

PENERAPAN ARSITEKTUR REGENERATIF PADA FASILITAS RISET ORGAN BUATAN DAN PENYIMPANAN JARINGAN DI SALEMBA, JAKARTA PUSAT

Elisha Hartawidjaja¹⁾, Theresia Budi Jayanti^{2)*}

¹⁾Program Studi S1 Arsitektur, Universitas Tarumanagara, Jakarta, elishahartawidjaja@gmail.com

^{2)*}Program Studi S1 Arsitektur, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara, Jakarta, theresiaj@ft.untar.ac.id

*Penulis Korespondensi: theresiaj@ft.untar.ac.id

Masuk: 14-07-2025, revisi: 19-08-2025, diterima untuk diterbitkan: 23-10-2025

Abstrak

Perkembangan bioteknologi dan rekayasa jaringan telah membuka peluang baru dalam ilmu kesehatan regeneratif, khususnya dalam hal pengembangan organ buatan dan penyimpanan jaringan tubuh manusia. Namun, di Indonesia, fasilitas penelitian dan penyimpanan jaringan masih sangat terbatas. Banyak jaringan hasil operasi atau amputasi yang terbuang sebagai limbah medis karena tidak adanya sistem penyimpanan dan pemrosesan yang memadai. Padahal, jaringan-jaringan ini berpotensi untuk dimanfaatkan kembali sebagai *biomaterial*, sel, atau *scaffold* untuk terapi dan rekayasa jaringan, bahkan dapat digunakan sebagai jaringan donor jika telah melalui proses sterilisasi dan verifikasi biologis. Oleh karena itu, Jakarta sebagai pusat rujukan medis nasional membutuhkan fasilitas yang mampu mengintegrasikan riset, inovasi, dan pengelolaan jaringan tubuh secara berkelanjutan. Proyek ini bertujuan untuk merancang sebuah fasilitas riset yang mengintegrasikan teknologi *bioprinting*, rekayasa jaringan, serta sistem penyimpanan jaringan dalam satu kesatuan arsitektur. Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan naratif. Metode ini digunakan untuk mengamati dan menganalisis penerapan prinsip arsitektur regeneratif, khususnya dalam aspek desain ruang dan pengelolaan limbah medis dengan data yang diperoleh melalui studi pustaka. Pendekatan naratif membantu menjelaskan urgensi isu kesehatan dan kebutuhan fasilitas riset yang berkelanjutan di Jakarta. Fasilitas ini diharapkan tidak hanya berfokus pada teknologi medis, tetapi juga menerapkan prinsip regeneratif secara menyeluruh, sekaligus menjadi ruang kolaborasi bagi ilmuwan, tenaga medis, akademisi, dan media edukasi publik terkait pengelolaan jaringan tubuh yang bertanggung jawab.

Kata kunci: arsitektur regeneratif; organ buatan; jaringan tubuh manusia; limbah medis

Abstract

The development of biotechnology and tissue engineering has opened new opportunities in regenerative medicine, particularly in the development of artificial organs and the storage of human body tissues. However, in Indonesia, research and tissue storage facilities remain highly limited. Many tissues from surgeries or amputations are discarded as medical waste due to the lack of adequate storage and processing systems. In fact, these tissues have the potential to be reused as biomaterials, cells, or scaffolds for therapy and tissue engineering. Even can be used as donor tissues if properly sterilized and biologically verified. Therefore, Jakarta, as the national medical referral center in Indonesia, requires a facility that integrates research, innovation, and sustainable tissue management. This project aims to design a research facility that incorporates bioprinting technology, tissue engineering, and tissue storage systems into a cohesive architectural. The research method used is a qualitative descriptive method with a narrative approach. This method is employed to observe and analyze the application of regenerative architectural principles, particularly in spatial design and medical waste management, using data collected through literature studies. The narrative approach is used to explain the urgency of health issues and the need for sustainable research facilities in Jakarta. This facility is expected to not only focus on medical technologies but also implement regenerative principles comprehensively, creating an energy-efficient and environmentally friendly building. Moreover, the facility is envisioned as a collaborative space for scientists, medical professionals, and academics, while also serving as an educational hub for public.

Keywords: artificial organs; human tissue; medical waste; regenerative architecture

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Perkembangan teknologi medis telah membawa lompatan besar dalam dunia kesehatan. Inovasi seperti terapi regeneratif, organ buatan, dan bioteknologi telah membuka harapan baru bagi pasien dengan penyakit kronis atau kegagalan organ. Namun, di balik kemajuan ini, sektor kesehatan justru menjadi salah satu sektor yang memberikan tantangan lingkungan yang besar. Limbah medis yang sulit terurai, penggunaan energi yang tinggi, serta emisi karbon dari fasilitas kesehatan memperburuk kondisi lingkungan (Organization, 2022).

Selain masalah ekologis, tantangan lain yang muncul adalah ketimpangan dalam penyediaan fasilitas medis. Di banyak negara maju, pusat penelitian biomedis dan bank organ sudah menjadi bagian penting dalam sistem kesehatan (Chen & Pang, 2015). Namun, di Indonesia, fasilitas seperti bank organ, pusat penelitian bioteknologi, serta bank darah yang modern dan terintegrasi masih sangat terbatas. Padahal, kebutuhan akan transplantasi organ terus meningkat, sementara prosedur donor dan penyimpanan organ masih menghadapi banyak kendala, baik dari segi infrastruktur maupun regulasi.

Kondisi ini menciptakan paradoks dalam dunia medis, dimana di satu sisi, ilmu pengetahuan semakin maju dan mampu memberikan solusi bagi penyakit yang dulunya tak terobati, tetapi di sisi lain, fasilitas pendukungnya masih jauh dari kata ideal. Tanpa adanya pusat riset dan penyimpanan organ yang memadai, pasien yang membutuhkan transplantasi sering kali mengalami kesulitan dalam mendapatkan organ yang cocok, sehingga banyak nyawa yang tidak tertolong.

