

Perkembangan Teknologi Organ Tiruan Cetakan 3D (*Bioprinting*) dalam Perspektif Bioetika dan Hukum Islam

Raysha Tryfhatya Nurhaidha¹, Shifa Nurani², Zahra Nurazizah Al-Islami³, Tri Cahyanto⁴

¹²³⁴Jurusan Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati, Bandung

Jalan A.H Nasution No. 105, Cipadung, Cibiru, Kota Bandung, Jawa Barat 40614

e-mail: ¹rayshatryfhatya@gmail.com ²shifanurani90@gmail.com ³raazahrana12@gmail.com

⁴tricahyanto@uinsgd.ac.id

Abstract. *Bioprinting 3D merupakan suatu teknologi transformatif dalam konstruksi rekayasa jaringan dan prototipe organ untuk meniru karakteristik jaringan alami yang digunakan dalam pengobatan regeneratif. Secara bioetika, organ tiruan 3D melibatkan analisis dan evaluasi tentang implikasi moral, sosial, dan hukum dari penggunaan teknologi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah systematic literature review dengan menyajikan gambaran yang komprehensif tentang pengembangan dan pemanfaatan teknologi organ tiruan 3D (bioprinting) dalam perspektif bioetika dan hukum islam. Hasil menunjukkan bahwa bioprinting 3D memiliki pengaplikasian yang sangat beragam, diantaranya dalam bidang medis contohnya model untuk studi penyakit dan uji obat, pengobatan regeneratif, pembentukan organoid dan jaringan khusus, dan masih banyak lagi. Aspek bioetika mengenai bioprinting 3D masih menimbulkan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Masalah bioetika seperti sumber atau asal bahan yang digunakan dalam bioprinting masih menjadi permasalahan. Penggunaan sel punca embrionik masih kontroversial, karena melibatkan penghancuran embrio manusia, sehingga menimbulkan pertanyaan moral dan etika mengenai nilai dan kesucian hidup manusia. Dalam perspektif Islam, berdasarkan analisis dari Al-Quran, hadits, dan beberapa fatwa, produksi organ tubuh melalui metode cetak 3D disarankan untuk dikategorikan sebagai perubahan ciptaan Tuhan yang dibolehkan karena tujuannya untuk mengobati dan menyelamatkan nyawa atau khusus untuk penggunaan proses transplantasi organ.*

Kata Kunci: Bioetika, *Bioprinting* 3D, Jaringan, Organ, Teknologi

Abstrak. *Bioprinting 3D merupakan suatu teknologi transformatif dalam konstruksi rekayasa jaringan dan prototipe organ untuk meniru karakteristik jaringan alami yang digunakan dalam pengobatan regeneratif. Secara bioetika, organ tiruan 3D melibatkan analisis dan evaluasi tentang esensi moral, sosial, dan hukum dari penggunaan teknologi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah tinjauan literatur sistematis dengan menyajikan gambaran yang komprehensif tentang pengembangan dan pemanfaatan teknologi organ tiruan 3D (bioprinting) dalam perspektif bioetika dan hukum Islam. Hasil menunjukkan bahwa bioprinting 3D memiliki pengaplikasian yang sangat beragam, diantaranya dalam bidang medis contohnya model untuk studi penyakit dan uji obat, pengobatan regeneratif, pembentukan organoid dan jaringan khusus, dan masih banyak lagi. Aspek bioetika mengenai bioprinting 3D masih menimbulkan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Masalah bioetika seperti sumber atau asal bahan yang digunakan dalam bioprinting masih menjadi permasalahan. Penggunaan sel punca embrionik masih kontroversial, karena melibatkan kesatuan embrio manusia, sehingga menimbulkan pertanyaan moral dan etika mengenai nilai dan kesucian hidup manusia. Dalam perspektif Islam, berdasarkan analisis dari Al-Quran, hadits, dan beberapa fatwa, produksi organ tubuh melalui metode cetak 3D disarankan untuk diwariskan sebagai perubahan ciptaan Tuhan yang dibolehkan karena tujuannya untuk mengobati dan menyelamatkan nyawa atau khusus untuk penggunaan proses transplantasi organ.*

Kata Kunci: Bioetika, *Bioprinting* 3D, Jaringan, Organ, Teknologi

1. PENDAHULUAN

Teknologi telah mengalami perkembangan pesat selama tiga dekade terakhir, terutama di abad ke-21, di mana teknologi kini menjadi bagian yang tak terpisahkan dari kehidupan sehari-hari kita. Sektor kesehatan juga telah mengalami kemajuan signifikan dalam dunia teknologi, meskipun masih ada banyak tantangan dan kesulitan yang dihadapi, terutama karena berkaitan dengan kehidupan dan kematian manusia. Di tengah kemajuan tersebut, teknologi

3D muncul sebagai metode yang luar biasa dan alat yang berguna untuk transplantasi organ. Perkembangan teknologi cetak 3D (*bioprinting*) telah membawa transformasi signifikan dalam bidang kedokteran, khususnya dalam pembuatan organ tiruan.

Dalam beberapa tahun terakhir, dengan perkembangan teknologi pencetakan 3D, aplikasi model organ juga mengalami kemajuan revolusioner. Semakin banyak peneliti interdisipliner, dokter, dan insinyur dari berbagai latar belakang berkolaborasi untuk menciptakan berbagai jenis model organ yang dipersonalisasi untuk setiap pasien. Model organ yang dibuat dengan pencetakan 3D tidak hanya meniru karakteristik, tetapi juga mendekati sifat fisik organ aslinya. (Zhongboyu Jin dkk., 2021).

Di Indonesia, inovasi ini memberikan harapan baru bagi pasien yang membutuhkan transplantasi organ, sekaligus menawarkan solusi untuk mengatasi kekurangan donor. Teknologi ini memungkinkan pembuatan organ yang lebih sesuai dengan anatomi individu, sehingga mengurangi risiko penolakan oleh sistem kekebalan tubuh. Namun, meskipun teknologi ini menjanjikan, aspek bioetika yang terkait masih menimbulkan banyak tantangan yang perlu diperhatikan.

Secara bioetika, organ tiruan 3D melibatkan analisis dan evaluasi tentang implikasi moral, sosial, dan hukum dari penggunaan teknologi ini. Isu-isu yang muncul antara lain mengenai keadilan dalam akses terhadap teknologi, konsekuensi dari pencetakan organ yang memiliki potensi untuk disalahgunakan, serta pertanyaan tentang identitas dan hak organ yang dihasilkan. Selain itu, ada juga kekhawatiran tentang dampak jangka panjang terhadap pasien dan masyarakat. Oleh sebab itu, pentingnya pemahaman terkait pengembangan dan penerapan organ tiruan 3D. Dalam artikel ini, akan dijelaskan pengembangan dan pemanfaatan teknologi organ tiruan 3D (*bioprinting*) di dunia medis dalam perspektif bioetika dan hukum islam.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *systematic literature review*. *Literatur review* adalah langkah awal yang krusial dalam setiap penelitian. Dengan menyajikan gambaran yang komprehensif tentang penelitian sebelumnya, tinjauan ini memungkinkan peneliti untuk membangun landasan yang kuat bagi penelitiannya, menghindari duplikasi penelitian, dan merumuskan hipotesis yang relevan (Denney & Tewksbury, 2013). Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jurnal ilmiah Internasional maupun Nasional, buku, artikel ilmiah dan referensi penunjang lainnya. Secara garis besar, langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mendeskripsikan perkembangan teknologi organ tiruan cetakan 3D kemudian dianalisis secara kritis melalui perspektif Bioetika. Metode analisis yang

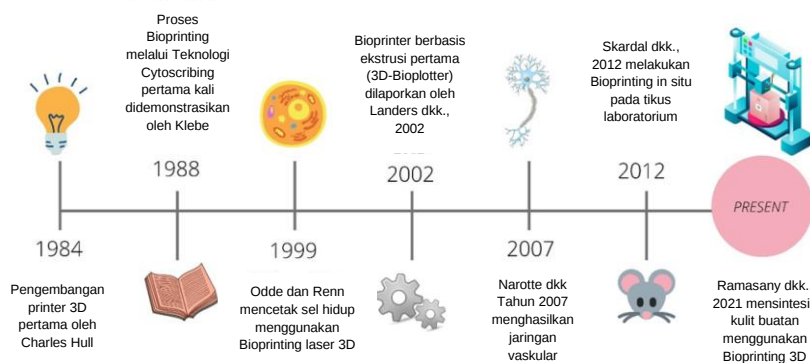
dilakukan adalah data akan diseleksi, dibandingkan, digabungkan, dan dipilah untuk mendapatkan informasi relevan sesuai dengan konteks yang sedang dikaji (Hartanto & Dani, 2020). Hasil dari metode ini adalah terkumpulnya acuan yang relevan dengan rumusan masalah yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam hasil dan pembahasan penelitian (Putri dkk., 2020).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bioprinting 3D

Bioprinting 3D merupakan teknologi transformatif dalam konstruksi rekayasa jaringan dan prototipe organ untuk meniru karakteristik jaringan alami yang digunakan dalam pengobatan regeneratif. Pendekatan *bioprinting* telah digunakan untuk mengatasi masalah dalam transplantasi, pengobatan regeneratif, dan bahkan di bidang reproduksi. Jaringan yang dicetak digunakan dalam penelitian farmakologi eksperimental untuk obat-obatan dan pengujian toksisitas (Arslan-Yildiz dkk., 2016).

