

Bioinformatic & Brain-Computer Interface: AIoT & Society 5.0 **di Kehidupan untuk Teknologi yang Singular**

Muhammad Anandha Fritama*, Aji Prasetya Wibawa

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

*Penulis korespondensi, Surel: muhammad_anandha_fritama@outlook.com

Paper received: 08-03-2022; revised: 13-03-2022; accepted: 27-03-2022

Abstract

The growth of technology is developing rapidly and cannot be controlled or reversed. The "Society 5.0 revolution becomes an ideal concept for various changes in human lifestyle. Notably, developments in the field of science, particularly in biology and medicine, have caused massive growth in bioinformatics and brain-computer interfaces. However, these developments have both positive and negative effects, as technology could become singular with human life, and there is still limited adaptation in Indonesia. This study aims to review the development of technology and the application of bioinformatics, brain-computer interfaces, and AIoT to enhance scientific knowledge and understanding, as well as community acceptance, to accelerate the Society 5.0 revolution in Indonesia. The descriptive analysis method is used to analyze qualitative data collected from sources such as books, journals, articles, and other online sources that discuss the research topic. Content analysis is a way to uncover information from qualitative data in articles and journals. The development of technology aimed at singularity also aims to develop many sciences, such as bioinformatics and brain-computer interfaces, which have already been applied as breakthroughs to solve some difficult or even impossible problems before. Despite its shortcomings, many positive effects can be applied to Indonesian society.

Keywords: bioinformatic; brain-computer interface; society 5.0; aiot; technological singularity

Abstrak

Pertumbuhan teknologi berkembang sangat cepat, tidak bisa dikendalikan maupun dikembalikan. Revolusi *Society 5.0* menjadi konsep yang ideal untuk berbagai perubahan cara hidup manusia. Tidak luput, salah satunya perkembangan pada bidang ilmu sains khususnya biologi juga bidang medis menyebabkan bioinformatika dan antarmuka otak-komputer berkembang secara masif. Namun, perkembangan itu memiliki banyak pengaruh baik secara positif maupun negatif dimana teknologi bisa saja menjadi singular dengan kehidupan dan manusia, juga belum banyaknya adaptasi di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mereview perkembangan teknologi dan pengaplikasian bioinformatika, antarmuka otak-komputer, juga AIoT untuk perkembangan keilmuan dan peningkatan pengetahuan, pemahaman, dan penerimaan pada masyarakat agar percepatan revolusi *society 5.0* di Indonesia semakin baik dan cepat. Metode Deskriptif Analisis digunakan untuk menganalisis data kualitatif yang dikumpulkan dari sumber berupa buku kumpulan jurnal yang dibukukan, jurnal, artikel, dan sumber secara daring lainnya yang membahas topik penelitian. Analisis Isi merupakan cara untuk menguak informasi dari data-data kualitatif di dalam artikel & jurnal. Perkembangan teknologi yang mengarah ke singular juga bertujuan untuk mengembangkan banyak ilmu seperti bioinformatika juga antarmuka otak-komputer sudah banyak diaplikasikan karena menjadi terobosan beberapa masalah yang sulit bahkan tidak mungkin sebelumnya, tidak luput dari kekurangan, banyaknya efek positif dapat diterapkan di kehidupan masyarakat Indonesia.

Kata kunci: bioinformatika; antarmuka otak-komputer; masyarakat 5.0; aiot; teknologi singular

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi tidak dapat ditahan dan dibayangkan. Bahkan pengaruh teknologi yang sangat disruptif menjadi asistive dan mengubah keseharian dan aktivitas manusia saat ini (Majumdar, Banerji, & Chakrabarti, 2018). Manusia selalu berevolusi mulai dari revolusi 1.0 hingga saat ini revolusi industri 4.0 dan berangsur menuju revolusi *society 5.0*.