Selain itu, di Indonesia, pembangunan fasilitas medis telah memiliki standar terkait keberlanjutan, termasuk efisiensi energi dan pengelolaan limbah (Intarti, Khan, & Maretalinia, 2024). Namun, implementasinya masih beragam dan sebagian besar belum maksimal. Oleh karena itu, perlunya fasilitas riset organ buatan dan penyimpanan jaringan tubuh untuk mendukung pengembangan teknologi medis yang sekaligus mampu mengelola limbah medisnya menjadi hasil yang positif bagi lingkungan dan manusia sehingga tantangan kesehatan dan lingkungan dapat diatasi bersama – sama. Hal ini dapat diwujudkan dengan pendekatan arsitektur regeneratif, yakni pendekatan desain yang tidak hanya meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga secara aktif memulihkan dan memperbaiki ekosistem melalui pengelolaan limbah medis internal sehingga menciptakan hubungan baru yang saling menguatkan antara manusia dan alam dengan memanfaatkan teknologi yang tepat (Naboni & Havinga, 2019).



Gambar 1. Latar Belakang Perancangan

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Dalam pemilihan lokasi, terdapat beberapa kriteria penting, yaitu kedekatan dengan rumah sakit besar dan pusat pendidikan kedokteran untuk mendukung kolaborasi klinis dan penelitian, aksesibilitas tinggi bagi pasien, tenaga medis, dan peneliti, serta potensi integrasi dengan jaringan infrastruktur kota yang telah berkembang. Berdasarkan kriteria ini, kawasan Salemba

di Jakarta Pusat dipilih sebagai lokasi yang paling sesuai. Area ini merupakan pusat kegiatan medis dan akademik nasional, dikelilingi oleh 7 rumah sakit pemerintah maupun swasta dengan 1 rumah sakit rujukan yaitu RSCM serta sejumlah institusi pendidikan kedokteran ternama. Dengan demikian, Salemba menjadi lokasi strategis yang mampu menjembatani kebutuhan fungsional, ilmiah, dan keberlanjutan dalam pengembangan arsitektur regeneratif berbasis medis di Indonesia.

Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah penerapan arsitektur regeneratif pada pengolahan limbah medis di sebuah fasilitas riset medis sebagai upaya menciptakan lingkungan bangunan kesehatan yang tidak hanya minim dampak negatif terhadap ekosistem, tetapi juga mampu memberikan kontribusi positif secara ekologis, fungsional, dan sosial dalam mendukung kegiatan riset organ buatan dan penyimpanan jaringan tubuh manusia.

Tujuan

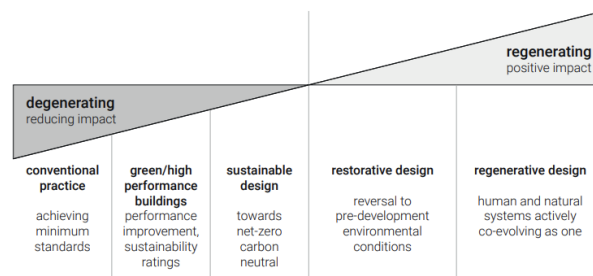
Tujuan dari jurnal ini adalah untuk mengkaji penerapan prinsip arsitektur regeneratif dalam merancang fasilitas riset medis yang berfokus pada pengembangan organ buatan dan penyimpanan jaringan tubuh manusia, khususnya dalam konteks pengolahan limbah medis yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan strategi desain yang tidak hanya mendukung kemajuan teknologi biomedis, tetapi juga mampu menciptakan sistem bangunan yang berkontribusi positif terhadap lingkungan. Dengan mengintegrasikan prinsip desain regeneratif ke dalam sistem pengelolaan limbah dan infrastruktur riset, proyek ini diharapkan dapat menjadi *prototype* bangunan kesehatan masa depan yang adaptif, berkelanjutan, dan solutif terhadap tantangan ekologis serta kebutuhan layanan kesehatan regeneratif di Indonesia.

2. KAJIAN LITERATUR

Arsitektur Regeneratif

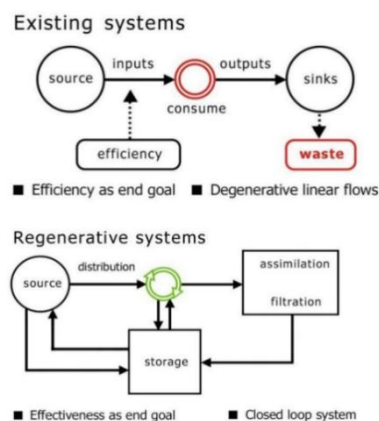
Istilah *regeneratif design* pertama kali digunakan oleh Arsitek Lansekap Amerika John Tillman Lyle pada tahun 1970 di dalam bukunya '*Regenerative Design for Sustainable Development*.' Dalam bukunya, ia percaya bahwa pendekatan desain ini adalah satu – satunya cara untuk mengatasi krisis lingkungan yang saat ini semakin meningkat tercermin dalam penipisan sumber daya dan degradasi lingkungan yang terjadi. Dalam bukunya, tertulis bahwa jam selalu berjalan dan arusnya selalu mendekati waktu yang memungkinkan akan tidak mengalir lagi. Pada intinya, ini adalah sebuah sistem degeneratif dimana melahap sumbernya sendiri (Lyle, 1996).

Secara garis besar, teori ini merupakan pendekatan desain dengan tujuan untuk menciptakan hubungan baru yang saling menguatkan antara manusia dan alam dengan memanfaatkan teknologi yang tepat (Naboni & Havinga, 2019). Seringkali dalam proyek arsitektur, arsitek hanya berfokus kepada pengguna bangunan. Namun, dalam desain regeneratif, selain aspek kesehatan dan kenyamanan pengguna, lingkungan turut harus diperhatikan. Dalam desain regeneratif, pengguna dan lingkungan berada dalam satu sistem yang terintegrasi satu sama lain. Pemulihan ekosistem serta perkembangan antara ekosistem dan manusia menjadi tujuan desain regeneratif.



