

**REKAYASA JARINGAN:
HARAPAN TERAPI REGENERATIF BIOMEDIS
MASA DEPAN**



**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar pada
Fakultas Kedokteran Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada**

**Diucapkan di depan Rapat Terbuka Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada
pada tanggal 29 Desember 2022
di Yogyakarta**

**oleh:
Prof. drg. Ika Dewi Ana, M.Kes., PhD.**

Assalaamualaikum warahmatullahi wabarakatuh.

*Yang saya hormati,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat Universitas Gadjah Mada
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik Universitas Gadjah Mada
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Gadjah Mada
Para Guru Besar Universitas Gadjah Mada
Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Kedokteran Gigi serta Para Dekan dan Wakil Dekan di
Lingkungan Universitas Gadjah Mada
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada
Para Guru Besar Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada
Saudara-saudaraku di Departemen Biomedika Kedokteran Gigi
Teman Sejawat Dosen Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada
Seluruh Civitas Akademika Universitas Gadjah Mada yang hadir pada kesempatan ini
Para Guru, Kyai, dan Nyai, Murid-murid serta seluruh Tamu Undangan baik yang hadir
secara luring maupun daring, yang berbahagia.*

Bismillahirrahmaanirrahiim. Alhamdulillah Robbil Aalamiin. Puji syukur senantiasa kita panjatkan kepada Allah Ta'la yang telah memberikan ridloNya kepada kita semua sehingga kita dapat bertemu dan berkumpul di kesempatan yang baik dan mulia ini dalam keadaan sehat. Sholawat dan salam semoga tercurahkan kepada Nabi dan junjungan kita yang mulia, Sayyidina Muhammad SollalooHu Alaihi wa Salam beserta seluruh keluarga, para sahabat, dan pengikutnya hingga akhir zaman.

Terima kasih saya sampaikan kepada Majelis Wali Amanat, Rektor dan seluruh jajaran pimpinan universitas, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Senat Fakultas Kedokteran Gigi, serta Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan kesempatan kepada saya untuk mendapatkan amanah sebagai Guru Besar Bidang Biomedika Kedokteran Gigi, menyampaikan pidato, dan menjalankan prosesi pengukuhan pada hari ini Kamis, 29 Desember 2022.

Pada kesempatan ini saya hendak menyampaikan pidato berjudul “Rekayasa Jaringan: Harapan Terapi Regeneratif Biomedis Masa Depan” yang antara lain berisi konteks rekayasa jaringan dalam bidang biomedika, kedokteran, dan kedokteran gigi, teknologi-teknologi yang berkembang untuk meningkatkan kinerja rekayasa jaringan, perspektif ke depan, hikmah mempelajarinya, serta hal-hal relevan lain yang lebih mendasar terkait rekayasa jaringan agar kita semua dapat memahami dan kemudian dapat memberikan sumbangan pemikiran serta tenaga guna mengembangkan bidang yang dipandang akan bermanfaat membantu meningkatkan kualitas hidup umat manusia.

Hadirin yang saya hormati,

Pendekatan inter, multi, dan lintasdisiplin telah menjadi keharusan. Hal ini karena adanya implikasi perkembangan penyakit yang semakin beragam dan rumit, perkembangan ilmu pengetahuan, serta percepatan yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari. Rekayasa jaringan telah menjadi contoh nyata kerjasama para ilmuwan dari berbagai bidang mulai dari kimia, fisika, biologi, bahkan matematika, kedokteran dan kedokteran gigi, biomedika, farmasi, pertanian, peternakan, kedokteran hewan, hingga teknik (*engineering*), serta tidak menutup kemungkinan (dan telah terbukti) bahwa pendekatan bidang sosial humaniora juga diperlukan untuk pengembangan bidang rekayasa jaringan.

Rekayasa jaringan adalah teknik regenerasi jaringan hidup dengan menggunakan sel hidup yang dibiakkan pada sistem perancah. Berdasar prinsip ilmu biomedika dapat dijelaskan bahwa jaringan tubuh manusia terdiri atas sel dan matriks ekstraseluler (MES). Saat terjadi perlukaan, kerusakan, atau kehilangan jaringan, tubuh memerlukan sistem pengganti MES yang akan berfungsi menopang jaringan yang tersisa (tidak rusak, hilang, atau mengalami kematian), menyediakan biomolekul dan lingkungan mikro yang sesuai aslinya, serta memacu perbaikan dan penyembuhan jaringan. Sistem pengganti MES disebut sebagai perancah. Perancah merupakan sistem MES sintetis yang berfungsi menjadi lingkungan mikro bagi sel untuk meregenerasi struktur dan fungsi jaringan. Perancah tersebut dapat bekerja sendirian maupun bersinergi dengan sel atau biomolekul lain.

Pada titik saat rekayasa jaringan harus menyediakan lingkungan mikro yang sesuai jaringan asli tubuh manusia tersebut, saat itu pula rekayasa jaringan telah melibatkan pendekatan keilmuan lain dengan meminjam bidang kimia, fisika, biologi, farmasi, teknik, dan sistem pelepasan terkontrol dalam khazanah sistem penghantaran obat. Rekayasa jaringan juga meminjam pendekatan biofungsionalisasi dan modifikasi permukaan, nanoteknologi, bioteknologi, maupun rekayasa protein, berbagai bidang keteknikan, biologi, dan ilmu material. Bahkan rekayasa jaringan yang awalnya bagian dari biomedika, saat ini telah menjangkau pendekatan pemodelan dengan sistem mikrofluida dan keping elektronik (*chip*), yang ditujukan untuk mengembangkan riset-riset translasional agar pemodelan dan pengujian rekayasa jaringan menyerupai kondisi fisiologis pada sistem tubuh manusia yang rumit dan kompleks, yang tidak dapat dipenuhi baik oleh penggunaan sel maupun hewan coba.