Pada tahun 1984, Charles W. Hull sebagai tonggak pertama mengembangkan objek pencetakan tiga dimensi (3D), melalui *stereolitografia* (SLA). Pada tahun 1988, peneliti Robert J. Klebe menggunakan teknologi *cytoscribing* untuk menunjukkan potensi pemosisian produk biologis, menggunakan *printer inkjet Hewlett Packard* (HP) dan *plotter grafis* (Ozbolat dkk., 2017). Pada tahun 1999, David J. Odde dan Michael J. Renn mencetak sel hidup menggunakan *bioprinting* laser 3D. Kemudian, pada tahun 2002, bioprinter berbasis ekstrusi pertama dilaporkan oleh Landers dkk yang dipasarkan dengan nama “3D-Bioplotter”. Pada tahun 2007, Narotte dkk mensintesis jaringan vaskular berdasarkan perancah bebas. Kemudian pada tahun 2012, Skardal dan rekan-rekannya melakukan *bioprinting* in situ pada tikus laboratorium menggunakan sel yang berasal dari cairan ketuban untuk merangsang proses penyembuhan. Hasilnya menunjukkan bahwa *bioprinting* sel-sel ini dapat digunakan untuk mengobati luka (Skardal dkk., 2012). Hingga saat ini beberapa jenis penelitian *bioprinting* telah dikembangkan, seperti penelitian yang dilakukan oleh Ramasamy dkk (2021) mensintesis kulit buatan menggunakan *bioprinting 3D* berbasis ekstrusi. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi peluang untuk menyediakan rekonstruksi kulit manusia dengan ketebalan penuh dengan cara yang dapat direproduksi dan berpotensi berskala besar.



Gambar 1. Perkembangan *Bioprinting* 3D

Beberapa teknologi *bioprinting* 3D telah dikembangkan dan dioptimalkan untuk mencetak jaringan dan organ dengan kompleksitas yang lebih besar, menargetkan aplikasi dalam rekayasa jaringan dan pengobatan regeneratif, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1.

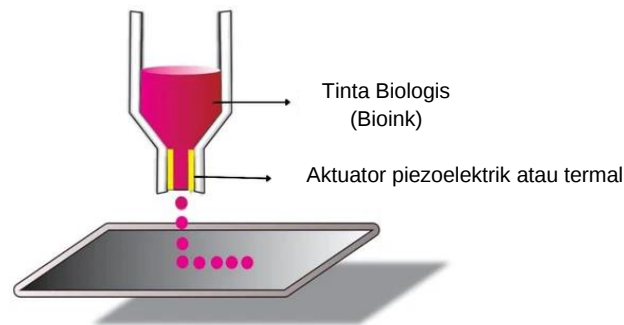
Tabel 1. Perbandingan Teknologi *Bioprinting* 3D

Teknologi <i>Bioprinting</i> 3 D	Kelebihan	Kekurangan	Aplikasi
<i>Bioprinting</i> inkjet	Biaya rendah, resolusi dan kecepatan cetak tinggi, viabilitas seluler tinggi (>85%).	Kepadatan sel rendah (<106 sel mL ⁻¹), biotinta dengan viskositas rendah.	Regenerasi jaringan, tulang, tulang rawan.
<i>Bioprinting</i> berbasis ekstrusi	Mencetak bio-tinta dengan viskositas tinggi, kepadatan sel tinggi, dapat mencetak berbagai format bahan	Resolusi dan kecepatan cetak rendah.	Tulang rawan, kulit, pembuluh darah.
<i>Bioprinting</i> berbantuan laser	Viabilitas sel tinggi (>95%), pencetakan tinta biologis dengan viskositas berbeda, presisi tinggi	Biaya tinggi, kesulitan dalam mencetak bahan dalam skala besar.	Kulit, kornea

1. *Bioprinting Inkjet*

Bioprinting inkjet dapat mencetak dengan kecepatan, akurasi, dan resolusi yang optimal dengan sistem tinta tunggal maupun multi-tinta. *Printer inkjet* juga dikenal sebagai “*printer drop-on-demand*” karena printer ini dapat mengatur ukuran pola yang dicetak dan pengendapan tetesan yang dihasilkan dengan bantuan pengontrol digital pada komputer. Ada empat pendekatan dalam *bioprinting* inkjet yaitu pencetakan inkjet termal, piezoelektrik, akustik, dan

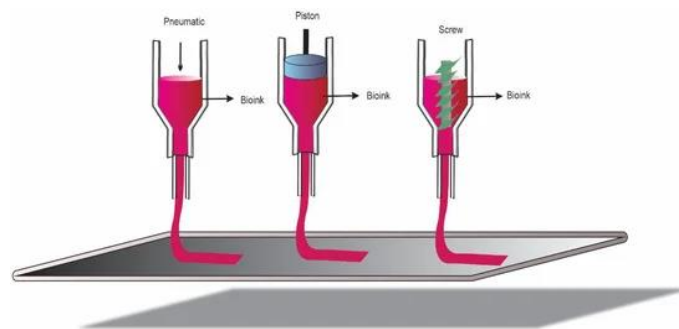
elektrostastik. Pendekatan yang paling umum digunakan adalah inkjet termal dan piezoelektrik (Ihalainen dkk., 2015).



Gambar 2. Bioprinting Inkjet

2. Bioprinting Ekstrusi

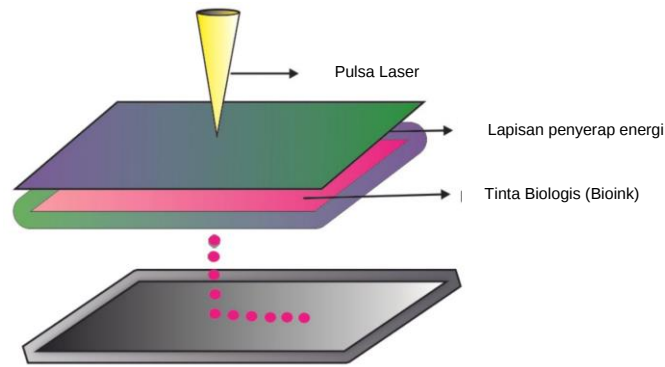
Bioprinting ekstrusi adalah versi terbaru dari *bioprinting* inkjet dan merupakan salah satu teknik *bioprinting* yang paling banyak digunakan saat ini, karena mencetak biotinta dengan viskositas tinggi. *Bioprinting* ekstrusi menggunakan dua metode yaitu pneumatik dan mekanis (piston dan sekrup). Dalam metode pneumatik, tekanan udara memberikan gaya untuk mengeluarkan biotinta dengan kecepatan dan kuantitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Metode mekanis menentukan proses pencetakan melalui gaya vertikal dan rotasi (Semba dkk., 2020).



Gambar 3. Bioprinting Ekstrusi

3. Bioprinting dengan Bantuan Laser

Teknik *bioprinting* dengan bantuan laser memungkinkan pengendapan material beresolusi tinggi dalam fase cair atau padat. Metode fotopolimerisasi dapat memodulasi *bioprinting* biomaterial berbantuan laser untuk mencetak berbagai macam sel tanpa mempengaruhi viabilitas sel. Sistem ini terdiri dari empat komponen, yaitu substrat penerima, *metallic ribbon film* yang menyerap energi laser, *laser pulse*, dan instrumen pemfokusan laser (Koch dkk., 2013).



Gambar 4. *Bioprinting* dengan Bantuan Laser

Mekanisme *Bioprinting* 3D

Dalam pengembangan organ atau jaringan tiruan mekanisme *bioprinting* 3D dapat diartikan sebagai suatu proses yang sudah canggih dalam menggabungkan sebuah teknologi percetakan tiga dimensi dengan prinsip-prinsip biologi seluler dan rekayasa jaringannya. Proses ini memiliki tujuan untuk menghasilkan suatu struktur jaringan yang lebih kompleks dan fungsional dengan presisi yang lebih tinggi, dengan memungkinkan adanya membuat suatu jaringan yang mirip dengan menyerupai struktur dan fungsi alami pada tubuh. Dalam proses *bioprinting* 3D untuk pengembangan organ atau jaringan tiruan, terdapat empat tahapan utama yang saling berkaitan untuk mencapai hasil yang optimal.

1. Akuisisi Data

Tahap pertama ini melibatkan pembuatan model 3D dari organ atau jaringan yang akan dicetak, yang merupakan dasar dari seluruh proses. Model dapat diperoleh melalui teknik pemindaian medis seperti CT atau MRI, yang menghasilkan gambar beresolusi tinggi untuk memetakan detail anatomi. Alternatifnya, model dapat dirancang langsung menggunakan perangkat lunak desain berbantuan komputer (CAD). Model yang dihasilkan akan diiris menjadi lapisan-lapisan dua dimensi (2D) yang akan digunakan sebagai panduan dalam pencetakan lapis demi lapis (Shao dkk., 2018).