Gambar 2. Diagram Transisi dari Praktik Konvensional ke Desain Regeneratif
Sumber: Naboni & Havinga, 2019

Dalam merancang proyek menggunakan pendekatan desain regeneratif, kegiatan – kegiatan manusia yang terjadi dalam sebuah bangunan dari sumber kebutuhan hingga tahap pengolahan untuk mendapatkan hasil tertentu harus dirancang sedemikian rupa menjadi sebuah siklus yang tidak menghasilkan limbah dalam bentuk apapun. Dengan siklus ini, diharapkan ekosistem dan lingkungan dapat memiliki waktu untuk mengisi ulang sumber daya yang ada sehingga dapat memberikan dampak yang positif bagi alam. Desain regeneratif meniru proses ekosistem alami, yang terus berputar dan mengubah material serta menumbuhkan ekosistem yang lebih sehat dan lebih beragam.



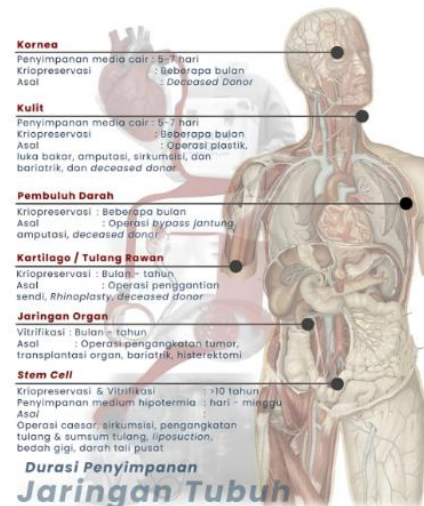
Gambar 3. Diagram Perbedaan Sistem Eksisting dan Sistem Regeneratif
Sumber: Fahmy, Abdou, & Ghoneem, 2019

Bank Jaringan dan Penerapannya dalam Arsitektur

Bank jaringan merupakan fasilitas medis yang bertujuan untuk mengumpulkan, memproses, menyimpan, dan mendistribusikan jaringan tubuh manusia, seperti tulang, kulit, dan pembuluh darah, untuk keperluan transplantasi, penelitian, dan terapi regeneratif. Fasilitas ini memainkan peran penting dalam menyediakan *biomaterial* yang aman dan berkualitas tinggi bagi terapi regeneratif. Dalam proses penyimpanan jaringan, teknologi seperti kriopreservasi digunakan untuk menjaga viabilitas dan integritas jaringan dalam jangka panjang melalui pembekuan bersuhu ekstrem (Jaiswal & Vagga, 2022). Namun, tantangan seperti risiko kontaminasi, degradasi jaringan, serta kebutuhan akan infrastruktur khusus menjadi perhatian utama dalam pengembangan teknologi penyimpanan jaringan.

Jaringan yang telah dikriopreservasi dapat disimpan dalam jangka waktu yang sangat lama tanpa kehilangan viabilitas atau fungsinya. Namun, durasi penyimpanan yang optimal dapat bervariasi tergantung pada jenis jaringan dan kondisi penyimpanan. Misalnya, jaringan tulang dan tendon dapat disimpan di bawah -40°C hingga maksimal 5 tahun setelah donasi. Selain itu, penyimpanan

jaringan pada suhu yang lebih tinggi, seperti +4°C hanya diperbolehkan selama 24 jam setelah pencairan dan tidak boleh dibekukan kembali. Setelah periode tersebut, jaringan harus digunakan atau dibuang jika tidak digunakan. Dengan demikian, meskipun jaringan yang dikriopreservasi memiliki potensi untuk disimpan dalam jangka waktu yang lama, penting untuk mempertimbangkan jenis jaringan, suhu penyimpanan, dan durasi penyimpanannya untuk memastikan kualitas dan viabilitasnya tetap terjaga.

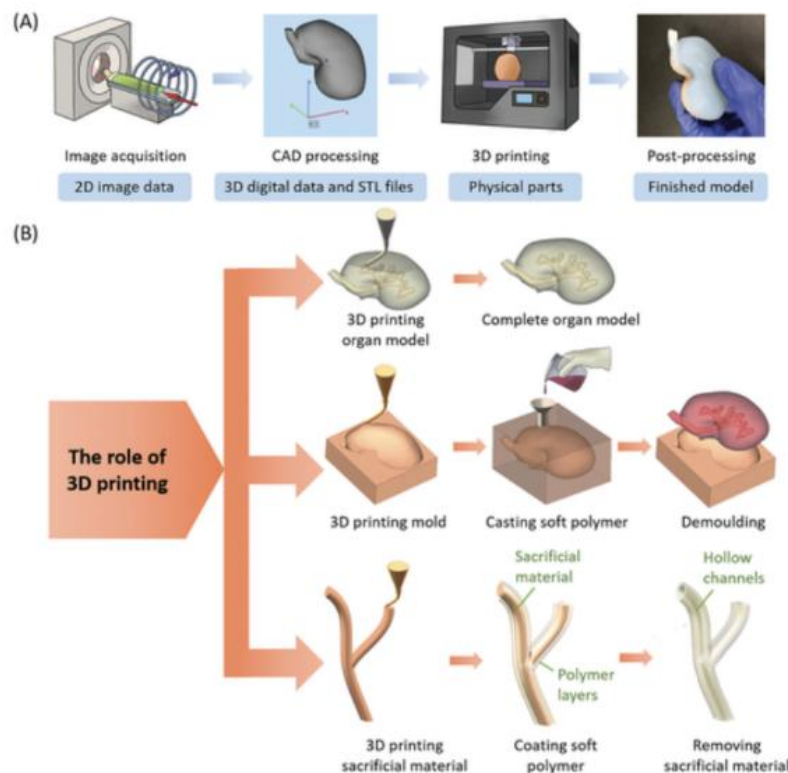


Gambar 4. Teknik dan Durasi Penyimpanan Jaringan Tubuh Manusia
Sumber: Olahan Penulis, 2025

