

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Biodesain

Biodesain merupakan istilah yang awalnya berasal dari bidang biomedis. Pada tahun 2009, fakultas Universitas Stanford menerbitkan buku yang berjudul "*Biodesign - The Process of Innovating Medical Technologies*" yang berfokus pada inovasi teknologi kesehatan. Dalam bidang sains, istilah biodesain juga sering kali digunakan secara bergantian dengan istilah bioteknologi.

Namun, seiring berjalannya waktu, ketika desainer non-medis diperkenalkan dengan sistem kehidupan dalam bentuk sel, organisme, bahan biologis, dan teknologi, istilah biodesain mulai diterapkan pada jangkauan desain dan biologi yang lebih luas. Hal ini menimbulkan banyak proyek-proyek desain yang sebagian besar tidak terkait dengan inovasi teknologi kesehatan. Proyek-proyek tersebut kemudian dimuat dalam buku lain oleh kurator William Myers dengan judul yang sama, yakni "Biodesign", tetapi dengan sub judul "Nature, Science, Creativity" dan isi yang jauh berbeda.

Definisi Myers tentang biodesain adalah sebagai berikut:

"Biodesign is the next step beyond biology inspired approaches to design and fabrication. Unlike biomimicry or the popular but vague "green design," biodesign refers to the incorporation of living organisms as essential components in design, enhancing the function of the finished work. Biodesign leaps ahead of imitation and mimicry to integration and use, dissolving boundaries and synthesizing new hybrid objects and architecture.¹"

¹ Myers, W. *Bio Design: Nature, Science, Creativity*. London: Thames & Hudson Ltd., 2018

Definisi dan pemahaman di atas sekarang diberlakukan dalam sekolah seni dan desain terkemuka di seluruh dunia untuk mencakup studi desain dan biologi dengan aplikasi dalam segala hal mulai dari periklanan dan arsitektur hingga makanan dan *fashion* (Lee, 2021). Sama seperti halnya istilah bioteknologi yang merupakan gabungan dari kata sekaligus makna ‘biologi’ dan ‘teknologi’, ‘biodesain’ juga dapat secara sederhana didefinisikan sebagai ‘biologi’ dan ‘desain’. Maka dapat disimpulkan bahwa biodesain adalah istilah yang digunakan untuk menunjukkan desain 'dari', 'untuk' atau 'dengan' biologi.

Penggunaan umum istilah biodesain di luar bidang biomedis sebagian besar jatuh ke dalam kategori berikut:

1. Desain Biologi
Mendesain atau menulis kode DNA yang menentukan identitas sel atau apa yang akan dilakukan oleh sel tersebut.
2. Desain untuk Biologi
Merancang sistem yang memanipulasi pertumbuhan biologis untuk pemanfaatan produk.
3. Merancang dengan Produk Biologi
Bekerja dengan material yang dihasilkan oleh organisme hidup. Kategori ini juga mencakup proyek-proyek yang berspekulasi tentang masa depan biodesain.

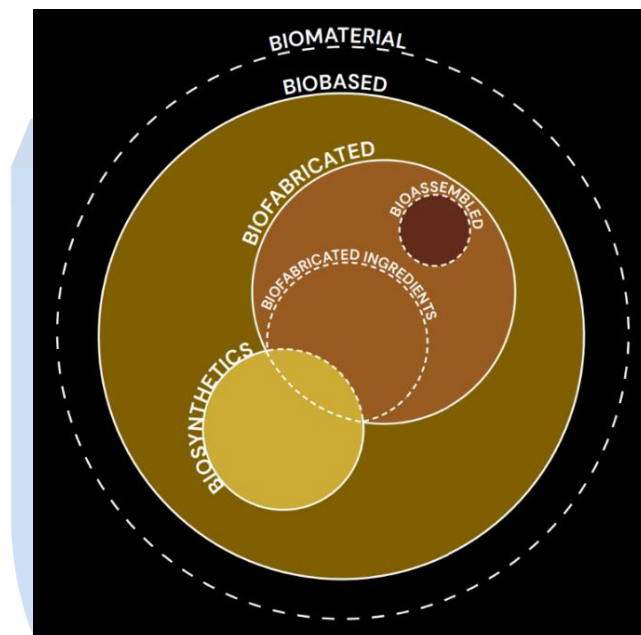
Dari ketiga kategori tersebut, penelitian ini akan berfokus kepada kategori kedua dan tiga, yakni mendesain untuk biologi dan merancang dengan produk biologi.

2.2 Biomaterial

Biomaterial merupakan istilah yang digunakan secara luas dalam bidang biodesain. Berdasarkan laporan tentang biomaterial (Lee, 2021), biomaterial adalah istilah yang digunakan untuk menunjukkan material yang memiliki asosiasi biologis non-spesifik. Misalnya, di bidang *fashion*, istilah biomaterial umumnya digunakan untuk menggambarkan produk akhir yang mengandung

biomassa, bahan turunan biologis, dibuat menggunakan beberapa jenis proses biologis, dapat terurai secara hayati, atau gabungan dari seluruh contoh yang disebutkan di atas (Lee, 2021). Jika suatu material memiliki awalan 'bio' dalam namanya, material tersebut harus berasal dari bio dengan kandungan bio minimal 50% (Lee, 2021).

Biomaterial merupakan sebuah istilah yang mencakup beberapa istilah yang mewakili teknologi material yang tengah dipraktikkan saat ini.