2. Pemilihan Material (Biotinta)

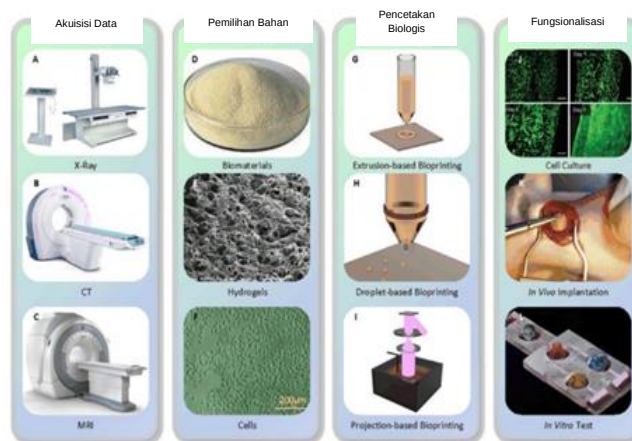
Langkah ini mencakup pemilihan bahan yang sesuai untuk mencetak struktur. Biotinta harus memenuhi kriteria biokompatibilitas dan kekuatan mekanis yang cukup untuk membentuk struktur jaringan yang stabil. Biasanya, biotinta ini terdiri dari kombinasi sel-sel hidup dan bahan pendukung seperti hidrogel, yang tidak hanya membantu dalam proses pencetakan tetapi juga mendukung kelangsungan hidup dan fungsi sel-sel yang dicetak (Nie dkk., 2018).

3. Proses Biocetak

Di tahap ini, biotinta yang telah dipilih akan dicetak melalui nosel printer 3D. Parameter seperti suhu, tekanan, kecepatan ekstrusi, dan diameter nosel disesuaikan untuk menghasilkan struktur tiga dimensi yang akurat dan berfungsi. Biotinta diekstrusi dalam bentuk lapisan demi lapisan sesuai dengan model 2D yang telah disiapkan, sehingga menghasilkan bentuk yang sesuai dengan desain awal.

4. Fungsionalisasi

Tahap terakhir adalah fungsionalisasi, di mana struktur yang sudah dicetak dibiarkan agar sel-sel di dalamnya dapat berintegrasi dan membentuk jaringan yang fungsional. Proses ini melibatkan stimulasi fisik dan kimia, seperti pemberian nutrisi, oksigen, serta suhu dan kelembapan yang sesuai, agar jaringan dapat berkembang dan berfungsi sebagaimana jaringan asli dalam tubuh. Melalui tahap ini, jaringan atau organ tiruan siap untuk diuji atau digunakan dalam aplikasi lebih lanjut, seperti transplantasi atau penelitian medis.



Gambar 5. Mekanisme *Bioprinting*

Aplikasi *Bioprinting* 3D

Perkembangan teknologi *bioprinting* 3D telah mengalami kemajuan pesat, membuka berbagai peluang inovatif di bidang medis dan penelitian. Teknologi ini memungkinkan para ilmuwan dan tenaga medis untuk mencetak jaringan serta organ tiruan yang memiliki fungsi dan struktur mirip dengan jaringan asli tubuh manusia.

1. Model untuk Studi Penyakit dan Uji Obat

Bioprinting 3D dapat menciptakan model jaringan yang lebih kompleks dan realistis, yang mencerminkan kondisi fisiologis tubuh manusia. Ini memungkinkan peneliti untuk melakukan pengujian obat yang lebih efektif, karena mereka dapat mengevaluasi bagaimana obat bereaksi dalam jaringan yang menyerupai kondisi nyata. Model ini juga dapat digunakan

untuk memahami patologi penyakit dengan lebih baik. Pada tahun 2018, Hakimi dan tim dari kelompok penelitian yang sama mengembangkan lebih lanjut perangkat ini menjadi printer kulit portabel yang dapat digunakan untuk mempercepat perbaikan luka dalam. Mirip dengan dispenser pita, bioprinter ini mengaplikasikan lapisan yang mengandung sel-sel kulit langsung pada luka kulit yang parah.

2. Pengobatan Regeneratif

Dengan kemampuan untuk mencetak jaringan dan organ buatan, *bioprinting* 3D berpotensi merevolusi pengobatan regeneratif. Organ buatan yang dihasilkan dapat digunakan untuk menggantikan jaringan yang rusak akibat trauma, penyakit, atau kelainan genetik. Misalnya, kulit buatan untuk luka bakar, tulang rawan untuk masalah sendi, dan bahkan jantung untuk transplantasi.

Pada tahun 2016, Ma dan tim menggunakan teknik yang sama seperti penelitian sebelumnya untuk membangun model hati biomimetik 3D dengan kultur bersama yang terdiri dari tiga jenis sel: sel punca pluripoten yang diinduksi manusia (hiPSC), HUVEC, dan sel punca dari jaringan lemak (ADSC). Hidrogel GelMA digunakan sebagai matriks dasar. Para peneliti mengatur berbagai jenis sel dalam pola yang saling melengkapi, meniru struktur lobulus hati melalui proses fotopolimerisasi matriks hidrogel. Mereka mendesain dua pola yang menyerupai susunan anatomi hepatosit dan sel pendukung, serta menyesuaikan ukuran agar mendekati dimensi lobulus hati manusia. Strategi fotokuring dua tahap yang diterapkan menyediakan metode yang efektif dan fleksibel untuk membangun model hati dalam tabung reaksi, yang dapat meningkatkan struktur dan fungsi sel progenitor hati turunan hiPSC (hiPSC-HPC) (Ma, dkk 2016).

3. Pembentukan Organoid dan Jaringan Khusus

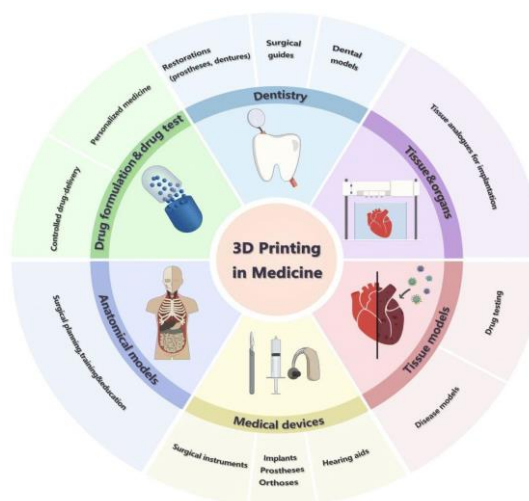
Bioprinting memungkinkan pembuatan organoid, yaitu struktur miniatur yang memiliki karakteristik mirip dengan organ asli. Organoid ini digunakan dalam penelitian untuk mempelajari perkembangan penyakit, respons terapi, dan interaksi sel. Mereka juga bisa digunakan dalam pengembangan terapi yang lebih dipersonalisasi, di mana perawatan dapat disesuaikan berdasarkan karakteristik genetik individu.

Pada tahun 2011, Gaebel dan rekan-rekan menggunakan teknik LIFT untuk membuat patch jantung yang ditanami HUVEC dan sel induk mesenkim manusia (hMSC) dalam pola tertentu guna mendukung regenerasi jantung. Melalui uji coba pada tikus, patch jantung ini terbukti dapat meningkatkan angiogenesis di area perbatasan infark dan membantu mempertahankan fungsi jantung setelah infark miokard akut. Studi ini menawarkan metode

baru berbasis teknologi LIFT untuk pemasangan patch jantung dalam pengobatan infark miokard (Gaebell, dkk 2011).

4. Pengembangan *bioprinting* 3D di bidang alat kesehatan dan prostetik mendukung produksi perangkat yang dirancang khusus untuk setiap pasien. Teknologi ini memungkinkan pembuatan prostetik yang lebih nyaman dan sesuai dengan kebutuhan individu, meningkatkan fungsi dan kualitas hidup pengguna. Dengan prostetik yang disesuaikan secara personal, pasien dapat merasakan peningkatan yang signifikan dalam mobilitas dan kenyamanan dibandingkan prostetik standar.
5. Pada bidang terapis pembuluh darah dan jaringan, *bioprinting* 3D memungkinkan pencetakan jaringan vaskular, yang sangat penting untuk memastikan aliran darah pada jaringan buatan. Jaringan vaskular yang dicetak memungkinkan pasokan oksigen dan nutrisi yang optimal, memperpanjang daya tahan jaringan yang dicangkokkan dan mendukung penyembuhan. Ini merupakan aspek vital untuk keberhasilan jaringan atau organ buatan, karena tanpa suplai darah yang memadai, jaringan buatan mungkin tidak dapat bertahan lama atau berfungsi dengan baik.

Pada tahun 2010, Wu dan Ringeisen menerapkan teknologi BioLP dengan menggunakan sel HUVEC dan HUVMC untuk menciptakan struktur bercabang atau berbentuk batang. Penelitian ini menelaah pengaruh struktur kultur bersama terhadap pertumbuhan dan fungsi sel, serta menunjukkan potensi teknologi ini dalam mengarahkan pembentukan dan perkembangan lumen serta jaringan terkait melalui BioLp (Wu, 2010). Pada tahun berikutnya, yaitu 2011, Pirlo dan rekan dari tim penelitian yang sama memperkuat stabilitas struktur bercabang ini dengan menambahkan lapisan HUVMC di atas lapisan HUVEC, menciptakan struktur berlapis (Pirlo, 2012).