Dalam konteks arsitektur, integrasi fungsi bank jaringan ke dalam desain fasilitas kesehatan memerlukan perencanaan yang cermat yang meliputi alur steril, ruang penyimpanan bersuhu khusus, serta sistem pengelolaan limbah medis yang efisien. Penerapan prinsip arsitektur regeneratif pada fasilitas ini dapat memperkuat keberlanjutan bangunan melalui pemilihan material ramah lingkungan, sistem pengolahan limbah medis yang efektif, serta penciptaan lingkungan yang mendukung kesehatan manusia dan inovasi teknologi medis secara bersamaan (Roux, Zeghidi, Villar, & Kozlakidis, 2021).

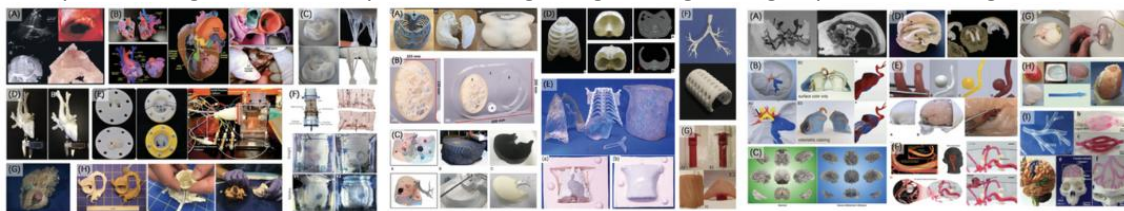
Organ Buatan dan Penggunaan Biomaterial

Pengembangan organ buatan (*artificial organ*) dengan teknologi rekayasa jaringan telah membuka peluang baru dalam bidang kesehatan regeneratif, khususnya dalam mengatasi keterbatasan organ untuk transplantasi. Organ buatan bertujuan untuk menggantikan fungsi organ yang rusak dengan organ baru yang dirancang menggunakan teknologi canggih seperti *bioprinting* dan penggunaan *biomaterial*. *Biomaterial* dapat bersifat alami (kolagen, fibrin, dan gelatin) dan sintesis (polimer dan keramik). Pemilihan biomaterial memainkan peran penting dalam menciptakan *scaffold* yang dapat mendukung pertumbuhan sel dan jaringan. Teknologi 3D *bioprinting* memungkinkan pencetakan jaringan hidup secara presisi dengan menggunakan *bioink* yang mengandung sel dan biomaterial. Pendekatan ini mendukung penciptaan jaringan kompleks secara biomimetik dan membuka peluang besar untuk personalisasi organ (Murphy & Atala, 2014). Dalam hal ini, *biomaterial* alami lebih cocok dengan tubuh karena sifatnya yang biokompatibel dan mampu mendukung pertumbuhan sel, sedangkan *biomaterial* buatan lebih mudah diatur kekuatan dan ketahanannya, sehingga dapat mendukung bentuk dan fungsi organ yang direkayasa.



Gambar 5. Proses Pembuatan Organ Buatan dengan 3D *Bioprinting* dan Material *Biopolimer*
Sumber: Zhongboyu, et al., 2021

Teknologi organ buatan yang mengintegrasikan *biomaterial* dengan sel tubuh pasien memiliki potensi untuk mengurangi kemungkinan penolakan imun, yang merupakan salah satu tantangan utama dalam transplantasi organ konvensional (Atala & Murphy, 2015). Pemilihan *biomaterial* yang tepat sangat penting dalam proses rekayasa jaringan karena *biomaterial* tidak hanya memberikan dukungan secara struktural, tetapi juga mempengaruhi perilaku sel dalam proses regenerasinya. Oleh karena itu, dibutuhkan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan *biomaterial* yang dapat memfasilitasi penciptaan jaringan yang lebih kompleks dan fungsional, dengan fokus pada kompatibilitas biologis, stabilitas mekanik, serta kemampuan untuk mendukung integrasi jaringan dengan sistem tubuh secara keseluruhan. Seiring perkembangan teknologi ini, diharapkan organ buatan dapat menjadi solusi efektif untuk memenuhi kebutuhan transplantasi organ di masa depan dan mengurangi ketergantungan pada donor organ.



Gambar 6. Hasil 3D *Bioprinting* Organ Buatan
Sumber : Zhongboyu, et al., 2021

Pengolahan Limbah Medis Regeneratif

Limbah medis merupakan salah satu tantangan utama dalam perancangan sebuah fasilitas kesehatan karena sifatnya yang infeksius dan berisiko tinggi terhadap lingkungan serta kesehatan manusia. Limbah ini secara umum dapat dikategorikan berdasarkan jenisnya menjadi tiga kategori yaitu limbah biologis, kimia, dan plastik. Setiap jenis dan wujud limbah ini membutuhkan pendekatan penanganan berbeda agar tidak mencemari lingkungan.