Gambar 3 – Istilah dalam Biomaterial (Lee, 2021)

1. *Biobased*

Istilah produk berbasis bio mengacu pada produk yang seluruhnya atau sebagian berasal dari biomassa, seperti tanaman, pohon atau hewan, di mana biomassa dapat mengalami perlakuan fisik, kimia atau biologis. Ini mencakup segala sesuatu mulai dari yang konvensional hingga ‘kulit’ non-hewani yang mengandung limbah buah atau sayuran yang digabung dengan polimer sintetik (Lee, 2021).

2. *Biosynthetics*

Biosintesis adalah proses di mana organisme biologis hidup atau sel mengubah molekul sederhana menjadi kompleks (Lee, 2021). Sedangkan

biosintetik merupakan bahan polimer sintetik yang sebagian atau seluruhnya terdiri dari senyawa turunan bio. Senyawa ini dapat dibuat dengan masukan yang berasal dari biologis (biomassa), dan/atau di mana prosesnya dilakukan oleh mikroorganisme hidup (Lee, 2021). Sehingga dapat disimpulkan bahwa biosintetik adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan material sintesis yang berasal dari biologi, dan/atau prosesnya dilakukan oleh organisme hidup. Keduanya menghasilkan hasil akhir yang dapat disebut sebagai biosintesis. Material biosintetik mencakup produksi bahan kimia yang diperoleh melalui proses fermentasi oleh mikroba, contohnya polimer sintetik seperti nilon dan poliester.

3. *Biofabricated*

Material biofabrikasi diproduksi oleh sel hidup (misalnya mamalia) dan mikroorganisme, seperti bakteri, ragi, dan miselium. Sedangkan *biofabricated ingredients* adalah material berskala mikro yang dihasilkan oleh sel hidup dan mikroorganisme, ini termasuk protein kompleks seperti sutra atau kolagen. Contohnya adalah sutra yang dibuat dari jaring laba-laba. Mereka membutuhkan pemrosesan mekanis atau kimia lebih lanjut untuk membuat struktur material skala makro. Biofabrikasi hanya menyangkut blok bangunan yang diproduksi oleh mikroba untuk polimer natural seperti sutra, dan polimer sintesis seperti nilon

4. *Bioassembled*

Sebuah material hasil *bioassembly* adalah struktur skala makro yang telah ditumbuhkan langsung oleh mikroorganisme hidup seperti miselium atau bakteri. Contohnya seperti alternatif kulit yang ditumbuhkan oleh miselium, bakteri, atau sel mamalia.

2.3 Organisme Hidup

Organisme hidup yang pada umumnya terlibat dalam pembuatan biomaterial dapat dikategorikan menjadi empat jenis utama.

2.3.1 Bakteri

Bakteri adalah organisme bersel tunggal yang berkembang di lingkungan yang beragam, mereka dapat digunakan untuk menghasilkan sejumlah besar molekul dan bahan seperti pewarna tekstil dan sutra laba-laba (Biofabricate, 2021).

Bakteri, bersama dengan jamur dan alga, merupakan beberapa organisme hidup yang paling sering digunakan dalam biodesain. Material yang ditumbuhkan dari bakteri terutama dikembangkan sebagai bahan yang tipis dan fleksibel, misalnya untuk menggantikan kulit hewan.

Produksi selulosa bakteri terjadi dengan fermentasi kultur simbiosis bakteri dengan ragi dalam media nutrisi asam (pH=3), yang mengandung monosakarida seperti glukosa, fruktosa, atau gliserol (Iguchi, Yamanaka dan Budhiono, 2000). Ketika diberikan nutrisi yang tepat dan lingkungan tumbuh, beberapa spesies bakteri menghasilkan lapisan selulosa murni 100% (Lee et al., 2014; Ross, Mayer & Benziman, 1991; Huang et al., 2014; Ng & Wang, 2016). Dibandingkan dengan selulosa hewani atau nabati yang kandungan selulosanya hanya 40-60%, ini menunjukkan bahwa selulosa bakteri mengandung unsur lain seperti lignin yang cenderung sulit diolah dan membutuhkan energi yang besar.

Proses pertumbuhan dapat dilakukan dalam kultur statis atau agitasi (dikocok dengan mesin) dan dapat memakan waktu hingga empat minggu untuk membentuk lapisan selulosa yang cukup tebal (Iguchi, Yamanaka dan Budhiono, 2000). Proses pertumbuhan kemudian dihentikan dengan mencuci lembaran selulosa dalam air sabun (Lee, 2011). Setelah itu, lembaran selulosa akan padat dengan air sehingga harus dikeringkan sebelum memperoleh warna, ketebalan, dan penampilan permukaan kualitas akhir material (Lee, 2011).

Konfigurasi nutrisi, organisme, dan lingkungan tumbuh yang digunakan untuk proses fabrikasi sangat mempengaruhi sifat material akhir, yang dapat berkisar dari selulosa tipis seperti kertas hingga material lebih tebal yang mirip dengan kulit (Huang et al., 2014; Lee, 2011).



Gambar 4 – Contoh Produk dari Selulosa Mikroba
(The Synthetic Bestiary, 2012)

2.3.2 Alga

Alga adalah kelompok organisme akuatik yang memiliki kemampuan untuk melakukan fotosintesis. Mereka merupakan bahan baku non-makanan yang dapat terbarukan dan digunakan untuk aplikasi seperti tinta dan material (Biofabricate, 2021).

Proses pembuatan material dari alga sedikit berbeda dengan bakteri dan miselium, di mana proses fabrikasi dimulai baik dari alga mikro maupun makro (Koller et al., 2012; Hannon et al., 2010).

