
a. Uji Coba Teknis

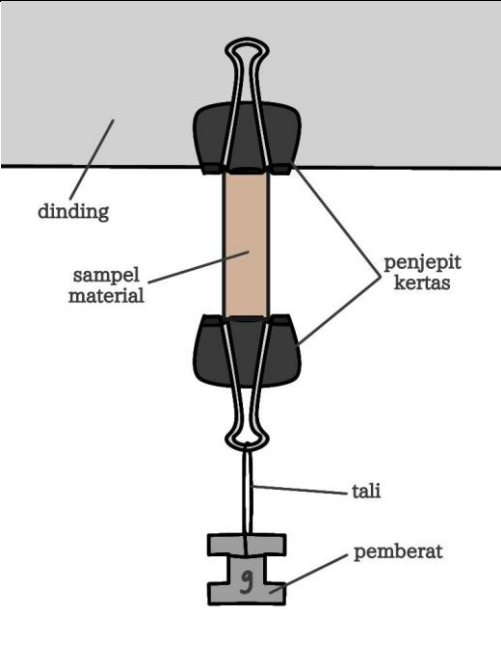
Sampel material hasil eksplorasi dilakukan beberapa uji teknis dalam variabel terkontrol dan kondisi terkendali untuk memahami kualitas bawaannya, keterbatasannya, dan peluang pengaplikasian produknya. Tes awal ini dilakukan menggunakan alat yang tersedia di lab kampus dan di rumah, dengan kata lain, tes yang dilakukan masih belum memenuhi standar industri. Kualitas-kualitas material (seperti elastis, tembus pandang, dll.) yang diperoleh akan membantu menghubungkan sampel material dengan material konvensional serupa untuk mendapatkan bayangan potensi pengaplikasian produk.

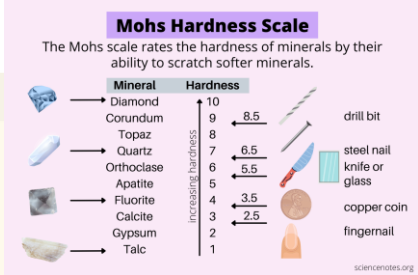
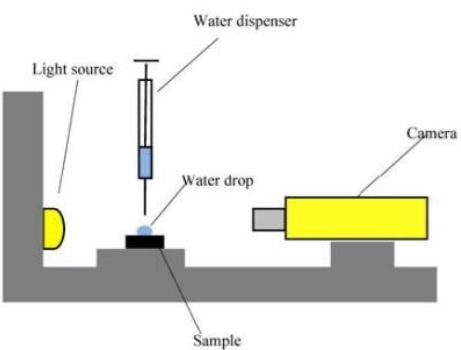
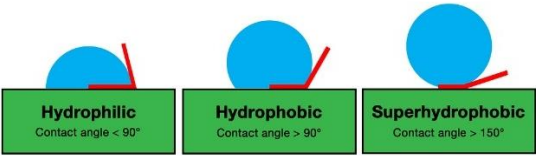
Untuk menciptakan sinergi dalam penemuan, tahap ini dilakukan secara bersamaan dengan tahap sebelumnya (memahami material).

Berikut tabel daftar seluruh uji coba teknis yang akan dilakukan:

Tabel 8 – Daftar Uji Coba Teknis

No	Uji Coba	Deskripsi	Prosedur	Luaran	Subjek
1	Densitas	Memberi wawasan mengenai kerapatan material dan berat material.	Mengukur massa dan volume benda.	Menghitung rumus densitas. $\rho = \frac{m}{V}$ <p>$\rho = \text{densitas (g/cm}^3\text{)}$ $m = \text{massa benda (g)}$ $V = \text{volume benda (cm}^3\text{)}$</p>	soby, agar
2	Kekuatan daya tarik	Kemampuan material untuk diregangkan.	Menempatkan sampel di antara dua penjepit kertas yang dikaitkan beban di bawahnya untuk menarik sampel.	Mengukur perengangan dan/atau mengidentifikasi hasil patahan sampel.  <p>(a) Highly ductile fracture in which the specimen necks down to a point (b) Moderately ductile fracture after some necking (c) Brittle fracture without any plastic deformation</p> <p>Gambar 49 – Jenis Patahan Material (testbook.com, 2022)</p>	soby, agar, akar