Tabel 1. Tabel Kategorisasi dan Sumber Limbah Medis dalam Bangunan Kesehatan

Jenis Limbah Medis	Padat	Cair	Gas
Biologis	Jaringan tubuh Alat bedah bekas pakai	Darah Cairan tubuh Kultur mikrobiologi	Uap dari proses sterilisasi Gas dari penguraian biologis
Kimia	Serbuk obat kadaluarsa Reagen kering	Disinfektan Larutan kimia laboratorium	Uap formalin Emisi kimia dari pembakaran
Plastik	<i>Syringe</i> Infus Kateter bekas pakai Sarung tangan	Sisa cairan dalam kemasan plastik	Gas hasil pembakaran plastik

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Dalam pendekatan arsitektur regeneratif, sistem pengolahan limbah tidak hanya berfokus pada eliminasi limbah, tetapi juga transformasi limbah menjadi sumber daya baru melalui prinsip sirkularitas. Limbah biologis misalnya, dapat diolah menggunakan *anaerobic digestion* untuk menghasilkan energi, sementara limbah plastik tertentu bisa didaur ulang menjadi komponen konstruksi. Dalam desain regeneratif, bangunan tidak hanya bertujuan mengurangi dampak negatif, tetapi juga memperbaiki ekosistem melalui proses restoratif (Mang & Reed, 2012). Oleh karena itu, dalam konteks fasilitas riset medis, penerapan sistem pengelolaan limbah berbasis regeneratif mencakup pemisahan limbah sejak sumbernya, pengolahan *onsite* dengan teknologi rendah emisi, serta integrasi hasil daur ulang ke dalam sistem bangunan seperti penggunaan kembali air olahan atau pemanfaatan energi hasil limbah. Strategi ini menjadi pondasi penting dalam mewujudkan bangunan kesehatan masa depan yang tidak hanya berkelanjutan, tetapi juga menyembuhkan lingkungan sekitarnya.

Tabel 2. Penanganan Limbah Medis berdasarkan Kategorinya

Jenis Limbah	Bentuk Limbah	Proses Penanganan	Penjelasan
Biologis	Infeksius	Autoclave	Sterilisasi dengan uap panas untuk membunuh mikroba
	Padat	Fermentasi Anaerobik	Pengolahan dengan mikroorganisme dalam kondisi tanpa oksigen untuk menghasilkan gas metana
	Cair	Bioreaktor Anaerob	Menguraikan bahan organik dengan mikroorganisme
Kimia	Cair	Netralisasi	Mengubah limbah kimia berbahaya menjadi senyawa yang tidak berbahaya
	Padat	Netralisasi / Inertisasi	Proses mengubah limbah kimia agar menjadi tidak reaktif dan aman untuk pembuangan
	Gas	Netralisasi Gas	Menghilangkan atau mengubah gas berbahaya menjadi gas yang tidak berbahaya menggunakan filter atau reaksi kimia.
Plastik Medis	Infeksius	Autoclave	Sterilisasi dengan uap panas untuk membunuh mikroba

Sumber: Olahan Penulis, 2025

3. METODE

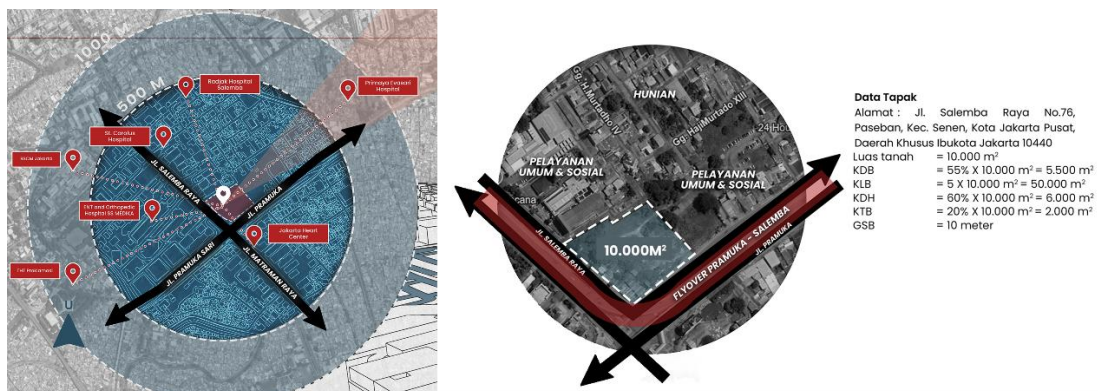
Metode penelitian yang digunakan adalah metode deskriptif kualitatif dengan pendekatan naratif. Metode deskriptif kualitatif digunakan untuk mengamati, mendeskripsikan, dan menganalisis penerapan prinsip arsitektur regeneratif pada fasilitas riset organ buatan dan

penyimpanan jaringan, khususnya dalam aspek desain ruang dan pengelolaan limbah medis. Data diperoleh melalui studi pustaka terkait arsitektur regeneratif, teknologi biomedis, serta sistem pengolahan limbah di fasilitas kesehatan. Pendekatan naratif digunakan untuk menjelaskan latar belakang pemilihan topik yang berangkat dari urgensi di bidang kesehatan dan bioteknologi, serta kebutuhan akan fasilitas riset yang mendukung keberlanjutan di Jakarta yang merupakan pusat rujukan nasional. Pendekatan ini membantu merangkai benang merah antara isu kesehatan, teknologi medis, dan desain arsitektur melalui perumusan ruang yang adaptif, efisien, dan berorientasi pada regeneratif.

4. DISKUSI DAN HASIL

Pemilihan Lokasi Tapak

Tapak berada di Jalan Salemba Raya No. 76, Paseban, Jakarta Pusat. Tapak ini dipilih dengan pertimbangan Jakarta sebagai pusat rujukan kesehatan nasional dan pusat riset kedokteran di Indonesia. Jakarta Pusat menjadi pilihan terbaik karena berada di pusat Kota Jakarta sehingga memiliki aksesibilitas yang tinggi dengan berbagai macam transportasi sehingga memudahkan distribusi organ dan jaringan. Tapak terpilih dikelilingi oleh 7 rumah sakit dengan jarak kurang dari 1.000 meter dan dapat ditempuh kurang dari 10 menit dengan *ambulance*. Dengan luas 10.000 m² dan berada dalam zona K-1 (perdagangan dan jasa skala kota), tapak memungkinkan pengembangan bangunan multifungsi untuk kebutuhan riset, edukasi, dan layanan publik. Dukungan infrastruktur kota dan aksesibilitas tinggi melalui jalur darat dan udara memperkuat potensi tapak ini sebagai simpul distribusi organ dan jaringan skala nasional. Oleh karena itu, lokasi ini dinilai tepat untuk mewujudkan fasilitas riset organ buatan dan bank jaringan.