Berbagai aspek kehidupan terdampak bahkan biologis dari manusia salah satunya bioinformatika yang membuat antarmuka komputer-otak untuk berkomunikasi. Baik komunikasi antar teknologi dengan society, maupu antar manusia, society yang termediasi teknologi saat ini (Deguchi et al., 2020).

Era *society 5.0* merupakan konsep revolusi yang dikembangkan oleh negeri matahari, jepang. Ide ini lahir bukan karena penggunaan massal, penggunaan AIoT, dan perkembangan ruang fisik-cyber, melainkan lahirnya gap kesenjangan sosial dikarenakan pengaplikasian teknologi yang belum secara menyeluruh dan utuh(Deguchi et al., 2020). Konsep ini juga lahir karena menjadi konsep ideal dimana kehidupan cyber-fisik menjadi ruang yang tumbuh secara masif, masyarakat yang berpusat pada manusia, menyeimbangkan produktivitas ekonomi & solusi permasalahan sosial, dimana di Jepang terdapat masalah sosial yang terjadi, seperti populasi yang menua, penurunan tenaga kerja, kekurangan populasi, insfrastruktur yang menua, pergantian ke sumber daya terbarukan (Matsuoka & Hirai, 2020)

Hal ini karena manusia memiliki masalah yang selalu lahir dan ingin diselesaikan, dari aspek bioinformatika adalah peningkatan kualitas hidup dan kemampuan manusia baik secara medis, biologis, dan teknologi. Contohya adalah aplikasi pada antarmuka otak-komputer untuk rehabilitasi sosial dan rehabilitasineuro(Frolov & Bobrov, 2018). Era masyarakat 5.0 mendorong keseimbangan dari peningkatan teknologi untuk membantu manusia dalam prduktivitas dan eknomi juga perkembangan manusia sebagai pengguna teknologi, masyarakat super-pintar, masyarakat secara utuh(Deguchi et al., 2020).

Perkembangan teknologi juga revolusi era manusia yang begitu cepat menjadi tantangan dan kesempatan baru bagi Indonesia. Jika Indonesia lambat dalam mengadopsi dan ikut berkembang dengan zaman, maka Indonesia akan semakin tertinggal. Ini menjadi masalah baru ditambah kurangnya rasa adaptasi teknologi di Indonesia dimana stigma negatif tertanam pada revolusi dan teknologi yang sangat cepat, masif, dan disruptif ini. Teknologi disruptif perlu diperhatikan karena efeknya sangat berpengaruh pada berbagai aspek (Ganapathy, Abdul, & Nursetyo, 2018). Hal ini diperparah dengan perkembangan teknologi yang singular, dimana teknologi bisa sama atau melampaui kemampuan manusia(Braga & Logan, 2017). Gagasan teknologi yang singular membuat adaptasi semakin sulit dilakukan karena pandangan skeptis yang ada, bahkan ketika manusia dan mesin terintegrasi dan menjadi eksistensi yang baru(O'Lemmon, 2020), juga ketika AI bisa otodidak belajar secara rekursif(Nicolescu, 2016) merupakan singularisasi teknologi.

Sebaliknya, sisi positif era masyarakat 5.0 mendorong masyarakat yang kaya akan data, informasi, dan pengetahuan, masyarakat yang tidak terbatas ruang fisik dan siber, masyarakat yang memiliki pengetahuan intensif, masyarakat yang terpacu karena data(Deguchi et al., 2020). Teknologi yang ada juga bisa lebih assistive dan membantu manusia di tingkat yang tidak terbayang sebelumnya, seperti antarmuka mesin-tubuh untuk rehabilitasi dan membantu orang yang memiliki penyakit pergerakan(Mussa-Ivaldi, Casadio, & Ranganathan, 2013).