Pelajaran singkat tersebut menegaskan pada kita bahwa sebenarnya saat ini sudah tidak relevan memperbincangkan dan memperdebatkan keilmuan secara fragmental, terpisah-pisah, dan terpecah-pecah. Perkembangan pengetahuan sungguh terintegrasi, berhubungan satu dengan lain, dan lengkap. Lebih jauh lagi, sebenarnya dengan mempelajari rekayasa jaringan, maka perkembangan ilmu saat ini dan yang akan datang bahkan memerlukan tidak saja metode *bayani* yang berwujud otoritas teks dan logika atau *burhani* (induksi, deduksi, abduksi, simbol-simbol, proses, dan lain sebagainya) semata, melainkan juga memerlukan metode *irfani* yang bertumpu pada instrumen pengalaman batin, kehadiran hati dengan mengingat Sang Pencipta terus-menerus (*dzawaaq*), sanubari (*qalb*), ungkapan lisan dari perasaan (*wijdan*), kekuatan manusia yang mampu menggerakkan jasmani dan ruhani

(*bashirah*), serta intuisi. Marie Sklowdowska Curie, contohnya, terbukti menyumbangkan penemuan penting dalam pengembangan radioaktif tidak saja menggunakan indra atau akal semata, tetapi juga sanubari yang diasah melalui perjuangan batin (*mujahadah*) dan laku prihatin (*riyadlah*). Begitu juga dengan banyak ilmuwan lainnya, seperti Imam Al Ghazali yang keahliannya dalam bidang bedah, anatomi, dan fisiologi diakui dunia.

Hadirin yang saya hormati,

Robert Langer dan Joseph Vacanti sebagai orang tua kandung rekayasa jaringan mengemukakan bahwa rekayasa jaringan merupakan suatu bidang keilmuan inter dan lintasdisipliner yang menerapkan prinsip-prinsip rekayasa dan biologi untuk penggantian jaringan yang rusak secara fungsional (Langer dan Vacanti, 1993). Untuk rekayasa tulang rawan (kartilago), misalnya, sel kondrosit dibiakkan pada sistem perancah berpori dari serat polimer yang telah dikembangkan menyerupai jaringan target.

Istilah rekayasa jaringan sendiri mulai dikenal publik ketika pada tahun 1997 BBC menayangkan film dokumenter tentang “Vacanti Mouse”, yaitu tikus bertelinga manusia, yang diadopsi dari publikasi Cao dkk. (1997). Sejak saat itu istilah rekayasa jaringan dikenal masyarakat luas setelah mereka menyaksikan seekor tikus yang di punggungnya tumbuh jaringan tulang rawan berbentuk telinga manusia. Sejak saat itu pula harapan manusia akan adanya “toko onderdil tubuh” bersemi dan berkembang.

Sebenarnya, deskripsi dan pengetahuan tentang rekayasa jaringan ditemukan dalam penciptaan manusia, Nabi Adam AS (QS.Al-Baqarah ayat 30 - 38 dan dan QS Al-A`raaf ayat 11-25), saat ruh ditiupkan (QS. Shaad ayat 72) pada Nabi Adam A.S. dan saat istri Nabi Adam diciptakan dari tulang rusuknya (Perjanjian Lama, Kitab Kejadian II ayat 21-22). Dari sana khazanah tentang rekayasa jaringan yang luas masih banyak yang tersimpan sebagai rahasia dan sampai saat ini belum mampu diungkap oleh manusia. Kita tidak mengetahui butuh waktu berapa lama untuk menyingkapnya. Kita hanya tahu bahwa untuk mempelajarinya diperlukan ketundukan total pada Sang Pencipta agar dapat diperoleh sedikit saja pengetahuan baru tentang rekayasa dan regenerasi jaringan.

Dalam kehidupan sehari-hari, sebagaimana banyak disebut dalam beberapa literatur, rekayasa jaringan memiliki sejarah panjang. Lukisan berjudul “The Healing of Justinian by Saint Damian and Saint Cosmos” (1438-1440) karya Fra Angelico di Museum San Marco di Florence, Italia, dapat dirujuk sebagai referensi historis pertama tentang rekayasa jaringan (Vacanti, 2006). Lukisan tersebut menggambarkan Santa Damian dan Santa Cosmos sedang mentransplantasikan tungkai seorang tentara yang terluka. Hal ini menyiratkan harapan besar keberhasilan penggantian jaringan untuk menolong orang-orang yang kehilangan bagian tubuhnya.

Sejarah juga mencatat mitologi Yunani tentang Prometheus, yang ditulis oleh Hesoid dalam buku “Theogony”. Dikisahkan Prometheus mencuri api keabadian Zeus untuk diberikan pada manusia. Karena kesalahannya, Prometheus dihukum di antara batu besar di

wilayah Kaukasus. Organ hatinya dimakan burung elang, tetapi setiap malam organ hati tersebut tumbuh kembali untuk dimakan elang yang sama keesokan harinya. Dalam kisah tersebut, terbersit imajinasi manusia tentang pemulihan organ hati yang dapat berlangsung terus-menerus. Legenda dan mitos, serta cerita-cerita yang awalnya berupa fiksi, mendorong manusia untuk menemukan pengetahuan baru. Protesa dan organ buatan muncul dan mulai digunakan untuk mengganti gigi-geligi dan bagian tubuh lainnya sehingga mampu mengembalikan sebagian fungsi. Konsep tentang penggantian jaringan tubuh yang hilang dengan jaringan tubuh yang lain pun muncul kemudian hari. Pada abad ke-16, Tagliacozzi, dari Bolonia (Italia) melaporkan hasil kerjanya dalam tulisan “Decusorum Chirurgia per Insitionem”. Tagliacozzi melaporkan rekonstruksi hidung yang dilakukannya dengan menggunakan *flap* (cangkok jaringan) lengan bawah.

Dari sudut pandang ilmu biomedika, tubuh manusia merupakan suatu komposit atau sistem hibrida yang terdiri atas material anorganik dan organik yang berinteraksi dengan biomolekul, protein, serta sel-sel yang kompleks. Bila terjadi luka, kerusakan, kehilangan, atau abnormalitas pada jaringan tubuh manusia, maka upaya yang dapat dilakukan adalah mengganti jaringan rusak tersebut dengan suatu konstruksi yang menyerupai bahkan identik (baik struktur maupun fungsinya) dengan jaringan asli. Pada titik inilah rekayasa jaringan memainkan peranan penting dalam perkembangan terapi regeneratif bidang kedokteran, kedokteran gigi, dan biomedika secara umum.