Gambar 6. Aplikasi *Bioprinting* bidang kesehatan

Teknologi pencetakan 3D kini telah diterapkan di berbagai bidang medis, termasuk kedokteran gigi, pembuatan model anatomi, perangkat medis, regenerasi jaringan, model fisik atau patologis, serta sediaan farmasi. Gambar 6 menunjukkan beberapa contoh aplikasinya di dunia medis. Hingga saat ini, industri gigi dan alat bantu dengar memiliki tingkat penerapan pencetakan 3D tertinggi. Hal ini didorong oleh kebutuhan produk akhir berukuran kecil yang dapat disesuaikan untuk setiap pasien, seperti produk kedokteran gigi, prostetik, panduan bedah, dan cangkang alat bantu dengar, menjadikan teknologi ini sangat kompatibel dengan industri tersebut. Aplikasi pencetakan 3D di bidang medis mencakup perangkat medis seperti ortotik/prostesis (O&P) yang meliputi implan dan O&P eksternal, instrumen bedah, serta model anatomi. Perangkat bedah yang disesuaikan dengan kondisi pasien memungkinkan presisi yang lebih tinggi dan meningkatkan efisiensi.

Model anatomi ini bermanfaat dalam pengembangan protokol pra-operasi dan edukasi pasien sebelum operasi. Selain itu, pencetakan 3D juga mulai diterapkan di bidang farmasi, dengan fokus yang semakin besar pada formulasi obat yang dipersonalisasi. Dalam *bioprinting*, jaringan dan organ yang dicetak 3D menjadi semakin penting dalam rekayasa dan regenerasi jaringan, dengan minat yang meningkat baik di dunia akademis maupun industri. *Bioprinting* 3D jaringan praklinis, jaringan berbasis pasien, atau model patologis untuk penyaringan obat berkapasitas tinggi juga berkembang pesat, memungkinkan produksi obat yang lebih dipersonalisasi serta mengurangi kebutuhan uji coba pada hewan (Wu dkk., 2016).

Dampak Potensial *Bioprinting* 3D bagi Kesehatan Manusia

Bioprinting mengalami pertumbuhan yang pesat dan telah memberikan dampak revolusioner pada bidang ilmu kedokteran dan farmasi, yang menarik perhatian yang signifikan dalam skala global (Yu dkk., 2020). Teknologi ini menawarkan presisi luar biasa dalam penataan spasial sel, protein, DNA, partikel obat, faktor pertumbuhan, dan partikel aktif secara biologis, sehingga memfasilitasi pembentukan dan pembentukan jaringan yang unggul (Crook dkk., 2020).

Dalam beberapa tahun terakhir, *bioprinting* telah mengalami kemajuan yang signifikan dan siap untuk merevolusi bidang kedokteran. Penelitian eksperimental menunjukkan bahwa *bioprinting* berpotensi untuk membuat berbagai struktur biologis, termasuk kulit, pembuluh darah, tulang rawan, dan bahkan seluruh organ, seperti jantung dan hati (Panda dkk., 2022). Model bioprinted juga digunakan untuk menguji kemanjuran dan toksisitas obat dalam pengobatan tumor dan aplikasi lainnya (Beg dkk., 2020). Selain itu, para peneliti secara aktif menciptakan jaringan dan organ regeneratif (Veeman dkk., 2021; Bozkurt dkk., 2021).

Bidang penerapan *bioprinting* berhubungan langsung dengan kualitas hidup yang berkaitan dengan kesehatan. Meningkatnya permintaan di bidang medis, seperti perubahan negatif dalam faktor demografi, kebutuhan akan donor organ, peralihan ke pengujian non-hewan menggunakan platform kultur sel 3D, perawatan luka, dan prosedur perbaikan sendi, tidak dapat dihindari dalam mendorong kemajuan dalam *bioprinting*. Beberapa aplikasi klinis meliputi simulasi jaringan untuk pengembangan dan penemuan obat, pengujian toksisitas obat, rekayasa jaringan untuk pengobatan regeneratif dan perangkat medis prostetik, dan transplantasi organ. Meskipun penerapan *bioprinting* dapat mengganggu sistem donasi organ dan jaringan saat ini, aplikasi ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut di masa mendatang dibandingkan dengan penggunaan pencetakan 3D lainnya. Pencetakan 3D saat ini sedang digunakan atau dieksplorasi dalam konteks terapi yang berbeda, dan sebagai hasilnya, pencetakan tiga dimensi berpotensi memiliki dampak yang signifikan berdampak pada berbagai masalah kesehatan. Hal ini tidak diragukan lagi berpotensi meningkatkan kualitas hidup individu (Panja dkk., 2022).

Berikut adalah dampak potensial *bioprinting* 3D bagi kesehatan manusia menurut Yaneva dkk (2023) :

1. Produksi Bagian yang Dipersonalisasi dan Mengurangi Risiko Penolakan setelah Transplantasi

Kemajuan teknologi sel punca, khususnya teknologi sel punca pluripoten terinduksi (iPSC), yang dipadukan dengan sistem *bioprinting* canggih, diharapkan dapat merevolusi pengobatan regeneratif dan pemodelan penyakit. *Bioprinting* memainkan peran penting dalam menghasilkan susunan sel yang kompleks dan berlapis-lapis untuk rekonstruksi jaringan dan memajukan bidang pemodelan penyakit (Fonseca dkk., 2020). Di masa depan, jaringan dan organ yang dipersonalisasi dapat dibuat (dicetak) untuk pasien guna meminimalkan risiko penolakan. Pendekatan ini akan sangat meningkatkan pemulihan organ dan regenerasi jaringan secara keseluruhan (Agarwal dkk., 2020).

2. Meningkatkan Peluang Hidup Pasien

Dengan memanfaatkan 3D dan *bioprinting*, kemungkinan keberhasilan implantasi jaringan dewasa meningkat, sehingga integrasi jaringan yang diimplan dengan jaringan miokardium asli pasien menjadi lebih baik. Hal ini dapat membantu memulihkan fungsi jantung setelah cedera jantung. Kemajuan ini menawarkan alternatif yang efisien dan aman untuk metode dan bahan tradisional, meningkatkan peluang pasien untuk bertahan hidup dan meningkatkan hasil pengobatan secara keseluruhan (Ahmed dkk., 2022).

3. Mengurangi Waktu Tunggu Pasien

Bioprinting memiliki potensi untuk mengurangi waktu tunggu pasien untuk transplantasi organ. Hal ini dapat menyelamatkan lebih banyak nyawa dan mempersingkat waktu tunggu untuk mendapatkan organ (Gonzales dkk., 2020). Pasien dalam daftar tunggu transplantasi organ berpotensi menerima organ yang disesuaikan sebelum mencapai tahap akhir kegagalan organ, sehingga meningkatkan peluang mereka untuk bertahan hidup dan kualitas hidup. Selain organ, *bioprinting* juga dapat digunakan untuk mencetak tulang, kulit, dan jaringan, sehingga dampaknya semakin meluas (Jeong dkk., 2020).

4. Pembuatan Model Jaringan Homoseluler dan Proses Pembuatan yang Tepat dengan Spesifikasi Akurat

Ortoregenerasi, bidang yang memanfaatkan *bioprinting* 3D, bertujuan untuk memulihkan fungsi yang hilang akibat penyakit atau kerusakan. Kemajuan dalam *bioprinting* telah memungkinkan pencetakan jaringan seperti tulang, tulang rawan, dan pembuluh darah, yang membuka jalan bagi aplikasi klinis. Sendi artikular, yang bertanggung jawab atas gerakan dan mobilitas yang tepat, sering mengalami cacat yang mempengaruhi individu dari berbagai demografi dan menimbulkan beban sosial ekonomi yang signifikan. Prosedur artroplasti, yang melibatkan penggantian sendi, sedang meningkat, dan jumlah prosedur diperkirakan akan meningkat tiga kali lipat pada tahun 2040 (Rosemann dkk., 2007).

5. Meningkatkan Kecepatan Konstruksi Kulit dan Menyelamatkan Nyawa Pasien

Bioprinting 3D memungkinkan pembuatan kulit yang cepat dengan tingkat penolakan yang lebih rendah, memfasilitasi proses penelitian dan pengembangan yang lebih mudah, dan memungkinkan penelitian berkualitas tinggi yang bertujuan untuk menyelamatkan nyawa (Rosca dkk., 2020). Dengan menyediakan struktur seperti kulit untuk transplantasi, *bioprinting* 3D mengurangi kebutuhan akan donor. Teknologi ini menyimpan sel-sel kulit secara merata lapis demi lapis, mengatasi tantangan yang ditimbulkan oleh ketebalan dan bentuk luka yang kompleks (Varkey dkk., 2019).

6. Menghilangkan/Mengurangi Kebutuhan Donor Organ

Permintaan klinis untuk terapi penggantian organ dan jaringan terus meningkat (Mills dkk., 2020). Akan tetapi, kekurangan donor organ menimbulkan tantangan serius. Oleh karena itu, sangat penting untuk mengeksplorasi metode inovatif untuk membuat organ buatan, yang dapat berfungsi sebagai alternatif potensial. Metode ini memungkinkan kita untuk mengeksplorasi dan mengembangkan solusi implan yang optimal. *Bioprinting* 3D berpotensi untuk menghasilkan jaringan dan organ buatan yang dapat sepenuhnya menggantikan organ yang rusak (Yakimova dkk., 2020).