Era *society 5.0* dan topik penelitian lainnya penting dibahas, pandangan pemahaman baru pada identitas penelitian dapat memberikan kontribusi pemahaman bagi pembaca dan perkembangan teknologi dan ilmu pengetahuan khususnya di Indonesia serta mendorong penerapan era masyarakat 5.0 di Indonesia. Seperti artikel karya Ishengoma, Shao, Alexopoulos, Saxena, & Nikiforova (2022) yang berjudul "*Integration of artificial intelligence of things (AIoT) in the public sector: drivers, barriers and future research agenda*" berfokus pada pembahasan

AIoT dan juga penerapannya di bidang sektor publik, membahas faktor, batasan, dan penelitian visioner yang akan datang. Penelitian lainya oleh Putri, Dewi, Bhaka, & Sardi (2022) yang berjudul "Pemanfaatan Teknologi Informasi dalam Bentuk Aplikasi untuk Konsultasi Gigi Secara Online (*Teledentistry*) di Kalangan Generasi Z pada Era Society 5.0" membahas pada bidang medis dan kesehatan yaitu konsultasi gigi atau *Teledentistry* di era masyarakat 5.0. Karya lainnya dari Sugiono (2021) berjudul "Pemanfaatan Chatbot Pada Masa Pandemi Covid-19: Kajian Fenomena Society 5.0" membahas pemanfaatan AI dengan implementasi pada chatbot saat masa pandemi 2019. Kemudian artikel karya Nurhaddi & Budiyanto (2020) berjudul "Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam Berbasis High Order Thinking Skills (Hots) Untuk Menghadapi Era Society 5.0" dimana lebih membahas pembelajaran ilmu pengetahuan penting dilakukan untuk menerima era masyarakat 5.0. Penelitian ini diharapkan menjadi penelitian di aspek & bidang yang baru dari penelitian sebelumnya serta dapat mendorong pada topik yang diteliti agar penerapan di Indonesia tidak tertinggal, tidak merasa tergantikan dengan teknologi, mendorong percepatan riset teknologi & ilmu pengetahuan dan mengurangi ketertinggalan di Indonesia.

2. Metode

Peneliti menggunakan metode deksriptif analisis dalam menulis artikel ilmiah. Metode ini digunakan untuk mempermudah pengungkapan informasi & kesimpulan data-data tentang bioinformatika, antarmuka otak-komputer, AIoT, dan Society 5.0 yang diteliti dari sumber data yang telah dikumpulkan melalui internet, dengan metode ini diharapkan penguakan informasi dan penyimpulan topik penelitian terhadap era *Society 5.0* dan penerapan teknologi dan ilmu pengetahuan yang singular agar memberikan cara pandang baru bagi pembaca.

Sumber data dalam penelitian ini merupakan internet, web, dan media daring yang mendukung, berupa artikel, jurnal, atau buku maupun sumber secara daring lainnya yang membahas topik penelitian. Oleh karena itu, objek penelitian yang diteliti merupakan data dari artikel, jurnal, buku, atau sumber yang terkait dengan bioinformatika, antarmuka otak-komputer, AIoT, era *society 5.0*, dan juga tentang singularisme teknologi.