Ada beberapa spesies alga cocok untuk dibudidayakan dalam ruangan (Richmond, 2008), namun desainer-desainer yang bekerja dengan alga lebih memilih untuk mengumpulkan alga yang terakumulasi di pantai.

Alga yang dikumpulkan kemudian dikeringkan dan diproses dengan berbagai teknik untuk mengekstrak sub komponennya, seperti agar-agar atau serat selulosa. Oleh karena itu, desainer tidak secara langsung terlibat dalam pertumbuhan alga, sehingga praktik pembuatan material dari alga lebih mirip dengan pendekatan material DIY (Do it Yourself) konvensional (Rognoli et al., 2015).

Terlepas dari perbedaan ini, diskusi proyek material berbasis alga berkaitan erat dengan biodesain (Myers, 2012), hal ini dikarenakan beberapa alasan (Camere & Karana, 2017):

- a. Alga menawarkan sumber daya yang menjanjikan dan hampir tidak ada habisnya yang dapat diproses untuk mengekstrak *biofuel*, listrik, selulosa, alginat (berguna sebagai bahan pengikat), dan komponen lain dengan banyak aplikasi potensial (Wijffels, Kruse & Hellingwerf, 2013; Richmond, 2008; Priyadarshani & Rat, 2012).
- b. Banyak spesies alga memiliki tingkat pertumbuhan yang menakjubkan (Bold & Wynne, 1978), sehingga membuat alga menjadi sistem yang sangat efisien yang berada di luar sumber daya 'terbarukan' (Vezzoli, 2014).

Budidaya alga dalam ruangan saat ini memiliki beberapa kerugian lingkungan, di antaranya penggunaan listrik dalam jumlah besar atau hilangnya potensi bioremediasi yang dimiliki alga untuk lautan (Raja et al., 2008; Richmond, 2008; Gonçalves, Pires & Simes, 2016). Karena alasan khusus ini, desainer saat ini tidak terlibat dalam produksi sendiri bahan alga. Meskipun demikian, seiring jalannya penelitian dalam mengeksplorasi sistem budidaya alga yang lebih efisien di dalam ruangan (Podola, Li & Melkonian, 2017), diharapkan para perancang dapat mulai menumbuhkan alga secara mandiri dalam waktu dekat.



Gambar 5 – Produk dan Proyek dari Material Berbasis Alga
(Dokumen Pribadi, 2021)

2.3.3 Jamur

Sama seperti bakteri dan alga, jamur merupakan salah satu organisme hidup yang paling sering digunakan dalam biodesain. Bagian dari jamur yang biasa digunakan untuk pembuatan biomaterial adalah miselium.

Miselium adalah struktur akar vegetatif jamur yang terdiri dari massa bercabang yang menyerupai benang hifa. Hifa dapat merakit sendiri menjadi struktur 3D yang kompleks seperti busa, lembaran fleksibel, dan balok yang kaku untuk digunakan dalam aplikasi seperti aksesoris, kemasan, makanan, dan konstruksi (Biofabricate, 2021).

Material berbasis miselium dapat diproduksi baik sebagai material murni dari kultur cair miselium (Haneef et al., 2017; Montalti, 2017) atau sebagai

komposit berbasis substrat organik (Holt et al., 2012). Mayoritas desainer lebih memilih bekerja dengan komposit miselium karena proses fabrikasi yang relatif lebih stabil dan mudah diakses daripada miselium murni. Namun, dalam proses fabrikasi, tidak mudahnya seperti halnya bakteri, kedua tipe material miselium tersebut memerlukan tingkat sterilitas tertentu untuk mencapai hasil yang sesuai dan mencegah kontaminasi dari organisme pesaing lain atau lalat buah yang tertarik dengan lingkungan manis dalam proses fabrikasi (Jiang et al., 2013).



Gambar 6 – Komposit Miselium (kiri) dan Miselium Murni (kanan)
(Karana, 2018)