Mari kita juga belajar dari sistem cerdas tubuh manusia. Organisasi tubuh manusia terdiri atas aspek struktur, fungsi, koordinasi, serta sistem perkembangan dan pertumbuhan. Jika respon inang-imun gagal melindungi sistem tubuh, maka perubahan ke arah patologis akan terjadi. Kegagalan tersebut terjadi karena trauma fisik (misalnya kecelakaan), trauma kimiawi (seperti paparan bahan kimia dan radioaktif), penyakit yang menyerang sistem imunitas tubuh, ataupun penyakit-penyakit degeneratif seperti penyakit gula, kanker, dan kegagalan fungsi organ. Pada awalnya, sistem cerdas tubuh kita masih dapat toleran dan memiliki daya pengontrol proses perbaikan, penyembuhan, dan regenerasi jaringan. Namun pada kondisi berat atau kritis, tubuh manusia memerlukan bantuan. Terapi regeneratif biomedis dengan pendekatan rekayasa jaringan berperan penting “memberikan bantuan” berupa lingkungan mikro yang memuat kode-kode biologis untuk mengingatkan sel-sel dan sistem tubuh mengendalikan peradangan, dan mengarahkan proses perbaikan struktur, arsitektur, dan fungsi menuju penyembuhan dan regenerasi jaringan.

Konsep rekayasa jaringan yang diperkenalkan sejak awal oleh Langer dan Vacanti (1993) memiliki unsur perancah, biomolekul signal, dan sel yang saling berinteraksi untuk meregenerasi jaringan sekaligus menjadi struktur penopang dan lingkungan mikro yang tepat bagi proses regenerasi jaringan. Konsep terbaru rekayasa jaringan juga melibatkan sistem pengaturan dan pemrograman kembali pada tingkat intraseluler. Dalam perkembangannya, berbagai macam perancah telah banyak didesain, diciptakan, digunakan, dan terus dikembangkan untuk menyediakan sistem penopang dan lingkungan mikro yang sesuai aslinya.

Paradigma rekayasa jaringan didasarkan pada konsep bahwa semua organisme, termasuk manusia, mampu meregenerasi jaringan tubuhnya yang mengalami kerusakan. Pada hewan yang memiliki orde lebih rendah daripada manusia seperti pada cicak dan kadal, fungsi regeneratif tersebut memiliki kapasitas yang berbeda. Tanpa dibantu adanya perancah, cicak dan kadal dapat memperbaiki, menumbuhkan kembali, atau meregenerasi ekor, kaki, atau bagian tubuh lainnya yang rusak, terpotong, atau hilang. Sedangkan manusia, yang sistem tubuhnya lebih kompleks, memerlukan rekayasa jaringan untuk membantu proses regenerasi.

Kemampuan regenerasi jaringan tersebut diperantarai proses yang berlangsung pada tingkat molekuler serta dipandu dan diarahkan oleh program ekspresi gen spesifik yang mengontrol pembaruan, restorasi, dan pertumbuhan (Gaharwar dkk., 2020). Kemajuan terkini dalam rekayasa jaringan memungkinkan potensi regeneratif bawaan yang terdapat dalam tubuh dibangkitkan untuk menghasilkan struktur jaringan yang kompleks dengan menggunakan atau dikombinasikan dengan biomaterial yang dirancang, dipabrikasi, dan direkayasa sedemikian rupa agar sesuai, bahkan identik, dengan jaringan aslinya.

Di bidang rekayasa jaringan, sejak konsep ini diperkenalkan oleh Langer dan Vacanti pada tahun 1993 (Langer dan Vacanti, 1993), berbagai perancah dengan karakteristik biofisik dan biokimia yang sesuai dengan MES asli telah dikembangkan. Teknologi terbaru juga membawa kemajuan, misalnya dalam kontrol regenerasi jaringan menggunakan pengaturan signal ekstraseluler dan pemrograman ulang intraseluler (Srivastava dan De Witt, 2016). Tantangan utama dalam pengembangan perancah untuk rekayasa jaringan adalah kemampuan perancah tersebut agar mampu berinteraksi dengan lingkungan biologis. Oleh karena itu, pengembangan perancah hibrida sangat penting karena biomaterial secara individual atau sendiri-sendiri tidak dapat memenuhi kebutuhan multifaktor dan multifungsi jaringan untuk beregenerasi.

Di Indonesia, sejak tahun 2014, dokter gigi dan ahli bedah mulut telah menerapkan cangkok tulang karbonat apatit (CHA) hasil hibridisasi gelatin dan biokeramik CHA yang disintesis melalui metode presipitasi basah (Ana dkk., 2018; Ana, 2019). Aplikasinya menggunakan pendekatan rekayasa jaringan. Sistem hibrida CHA dari cangkang siput (*Pila ampullacea*) dengan PVA dan kitosan juga telah dikembangkan baru-baru ini (Januariyasa dkk., 2020). Kombinasi apatit dari cangkang kerang abalon (*Haliotis asinina*) dengan lilin sarang lebah (Sari dkk., 2021) juga dikembangkan. Bahkan kombinasi apatit dari cangkang kerang mutiara (*Pinctada maxima*), polimer, dan putih telur juga telah dikembangkan untuk meningkatkan kinerja antibakteri suatu perancah (Patty dkk., 2022) pada rekayasa jaringan tulang.

Pengembangan biokeramik untuk perancah dalam rekayasa jaringan tulang telah diteliti secara luas dan intensif. Dalam beberapa aplikasi, perancah bertindak sebagai pembawa faktor aktif biologis seperti faktor pertumbuhan (Shimono dkk., 2010), sel dan molekul yang disekresikannya (Ottensmeyer dkk., 2018), berbagai jenis protein (Treasure, 2010), bahan alami seperti ekstrak herbal (Dewi dkk., 2016), dan obat-obatan (Winkler dkk., 2006) agar tidak saja mempercepat penyembuhan dan perbaikan jaringan tetapi juga berdaya antibakteri

untuk perbaikan luka tulang yang terinfeksi (Wang dkk., 2019). Dalam bidang kedokteran gigi misalnya, banyak upaya yang telah dilakukan terkait penggunaan perancah untuk rekayasa jaringan tulang alveolar, misalnya dengan pengembangan strip periodontal dan membran untuk regenerasi jaringan saraf (Patriati dkk., 2016; Ardhani dkk., 2020) termasuk perancah untuk terapi menggunakan sel punca berbasis membran kalsium karbonat (Mahanani dkk., 2017).

