

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.

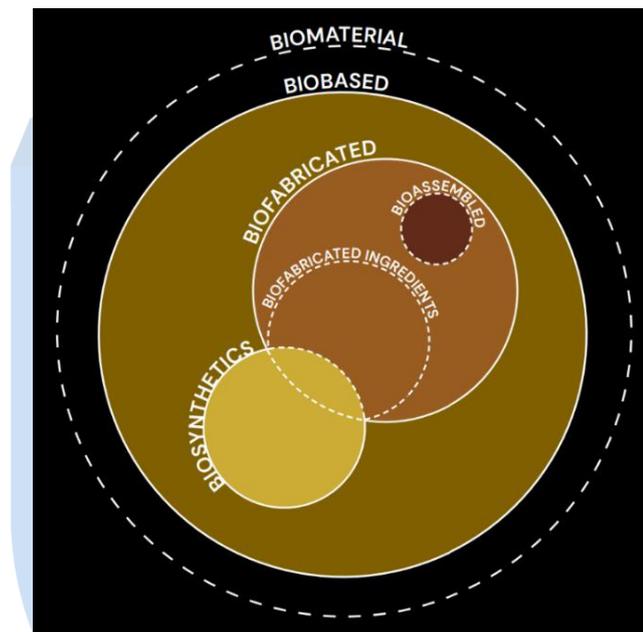
Dari ketiga kategori tersebut, penelitian ini akan berfokus kepada kategori kedua dan tiga, yakni mendesain untuk biologi dan merancang dengan produk biologi.

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 kandungannya 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).

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 | | | | | | |

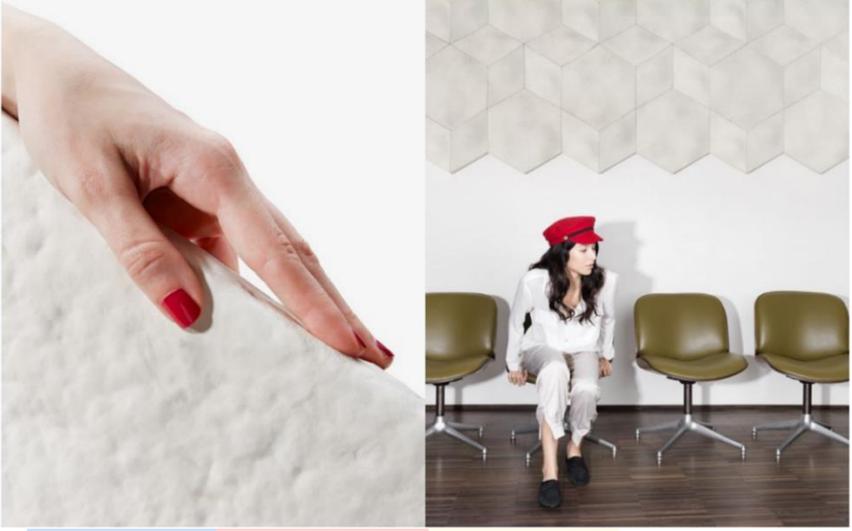
| | |
|-----------|--|
| 3 | <p>Algae Printer (2021)</p>  <p style="text-align: center;">Gambar 18 – <i>Algae Printer</i> (dezeen.com, 2021)</p> |
| Desainer | Luis Undritz |
| Konsep | printer yang menghasilkan gambar dengan memproyeksikan cahaya pada alga |
| Komposisi | air, nutrisi, fitoplankton |
| 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="443 887 1409 1093"> <tr> <td data-bbox="443 887 635 936">Desainer</td> <td data-bbox="635 887 1409 936">Scarlett Yang</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 936 635 1039">Konsep</td> <td data-bbox="635 936 1409 1039">gaun kaca berbasis alga yang tumbuh seiring waktu dan dapat terurai di air dalam 24 jam</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1039 635 1093">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1039 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 1760">Desainer</td> <td data-bbox="635 1706 1409 1760">Aleksandra Gosiewski</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1760 635 1809">Konsep</td> <td data-bbox="635 1760 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="451 383 762 416"><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 1070">Desainer</td> <td data-bbox="635 1021 1398 1070">Amen, Grown</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1070 635 1122">Konsep</td> <td data-bbox="635 1070 1398 1122">kemasan lilin karbon-negatif dari miselium</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1122 635 1173">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1122 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 1180 778 1214"><i>Mycelium + Timber</i> (2017)</p>  <p data-bbox="759 1744 1086 1800">Gambar 23 – <i>Mycelium + Timber</i> (dezeen.com, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="443 1812 1398 1962"> <tr> <td data-bbox="443 1812 635 1863">Desainer</td> <td data-bbox="635 1812 1398 1863">Sebastian Cox, Ninela Ivanovna</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1863 635 1915">Konsep</td> <td data-bbox="635 1863 1398 1915">furnitur menyerupai <i>suede</i> terbuat dari miselium jamur</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1915 635 1962">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1915 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 | | | | | | |