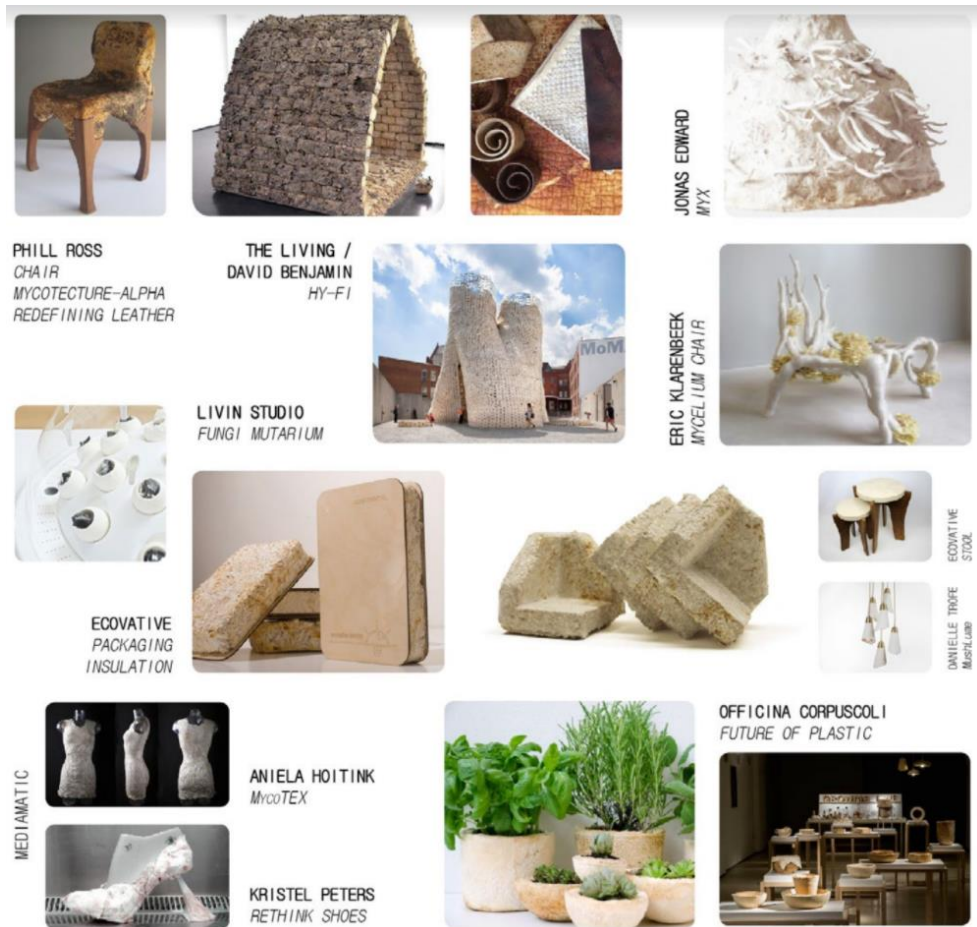
Proses fabrikasi dimulai dengan menginokulasikan irisan jamur ke dalam substrat bahan organik (Holt et al., 2012). Jamur kemudian tumbuh dengan mencerna substrat (misalnya pasir) dan membentuk jaringan miselium padat di sekitarnya, yang merupakan bahan curah yang ditutupi oleh kulit putih yang lembut (Jones et al., 2017). Substrat yang digunakan untuk menumbuhkan komposit berbasis miselium biasanya diambil dari aliran limbah industri atau pertanian, seperti gandum atau jerami padi, serbuk gergaji kayu, atau serat lainnya seperti rami dan kapas (Jiang et al., 2013; Lelivelt et al., 2015).



Gambar 7 – Eksperimen Substrat Menggunakan Partikel Roti dan Kulit Jeruk (kiri); Serbuk Gergaji (kanan)
(Karana, 2018)

Fabrikasi material dapat memakan waktu dua hingga empat minggu untuk tumbuh, tergantung pada volumenya. Setelah pertumbuhan, pengeringan suhu rendah diperlukan untuk menonaktifkan organisme hidup. Sebagai alternatif, material juga dapat dipertahankan pada suhu ruangan, sehingga memungkinkan untuk mengikat diri dan menumbuh lagi di masa depan (Jones et al., 2017).

Seluruh proses dapat ditangani dengan jumlah energi dan air yang terbatas, dimana hanya digunakan selama tahap pertumbuhan dan pengeringan. Substrat yang digunakan juga tidak memerlukan biaya yang besar, karena dapat mengupayakan bahan limbah dari sumber lokal (Jiang et al., 2013; Jones et al. al., 2017; Holt et al., 2012). Untuk alasan ini, material berbasis miselium memperoleh sertifikasi emas pada serangkaian kriteria keberlanjutan, yang ditetapkan oleh Institut Inovasi Produk *Cradle-to-Cradle*, seperti kesehatan material, pemanfaatan kembali material, energi yang terbarukan, dan pengelolaan karbon. Oleh karena itu dianggap memiliki potensi besar dalam menggantikan sistem produksi bahan berbasis hewani atau nabati (Lee et al., 2014; Jang et al., 2017). Material berbasis miselium juga sering terdaftar sebagai salah satu alternatif yang paling menjanjikan untuk material sintetis sekali pakai seperti *styrofoam* (Holt et al., 2012).



Gambar 8 – Produk dan Proyek dari Material Berbasis Miselium (Karana, 2018)

Dapat disimpulkan bahwa pembuatan selulosa bakteri dan bahan berbasis miselium mengikuti langkah-langkah tindakan yang mirip:

- a. fase persiapan, di mana desainer mengatur kondisi untuk fabrikasi material;
- b. fase pertumbuhan, di mana organisme membuat material;
- c. fase pengeringan, untuk menonaktifkan organisme dan menghasilkan material akhir;
- d. dan terakhir, pembentukan akhir material melalui teknik yang beragam.

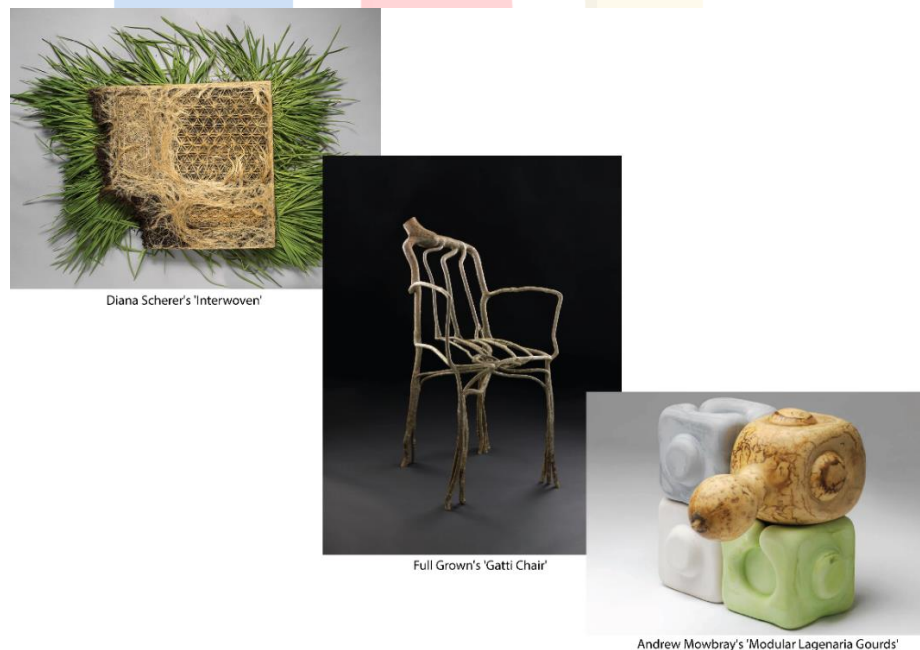
Fase-fase ini umum untuk semua proses fabrikasi dan memungkinkan ruang intervensi desain yang berbeda-beda. Dengan memvariasikan nutrisi dan 'resep' yang digunakan untuk membuat material, desainer dapat