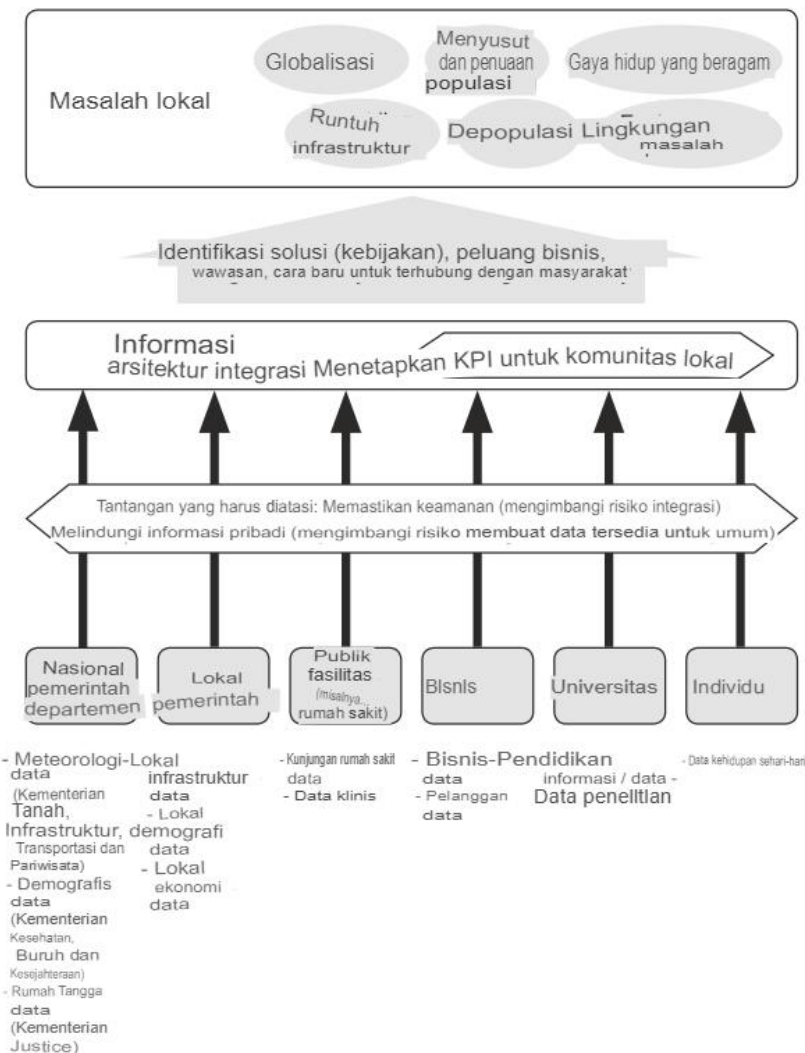
Penulis adalah instrumen penelitian. Pada artikel ini, peneliti membaca data yang berkaitan dengan topik penelitian, mengumpulkan kutipan yang cocok dengan identitas penelitian, dan menganalisis sesuai dengan data yang berkaitan dengan tujuan dan masalah penelitian.

Prosedur penelitian mulai dari mengumpulkan data yang mengandung topik penelitian, data disusun sesuai dengan tujuan penelitian, menganalisis data secara deskriptif, menyintesis data, fakta, dan informasi dari kumpulan hasil analisis dan data, dan menyimpulkan dengan mengungkap topik penelitian untuk membuktikan era *society 5.0* dan perkembangan teknologi yang singular serta kondisinya di dunia untuk pandangan penerapan di Indonesia sesuai dengan pemahaman, interpretasi, ataupun pemaknaan peneliti terhadap kumpulan analisis data, serta dokumentasi untuk kemudahan penulis dalam mencari kembali sumber data yang telah diteliti.

Peneliti menggunakan cara analisis isi untuk menganalisis data. Teknik analisis ini digunakan pada kutipan para ahli, fenomena dari artikel atau jurnal yang ditemukan, fakta dari penelitian yang dirujuk, informasi yang didapat dari analisis penelitian, serta kesimpulan yang berkaitan dengan topik penelitian. Dengan begitu, data dapat diekstraksi dengan kritis dan menghasilkan informasi baru.

Pada era ini juga memiliki visi dimana masyarakat terpacu oleh teknologi dan sains dimana data dari dunia fisik diambil dan diolah pada dunia siber untuk mendapat informasi dan pengetahuan yang mempengaruhi dunia nyata manusia (Deguchi & Karasawa, 2020). Era ini tidak hanya masyarakat yang terpacu oleh data dan intensif pengetahuannya, tetapi bisa menghasilkan solusi dari teknologi dan data untuk menyelesaikan masalah sosial, menyeimbangkan antara solusi dan prinsip masyarakat yang *people-friendly*.