7. Memperluas Kemungkinan Perawatan/Transplantasi

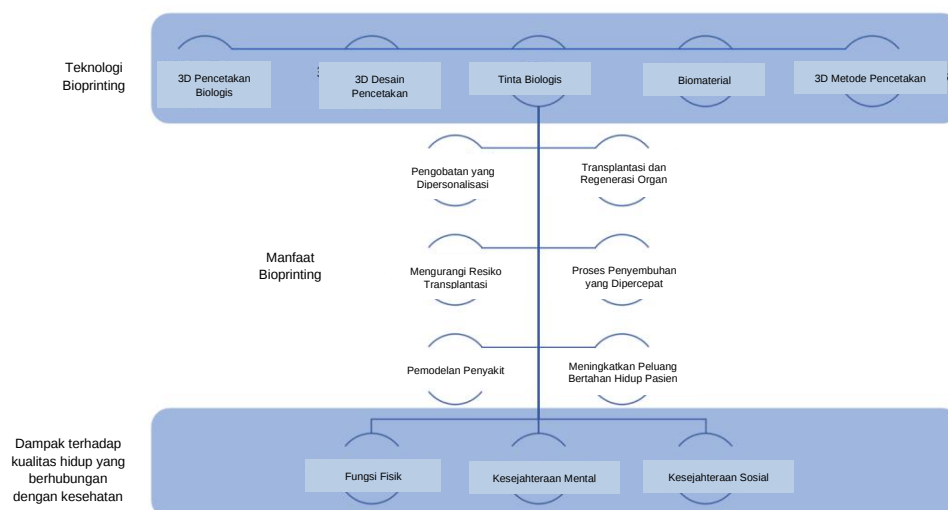
Dalam konteks regenerasi folikel rambut, *bioprinting* in situ telah menunjukkan hasil yang sukses, dengan regenerasi folikel rambut dan pelengkap kulit lainnya yang diamati setelah 4 minggu. Yang penting, viabilitas dan stemness sel induk hanya sedikit terpengaruh oleh proses *bioprinting*. Temuan ini menyoroti potensi pendekatan rekayasa mekanik yang memanfaatkan *bioprinting* in situ untuk regenerasi folikel rambut, menghadirkan prospek yang menjanjikan untuk aplikasi klinis (Chen dkk., 2022).

8. Menciptakan Implan yang Lebih Fungsional

Dalam bidang kedokteran gigi, pencetakan 3D digunakan secara luas untuk berbagai prosedur, termasuk operasi implan, operasi mulut dan maksilofasial, operasi ortognatik, endodontik, dan prostodontik. Pemulihan penampilan estetika, khususnya dalam kasus gigi anterior, memiliki potensi signifikan untuk meremajakan kecantikan wajah, meningkatkan kemampuan berbicara dan mengunyah, serta meningkatkan kesejahteraan secara keseluruhan (Yaneva dkk., 2023).

9. Bermanfaat untuk Pengobatan Kanker

Kanker tetap menjadi penyebab utama kematian di seluruh dunia, yang menyebabkan banyak kematian manusia dan trauma terkait pengobatan. *Bioprinting* 3D telah menunjukkan potensinya dalam mencetak jaringan, organ, dan sel, dan sekarang, bidang ini juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pengobatan kanker (Bhuskute dkk., 2021). Teknologi ini memungkinkan operasi yang lebih aman dan lebih tepat dengan memungkinkan ahli bedah untuk membuat model 3D dari bagian kanker dan menganalisisnya sebelum prosedur sebenarnya (McKean dkk., 2020).



Gambar 7. Hubungan antara teknologi *bioprinting*, manfaat *bioprinting*, dan efek kualitas hidup terkait kesehatan (Yaneva dkk., 2023).

Gambar 7 merangkum beberapa manfaat potensial dari kemajuan teknologi *bioprinting* dan dampaknya terhadap kualitas hidup terkait kesehatan. *Bioprinting* 3D menyediakan akses yang lebih besar dan lebih banyak pilihan pengobatan, serta menawarkan solusi medis yang disesuaikan dengan masing-masing pasien, merupakan hal yang sangat penting bagi pengembangan layanan kesehatan (Singh dkk., 2019). *Bioprinting* 3D menawarkan peluang untuk mengelola penyakit melalui perawatan yang dipersonalisasi dan menghasilkan terapi dalam skala industri. *Bioprinting* kemungkinan akan meningkatkan perawatan kesehatan yang dipersonalisasi melalui penggabungan diagnosa dengan intervensi yang efisien, menerjemahkan gambar khusus pasien menjadi implan dan prostetik yang disesuaikan, memajukan terapi berbasis sel dan gen, dan pengobatan regeneratif (Jovic dkk., 2020). Model jaringan tiga dimensi atau organoid tumor yang berasal dari individu dapat secara drastis mengurangi biaya dan waktu penemuan obat, yang mengarah pada minimalisasi kesalahan selama intervensi atau efek samping (misalnya, dari terapi obat ketika pasien memiliki penyakit penyerta) (Yaneva dkk., 2023).

Isu dan Pertimbangan Etik *Bioprinting* 3D

Meskipun teknologi *bioprinting* memiliki manfaat dan berpotensi di bidang kesehatan, namun aspek bioetika mengenai *bioprinting* ini masih menimbulkan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Masalah bioetika seperti sumber atau asal bahan yang digunakan dalam *bioprinting* masih menjadi permasalahan. Penggunaan sel punca embrionik masih kontroversial, karena melibatkan penghancuran embrio manusia, sehingga menimbulkan pertanyaan moral dan etika mengenai nilai dan kesucian hidup manusia (Vijayavenkataraman dkk, 2016). Selain itu, *bioprinting* 3D masih merupakan paradigma klinis yang belum teruji dan didasarkan pada penggunaan sel hidup yang ditempatkan ke dalam tubuh manusia yang mana menimbulkan resiko seperti kanker, teratoma, dan migrasi implant yang tidak dapat disembuhkan (Vermeulen dkk, 2017).

Kemudian masalah etika lainnya, yaitu mengenai identitas manusia. Kemampuan untuk menciptakan organ dan jaringan manusia melalui *bioprinting* 3D menimbulkan pertanyaan tentang hakikat identitas manusia dan batasan antara manusia dan mesin. Seiring dengan semakin canggihnya organ hasil *bioprinting* dan semakin menyerupai organ alami, mungkin akan semakin sulit untuk membedakan antara apa yang dianggap “alami” dan “buatan”. Pengaburan batasan ini dapat menantang pemahaman kita tentang apa artinya menjadi manusia dan menimbulkan kekhawatiran etika tentang potensi konsekuensi dari kemajuan ini pada tingkat individu dan masyarakat (Patuzzo dkk, 2018).

Matriks Etika

Matriks etika adalah sebuah alat atau kerangka kerja yang digunakan untuk menganalisis dan mengevaluasi suatu tindakan, keputusan, atau kebijakan dari sudut pandang etika. Matriks ini dapat membantu kita untuk mengidentifikasi berbagai aspek moral yang relevan dengan suatu situasi, dan untuk menimbang konsekuensi dari berbagai pilihan yang mungkin diambil. Pendekatan ini pertama kali muncul dalam konteks etika medis oleh Beauchamp dan Childress dalam bukunya *The Principles of Biomedical Ethics*, meliputi: 1) prinsip autonomi (berhak menentukan sendiri), 2) prinsip *beneficence* (berbuat baik), 3) prinsip *non-maleficence* (tidak merugikan), 4) prinsip *justice* (keadilan) (Beauchamp & Childress (1994)

Tabel 2. Matriks Etika Teknologi *Bioprinting* 3D berdasarkan Pendekatan Beauchamp & Childress (1994)

Dimensi Etika	Pertanyaan Kunci	Isu Utama
Otonomi	Siapa yang berhak mengambil keputusan terkait penggunaan teknologi <i>bioprinting</i> ? Bagaimana dengan hak pasien untuk menolak atau memilih jenis perawatan?	Hak pasien, <i>informed consent</i> , paternalisme medis
<i>Beneficence</i>	Apakah teknologi ini benar-benar memberikan manfaat bagi pasien? Bagaimana dengan risiko jangka panjang?	Kesejahteraan pasien, risiko vs. manfaat, kualitas hidup
<i>Non-maleficence</i>	Apakah teknologi ini menimbulkan bahaya atau risiko yang tidak dapat diterima? Bagaimana dengan risiko penolakan imun, infeksi, atau tumor?	Keamanan, efek samping, risiko jangka panjang
<i>Justice</i>	Apakah akses terhadap teknologi ini adil dan merata? Siapa yang akan mendapatkan manfaat dari teknologi ini?	Keadilan distributif, kesenjangan sosial, ekuitas

Pada Tabel 2 tersebut menyajikan kerangka kerja untuk menganalisis etika dalam penggunaan teknologi *bioprinting*, khususnya dalam konteks medis.

1. Otonomi

Dimensi ini berkaitan dengan kebebasan individu untuk membuat keputusan tentang dirinya sendiri. Dalam konteks teknologi *bioprinting*, pertanyaan kuncinya adalah siapa yang berhak memutuskan penggunaan teknologi ini pada pasien. Ini menyangkut hak pasien untuk

memberikan informed consent (persetujuan setelah mendapat informasi yang cukup) dan juga menyentuh isu paternalisme medis (di mana dokter membuat keputusan atas nama pasien).