mencapai material yang berbeda secara signifikan dalam kinerja teknis dan pengalaman mereka (Karana et al., 2015).

2.3.4 Tanaman

Biodesain juga menggunakan berbagai teknik yang digunakan dalam desain-desain kontemporer dan praktik produksi lainnya yang melibatkan material alami, seperti kayu atau tanaman.

Sebagai contoh, perusahaan Inggris '*Full Grown*' menumbuhkan pohon willow menjadi bentuk kursi selama tujuh tahun. Demikian pula, dalam proyek '*Modular Lagenaria Gourds*', di mana desainer Andrew Mowbray membudidayakan kundur sebagai modul arsitektur. Kedua proyek ini memiliki banyak kesamaan dengan tekstil yang ditanam oleh akar tanaman, yang dirancang oleh Diana Scherer dalam proyek '*Interwoven*'.



Gambar 9 – Produk dan Proyek dari Material Berbasis Tanaman
(Dokumentasi Pribadi, 2021)



Dalam ketiga proyek tersebut, desainer fokus pada pengendalian bentuk dalam sistem pertumbuhan pohon atau tanaman, sehingga mempengaruhi struktur material, bukan bahan dari material itu sendiri (Rognoli et al., 2015).

2.4 Contoh Produk



Berikut merupakan beberapa proyek-proyek dan produk yang dibuat dengan biomaterial.

2.4.1 Contoh Produk Bakteri

Tabel 2 – Contoh Produk Bakteri



No.	Contoh Produk Bakteri						
1	<p data-bbox="448 622 759 656"><i>From Peel to Peel</i> (2018)</p>  <p data-bbox="767 1128 1078 1182">Gambar 10 – <i>From Peel to Peel</i> (dezeen.com, 2018)</p> <table border="1" data-bbox="440 1196 1406 1402"> <tr> <td data-bbox="440 1196 635 1245">Desainer</td> <td data-bbox="635 1196 1406 1245">Emma Sicher</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1245 635 1294">Konsep</td> <td data-bbox="635 1245 1406 1294">kemasan makanan ramah lingkungan</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1294 635 1402">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1294 1406 1402">SCOBY (<i>symbiotic culture of bacteria and yeasts</i>), sisa buah dan sayur</td> </tr> </table>	Desainer	Emma Sicher	Konsep	kemasan makanan ramah lingkungan	Komposisi	SCOBY (<i>symbiotic culture of bacteria and yeasts</i>), sisa buah dan sayur
Desainer	Emma Sicher						
Konsep	kemasan makanan ramah lingkungan						
Komposisi	SCOBY (<i>symbiotic culture of bacteria and yeasts</i>), sisa buah dan sayur						
2	<p data-bbox="448 1406 663 1440"><i>Symbiosis</i> (2009)</p>  <p data-bbox="810 1935 1042 1989">Gambar 11 – <i>Symbiosis</i> (Myers, 2018)</p>						



	Desainer	Jelte van Abbema
	Konsep	huruf hidup yang tumbuh, berubah warna, dan mati di akhir
	Komposisi	<i>Escherichia coli</i> , kertas, media tumbuh, cawan petri
3	<i>Imperfect Perfection</i> (2020)	
		
	Gambar 12 – <i>Imperfect Perfection</i> (dezeen.com, 2020)	
	Desainer	Studio Lionne van Deursen
	Konsep	lampu dari lembaran bakteri
	Komposisi	SCOBY
4	<i>Kombucha Sneakers</i> (2021)	
		
	Gambar 13 – <i>Kombucha Sneakers</i> (dezeen.com, 2021)	
	Desainer	Public School
	Konsep	sneaker yang bisa dikompos di halaman rumah dari limbah kombucha
	Komposisi	SCOBY



5	<p data-bbox="448 230 738 264">Assemblage 001 (2017)</p>  <p data-bbox="778 824 1070 880">Gambar 14 – <i>Assemblage 001</i> (faberfutures.com, 2017)</p> <table border="1" data-bbox="443 891 1409 1048"> <tr> <td data-bbox="443 891 635 943">Desainer</td> <td data-bbox="635 891 1409 943">The Faber Futures, Ginkgo Bioworks</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 943 635 994">Konsep</td> <td data-bbox="635 943 1409 994">garmen yang diwarnai secara in-vitro dengan bakteri</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 994 635 1048">Komposisi</td> <td data-bbox="635 994 1409 1048"><i>Janthinobacterium lividum</i></td> </tr> </table>	Desainer	The Faber Futures, Ginkgo Bioworks	Konsep	garmen yang diwarnai secara in-vitro dengan bakteri	Komposisi	<i>Janthinobacterium lividum</i>
Desainer	The Faber Futures, Ginkgo Bioworks						
Konsep	garmen yang diwarnai secara in-vitro dengan bakteri						
Komposisi	<i>Janthinobacterium lividum</i>						
6	<p data-bbox="448 1048 683 1081">BioCouture (2011)</p>  <p data-bbox="802 1646 1050 1702">Gambar 15 – <i>BioCouture</i> (iconeye.com, 2011)</p> <table border="1" data-bbox="443 1713 1409 1863"> <tr> <td data-bbox="443 1713 635 1765">Desainer</td> <td data-bbox="635 1713 1409 1765">Suzanne Lee</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1765 635 1816">Konsep</td> <td data-bbox="635 1765 1409 1816">garmen yang <i>biodegradeable</i> dan ramah lingkungan</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1816 635 1863">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1816 1409 1863">SCOBY</td> </tr> </table>	Desainer	Suzanne Lee	Konsep	garmen yang <i>biodegradeable</i> dan ramah lingkungan	Komposisi	SCOBY
Desainer	Suzanne Lee						
Konsep	garmen yang <i>biodegradeable</i> dan ramah lingkungan						
Komposisi	SCOBY						