			 <p data-bbox="824 501 898 528">dinding</p> <p data-bbox="853 564 927 608">sampel material</p> <p data-bbox="1167 564 1240 608">penjepit kertas</p> <p data-bbox="1115 788 1167 815">tali</p> <p data-bbox="1128 852 1225 879">pemberat</p> <p data-bbox="891 979 1182 1034">Gambar 48 – Tes Peregangan (Dokumen Pribadi, 2022)</p>		
3	Kekuatan daya sobek	Kemampuan material untuk menahan sobekan.	Mencoba untuk menyobek material.	Mendokumentasi hasil sobekan sampel.	soby, agar

4	Kekerasan	Ketahanan material terhadap goresan.	<p>Menggores benda-benda dengan kekerasan berbeda pada permukaan sampel.</p> <ul style="list-style-type: none"> • kuku jari (2.5) • koin tembaga (3.5) • pisau lipat (5.5) • paku baja (6.5) 	<p>Menempatkan material di antara skala kekuatan Mohs.</p>  <p>Mohs Hardness Scale The Mohs scale rates the hardness of minerals by their ability to scratch softer minerals.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mineral</th> <th>Hardness</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Diamond</td><td>10</td></tr> <tr><td>Corundum</td><td>9</td></tr> <tr><td>Topaz</td><td>8</td></tr> <tr><td>Quartz</td><td>7</td></tr> <tr><td>Orthoclase</td><td>6</td></tr> <tr><td>Apatite</td><td>5</td></tr> <tr><td>Fluorite</td><td>4</td></tr> <tr><td>Calcite</td><td>3</td></tr> <tr><td>Gypsum</td><td>2</td></tr> <tr><td>Talc</td><td>1</td></tr> </tbody> </table> <p>Additional items: 8.5 (drill bit), 6.5 (steel nail, knife or glass), 3.5 (copper coin), 2.5 (fingernail)</p> <p>Gambar 50 – Skala Kekerasan Mohs (Helmenstine, 2022)</p>	Mineral	Hardness	Diamond	10	Corundum	9	Topaz	8	Quartz	7	Orthoclase	6	Apatite	5	Fluorite	4	Calcite	3	Gypsum	2	Talc	1	scooby, agar
Mineral	Hardness																										
Diamond	10																										
Corundum	9																										
Topaz	8																										
Quartz	7																										
Orthoclase	6																										
Apatite	5																										
Fluorite	4																										
Calcite	3																										
Gypsum	2																										
Talc	1																										
5	Air	Ketahanan permukaan material terhadap basah.	<p>Menaruh sampel dengan pengaturan seperti pada gambar dan meneteskan air pada permukaannya.</p>  <p>Gambar 51 – Tes Ketahanan Air (Szyszka, 2015)</p>	<p>Mengukur sudut kontak tetesan air terhadap sampel dari gambar yang didapat dan menentukan tingkat ketahanan air material.</p>  <p>Hydrophilic Contact angle < 90°</p> <p>Hydrophobic Contact angle > 90°</p> <p>Superhydrophobic Contact angle > 150°</p> <p>Gambar 52 – Sudut Kontak Air (Gammarra, 2019)</p>	scooby, agar																						

6	Api	Ketahanan material terhadap api.	Membakar sampel dengan menggunakan <i>blow torch</i> .	Mengamati reaksi material terhadap api. <ul style="list-style-type: none"> • Apakah material menyala sendiri? Jika iya, berapa lama sampel membakar setelah api disingkirkan? • Berapa banyak sampel yang terbakar? Apakah ada partikel menyala? • Apakah sampel mengeluarkan bau menyengat selain bau terbakar? 	scoby, agar, akar
7	Panas	Ketahanan material terhadap panas.	Menempatkan batang besi panas pada sampel.	Mengamati reaksi material terhadap panas.	scoby, agar, akar
8	Kelicinan	Kemampuan material untuk menciptakan gesekan.	Menggesekkan sampel pada permukaan kaca, kayu, keramik, dan sesama material.	Menilai tingkat kelicinan material. <ul style="list-style-type: none"> • lengket • tidak licin • licin • sangat licin 	scoby, agar, akar
9	Benturan	Ketahanan material ketika dijatuhkan.	Menjatuhkan sampel dari ketinggian yang bertahap.	Mencatat perubahan pada material.	agar
10	Pencetakan	Kemampuan	Mengecat sampel dengan berbagai	Mengamati apakah tinta dapat menempel	scoby,