Belakangan ini Ana dkk. (2022) mengembangkan sistem perancah berdaya antibakteri dengan meniru proses oksigenasi spesies untuk memerangi pathogen yang masuk ke dalam tubuh. Ana dkk. (2022) mengembangkan perancah hibrida yang diproses dengan penambahan peroksida guna mengatasi kondisi infeksi, yang sering dijumpai pada penyakit-penyakit kronis, yang tidak memungkinkan perancah bekerja optimal untuk menumbuhkan dan memperbaiki jaringan baru (regenerasi). Dengan begitu, tanpa penggunaan antibiotik, daerah terinfeksi tetap dapat mengalami perbaikan jaringan dengan baik. Ana dkk. (2021), Suharta dkk. (2021), serta Amsar dkk. (2022) juga telah mengembangkan alternatif pemakaian produk sel punca yaitu eksosom baik yang berasal dari sel punca mesenkhimal maupun nanopartikel eksosom dari tumbuhan untuk rekayasa jaringan. Sistem penghantaran obat dan pengembangan ajuvan vaksin berbasis kombinasi CHA dengan protein (Anggraeni dkk., 2022) juga telah dikembangkan, menjadi hasil ikutan yang akan menunjang keberhasilan rekayasa jaringan melalui rekayasa intraseluler (Anggraeni dkk., 2022).

Rektor dan segenap jajaran Pimpinan Universitas, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Civitas Akademika UGM, dan Seluruh Tamu Undangan yang Berbahagia,

Di masa yang akan datang, diperkirakan pendekatan seperti biofabrikasi, rekayasa permukaan, nanoteknologi, serta hibridisasi dengan protein dan sel akan mengalami percepatan untuk menghasilkan sistem perancah rekayasa jaringan yang mampu melakukan pengaturan signal di dalam maupun dari luar sel. Perkembangan penyakit yang dinamis dan tidak dapat diprediksi memerlukan kecepatan dan kecermatan dalam melakukan riset-riset serta inovasi-inovasi dalam bidang rekayasa jaringan, dan yang lebih luas lagi biomedika. Tidak mustahil akan terjadi akselerasi untuk menemukan prinsip rekayasa jaringan yang diaplikasikan dalam skrining terapi dan piranti diagnostik maju untuk mengatasi penyakit-penyakit yang disebabkan oleh virus, seperti yang kita hadapi dengan adanya pandemik SARS-Cov2. Saat ini, percobaan tersebut juga tengah berlangsung di Departemen Biomedika Kedokteran Gigi, Universitas Gadjah Mada

Pemanfaatan organ pada sebuah chip mikrofluida juga mendorong agar pengetahuan dasar tentang rekayasa jaringan, biomedika, dan sistem biologis dikuasai dengan baik sehingga inovasi yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan di klinik dan aman untuk diterapkan pada manusia. Di masa datang diperkirakan juga bahwa interaksi antara teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dengan pengembangan rekayasa jaringan akan semakin terbuka. Untuk itu, di samping penguasaan atas ilmu dasar rekayasa jaringan dan sistem biologis yang diaplikasikan dalam bidang biomedika dan kesehatan kedokteran, pemahaman tentang etika yang relevan dengan rekayasa jaringan dan ilmu biomedika juga diperlukan.

Lebih jauh lagi, dari sudut pandang biomedika kedokteran gigi, diperkirakan sistem dalam rongga mulut manusia akan berperan penting di masa depan dalam kaitannya tidak saja dengan diagnosis penyakit dengan menggunakan saliva seperti yang selama ini telah dikembangkan, melainkan juga dalam memprogram kondisi intrasel menuju perbaikan dan regenerasi jaringan. Di samping karena mukosa mulut dikenal sebagai bagian tubuh yang paling terbuka terhadap berbagai mikroba, patogen, dan partikel lingkungan serta memerlukan kekebalan lokal spesifik yang tinggi guna menapis dan melindungi sistem tubuh dari gangguan dan terjadinya penyakit, mukosa rongga mulut juga memiliki jumlah sel Langerhans yang lebih tinggi daripada yang ditemukan pada lapisan kulit. Dilaporkan terdapat 3,7 kali lipat jumlah sel imun limfosit T pada permukaan dalam pipi dibandingkan dengan pada permukaan kulit (Creighton dkk., 2019). Selain itu, ditemukan bahwa permukaan dalam rongga mulut memiliki jumlah sel dendritik pengolah sistem kekebalan tubuh yang lebih banyak daripada permukaan dalam rongga hidung (Reinartz dkk., 2016). Rongga mulut dipandang berpotensi sebagai pintu terapi regeneratif biomedis masa depan. Signal atau kode-kode biologis dapat dikirim melalui rongga mulut tanpa rintangan menuju sel pengolah respon kekebalan, mengubah kutub sel makrofag yang mengontrol peradangan, kemudian merekayasa proses dalam sel yang dapat memacu perbaikan, penyembuhan, dan regenerasi jaringan pada tubuh manusia.

Masih terbentang pengetahuan luas yang harus dituliskan secara mendasar dan mendalam tentang rekayasa jaringan sebagai pintu untuk mengembangkan terapi regeneratif biomedis di masa depan. Aspek-aspek dasar dan mendalam tentang rekayasa jaringan masih banyak yang belum terungkap. Sistem cerdas tubuh manusia perlu digali dan dipelajari lebih jauh untuk menjadi dasar pengetahuan yang dapat disumbangkan bagi kesejahteraan umat manusia. Para mahasiswa, peneliti, dan akademisi yang tertarik untuk mendalami, mempelajari, dan mengembangkan inovasi dalam bidang rekayasa jaringan di samping harus mampu menguasai prinsip-prinsip dasar dalam ilmu pengetahuan seperti kimia, fisika, biologi, dan matematika, juga harus mempelajari dengan baik prinsip-prinsip biomedika, teknik, dan farmasi untuk dapat berkontribusi terhadap ilmu, penemuan baru, dan penerapan rekayasa jaringan di klinik.

Pemahaman tentang etika dan tanggung jawab keilmuan juga diperlukan agar pengembangan ilmu tidak terpisah dari kedudukan manusia di muka bumi yang semata-mata bergantung pada kekuatan Yang Maha Besar dan Maha Berilmu. Untuk itu, adab menuntut ilmu harus mendasari pemahaman atas bacaan-bacaan yang terhampar di alam semesta. Bacaan di alam semesta itu tidak saja menyangkut segi fisik atau lahiriah tentang rekayasa jaringan, tetapi juga sisi batiniah agar seorang pembelajar mampu merundukkan dirinya.