2.4.2 Contoh Produk Alga

Tabel 3 – Contoh Produk Alga



No.	Contoh Produk Alga						
1	<p data-bbox="448 383 970 416"><i>Biodegradable Algae Water Bottle</i> (2016)</p>  <p data-bbox="683 826 1166 882">Gambar 16 – <i>Biodegradable Algae Water Bottle</i> (dezeen.com, 2016)</p> <table border="1" data-bbox="443 898 1398 1048"> <tr> <td data-bbox="443 898 635 943">Desainer</td> <td data-bbox="635 898 1398 943">Ari Jónsson</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 943 635 987">Konsep</td> <td data-bbox="635 943 1398 987">botol dari alga yang <i>biodegradeable</i></td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 987 635 1048">Komposisi</td> <td data-bbox="635 987 1398 1048">air, bubuk alga merah</td> </tr> </table>	Desainer	Ari Jónsson	Konsep	botol dari alga yang <i>biodegradeable</i>	Komposisi	air, bubuk alga merah
Desainer	Ari Jónsson						
Konsep	botol dari alga yang <i>biodegradeable</i>						
Komposisi	air, bubuk alga merah						
2	<p data-bbox="448 1055 957 1088"><i>Algae-based Bioplastic Packaging</i> (2019)</p>  <p data-bbox="695 1733 1153 1789">Gambar 17 – <i>Algae-base Bioplastic Packaging</i> (margaritatalep.com, 2019)</p> <table border="1" data-bbox="443 1805 1398 1998"> <tr> <td data-bbox="443 1805 635 1850">Desainer</td> <td data-bbox="635 1805 1398 1850">Margarita Talep</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1850 635 1895">Konsep</td> <td data-bbox="635 1850 1398 1895">kemasan makanan sekali pakai dari bioplastik berbasis alga</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1895 635 1998">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1895 1398 1998">polimer (agar dari alga merah), plasticizer, aditif, pewarna alami dari makanan</td> </tr> </table>	Desainer	Margarita Talep	Konsep	kemasan makanan sekali pakai dari bioplastik berbasis alga	Komposisi	polimer (agar dari alga merah), plasticizer, aditif, pewarna alami dari makanan
Desainer	Margarita Talep						
Konsep	kemasan makanan sekali pakai dari bioplastik berbasis alga						
Komposisi	polimer (agar dari alga merah), plasticizer, aditif, pewarna alami dari makanan						

3	<p>Algae Printer (2021)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 18 – <i>Algae Printer</i> (dezeen.com, 2021)</p>
Desainer	Luis Undritz
Konsep	printer yang menghasilkan gambar dengan memproyeksikan cahaya pada alga
Komposisi	air, nutrisi, fitoplankton
4	<p>Biogarmentry (2019)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 19 – <i>Biogarmentry</i> (dezeen.com, 2019)</p>
Desainer	Roya Aghighi
Konsep	pakaian yang dapat berfotosintesis
Komposisi	<i>Chlamydomonas reinhardtii</i> (alga hijau sel tunggal), polimer nano

5	<p>24h Algae Dress (2020)</p>  <p>Gambar 20 – 24h Algae Dress (dezeen.com, 2020)</p> <table border="1" data-bbox="443 884 1409 1093"> <tr> <td data-bbox="443 884 635 936">Desainer</td> <td data-bbox="635 884 1409 936">Scarlett Yang</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 936 635 1037">Konsep</td> <td data-bbox="635 936 1409 1037">gaun kaca berbasis alga yang tumbuh seiring waktu dan dapat terurai di air dalam 24 jam</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1037 635 1093">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1037 1409 1093">air, pewarna, ekstrak alga, protein kepompong sutra</td> </tr> </table>	Desainer	Scarlett Yang	Konsep	gaun kaca berbasis alga yang tumbuh seiring waktu dan dapat terurai di air dalam 24 jam	Komposisi	air, pewarna, ekstrak alga, protein kepompong sutra
Desainer	Scarlett Yang						
Konsep	gaun kaca berbasis alga yang tumbuh seiring waktu dan dapat terurai di air dalam 24 jam						
Komposisi	air, pewarna, ekstrak alga, protein kepompong sutra						
6	<p>Algaeknit (2018)</p>  <p>Gambar 21 – Algaekicks (designhost.gr, 2018)</p> <table border="1" data-bbox="443 1706 1409 1859"> <tr> <td data-bbox="443 1706 635 1758">Desainer</td> <td data-bbox="635 1706 1409 1758">Aleksandra Gosiewski</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1758 635 1809">Konsep</td> <td data-bbox="635 1758 1409 1809">sepatu dari rumput laut yang dapat diperbaharui dengan cepat</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1809 635 1859">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1809 1409 1859">benang biopolymer dari rumput laut</td> </tr> </table>	Desainer	Aleksandra Gosiewski	Konsep	sepatu dari rumput laut yang dapat diperbaharui dengan cepat	Komposisi	benang biopolymer dari rumput laut
Desainer	Aleksandra Gosiewski						
Konsep	sepatu dari rumput laut yang dapat diperbaharui dengan cepat						
Komposisi	benang biopolymer dari rumput laut						