2. *Beneficence*

Dimensi ini menekankan pada kewajiban untuk berbuat baik atau memberikan manfaat. Pertanyaannya adalah apakah teknologi *bioprinting* benar-benar memberikan manfaat bagi pasien. Ini melibatkan pertimbangan antara risiko dan manfaat, serta kualitas hidup pasien setelah menjalani prosedur.

3. *Non-maleficence*

Dimensi ini menekankan pada kewajiban untuk tidak membahayakan. Pertanyaannya adalah apakah teknologi ini menimbulkan bahaya atau risiko yang tidak dapat diterima. Ini mencakup risiko jangka pendek maupun jangka panjang, seperti penolakan imun, infeksi, atau tumor.

4. *Justice*

Dimensi ini berkaitan dengan keadilan dalam distribusi manfaat dan beban. Pertanyaannya adalah apakah akses terhadap teknologi *bioprinting* adil dan merata. Ini menyangkut isu keadilan sosial, kesenjangan, dan ekuitas dalam akses terhadap teknologi kesehatan.

Terdapat isu utama yang muncul diantaranya ; hak pasien yang mencakup hak untuk membuat keputusan sendiri (otonomi), hak untuk mendapatkan informasi yang cukup (*informed consent*), dan hak untuk menolak perawatan ; kesejahteraan pasien yang melibatkan pertimbangan antara risiko dan manfaat, serta kualitas hidup pasien setelah menjalani prosedur; keamanan yang berkaitan dengan risiko yang mungkin timbul akibat penggunaan teknologi *bioprinting*, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang; keadilan yang menyangkut distribusi yang adil terhadap teknologi kesehatan, termasuk akses dan manfaat yang diperoleh.

Tabel 2 menyajikan kerangka kerja yang berguna untuk mengevaluasi implikasi etika dari penggunaan teknologi *bioprinting* dalam bidang medis. Dengan mempertimbangkan dimensi etika dan isu-isu utama yang terkait, dapat dilakukan analisis yang lebih komprehensif dan membuat keputusan yang lebih baik terkait penggunaan teknologi ini.

Tabel 3. Potensi dan Resiko Teknologi *Bioprinting* 3D

Aspek Etika	Deskripsi	Potensi Manfaat	Tantangan dan Resiko
Penggunaan Sel Hidup	Penggunaan sel manusia, termasuk sel embrionik dan sel	Mencetak organ yang sesuai dengan kebutuhan pasien,	Isu hak asasi manusia dan persetujuan untuk penggunaan

	induk pluripoten, menimbulkan pertanyaan tentang asal-usul dan persetujuan donor.	mengurangi waktu tunggu.	sel.
Keamanan Produk	Organ dan jaringan yang dicetak harus aman dan efektif untuk digunakan dalam transplantasi.	Meningkatkan tingkat keberhasilan transplantasi organ.	Potensi reaksi penolakan tubuh terhadap organ yang dicetak.
Regulasi dan Standar	Kebutuhan untuk mengembangkan regulasi agar teknologi ini dapat diterapkan secara aman.	Mendorong inovasi dalam pengobatan regeneratif.	Keterlambatan dalam pengembangan regulasi dapat menghambat kemajuan.
Kekurangan Organ	<i>Bioprinting</i> dapat membantu mengatasi masalah kelangkaan organ untuk transplantasi.	Mengurangi waktu tunggu bagi pasien yang membutuhkan transplantasi.	Ketidakpastian tentang kualitas dan fungsi organ yang dicetak.
Hak Cipta dan Desain	Isu hak cipta terkait desain organ dan teknologi <i>bioprinting</i> itu sendiri.	Mendorong inovasi dan perlindungan bagi penemu teknologi baru.	Potensi konflik hukum antara peneliti dan industri terkait desain organ.
Implikasi Sosial	Dampak sosial dari akses terhadap teknologi <i>bioprinting</i> , termasuk kesenjangan akses di masyarakat.	Meningkatkan kualitas hidup bagi banyak pasien.	Risiko memperlebar kesenjangan antara mereka yang mampu dan tidak mampu mengakses teknologi ini.
Pengembangan Material	Tantangan dalam menemukan biomaterial yang tepat untuk mendukung pertumbuhan sel dan biodegradabilitas.	Memungkinkan pencetakan jaringan dengan kualitas tinggi.	Kesulitan dalam memenuhi persyaratan teknis dan etis material yang digunakan.
Etika Penelitian	Pertanyaan etis mengenai eksperimen pada sel hidup dan dampaknya terhadap individu serta masyarakat.	Mempercepat pengembangan terapi baru yang lebih efektif.	Potensi penyalahgunaan atau eksploitasi dalam penelitian biomedis.
Keadilan Akses	Pertanyaan tentang	Meningkatkan akses	Risiko memperburuk

Kesehatan	keadilan dalam akses terhadap teknologi <i>bioprinting</i> , terutama bagi kelompok kurang mampu secara finansial.	ke perawatan kesehatan yang lebih baik bagi pasien di seluruh lapisan masyarakat.	kesenjangan kesehatan antara kelompok kaya dan miskin.
-----------	--	---	--

Tabel 3 memberikan gambaran yang komprehensif mengenai berbagai aspek etika yang perlu dipertimbangkan dalam pengembangan dan penerapan teknologi *bioprinting* organ. Meskipun teknologi ini menawarkan potensi besar dalam bidang kesehatan, namun perlu diimbangi dengan pertimbangan etika yang matang untuk menghindari berbagai risiko dan tantangan yang mungkin muncul. Meskipun *bioprinting* 3D menawarkan banyak potensi untuk meningkatkan perawatan kesehatan, tantangan etika yang dihadapi harus ditangani dengan hati-hati melalui regulasi, pendidikan, dan dialog antara pemangku kepentingan di bidang medis, ilmiah, dan masyarakat luas. Diskusi berkelanjutan mengenai isu-isu ini sangat penting untuk memastikan bahwa perkembangan teknologi ini dilakukan secara bertanggung jawab dan etis.

***Bioprinting* 3D menurut Perspektif Hukum Islam**

Produksi organ melalui teknologi *bioprinting* akan dikaitkan dengan isu perubahan ciptaan Tuhan. Sebab, hal itu telah mengubah dan melanggar hakikat asli keberadaan organ. Awalnya, organ yang tertanam dalam tubuh manusia merupakan ciptaan Tuhan secara alami. Namun, perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, khususnya di era Revolusi Industri 4.0, memunculkan metode baru produksi prototipe organ dengan menggunakan teknologi 3D printing. Prototipe organ yang akan diproduksi adalah organ yang memang menyerupai organ aslinya baik dari segi bentuk, fungsi, struktur, dan lain-lain. Gagasan produksi prototipe organ ini bertentangan dengan hakikat keberadaan alamiahnya sebagai ciptaan Tuhan. Argumen yang sama juga dikemukakan oleh beberapa lembaga fatwa yang mengharamkan beberapa tindakan medis yang mengubah tubuh manusia tanpa justifikasi medis apa pun, melainkan hanya untuk tujuan mempercantik diri (Hamdan dkk., 2021). Secara umum, mengubah ciptaan Tuhan mengacu pada tindakan mengubah sesuatu yang diciptakan oleh Tuhan.

1. Perspektif Al-Quran

Ulama muslim selalu merujuk larangan mengubah ciptaan Allah yang merujuk pada QS. An-Nisa ayat 119 :

وَلَا ضِلَّيْنَهُمْ وَلَا مَلِئِينَهِمْ وَلَا مَرْتَهُمْ فَلْيَغْيِرَنَّ خُلُقَ اللَّهِ وَمَنْ يَتَّخِذِ الشَّيْطَانَ وَلِيًّا مِّنْ دُونِ اللَّهِ فَقَدْ خَسِرَ خُسْرَانًا مُّبِينًا ﴿١١٩﴾

Artinya : “Aku benar-benar akan menyesatkan mereka, membangkitkan angan-angan kosong mereka, menyuruh mereka (untuk memotong telinga-telinga binatang ternaknya) hingga mereka benar-benar memotongnya, dan menyuruh mereka (mengubah ciptaan Allah) hingga benar-benar mengubahnya” Siapa yang menjadikan setan sebagai pelindung selain Allah sungguh telah menderita kerugian yang nyata”

Larangan mengubah ciptaan Allah dalam ayat ini ditujukan kepada larangan mengubah alam (fitrah) yang telah diciptakan Allah untuk seluruh umat manusia, yang mana Islam disebut sebagai agama fitrah manusia (Al-Qurtubi Ibn Kathir). Menurut Hamdan dkk (2022), analisis terhadap konsep perubahan ciptaan Tuhan, ia membaginya menjadi dua jenis, yaitu (i) perubahan metafisik dan (ii) perubahan fisik. Perubahan metafisik meliputi perubahan agama, melayani ciptaan, bukan Tuhan, untuk mengubah aturan Allah dan menerapkan cara-cara yang baik terhadap sesuatu yang buruk. Sebaliknya, interpretasi yang tersisa berfungsi dibawah perubahan fisik, dan pencetakan organ 3D dapat dikategorikan di bawah perubahan fisik.