		material untuk mempertahankan tinta.	jenis cat/tinta. <ul style="list-style-type: none"> • cat/tinta berbasis air • cat/tinta berbasis minyak 	dan tidak luntur.	agar
11	Kimia	Reaksi material terhadap bahan kimia.	Mengaplikasikan cairan kimia pada sampel berwarna. <ul style="list-style-type: none"> • hidrogen peroksida (H₂O₂) • aseton 	Mengamati apakah warna pada sampel memudar.	scoby
12	Penguraian	Kemampuan material untuk dikompos.	Mengubur sampel ke dalam tanah.	Mengamati dan mendokumentasi perubahan material seiring waktu, lalu mencatat jangka waktu yang diperlukan hingga terurai seluruhnya.	scoby, agar, akar

b. Perbandingan Material

Di akhir tahap ini, sampel material diposisikan di antara material serupa berdasarkan spesifikasi-spesifikasi teknis material, lalu kemudian disimpulkan masing-masing kelebihan dan kekurangannya. Selain itu, hasil penemuan juga akan disajikan dalam bentuk tabel *material benchmarking* seperti contoh di bawah.

	Curface Re-Flowcast	MycoBond Eco-friendly Design	Curran Cell foam	Coco Dust Eco-friendly	Agrioola Bio-Inspired	Omilk Omix	Foodscapes Biomimetic	Solakin Pests Eco-friendly
Applications								
Decorative	yes	no	no	yes	yes	no	yes	no
Structural	yes	yes	yes	yes	no	yes	no	yes
Packaging	no	yes	no	no	no	no	yes	yes
Food related	yes	yes	no	no	no	no	yes	yes
Material description	Waste coffee composite with activated fibres and pigments	Mycelium packaging that grows on waste food	Canal fibres, comparable to carbon fibres	Coconut fibres with natural adhesives	Using seasonal food waste in new materials	Bio-like material from waste milk naturally anti-bacterial	Rawing leftovers	Orange peel natural process of material aging
Exponential qualities & emerging exponential issues								
Tactile colour	revelated	recovered	recovered	revelated	recovered	revelated	revelated	revelated
Imperfections	medium	high	no	high	high	no	high	high
Roughness	medium	high	no	high	high	no	medium	high
Scent intensity	low	low	neutral	medium	low	neutral	neutral	high
Waste fibres	high	high	none	high	high	none	high	high
Waste Salt	weak	weak	no	strong	strong	no	medium	strong
Standard (long)	yes	yes	no	yes	yes	no	yes	yes
Temporal (change over time)	yes - in time	yes - rapidly	no	yes	yes	no	yes	yes
Autonomy	high	high	low	high	high	low	high	very high
Naturalness	high	high	no	high	high	no	high	high
Other emerging issues in design	Local resources	Challenged: Waste equals food	High-performance but lower footprint	Alternative to wood	Local resources, Degrades after 10 years	Waste equals food	Challenged: Waste equals food	Local resources

Gambar 53 – Contoh Tabel *Material Benchmarking* (Karana et al., 2015) disimpulkan

4. Perancangan Prototipe

a. Merancang Konsep Desain

Dalam tahap ini, desainer mengintegrasikan seluruh temuan utamanya ke dalam sebuah fase desain di mana beberapa konsep produk akan terlahir. Konsep-konsep yang diciptakan akan melibatkan salah satu atau beberapa sampel material yang dinilai sesuai. *Brainstorming* konsep dilakukan dalam bentuk sketsa.

b. Pemilihan Konsep

Pemilihan konsep akhir dilakukan menggunakan metode *weighted matrix* untuk menilai *feasibility*, kompatibilitas, kebaruan, dan seberapa besar konsep tersebut dapat menampilkan kualitas unik biomaterial.

c. Pembuatan Prototipe

Konsep yang terpilih dibuatkan prototipe menggunakan biomaterial yang sesuai.