Gambar 7. Lokasi dan Luas Tapak di Salemba, Jakarta Pusat

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Pendekatan Regeneratif dalam Konteks Medis pada Perancangan

Pendekatan arsitektur regeneratif dalam proyek fasilitas riset organ buatan dan penyimpanan jaringan ini tidak hanya berfokus pada proses biologis tubuh manusia melalui teknologi medis seperti rekayasa jaringan dan organ buatan, tetapi juga merespon isu lingkungan dan sosial secara lebih luas. Regenerasi dalam konteks medis diartikan sebagai proses pemulihan atau penciptaan kembali fungsi yang hilang, baik pada tubuh manusia maupun pada sistem ekologis yang terdegradasi akibat aktivitas manusia, termasuk aktivitas laboratorium dan medis.

Dalam proyek ini, prinsip regeneratif diterapkan secara menyeluruh melalui integrasi desain arsitektur dengan sistem pengelolaan limbah medis yang tidak berhenti pada proses pembuangan, melainkan juga diarahkan menuju transformasi limbah menjadi sumber daya. Misalnya, limbah organik hasil penelitian dapat dimanfaatkan kembali sebagai *biomaterial* untuk eksperimen lanjutan atau dikonversi menjadi media penghijauan dan edukasi publik. Pendekatan ini tidak hanya mendukung efisiensi dan keberlanjutan operasional, tetapi juga

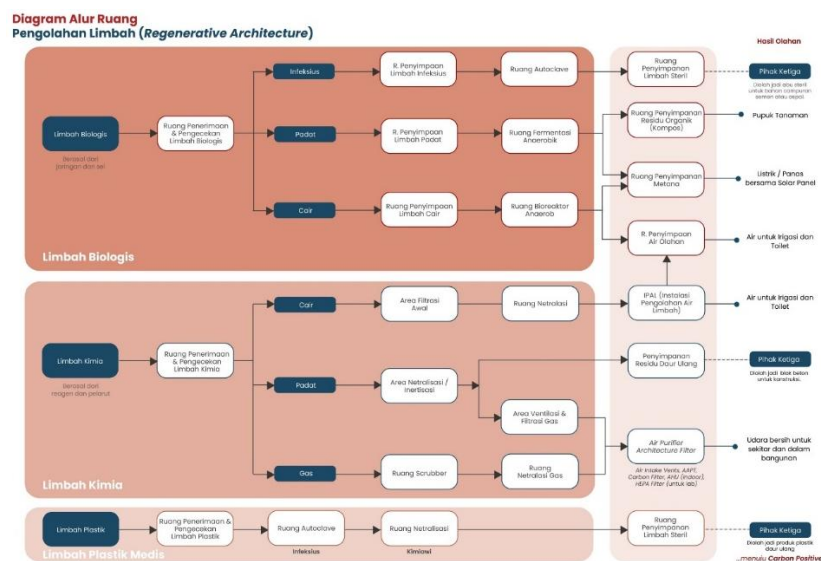
menciptakan ekosistem bangunan yang mampu memberi dampak positif bagi lingkungan sekitar dan kesadaran masyarakat.

Arsitektur dalam proyek ini bukan hanya sebagai ruang fungsional untuk laboratorium dan penyimpanan jaringan, melainkan juga sebagai pemulih ekologi dan penghubung kolaborasi lintas disiplin. Dengan demikian, regenerasi tidak hanya bersifat klinis atau mekanis semata, melainkan holistik karena menghubungkan kesehatan manusia, kualitas lingkungan, serta pembelajaran sosial dalam satu sistem yang berkelanjutan.

Sebagai penjabaran konkret dari pendekatan ini, berikut disajikan diagram alur ruang pengolahan limbah medis dan hasil konversinya yang merepresentasikan bagaimana sistem regeneratif diterapkan dalam perancangan ruang dan proses operasional bangunan.

Diagram Alur Ruang Pengolahan Limbah Medis dan Hasilnya

Sebagai bagian utama dari pendekatan regeneratif, sistem pengolahan limbah proyek ini dirancang tidak hanya untuk mengelola limbah dengan aman, tetapi juga untuk mengubahnya menjadi sumber daya yang bermanfaat. Proses ini menggabungkan prinsip keberlanjutan, efisiensi teknologi, dan sirkularitas material. Limbah yang dihasilkan dari aktivitas laboratorium, jaringan buatan, dan kegiatan medis lainnya pertama dipilah berdasarkan jenis dan sifatnya sebelum memasuki jalur pengolahan yang spesifik. Ketiga jenis limbah utama yang ditangani dalam sistem ini mencakup limbah biologis, limbah kimia, dan limbah plastik medis.



Gambar 8. Diagram Alur Ruang Pengolahan Limbah Medis pada Perancangan dan Hasil Olahannya

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Pada diagram ditunjukkan bahwa limbah biologis yang berasal dari jaringan dan sel hasil aktivitas pengolahan *bioengineering* dikelompokkan menjadi tiga macam yaitu infeksius, padat, dan cair. Limbah infeksius setelah dikumpulkan kemudian disterilkan dengan *autoclave*, kemudian disimpan dalam bentuk steril untuk diserahkan kepada pihak ketiga sebagai bahan campuran konstruksi. Pengiriman ke pihak ketiga ini didasari oleh pengolahan menjadi bahan bangunan dibutuhkan keahlian dan fasilitas khusus untuk diolah sesuai regulasi serta hasil pengolahannya bukanlah hasil yang langsung bisa digunakan pada bangunan. Limbah padat diolah melalui fermentasi anaerob untuk menghasilkan pupuk organik, sedangkan limbah cair diproses dalam bioreaktor anaerob guna menghasilkan metana dan air olahan.