2. Perspektif Sabda Nabi Muhammad SAW.

Nabi Muhammad SAW. menyebutkan larangan melakukan perbuatan tertentu karena termasuk dalam kategori mengubah ciptaan Allah. Abdullah bin Mas'ud meriwayatkan sebuah hadits yang melarang umat Islam membuat tato: "Sesungguhnya Rasulullah SAW melaknat orang yang membuat tato dan orang yang meminta untuk ditato, wanita yang mencukur alisnya dan wanita yang mengacak-acak giginya karena ingin memperindah diri dan mengubah ciptaan Allah. Mengapa aku tidak melaknat orang yang telah dilaknat oleh Rasulullah SAW padahal hal itu telah disebutkan dalam Al-Qur'an?" (HR. Al-Bukhari).

Larangan pada Hadits terkait dengan ucapan 'lilhusni', yang artinya 'hanya untuk tujuan kecantikan atau memperindah saja'. Ucapan ini menunjukkan bahwa larangan tersebut khusus untuk perubahan yang dilakukan untuk memperindah penampilan yang sudah ada, namun jika perubahan tersebut dilakukan untuk tujuan yang baik seperti untuk pengobatan atau untuk menghilangkan aib, maka boleh (Al-Fawzan, 2008).

Pembahasan tentang perbuatan mengubah ciptaan Allah perlu diperluas. Tidak hanya terbatas pada bentuk-bentuk larangan yang ada di dalam Al Quran dan hadits saja terutama di

era Revolusi Industri 4.0 atau era digitalisasi, yang ditandai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta munculnya berbagai teknologi baru dan canggih. Manusia memanfaatkan teknologi tersebut untuk memudahkan dan meningkatkan kehidupan sehari-hari. Teknologi lainnya adalah teknologi produksi daging melalui produksi daging kultur untuk mengurangi ketergantungan pada sumber daging dari hewan, teknologi kloning, dan masih banyak lagi. Secara garis besar, teknologi-teknologi tersebut mengangkat isu tentang perubahan ciptaan Tuhan (Sabri dkk., 2022).

Kembali pada isu perubahan ciptaan Tuhan dalam teknologi cetak organ 3D, hal tersebut merupakan bentuk perubahan kontemporer yang muncul seiring dengan perkembangan revolusi di dunia, yaitu Revolusi Industri 4.0. Keberadaannya tidak boleh dikesampingkan begitu saja hanya karena produksinya terkait dengan persoalan perubahan ciptaan Tuhan, harus dikaji secara mendalam apakah termasuk dalam bentuk perubahan yang dibolehkan atau tidak. Berdasarkan analisis dari Al-Quran, hadits, dan beberapa fatwa, produksi organ tubuh melalui metode cetak 3D disarankan untuk dikategorikan sebagai perubahan ciptaan Tuhan yang dibolehkan karena tujuannya untuk mengobati dan menyelamatkan nyawa atau khusus untuk penggunaan proses transplantasi organ (Sabri dkk., 2022).

Produksi organ menggunakan teknologi pencetakan 3D dikaitkan dengan masalah mengubah ciptaan Tuhan. Analisis isu perubahan ciptaan Tuhan dalam teknologi cetak organ 3D terkait dengan perdebatan konsep *aldaruriyyat*, *al-hajiyyat* dan *al-tahsiniyyat*. Dalam masalah ini, pertimbangan hukum Islam harus melihat apakah organ yang dicetak itu *daruri*, *haji* atau *tahsini*. Pencetakan organ daruri dan haji untuk menyelamatkan nyawa dan menghilangkan bahaya diperbolehkan. Sementara itu, pencetakan organ tahsini untuk keperluan kecantikan tidak diperbolehkan karena termasuk dalam perbuatan mengubah ciptaan Tuhan yang dilarang. Namun jika dimaksudkan untuk menghilangkan rasa malu atau cacat maka diperbolehkan. Pertanyaan lainnya muncul dari pencetakan organ 3D yang memerlukan pedoman dari badan fatwa Islam dan akademi. Pada akhirnya, penggunaan teknologi pencetakan 3D dibawa oleh era Revolusi Industri 4.0 memunculkan berbagai permasalahan yang memerlukan jawaban dari segi hukum. Dalam menghadapi era ini, penetapan hukum Islam perlu bersifat progresif seiring dengan pesatnya perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi. Pada saat yang sama seiring berjalannya waktu, hal ini dapat menjadi solusi yang hidup dan ideal dalam mengatasi permasalahan-permasalahan kontemporer yang baru Revolusi Industri 4.0 (Sabri dkk., 2022).

4. KESIMPULAN

Teknologi *bioprinting* 3D memiliki banyak potensi pengembangan. Jaringan dan organ terdiri dari susunan kompleks dengan variasi ukuran, kekakuan, dan jenis sel yang berbeda-beda. Pendekatan *bioprinting* digunakan untuk mengatasi tantangan dalam transplantasi, pengobatan regeneratif, serta di bidang reproduksi. Selain itu, jaringan hasil cetak ini dapat dimanfaatkan dalam penelitian farmakologi eksperimental untuk uji obat dan pengujian toksisitas. Teknologi *bioprinting* 3D memiliki potensi besar untuk merevolusi bidang kesehatan dan kedokteran dengan kemampuan mencetak jaringan dan organ tiruan yang dapat meniru struktur dan fungsi alami tubuh. Mekanisme utama dalam *bioprinting* 3D terdiri dari beberapa tahap yaitu akuisisi data, pemilihan material (biotinta), proses pencetakan, dan fungsionalisasi, yang semuanya bekerja sama untuk menciptakan struktur jaringan yang presisi dan fungsional.

Aspek bioetika mengenai *bioprinting* 3D masih menimbulkan tantangan yang perlu dipertimbangkan. Masalah bioetika seperti sumber atau asal bahan yang digunakan dalam *bioprinting* masih menjadi permasalahan. Penggunaan sel punca embrionik masih kontroversial, karena melibatkan penghancuran embrio manusia, sehingga menimbulkan pertanyaan moral dan etika mengenai nilai dan kesucian hidup manusia. Kemampuan untuk menciptakan organ dan jaringan manusia melalui *bioprinting* 3D menimbulkan pertanyaan tentang hakikat identitas manusia dan batasan antara manusia dan mesin. Dalam hukum Islam, *Bioprinting* 3D dianalisis melalui konsep *aldaruriyyat* (kebutuhan mendesak), *al-hajiyyat* (kebutuhan penting), dan *al-tahsiniyyat* (kebutuhan sekunder). Pencetakan organ untuk kebutuhan mendesak dan penting, seperti menyelamatkan nyawa, diperbolehkan.

REFERENSI

- Agarwal, S.; Saha, S.; Balla, V.K.; Pal, A.; Barui, A.; Bodhak, S. Current Developments in 3D *Bioprinting* for Tissue and Organ Regeneration—A Review. *Front. Mech. Eng.* 2020, 6, 589171.
- Ahmed, F.; Jahagirdar, V.; Gudapati, S.; Mouchli, M. Three-dimensional visualization and virtual reality simulation role in hepatic surgery: Further research warranted. *World J. Gastrointest. Surg.* 2022, 14, 723.
- al-Fawzan, SM 2008.al-Jarahah al-TajmiliyyahRiyadh: Dar al-Tadmuriyyah.
- Arslan-Yildiz A, Assal RE, Chen P. (2016). Towards Artificial Tissue Models: Past, Present, and Future of 3D *Bioprinting*. *Biofabrication*, 8:014103. DOI: 10.1088/1758-5090/8/1/014103

- Beauchamp TL, Childress JF. Principles of Biomedical Ethics. New York: Oxford University Press; 1994.
- Beg, S.; Almalki, W.H.; Malik, A.; Farhan, M.; Aatif, M.; Rahman, Z.; Alruwaili, N.K.; Alrobaian, M.; Tarique, M.; Rahman, M. 3D printing for drug delivery and biomedical applications. *Drug Discov. Today* 2020, 25, 1668–1681.
- Bhuskute, H.; Shende, P.; Prabhakar, B. 3D Printed Personalized Medicine for Cancer: Applications for Betterment of Diagnosis, Prognosis and Treatment. *AAPS PharmSciTech* 2021, 23, 8.
- Bozkurt, Y.; Karayel, E. 3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends. *J. Mater. Res. Technol.* 2021, 14, 1430–1450.
- Chen, H.; Zhang, Y.; Zhou, D.; Ma, X.; Yang, S.; Xu, T. Mechanical engineering of hair follicle regeneration by in situ *bioprinting*. *Biomater. Adv.* 2022, 142, 213127.
- Crook, J.M.; Tomaskovic-Crook, E. *Bioprinting* 3D Human Induced Pluripotent Stem Cell Constructs for Multilineage Tissue Engineering and Modeling. *Methods Mol. Biol.* 2020, 2140, 251–258.
- Denney, A. S., & Tewksbury, R. (2013). How to write a literature review. *Journal of criminal justice education*, 24(2), 218-234
- Fonseca, A.C.; Melchels, F.P.W.; Ferreira, M.J.S.; Moxon, S.R.; Potjewyd, G.; Dargaville, T.R.; Kimber, S.J.; Domingos, M. Emulating Human Tissues and Organs: A *Bioprinting* Perspective Toward Personalized Medicine. *Chem. Rev.* 2020, 120, 11093–11139.
- Gaebel, R., Ma, N., Liu, J., Guan, J., Koch, L., Klopsch, C., ... & Steinhoff, G. (2011). Patterning human stem cells and endothelial cells with laser printing for cardiac regeneration. *Biomaterials*, 32(35), 9218-9230.
- Gonzalez, J.; Garijo, I.; Sanchez, A. Organ Trafficking and Migration: A Bibliometric Analysis of an Untold Story. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 3204.
- halainen P, Määttänen A, Sandler N. (2015). Printing technologies for biomolecule and cell-based applications. *International Journal of Pharmaceutics*. 494(2):585–592. doi: 10.1016/j.ijpharm.2015.02.033.
- Hamdan, Mohammad Naqib, Mohd Anuar Ramli, Aminudin H., Nur Najwa Hanani A.R., Muhammad Faiz M.S., and Syamsul Azizul M. 2021. The application of Maqasid-Oriented approach in islamic bioethics: A case study on fatwa related to cosmetic, plastic and reconstructive surgery. *IIUM Medical Journal Malaysia* 20 (1):71–81. <https://doi.org/10.31436/imjm.v20i1.1781>.
- Hamdan, Mohammad Naqib, Mohd Anuar. Ramli, M.F.M. Arifn, H.A.A. Thaidi, M.F.A. Rahman, N. Ramli, and N.S.M. Riza. 2022. The concept of Taghyir Khalqillah through Mufassirin perspective: An analysis based on Surah al-Nisa', Verse 119. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences* 12 (1):1682–1699. <https://doi.org/10.6007/IJARBS/v12-i1/12029>.