Hadirin yang saya hormati,

Izinkan saya mempertegas beberapa hal sebagai kesimpulan dalam uraian. Paradigma rekayasa jaringan yang terdiri atas perancah, sel, dan kode-kode biologis yang berasal dari biomolekul saat ini telah berkembang sedemikian rupa untuk mengarahkan dan memfasilitasi sistem tubuh manusia yang mengalami kerusakan ataupun gangguan menuju ke perbaikan, penyembuhan, dan regenerasi jaringan. Inovasinya berkembang luas, dan melibatkan berbagai pendekatan keilmuan secara multi, inter, dan lintasdisipliner. Berbagai teknologi seperti biofabrikasi, modifikasi permukaan, nanoteknologi, serta hibridisasi dengan protein dan sel telah dimanfaatkan guna menghasilkan sistem perancah rekayasa jaringan yang mampu mengatur atau melakukan pengaturan signal ekstrasel dan bahkan memprogram faktor-faktor intrasel. Bidang biomedika kedokteran gigi akan memiliki peran signifikan di masa depan, mengingat modulasi signal dan rekayasa program intrasel dapat dilakukan melalui sel-sel dendritik pengolah sistem kekebalan tubuh yang bertebaran di rongga mulut.

Di masa depan diperkirakan akan semakin banyak bidang yang berinteraksi untuk menghasilkan terapi regeneratif biomedis berbasis rekayasa jaringan. Oleh karenanya, pengetahuan dasar tentang rekayasa jaringan mutlak dikuasai oleh generasi muda Indonesia agar tidak tertinggal dan dapat menyumbangkan riset dan inovasinya untuk kesejahteraan umat manusia. Meskipun rekayasa jaringan telah menjadi jawaban atas mimpi-mimpi manusia ratusan tahun sebelumnya yang diceritakan melalui gambar atau lukisan dan dongeng, namun masih tersimpan banyak rahasia yang menanti untuk disingkap dan dimanfaatkan untuk terapi klinis. Rahasia ilmu pengetahuan tersebut tidak mungkin diungkap tanpa pendekatan yang lengkap dan interdisipliner.

Penyebarluasan ilmu pengetahuan tentang biomedika kedokteran gigi yang di dalamnya memuat rekayasa jaringan menjadi penting. Indonesia yang kaya akan sumber daya manusia dan alam yang unggul serta memiliki teknologi yang maju sejak dahulu kala tidak tertinggal oleh bangsa lain. Penyebarluasan ilmu pengetahuan tentang biomedika kedokteran gigi yang memuat pendekatan rekayasa jaringan akan membantu Indonesia mandiri dalam berbagai bidang termasuk bidang kesehatan, serta dapat menyumbangkan manfaat bagi kesejahteraan umat manusia.

Hadirin yang saya hormati,

Sebagai penutup, saya ingin menasihati diri saya sendiri, keluarga dan anak-anak saya, serta murid-murid saya. Nasihat ini saya rumuskan di bawah bimbingan Guru Mursyid saya. *Al Ilm* atau ilmu yang hakiki hanya dapat dijangkau melalui ketundukan dan ketaatan. Berbeda dengan sains, *Al-Ilm* seringkali metode pemerolehannya terlihat tidak jelas, tidak selalu sistematis, bahkan membingungkan karena ia melampaui rasionalitas maupun logika. Pemerolehannya samar-samar, sering mengejutkan, dan bersifat dekonstruktif (merevisi sendi-sendi pengetahuan kognitif sehari-hari yang sudah kita yakini dan kita anggap benar). Saat sains menerapkan batasan-batasan seperti kekayaan intelektual antara lain hak cipta, paten, atau formula-formula yang kemudian dibakukan, ilmu yang hakiki meluas melampaui batasan-batasan tersebut. Ia membentang lahir-batin, utuh-menyeluruh (komprehensif),

menjangkau dan menembus apa pun secara intuitif namun terbimbing. Ia menjadi samudera manfaat dan makrifat.

Tolok ukur yang dipergunakan *Al-Ilm* bukan ukuran-ukuran standar seperti dalam sains, melainkan semata-mata ketaatan, ketundukan, dan kerendahhatian kita. Pada saat kita taat, tunduk, dan rendah hati, akses terhadap kebenaran akan dibuka lebar olehNya, sehingga menjadi terang benderang. Pada saat batin kita taat, tunduk, dan rendah serta lembut hati, maka pada saat itulah ilmu hakikat yang sangat batiniyah datang kepada kita. Itulah sesungguhnya wujud *Al-Ilm* yang telah dijanjikan oleh Dia, Allah Ta'ala, yaitu ilmu manfaat yang menjadi --sebagaimana sabda Nabi-- satu dari tiga hal yang tak terputus oleh kematian. Ia akan terus berkembang menjadi kebaikan yang berbuah kebaikan lain sepanjang waktu, bermanfaat bukan saja bagi yang lain tetapi lebih-lebih bagi diri si empunya ilmu.

Al-Ilm (ilmu hakiki) berawal dan berakhir dengan ketundukan, dengan ketaatan. Ia hanya dapat diakses bila kita *riyadlah*, “diam” menge-nol-kan diri, berserah kepada dzat Maha Penata segalanya. Seperti diam dan taatnya pohon, batu, pasir, air, atom-atom, dan seluruh zarah alam semesta ini, maka segala yang ada di langit dan di bumi ini sesungguhnya adalah zat yang berintelijensia, zat yang cerdas, zat yang taat, tunduk, dan patuh pada kekuatan yang luar biasa: *Laa ilaaha ilallah*. Kita dan mereka semua adalah zat yang olehNya ditiupkan dan dititipi ruh untuk kembali kepadaNya, untuk senantiasa bertasbih kepadaNya. Kita tidak akan berada di ordinat yang benar dan tepat tanpa ketaatan dan ketundukan. Hanya dengan ketaatan dan ketundukan, maka sains yang kita pelajari dan jalankan akan menjadi bagian yang menuntun kepada *Al-Ilm*, mencapai ilmu hakikat yang sesungguhnya, yang sangat batiniyah. Hanya dengan ketaatan dan ketundukan, ilmu pengetahuan yang kita peroleh akan membimbing kita menuju Barokah dan manfaat dalam kehidupan kita. Apa itu Barokah? Barokah adalah bertambahnya kualitas-kualitas kebaikan yang tidak terjelaskan oleh akal namun tertangkap batin. Dan apa itu manfaat? Manfaat adalah apa yang kita miliki – kedudukan, gelar, harta, sains -- menjadi sarana mendekatkan kita kepada Sang Khalik, Pemilik, Penegak, Pemelihara, dan Penguasa Ilmu.