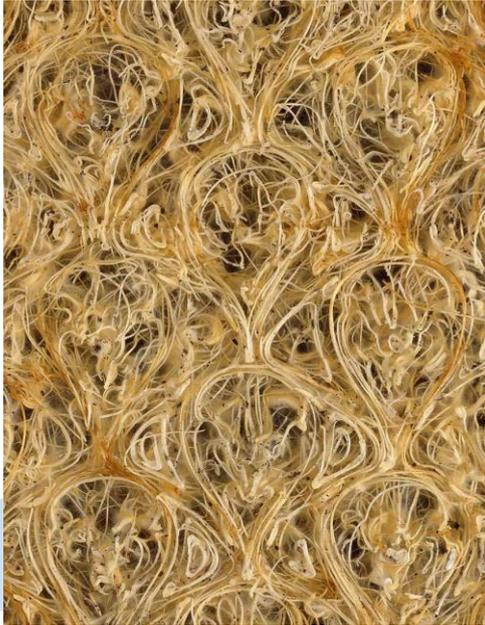
| | | | | | | | |
|-----------|---|----------|-------|--------|---|-----------|--|
| 3 | <p>Mogu (2019)</p>  <p>Gambar 24 – <i>Mogu Acqoustique</i> (mogu.bio, 2019)</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="443 936 635 987">Desainer</td> <td data-bbox="635 936 1409 987">Mogu</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 987 635 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 1090">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1039 1409 1090">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"> <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 1407 1079"> <tr> <td data-bbox="443 922 635 974">Desainer</td> <td data-bbox="635 922 1407 974">Bro.do, Mycotech</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 974 635 1025">Konsep</td> <td data-bbox="635 974 1407 1025">sepatu dari ‘kulit’ miselium</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1025 635 1079">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1025 1407 1079"><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 1407 1966"> <tr> <td data-bbox="443 1765 635 1816">Desainer</td> <td data-bbox="635 1765 1407 1816">Stella McCartney, Bolt Threads</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1816 635 1868">Konsep</td> <td data-bbox="635 1816 1407 1868">atasan <i>bustier</i> dan celana <i>utilitarian</i> dari kulit vegan Mylo</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 1868 635 1966">Komposisi</td> <td data-bbox="635 1868 1407 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="448 383 730 416"><i>Nurture Studies</i> (2012)</p>  <p data-bbox="759 958 1043 1010">Gambar 28 – <i>Nurture Studies</i> (dianascherer.nl, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="440 1021 1362 1171"> <tr> <td data-bbox="440 1021 627 1070">Desainer</td> <td data-bbox="627 1021 1362 1070">Diana Scherer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1070 627 1126">Konsep</td> <td data-bbox="627 1070 1362 1126">akar tanaman yang mengikuti bentuk pot</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1126 627 1171">Komposisi</td> <td data-bbox="627 1126 1362 1171">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 1184 671 1218"><i>Rootbound</i> (2018)</p>  <p data-bbox="783 1724 1019 1776">Gambar 29 – <i>Rootbound</i> (dianascherer.nl, 2012)</p> <table border="1" data-bbox="440 1787 1362 1986"> <tr> <td data-bbox="440 1787 627 1836">Desainer</td> <td data-bbox="627 1787 1362 1836">Diana Scherer</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1836 627 1942">Konsep</td> <td data-bbox="627 1836 1362 1942">tekstil 3D yang dihasilkan dengan memanipulasi pertumbuhan akar tanaman</td> </tr> <tr> <td data-bbox="440 1942 627 1986">Komposisi</td> <td data-bbox="627 1942 1362 1986">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> | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 801 632 853">Desainer</td> <td data-bbox="632 801 1404 853">Andrew Mowbray</td> </tr> </table> | Desainer | Andrew Mowbray |
| Desainer | Andrew Mowbray | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 853 632 956">Konsep</td> <td data-bbox="632 853 1404 956">blok bangunan alami dan modular yang dapat ditumpuk dan dikunci</td> </tr> </table> | Konsep | blok bangunan alami dan modular yang dapat ditumpuk dan dikunci |
| Konsep | blok bangunan alami dan modular yang dapat ditumpuk dan dikunci | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 956 632 1008">Komposisi</td> <td data-bbox="632 956 1404 1008">labu <i>Langenaria</i></td> </tr> </table> | Komposisi | labu <i>Langenaria</i> |
| 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> | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 1796 632 1848">Desainer</td> <td data-bbox="632 1796 1404 1848">Gavin Munro</td> </tr> </table> | Desainer | Gavin Munro |
| Desainer | Gavin Munro | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 1848 632 1899">Konsep</td> <td data-bbox="632 1848 1404 1899">furnitur yang ditumbuhkan dari tanaman</td> </tr> </table> | Konsep | furnitur yang ditumbuhkan dari tanaman |
| Konsep | furnitur yang ditumbuhkan dari tanaman | | |
| | <table border="1"> <tr> <td data-bbox="440 1899 632 1948">Komposisi</td> <td data-bbox="632 1899 1404 1948">Osier Willow (<i>Salix viminalis</i>)</td> </tr> </table> | Komposisi | Osier Willow (<i>Salix viminalis</i>) |
| Komposisi | Osier Willow (<i>Salix viminalis</i>) | | |