2.4.3 Contoh Produk Jamur

Tabel 4 – Contoh Produk Jamur



No.	Studi Produk Jamur						
1	<p data-bbox="451 387 762 421"><i>Candle Packaging</i> (2020)</p>  <p data-bbox="767 954 1078 1010">Gambar 22 – <i>Candle Packaging</i> (dezeen.com, 2020)</p> <table border="1" data-bbox="443 1021 1398 1173"> <tr> <td data-bbox="443 1021 635 1066">Desainer</td> <td data-bbox="635 1021 1398 1066">Amen, Grown</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1066 635 1111">Konsep</td> <td data-bbox="635 1066 1398 1111">kemasan lilin karbon-negatif dari miselium</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1111 635 1173">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1111 1398 1173">Miselium, limbah pertanian (rami)</td> </tr> </table>	Desainer	Amen, Grown	Konsep	kemasan lilin karbon-negatif dari miselium	Komposisi	Miselium, limbah pertanian (rami)
Desainer	Amen, Grown						
Konsep	kemasan lilin karbon-negatif dari miselium						
Komposisi	Miselium, limbah pertanian (rami)						
2	<p data-bbox="451 1184 778 1218"><i>Mycelium + Timber</i> (2017)</p>  <p data-bbox="759 1749 1086 1805">Gambar 23 – <i>Mycelium + Timber</i> (dezeen.com, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="443 1816 1398 1962"> <tr> <td data-bbox="443 1816 635 1861">Desainer</td> <td data-bbox="635 1816 1398 1861">Sebastian Cox, Ninela Ivanovna</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1861 635 1906">Konsep</td> <td data-bbox="635 1861 1398 1906">furnitur menyerupai <i>suede</i> terbuat dari miselium jamur</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1906 635 1962">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1906 1398 1962"><i>Fomes fomentarius</i>, serabut kayu willow</td> </tr> </table>	Desainer	Sebastian Cox, Ninela Ivanovna	Konsep	furnitur menyerupai <i>suede</i> terbuat dari miselium jamur	Komposisi	<i>Fomes fomentarius</i> , serabut kayu willow
Desainer	Sebastian Cox, Ninela Ivanovna						
Konsep	furnitur menyerupai <i>suede</i> terbuat dari miselium jamur						
Komposisi	<i>Fomes fomentarius</i> , serabut kayu willow						



3	<p>Mogu (2019)</p>  <p>Gambar 24 – <i>Mogu Acqoustique</i> (mogu.bio, 2019)</p> <table border="1" data-bbox="443 936 1409 1093"> <tr> <td data-bbox="443 936 635 987">Desainer</td> <td data-bbox="635 936 1409 987">Mogu</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 987 635 1039">Konsep</td> <td data-bbox="635 987 1409 1039">panel dekoratif dinding yang dapat menyerap suara</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1039 635 1093">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1039 1409 1093">jamur miselium, residu tekstil yang didaur ulang</td> </tr> </table>	Desainer	Mogu	Konsep	panel dekoratif dinding yang dapat menyerap suara	Komposisi	jamur miselium, residu tekstil yang didaur ulang
Desainer	Mogu						
Konsep	panel dekoratif dinding yang dapat menyerap suara						
Komposisi	jamur miselium, residu tekstil yang didaur ulang						
4	<p>Korvaa (2019)</p>  <p>Gambar 25 – <i>Korvaa</i> (dezeen.com, 2019)</p> <table border="1" data-bbox="443 1753 1409 2004"> <tr> <td data-bbox="443 1753 635 1805">Desainer</td> <td data-bbox="635 1753 1409 1805">Aivan</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1805 635 1910">Konsep</td> <td data-bbox="635 1805 1409 1910">headphone dari 6 macam microba untuk menunjukkan potensi teknologi biologi sintetik</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1910 635 2004">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1910 1409 2004">komposit selulosa-miselium, jamur, bioplastik berbasis ragi, sutra laba-laba biosintetik</td> </tr> </table>	Desainer	Aivan	Konsep	headphone dari 6 macam microba untuk menunjukkan potensi teknologi biologi sintetik	Komposisi	komposit selulosa-miselium, jamur, bioplastik berbasis ragi, sutra laba-laba biosintetik
Desainer	Aivan						
Konsep	headphone dari 6 macam microba untuk menunjukkan potensi teknologi biologi sintetik						
Komposisi	komposit selulosa-miselium, jamur, bioplastik berbasis ragi, sutra laba-laba biosintetik						