يَا أَيُّهَا النَّفْسُ الْمُطْمَئِنَّةُ ﴿٢٧﴾ ارْجِعِي إِلَىٰ رَبِّكِ رَاضِيَةً مَّرْضِيَّةً ﴿٢٨﴾ فَادْخُلِي فِي عِبَادِي
﴿٢٩﴾
وَادْخُلِي جَنَّاتِي ﴿٣٠﴾

*Wahai jiwa yang tenang, kembalilah kepada Tuhanmu dengan hati yang puas lagi diridhai;
lalu masuklah ke dalam jemaah hamba-hambaKu, dan masuklah ke dalam surgaKu
(QS Al-Fajr: 27-30)*

Seluruh kesempatan dan perjalanan telah ditetapkan oleh Allah Ta'ala dan tidak mungkin berjalan tanpa penataan-Nya. *Laa haula wala quwwata illa billah*. Apa pun yang sudah Allah tetapkan, kita manusia tidak dapat menghalangi. Begitu pun jika Allah tidak menghendaki, apapun usaha kita tidak akan dapat mewujudkannya.

Terima kasih saya tujukan kepada keluarga besar Pondok Pesantren Baiturrohmah, di suatu kota di Jawa Timur yang telah mengizinkan saya mendapatkan bimbingan rohani secara formal untuk memahami hakikat *Al Ilm*. Di sini hadir Ibu Nyai Syamsiyah, Putrinda dari Abah As Syaikh KH Abdul Hayyi Muhyiddin Al Amin pendiri Pondok Pesantren Baiturrohmah yang jasanya sangat besar bagi saya. Beliau Ibu Nyai Syamsiyah juga adalah sahabat Ayah dan Ibunda saya tercinta. Mohon bimbingan selalu, Bu Nyai.

Terima kasih saya sampaikan kepada para guru di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada yang telah membimbing saya. Terima kasih kepada Ketua Senat Fakultas Kedokteran Gigi Prof. Dr. drg. Haryo M. Dipoyono, M.S., SpPros(K) dan Sekretaris Senat Fakultas Kedokteran Gigi Prof. drg. Supriatno, M.Kes., MDSc., PhD. dan seluruh anggota Senat Fakultas Kedokteran Gigi yang telah mendorong, menelaah karya, dan mengarahkan proses kegurubesaran. Terima kasih kepada para guru besar di Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada atas dorongan, arahan, dan bantuan yang diberikan kepada saya. Terima kasih saya sampaikan kepada Dekan drg. Suryono, S.H., M.M., PhD., beserta jajaran Wakil Dekan yang telah mencurahkan waktu, tenaga, pemikiran untuk memimpin kita semua. Juga kepada Prof. drg. Supriatno, M.Kes., MDSc., PhD. dan Prof. drg. Tetiana Haniastuti, M.Kes., PhD. yang telah bersedia memberikan masukan, pandangan dan koreksi, atas naskah pidato ini. Terima kasih juga saya sampaikan kepada saudara-saudara dan kolega saya di Departemen Biomedika Kedokteran Gigi yang tanpa henti menyumbangkan pemikiran, tenaga, dan daya upayanya untuk mengembangkan Departemen Biomedika Kedokteran Gigi. Khusus kepada guru-guru saya drg. Adriana Sudarsono, drg. Suhendriyah, M.Kes., dan Dr. drg. Archadian Nuryanti, M.Kes., terima kasih atas bimbingan dan kesempatan kepada saya sehingga saya dapat mempelajari ilmu biomedika kedokteran gigi dan berada di departemen yang saya cintai dan banggakan. Semoga menjadi amal sholeh tiada putus bagi Ibu-ibu guru saya. Amiiin Yaa Rabbal Aalamiin.

Terima kasih kepada para guru dan mursyid yang telah memberikan pelajaran-pelajaran berharga pada saya. Terima kasih kepada kedua orang tua, Ayahanda Alm. H. Sumali Reksadihardja dan Ibunda Alm. Hj. Mudjimah Nur Adnan yang telah berjuang dan memberikan kasih sayang sepanjang hidupnya kepada saya. Semoga Allah Ta'ala juga senantiasa melimpahkan ampunan, pertolongan, dan welas asihnya kepada beliau berdua. Kepada adik-adik saya Dr. Muhammad Sani Roychansyah dan Dr. Trias Aditya Kurniawan Muhammad beserta keluarga, terima kasih telah senantiasa menemani, menghormati, dan mengasihi kakaknya. Terima kasih tak terhingga saya tujukan kepada Dr. Rahman Hidayat serta kedua anak saya Fadhila Neuritasari Rahman (istri tercinta Muhammad Hafiz Farizi) dan Farrassuha Nafyumi Rahman yang telah memberikan kasih sayang, pengertian, dan pengorbanan. Semoga Allah Ta'ala menjaga dan melindungi kita semua lahir, batin, dunia, dan akhirat hingga yaumil akhir. Amiiin Yaa Rabbal Aalamiin.

Terima kasih kepada Bani Moch Ilyas, dan Bani Moch Adnan, keluarga besar yang senantiasa mengasihi saya. Terima kasih juga saya tujukan kepada Paklik dan Bulik saya dari keluarga besar Pondok Pesantren Miftahul Huda di Rawalo, Banyumas, Pondok Pesantren Al Ihyia Ulumaddin di Kesugihan, Cilacap, Pondok Pesantren Miftahul Huda Al Azhar, di

Citangkolo, Banjar, Pondok Pesantren Al Amien, di Mersi, Purwokerto Wetan, Pondok Pesantren Nurul Falah di Gedad, Banyusoco, Playen, serta Madrasah Diniyah Takmiliah Hidayatul Ummah, Bulusan, Canden, Jetis yang menyempatkan hadir pada hari ini.