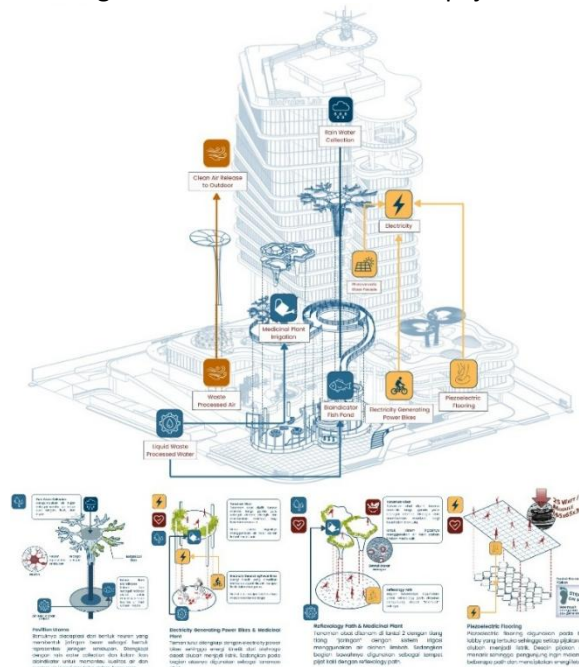
Limbah kimia yang berasal dari reagen dan pelarut laboratorium, juga dipisahkan menjadi cair, padat, dan gas. Setiap jenis limbah kimia ini melewati proses netralisasi atau inertisasi untuk meminimalisasi dampaknya dengan gas yang dihasilkan difilter melalui sistem ventilasi dan *scrubber* sebelum dilepaskan atau dimanfaatkan sebagai udara bersih. Sementara itu, limbah plastik medis yang bersifat infeksius maupun kimiawi diproses melalui *autoclave* dan netralisasi kimia, kemudian dikirim ke ruang penyimpanan sebelum akhirnya didaur ulang oleh pihak ketiga menjadi produk plastik baru.

Sistem ini mendukung strategi *carbon positive* dengan memanfaatkan kembali limbah sebagai sumber daya. Udara bersih yang dihasilkan dari proses pengolahan gas kemudian disalurkan ke luar bangunan melalui sistem *air purifier architecture* yang terdiri atas APT, HEPA filter, dan komponen penyaring lainnya.

Seluruh hasil olahan yang meliputi air, panas, dan metana tidak hanya disalurkan untuk keperluan internal bangunan seperti toilet dan irigasi, tetapi juga digunakan dalam area taman proyek yaitu *Outdoor Learning Garden* sebagai bagian dari ekosistem pembelajaran regeneratif. Di taman ini, kompos digunakan untuk menyuburkan tanaman, air daur ulang digunakan untuk penyiraman, dan panel surya bekerja bersama metana untuk mencukupi kebutuhan energi. Dengan demikian, hasil pengolahan limbah tidak berakhir sebagai limbah akhir, tetapi justru menjadi komponen aktif dalam edukasi dan keberlanjutan.

Outdoor Learning Garden sebagai Sarana Edukasi dan Penerima Hasil Olahan Limbah

Penerapan prinsip arsitektur regeneratif pada proyek ini berfokus pada integrasi sistem pengolahan limbah sebagai elemen arsitektural yang mendukung keberlanjutan. Sistem ini mencakup pemanfaatan air hujan, kolam ikan bioindikator, tanaman obat, jalur refleksologi, dan lantai *piezoelectric* untuk menghasilkan listrik dari aktivitas pejalan kaki.



Gambar 9. Desain dan Penerapan Hasil Olahan Limbah Medis pada Arsitektur *Edu Learning Garden*

Sumber: Olahan Penulis, 2025

Paviliun Neuron

Salah satu inovasi utama pada taman ini adalah paviliun berbentuk neuron. Bentuk ini diambil untuk menggambarkan jaringan kehidupan sekaligus menjadi sistem regeneratif pada proyek.

Struktur ini dilengkapi dengan sistem pengumpulan air hujan yang dimanfaatkan sebagai sumber irigasi tanaman. Bentuknya yang unik dan ikonik juga dirancang untuk menarik minat masyarakat agar berkunjung dan berinteraksi di dalam bangunan

Kolam Ikan Bioindikator

Kolam ini berperan penting dalam memantau kualitas air limbah yang telah diolah. Keberadaan ikan di dalam kolam memberikan indikator visual terhadap tingkat keamanan dan kualitas air sebelum digunakan kembali. Kehadiran paviliun ini tidak hanya menekankan keberlanjutan, tetapi juga menciptakan hubungan simbolis antara sains dan arsitektur sebagai perwujudan kehidupan.

Jalur Refleksologi dan Tanaman Obat

Jalur refleksologi dirancang dengan memanfaatkan sistem irigasi dari hasil olahan limbah. Selain menjadi bagian dari sistem regeneratif, jalur ini juga memberikan manfaat kesehatan bagi pengguna melalui stimulasi titik refleksi pada kaki. Tanaman obat yang ditanam di atas memiliki fungsi ganda, yaitu sebagai elemen ekologis yang membantu penyaringan udara dan meningkatkan kualitas lingkungan sekitar, serta memberikan dampak positif bagi kesehatan manusia. Tanaman-tanaman ini turut dapat menjadi sarana edukasi bagi pengunjung akan tanaman-tanaman yang berguna bagi kesehatan. Sistem irigasi tanaman ini menggunakan air olahan dari sistem limbah bangunan.

Lantai Piezoelectric

Lantai *piezoelectric* dirancang untuk mengonversi energi kinetik dari langkah kaki pengunjung menjadi listrik. Teknologi ini diterapkan di area dengan aktivitas tinggi seperti lobby, sehingga mampu menghasilkan listrik yang dapat digunakan untuk mendukung kebutuhan energi bangunan. Selain efisiensi energi, lantai ini juga menjadi simbol inovasi yang menggabungkan desain modern dengan prinsip keberlanjutan.