5	<p>Bro.do x Mylea Better Shoes (2021)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 26 – <i>Bro.do x Mylea Better Shoes</i> (inhabitat.com, 2021)</p> <table border="1" data-bbox="443 922 1409 1081"> <tr> <td data-bbox="443 922 636 976">Desainer</td> <td data-bbox="636 922 1409 976">Bro.do, Mycotech</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 976 636 1028">Konsep</td> <td data-bbox="636 976 1409 1028">sepatu dari ‘kulit’ miselium</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1028 636 1081">Komposisi</td> <td data-bbox="636 1028 1409 1081"><i>Ganoderma lucidum</i>, substrat</td> </tr> </table>	Desainer	Bro.do, Mycotech	Konsep	sepatu dari ‘kulit’ miselium	Komposisi	<i>Ganoderma lucidum</i> , substrat
Desainer	Bro.do, Mycotech						
Konsep	sepatu dari ‘kulit’ miselium						
Komposisi	<i>Ganoderma lucidum</i> , substrat						
6	<p>Stella McCartney x Mylo (2017)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 27 – <i>Stella McCartney x Mylo</i> (vegansbay.com, 2021)</p> <table border="1" data-bbox="443 1765 1409 1966"> <tr> <td data-bbox="443 1765 636 1818">Desainer</td> <td data-bbox="636 1765 1409 1818">Stella McCartney, Bolt Threads</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1818 636 1872">Konsep</td> <td data-bbox="636 1818 1409 1872">atasan <i>bustier</i> dan celana <i>utilitarian</i> dari kulit vegan Mylo</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1872 636 1966">Komposisi</td> <td data-bbox="636 1872 1409 1966">scuba nilon daur ulang dan kulit vegan (miselium, serbuk gergaji, dan bahan organik lainnya)</td> </tr> </table>	Desainer	Stella McCartney, Bolt Threads	Konsep	atasan <i>bustier</i> dan celana <i>utilitarian</i> dari kulit vegan Mylo	Komposisi	scuba nilon daur ulang dan kulit vegan (miselium, serbuk gergaji, dan bahan organik lainnya)
Desainer	Stella McCartney, Bolt Threads						
Konsep	atasan <i>bustier</i> dan celana <i>utilitarian</i> dari kulit vegan Mylo						
Komposisi	scuba nilon daur ulang dan kulit vegan (miselium, serbuk gergaji, dan bahan organik lainnya)						

2.4.4 Contoh Produk Tanaman

Tabel 5 – Contoh Produk Tanaman

No.	Contoh Produk Tanaman						
1	<p data-bbox="448 385 734 416"><i>Nurture Studies</i> (2012)</p>  <p data-bbox="759 958 1043 1012">Gambar 28 – <i>Nurture Studies</i> (dianascherer.nl, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="440 1021 1362 1169"> <tr> <td data-bbox="440 1021 625 1070">Desainer</td> <td data-bbox="625 1021 1362 1070">Diana Scherer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1070 625 1124">Konsep</td> <td data-bbox="625 1070 1362 1124">akar tanaman yang mengikuti bentuk pot</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1124 625 1169">Komposisi</td> <td data-bbox="625 1124 1362 1169">berbagai jenis tanaman</td> </tr> </table>	Desainer	Diana Scherer	Konsep	akar tanaman yang mengikuti bentuk pot	Komposisi	berbagai jenis tanaman
Desainer	Diana Scherer						
Konsep	akar tanaman yang mengikuti bentuk pot						
Komposisi	berbagai jenis tanaman						
2	<p data-bbox="448 1187 673 1218"><i>Rootbound</i> (2018)</p>  <p data-bbox="785 1724 1018 1778">Gambar 29 – <i>Rootbound</i> (dianascherer.nl, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="440 1787 1362 1977"> <tr> <td data-bbox="440 1787 625 1836">Desainer</td> <td data-bbox="625 1787 1362 1836">Diana Scherer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1836 625 1939">Konsep</td> <td data-bbox="625 1836 1362 1939">tekstil 3D yang dihasilkan dengan memanipulasi pertumbuhan akar tanaman</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1939 625 1977">Komposisi</td> <td data-bbox="625 1939 1362 1977">akar <i>oatgrass</i></td> </tr> </table>	Desainer	Diana Scherer	Konsep	tekstil 3D yang dihasilkan dengan memanipulasi pertumbuhan akar tanaman	Komposisi	akar <i>oatgrass</i>
Desainer	Diana Scherer						
Konsep	tekstil 3D yang dihasilkan dengan memanipulasi pertumbuhan akar tanaman						
Komposisi	akar <i>oatgrass</i>						

3	<p><i>Interwoven</i> (2018)</p>  <p>Gambar 30 – Pola Akar <i>Interwoven</i> (dianascherer.nl, 2018)</p>
Desainer	Diana Scherer
Konsep	domestikasi sistem akar
Komposisi	akar <i>oatgrass</i>
4	<p><i>Low Stool</i> (2020)</p>  <p>Gambar 31 – Bangku Rendah dari Akar (Zhou, J, et. al., 2021)</p>
Desainer	Jiwei Zhou, Bahareh Barati, Jun Wu, Diana Scherer, Elvin Karana
Konsep	bangku rendah yang ditumbuhkan menggunakan akar tanaman
Komposisi	tanaman gandum, 600 manik-manik bioplastic PLA berongga yang dicetak menggunakan <i>3D print</i>

5	<p>Building Blocks (2013)</p>  <p>Gambar 32 – <i>Building Blocks</i> (inhabitat.com, 2013)</p>
Desainer	Andrew Mowbray
Konsep	blok bangunan alami dan modular yang dapat ditumpuk dan dikunci
Komposisi	labu <i>Langenaria</i>
6	<p>Full Grown Project (2006-sekarang)</p>  <p>Gambar 33 – <i>The Gatti Chair</i> (fullgrown.co.uk, 2018)</p>
Desainer	Gavin Munro
Konsep	furnitur yang ditumbuhkan dari tanaman
Komposisi	Osier Willow (<i>Salix viminalis</i>)