Saya masih ingat ketika sejak usia dini secara rutin diantar ayah dan ibu bertemu dan “nyantri” pada kakek buyut saya H. Moch Ilyas. Masih terngiang-ngiang kasih sayang beliau. Di pangkuan beliau (dengan wajah berseri-seri dan penuh kasih), saya diminta untuk menghafal Juz Amma dan saya dilatih untuk menyampaikan sesuatu dengan kata-kata yang jelas dan sederhana, berpikir cepat, dan menyampaikan pendapat dengan sistematis. Kenangan itu senantiasa melintas dalam setiap perjalanan saya, serta membantu saya mengingat “tempat kembali saya”. Hari ini hasil pelatihan beliau yang tegas tapi penuh kasih tersebut juga sedang saya coba terapkan untuk menapak, menempuh, dan melintasi perjalanan berikutnya, meskipun masih jauh dari sempurna. Semoga pelatihan beliau menjadi bekal berharga untuk senantiasa kembali kepadaNya dan untuk beramal sholeh tiada putus di masa depan bagi diri saya, anak keturunan saya, murid-murid saya, dan kita semua. Amiiin Yaa Rabbal Aalamiin.

Terima kasih atas kesempatan, dan kepercayaan yang diberikan oleh Pemerintah, Universitas Gadjah Mada, dan Fakultas Kedokteran Gigi kepada saya untuk mengemban amanah sebagai Guru Besar dalam Bidang Biomedika Kedokteran Gigi. Semoga Allah Ta’ala memberikan kekuatan, menjaga, dan menyelamatkan kita semua lahir batin dunia akhirat. Amiiiiin amiiiiin amiiiiin yaa Mujib as Sailin.

*Wallahul muwafiq ila aqwamith thoriq.
Wassalaamualaikum wr wb.*

Referensi dan Daftar Bacaan

- Amsar RM, Wijaya CH, Ana ID, Wungu TDK, Barlian A. 2022. Extracellular vesicles: A promising cell-free therapy for cartilage repair. *Future Science OA*8(2): FSO774.
- Ana ID, Satria GAP, Dewi AH, Ardhani R. 2018. Bioceramics for clinical application in regenerative dentistry. *Adv Exp Med Biol* 1077: 309-316.
- Ana ID. 2019. Bone substituting materials in dental implantology. Dalam: *Bone Management in Dental Implantology*. Budihardja AS, Mucke T (Eds). Cham. Springer.
- Ana ID, Barlian A, Hidajah AC, Notobroto HB, Wungu TDK, Wijaya CH. 2021. Challenges and strategy in treatment with exosomes for cell-free-based tissue engineering in dentistry. *Future Science OA* 7(10): 20210050.
- Ana ID, Lestari A, Anggraeni R, Lagarrigue P, Tenailleau C, Drouet C. 2022. Safe-by-Design antibacterial peroxide-substituted biomimetic apatites: Proof of concept in tropical dentistry. *J Func Biomater* 13(3): 144.
- Anggraeni R, Ana ID, Agustina D, Martien R. Induction of protein specific antibody by carbonated hydroxy apatite as a candidate for mucosal vaccine adjuvant. 2022. *Dent Mater J* 41(5): 710-723.
- Anggraeni R, Ana ID, Wihadmadyatami H. 2022. Development of mucosal vaccine delivery: an overview on the mucosal vaccines and their adjuvants. *Clin Ex Vaccine Res* 11 (3): 235 – 248.
- Ardhani R, Ana ID, Tabata Y. 2020. Gelatin hydrogel membrane containing carbonate hydroxyapatite for nerve regeneration scaffold. *J Biomed Mater Res A* 108(12): 2491-2503.
- Cao Y, Vacanti JP, Paige KT. 1997. Transplantation of chondrocytes utilizing a polymer-cell construct to produce tissue engineered cartilage in the shape of human ear. *Plast Reconstr Surg* 100: 297-302.
- Creighton RL, Woodrow KA. 2019. Microneedle-Mediated Vaccine Delivery to the Oral Mucosa. *Adv Health Mater* 8(4): 1-17.
- Dewi AH, Ana ID, Jansen JA. 2016. Calcium carbonate hydrogel construct with cinnamaldehyde incorporated to control inflammation during surgical procedure. *J Biomed Mater Res A* 104(3): 768-774.
- Gaharwar AK, Singh I, Khademhosseini A. 2020. Engineered biomaterials for in situ tissue regeneration. *Nat Rev Mater* 5(9): 686-705.

- Januariyasa IK, Ana ID, Yusuf Y. 2020. Nanofibrous poly(vinyl alcohol)/chitosan contained carbonated hydroxyapatite nanoparticles scaffold for bone tissue engineering. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl* 107: 110347.
- Langer R, Vacanti J. 1993. Tissue engineering. *Science* 260: 920-926.
- Mahanani ES, Bachtiar I, Ana ID. 2016. Human mesenchymal stem cells behavior on synthetic coral scaffold. *Key Eng Mater* 696: 205-211.
- Ottensmeyer PF, Witzler M, Schulze M, Tobiasch E. 2018. Small molecules enhance scaffold-based bone grafts via purinergic receptor signaling in stem cells. *Int J Mol Sci* 19(11): 3601.
- Patriati A, Ardhani R, Pranowo HD, Ana ID. 2016. Effect of freeze-thaw treatment to the properties of gelatincarbonated hydroxy apatite membrane for nerve regeneration scaffold. *Key Eng Mater* 696: 129-144.
- Patty DJ, Nugraheni AD, Ana ID, Yusuf Y. 2022. In vitro bioactivity of 3D microstructure hydroxyapatite/collagen based-egg white as an antibacterial agent. *J Biomed Mater Res* 110(6): 1412–1424.
- Reinartz SM, Van Tongeren J, Van Egmond D, De Groot EJJ, Fokkens WJ, Van Drunen CM. 2016. Dendritic cell subsets in oral mucosa of allergic and healthy subjects. *PLoS One* 11(5): 1-10.
- Sari M, Hening P, Chotimah, Ana ID, Yusuf Y. 2021. Porous structure of bioceramics carbonated hydroxyapatite-based honeycomb scaffold for bone tissue engineering. *Mater Today Commun* 26: 102135.
- Shimono K, Oshima M, Arakawa H, Kimura A, Nawachi K, Kuboki T. 2010. The effect of growth factors for bone augmentation to enable dental implant placement: a systematic review. *Jpn Dent Sci Rev* 46(1): 43-53.
- Srivastava D, De Witt N. 2016. In vivo cellular reprogramming: the next generation. *Cell* 166: 1386-1396.
- Suharta S, Barian A, Hidajah CA, Ana ID, Wungu TDK, Wijaya CH. 2021. Plant-derived exosome-like nanoparticles: A concise review on its extraction methods, content, bioactivities, and potential as functional food ingredient. *J Food Sci* 86(7): 2838-2850.
- Treasure T. 2010. The bone less bone graft: the use of bone morphogenic protein-2 in jaw reconstruction. *J Indiana Dent Assoc* 89(2): 25-29.
- Vacanti CA. 2006. The history of tissue engineering. *J Cell Mol Med* 10(3): 569-576.