- Hartanto, R. S., & Dani, H. (2020). Studi Literatur: Pengembangan Media Pembelajaran Dengan Software Autocad. *Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan*, 6(1), 1–6.
- Jeong, H.J.; Nam, H.; Jang, J.; Lee, S.J. 3D *Bioprinting* Strategies for the Regeneration of Functional Tubular Tissues and Organs. *Bioengineering* 2020, 7, 32.
- Jovic, T.H.; Combella, E.J.; Jessop, Z.M.; Whitaker, I.S. 3D *Bioprinting* and the Future of Surgery. *Front. Surg.* 2020, 7, 609836.
- Koch L, Gruene M, Unger C, Chichkov B. (2013). Laser assisted cell printing. *Curr Pharm Biotechnol.* 14(1):91–97.
- Ma, X., Qu, X., Zhu, W., Li, Y. S., Yuan, S., Zhang, H., ... & Chen, S. (2016). Deterministically patterned biomimetic human iPSC-derived hepatic model via rapid 3D *bioprinting*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(8), 2206-2211.
- McKean, L.; Samaha, D.; Stillwell, M.; Tupler, R.; Sarkar, K.; Whitlow, C. Three-dimensional modeling with virtual reality as a tool for pre-operative planning in colorectal surgery. In *Diseases of the Colon & Rectum*; Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia, PA, USA, 2020; Volume 63.
- Mills, P.A.S.; Mills, D.K. Reduced Supply in the Organ Donor Market and How 3D Printing Can Address This Shortage: A Critical Inquiry into the Collateral Effects of Driverless Cars. *Appl. Sci.* 2020, 10, 6400.
- Nie, J., Gao, Q., Wang, Y., Zeng, J., Zhao, H., Sun, Y., ... & He, Y. (2018). Vessel-on-a-chip with hydrogel-based microfluidics. *Small*, 14(45), 1802368.
- Ozbolat, I.T.; Moncal, K.K. (2017). Gudapati, H. Evaluation of bioprinter technologies. *Addit. Manuf.* 13, 179–200.
- Panda, S.; Hajra, S.; Mistewicz, K.; Nowacki, B.; In-Na, P.; Krushynska, A.; Mishra, Y.K.; Kim, H.J. A focused review on three-dimensional *bioprinting* technology for artificial organ fabrication. *Biomater. Sci.* 2022, 10, 5054–5080.
- Panja, N.; Maji, S.; Choudhuri, S.; Ali, K.A.; Hossain, C.M. 3D *Bioprinting* of Human Hollow Organs. *AAPS PharmSciTech* 2022, 23, 3.
- Pirlo, R. K., Wu, P., Liu, J., & Ringeisen, B. (2012). PLGA/hydrogel biopapers as a stackable substrate for printing HUVEC networks via BioLP™. *Biotechnology and bioengineering*, 109(1), 262-273.
- Putri, F. A., Bramasta, D., & Hawanti, S. (2020). Studi Literatur Tentang Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Dalam Pembelajaran Menggunakan Model Pembelajaran The Power Of Two Di SD. *Jurnal Educatio FKIP Unma*, 6(2), 605– 610.
- Ramasamy, S., Davoodi, P., Vijayavenkataraman, S., Heng, J., Mozhi, A., Samirah, K., Wu, B., Fuh, J.Y.H., Dicolandrea, T., Zhao, H. (2021). *Bioprinting* Optimized construction of a full thickness human skin equivalent using 3D *bioprinting* and a PCL/collagen dermal scaffold. *Bioprinting*. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2020.e00123>.

- Rosca, A.M.; Tutuianu, R.; Titorencu, I. Advances in Skin Regeneration and Reconstruction. *Front. Stem Cell Regen. Med. Res.* 2020, 9, 143–187.
- Rosemann, T.; Laux, G.; Szecsenyi, J. Osteoarthritis: Quality of life, comorbidities, medication and health service utilization assessed in a large sample of primary care patients. *J. Orthop. Surg. Res.* 2007, 2, 12.
- Sabri AM, Ramli MA, Abdul Rahman NN, Hamdan MN. Three-Dimensional (3D) Printing of Organs according to the Perspective of Islamic Law. *Asian Bioeth Rev.* 2022 Jul 29;15(1):69-80. doi: 10.1007/s41649-022-00210-9. PMID: 36618954; PMCID: PMC9816357.
- Semba, J.A., Mieloch, A.A., Rybka, J.D. (2020). Introduction to the state-of-the-art 3D *bioprinting* methods, design, and applications in orthopedics. *Bioprinting*. <https://doi.org/10.1016/j.bprint.2019.e00070>
- Shao, L., Gao, Q., Zhao, H., Xie, C., Fu, J., Liu, Z., ... & He, Y. (2018). Fiber-based mini tissue with morphology-controllable GelMA microfibers. *Small*, 14(44), 1802187.
- Singh, J.A.; Yu, S.; Chen, L.; Cleveland, J.D. Rates of Total Joint Replacement in the United States: Future Projections to 2020-2040 Using the National Inpatient Sample. *J. Rheumatol.* 2019, 46, 1134–1140.
- Skardal, A., Mack, D., Kapetanovic, E., Atala, A., Jackson, J.D., Yoo, J. Soker, S. (2012). Bioprinted Amniotic Fluid-Derived Stem Cells Accelerate Healing of Large Skin Wounds. *Stem Cells Transl. Med.* 1, 792–802.
- Varkey, M.; Visscher, D.O.; Van Zuijlen, P.P.M.; Atala, A.; Yoo, J.J. Skin *bioprinting*: The future of burn wound reconstruction? *Burn. Trauma* 2019, 7, s41038-019-0142-7.
- Veeman, D.; Sai, M.S.; Sureshkumar, P.; Jagadeesha, T.; Natrayan, L.; Ravichandran, M.; Mammo, W.D. Additive Manufacturing of Biopolymers for Tissue Engineering and Regenerative Medicine: An Overview, Potential Applications, Advancements, and Trends. *Int. J. Polym. Sci.* 2021, 2021, 4907027.
- Vermeulen, N., Haddow, G., Seymour, T., Faulkner-Jones, A., Shu, W. (2017). 3D bioprint me: A socioethical view of *bioprinting* human organs and tissues. *J. Med. Ethics*, 43, 618–624.
- Vijayavenkataraman, S., Lu, W.F., Fuh, J.Y.H. (2016). 3D *bioprinting*—an ethical, legal and social aspects (ELSA) framework. *Bioprinting*, 1, 11–21
- W. Zhu, X. Ma, M. Gou, dan lain-lain, Pencetakan 3D fungsional biomaterial untuk rekayasa jaringan, Opini terkini Bioteknologi, Tahun 2016, 40 tahun
- Wu, P. K., & Ringeisen, B. R. (2010). Development of human umbilical vein endothelial cell (HUVEC) and human umbilical vein smooth muscle cell (HUVSMC) branch/stem structures on hydrogel layers via biological laser printing (BioLP). *Biofabrication*, 2(1), 014111.

- Yakimova, M.S.; Aboushanab, S.A.S.; Ivantsova, M.N.; Kamel, M. Overview on 3D *bioprinting* technology: Potentials and current challenges. AIP Conf. Proc. 2020, 2313, 080034.
- Yaneva, A.; Shopova, D.; Bakova, D.; Mihaylova, A.; Kasnakova, P.; Hristozova, M.; Semerdjieva, M. The Progress in *Bioprinting* and Its Potential Impact on Health-Related Quality of Life. *Bioengineering* 2023, 10, 910. <https://doi.org/10.3390/bioengineering10080910>
- Yu, J.; Park, S.A.; Kim, W.D.; Ha, T.; Xin, Y.Z.; Lee, J.; Lee, D. Current Advances in 3D *Bioprinting* Technology and Its Applications for Tissue Engineering. *Polymers* 2020, 12, 2958.
- Zhongboyu Jin, Yuanrong Li, Kang Yu, Linxiang Liu, Jianzhong Fu, Xinhua Yao, Aiguo Zhang, and Yong He. (2021). 3D Printing of Physical Organ Models: Recent Developments and Challenges. *Advanced Science*, 8(17), 1-27.