Sepeda Statis Penghasil Listrik

Outdoor Learning Garden ini turut dilengkapi dengan sepeda penghasil listrik yang memanfaatkan energi kinetik dari aktivitas pengguna untuk menghasilkan listrik. Energi ini disalurkan untuk mendukung kebutuhan energi bangunan. Selain itu, area sepeda ini juga digunakan untuk aktivitas komunitas yang memperkuat keterlibatan masyarakat dalam sistem regeneratif. Kehadiran sepeda statis ini turut menjadi sarana olahraga bagi pengunjung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Permasalahan utama yang melatarbelakangi perancangan ini adalah keterbatasan fasilitas riset dan penyimpanan jaringan tubuh di Indonesia. Banyak jaringan hasil operasi terbuang sebagai limbah medis karena tidak adanya sistem penyimpanan dan pemrosesan yang memadai, padahal jaringan tersebut memiliki potensi besar untuk didaur ulang sebagai *biomaterial* atau digunakan kembali dalam terapi regeneratif. Selain itu, kebutuhan masyarakat terhadap jaringan dan organ juga terus meningkat akibat tingginya kasus gagal organ dan minimnya donor yang tersedia sehingga menciptakan ketimpangan besar antara permintaan dan ketersediaan. Di sisi lain, sektor kesehatan juga menjadi kontributor signifikan terhadap krisis lingkungan melalui produksi limbah medis yang sulit terurai dan konsumsi energi yang tinggi. Saat ini, sebagian besar fasilitas kesehatan di Indonesia belum memiliki sistem pengolahan limbah yang ramah lingkungan, sehingga limbah biologis, kimia, dan plastik medis seringkali dibuang tanpa proses yang aman dan memperparah pencemaran lingkungan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, fasilitas ini dirancang dengan pendekatan arsitektur regeneratif yang mengintegrasikan sistem pengolahan limbah medis berbasis sirkularitas,

pemanfaatan kembali sumber daya seperti air dan energi hasil olahan limbah, serta penggunaan material dan teknologi yang ramah lingkungan. Struktur dan bentuk bangunan turut terinspirasi dari bentuk biologis seperti jaringan sel, pembuluh darah, dan struktur mikroskopis organ tubuh untuk menciptakan ekspresi arsitektur yang menyampaikan pesan ilmiah dan biologis. Massa bangunan dirancang menyerupai sel yang saling terhubung dengan sirkulasi internal yang mendistribusikan fungsi ruang secara efisien. Fasilitas ini tidak hanya menjadi pusat riset dan produksi organ buatan, tetapi juga berfungsi sebagai ruang edukasi dan kolaborasi yang mendukung keberlanjutan ekologis, fungsional, dan konseptual. Lokasinya yang strategis di Salemba yang dekat dengan rumah sakit memperkuat perannya dalam sistem distribusi jaringan dan memperkuat sistem kesehatan nasional secara ekologis dan fungsional.

Saran

Penelitian ini membuka peluang untuk studi lanjutan yang lebih mendalam terkait integrasi sistem biologis dan teknologi dalam arsitektur kesehatan regeneratif. Selain itu, desain lanjutan dapat memperluas skala fasilitas ini menjadi bagian dari jaringan riset nasional dengan pendekatan desentralisasi, di mana setiap kota besar dapat memiliki unit riset regeneratif yang terhubung secara digital dan logistik. Dari sisi arsitektur, pengembangan tipologi bangunan riset yang lebih modular dan adaptif terhadap perubahan kebutuhan medis juga dapat menjadi objek kajian, termasuk bagaimana sistem pengolahan limbah medis dapat diterapkan pada fasilitas skala kecil hingga menengah. Studi lebih lanjut juga bisa mengkaji bagaimana ruang publik, edukasi, dan komunitas dapat diintegrasikan secara aktif ke dalam sistem regeneratif bangunan, sehingga tercipta lingkungan belajar yang lebih terbuka kepada masyarakat.

REFERENSI

- Atala, A., & Murphy, S. V. (2015). Regenerative Medicine. *JAMA The Journal of the American Medical Association*, 1263-1270.
- Chen, H., & Pang, T. (2015). A call for global governance of biobanks. *Bull World Health Organ*, 113-117.
- Fahmy, A., Abdou, A., & Ghoneem, M. (2019). Regenerative Architecture as a Paradigm for Enhancing the Urban Environment. *Port-Said Engineering Research Journal*, 11-19.
- Intarti, W. D., Khan, M. U., & Maretalinia. (2024). The Literature and Policy Review of the Implementation of Green Hospital Concept in Indonesia. *Thrive Health Science Journal*, 36-46.
- Jaiswal, A. N., & Vagga, A. (2022, November). Cryopreservation: A Review Article.
- Lyle, J. T. (1996). *Regenerative Design for Sustainable Development*. John Wiley & Sons.
- Mang, P., & Reed, B. (2012). Designing from place: a regenerative framework and methodology. *Building Research & Information*, 23-38.
- Murphy, S. V., & Atala, A. (2014). 3D Bioprinting of Tissues and Organs. *Nature Biotechnology*, 773-785.
- Naboni, E., & Havinga, L. (2019). *Regenerative Design In Digital Practice. A Handbook for the Built Environment*. Bolzano: Eurac Research.
- Organization, W. H. (2022). *Global analysis of healthcare waste in the context of COVID-19*.
- Roux, J., Zeghidi, M., Villar, S., & Kozlakidis, Z. (2021). Biosafety and biobanking: Current understanding and knowledge gaps. *Biosaf Health*, 244-248.
- Zhongboyu, J., Yuanrong, L., Kang, Y., Linxiang, L., Jianzhong, F., Xinhua, Y., . . . Yong, H. (2021). 3D Printing of Physical Organ Models: Recent Developments and Challenges. *Advanced Science*.