- Wang D, Liu Y, Liu Y, Yan L, Zaat SAJ, Wismeijer D, Pathak JL, Wu G. 2019. A dual functional bone-defect-filling material with sequential antibacterial and osteoinductive properties for infected bone defect repair. *J Biomed Mater Res A* 107(10): 2360-2370.
- Wang M. 2003. Bioactive materials and processing. Dalam: *Biomaterials and Tissue Engineering*. Shi D (Ed). Berlin. Springer.
- Winkler H, Kaudela K, Stoiber A, Menschik F. 2006. Bone grafts impregnated with antibiotics as a tool for treating infected implants in orthopedic surgery - one stage revision results. *Cell Tissue Bank* 7(4): 319-323.
- Yang R, Wei T, Goldberg H, Wang W, Cullion K, Kohane DS. 2017. Getting drugs across biological barriers. *Adv Mater* 29(37): 10.

Biodata Singkat

Dr. Ika Dewi Ana lahir di Yogyakarta pada tanggal 16 September 1968. Ia saat ini adalah dosen pada Departemen Biomedika Kedokteran Gigi, Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Gadjah Mada (UGM). Ika adalah seorang dokter gigi lulusan UGM, Yogyakarta, Indonesia dan sebelum menjadi dosen sempat berpraktek di Poliklinik Polri Bhayangkara di Yogyakarta (1993-1995). Ia melanjutkan studi Epidemiologi Klinis di Fakultas Kedokteran UGM dan mendapatkan gelar PhD di bidang Ilmu Kedokteran Gigi Regeneratif dari Universitas Kyushu, Jepang, pada tahun 2004.

Setelah menyelesaikan program doktornya, ia menjadi penerima program penelitian JSPS (Japan Society for The Promotion of Science) pada tahun 2005-2007. Ika juga pernah memperoleh dana sebagai peneliti postdoktoral dari KNAW (The Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences) untuk menjalankan kolaborasi penelitian postdoktoral dengan bergabung dalam kelompok penelitian rekayasa jaringan di Radboud Universiteit Nijmegen Medical Center, Belanda pada tahun 2007-2009, dan peneliti tamu di Institute for Frontier Life and Medical Sciences, Kyoto University, Jepang untuk mempelajari pengembangan hidrogel sebagai perancah dan sistem penghantaran biomolekul.

Ada 2 karya penelitiannya berbasis karbonat apatit atau CHA (Cangkok Tulang CHA dan Spons Hemostatik CHA) yang telah terdaftar dan dipasarkan di Indonesia oleh sebuah perusahaan induk universitas dan perusahaan farmasi milik negara di Indonesia. Sedangkan 2 lainnya sedang dalam proses translasi (salah satunya adalah membran untuk operasi dentokraniofasial). Pada 16 Desember 2014, ia menerima penghargaan “Anugerah Kekayaan Intelektual Luar Biasa” dari Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia. Ika juga memperoleh beberapa penghargaan internasional. Tahun 2022 ini Ika memperoleh penghargaan Habibie Prize untuk Bidang Kedokteran dan Bioteknologi dari BRIN dan Yayasan SDM Iptek.

Untuk skema kerjasama internasional, ia terlibat dalam penelitian MSCA-RISE (Marie Skłodowska Curie Action – Research and Innovation Staff Exchange) Horizon 2020 yang didanai oleh Uni Eropa yang bertujuan untuk mengembangkan bahan multifungsi yang inovatif untuk menghasilkan generasi baru implan medis dengan potensi sel instruktif dan antibakteri. Akronim proyek tersebut adalah BioTUNE (<https://biotune.upc.edu/en>). Ia juga merupakan ketua peneliti Southeast Asia (SEA) untuk proyek “MicroLung”, yang didanai melalui skema Joint Science Funding SEA-Europe. Proyek "MicroLung" adalah penelitian yang bertujuan untuk mempersiapkan model rekayasa jaringan dari sawar darah-udara paru. Dengan sistem chip mikofluida yang menyediakan model eksperimental untuk studi terkait mekanisme serangan Covid-19 pada manusia, para peneliti menggunakan "nanopartikel yang meniru SARS-CoV-2" untuk menguji kemampuan nano-CHA sebagai "pemblokir virus dan pembawa obat". Penelitian diharapkan memberikan dasar rute pemberian obat baru serta menguji model rekayasa jaringan yang akan digunakan untuk skrining obat secara cepat.

Saat ini bersama Rahmi Anggraeni yang pernah menjadi bimbingan sebagai mahasiswa doktor, Ika mengembangkan "CHA-Nanopartikel" sebagai adjuvant vaksin. Ia bersama

Gumilang Almas Pratama Satria mengembangkan "CHA-Hemostatic Sponge" untuk bedah umum, dan "CHA-Mesh-Membrane" untuk bedah dentokraniofasial.

Ia menulis buku "Tinjauan Biomedis: Biokeramik dan Rekayasa Jaringan" yang diterbitkan oleh UGM Press. Ia juga terlibat menulis 4 bab buku yang telah diterbitkan oleh Wiley, Spinger Nature, dan Elsevier dalam bidang ilmu biomedis dan rekayasa jaringan. Ia memiliki publikasi-publikasi internasional bereputasi (h-indeks Scopus 12) dan memiliki 8 kekayaan intelektual berupa paten.

Ia saat ini juga memimpin Pusat Kolaborasi Riset Perancah Biomedis yang telah ditetapkan oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai pusat kolaborasi riset nasional bekerjasama dengan Pusat Riset Biomassa dan Bioproduk, Pusat Riset Metalurgi dan Nanomaterial, serta Pusat Riset Teknologi Polimer pada BRIN.