Seiring dengan perkembangan teknologi dan tingkat penggabungan dunia fisik dan virtual, era ini diharapkan dapat menstabilkan peningkatan ekonomi dan resolutif pada masalah sosial yang ada dengan memberikan hasil dan jasa yang dibutuhkan dan dapat memastikan semua penduduk dapat hidup berkualitas, dengan nyaman dan utuh sesuai gambar dibawah. Dapat dijelaskan bahwa era ini merupakan masyarakat yang berkelanjutan, era yang bisa menyelesaikan masalah sosial tanpa mengacuhkan kebutuhan individu. Pada era ini juga era dimana masyarakat utuh secara inklusif, dimana sebuah perbedaan, preferensi, dan selera tidak menjadi halangan untuk hidup secara homogen dan menyamakan keinginan dengan orang lain (Deguchi & Karasawa, 2020).



Gambar 2. Model Integrasi Data dan Isu Sosial pada *Society 5.0* Oleh A. Deguchi & K. Karasawa

Dari banyaknya perkembangan teknologi dan harapan konsep revolusi masyarakat yang menyatukan teknologi dengan kehidupan, gagasan teknologi singular semakin kuat, dimana ketika perkembangan teknologi tidak terbatas dan melebihi kecerdasan manusia (Potapov, 2018). Kondisi ini akan meningkatkan pengetahuan dan produktivitas manusia (Logan, 2017). Gagasan ini bisa menjadi nyata dengan iterasi dari kecerdasan buatan general (AGI) yang terus belajar dan membuat kecerdasan baru sampai kecerdasannya melampaui manusia (Logan, 2017) atau rekayasa kecerdasan super artifisial yang terjadi dari kombinasi teknologi yang merekayasa genetik manusia menjadi lebih pintar untuk menghasilkan riset manusia yang lebih pintar (Potapov, 2018). Salah satu teknologi yang bergerak pada medis dan biologi sesuai dengan gagasan kedua yaitu bioinformatika.

Bioinformatika merupakan ilmu pengetahuan yang lahir karena penggabungan informatika, biologi, medis dan kedokteran. Ilmu transdisipliner ini menjadi dasar beberapa teknologi yang ada, salah satunya antarmuka otak-komputer (BCI). BCI sendiri khususnya BCI berbasis EEG atau BCI secara langsung merupakan teknologi sistematis yang memberikan jalan antara otak dan perangkat eksternal untuk berkomunikasi (Värbu, Muhammad, & Muhammad, 2022). Teknologi ini menggunakan aktivitas otak berupa sinyal yang memiliki pola dari setiap individu untuk diterjemahkan perintah untuk berkomunikasi atau mengontrol pekerjaan, teknologi ini sangat aplikatif pada dunia medis dan berkembang pada bidang non-medis (Sadique Shaikh, 2017).

Perkembangan BCI dan penerapannya juga sudah sangat luas, pada bidang medis BCI digunakan untuk mengontrol perangkat robotik asistif, seperti mengontrol kursi roda dan anggota badan robotik/prostetik, bahkan bisa mengontrol perangkat robotik, robot humanoid, dan drone yang membantu aktivitas sehari-hari manusia (Värbu et al., 2022). Pada bidang non-medis bisa diterapkan untuk monitoring beban kognitif, attensi, dan rasa kantuk serta aspek pikiran lainnya bahkan pada bidang hiburan seperti permainan untuk game yang ramah pemain (Värbu et al., 2022). Penelitian lainnya juga seperti perangkat yang dioperasikan oleh perintah neuron (Sadique Shaikh, 2017), pengukuran *visual height intolerance* (Asyhari, 2020), menghasilkan teknologi baru yaitu komunikasi *brain-apparatus* (Yao, Qin, & Zhang, 2022), penggerak animasi (Harjana, Djamel, & Ilyas, 2018), menuangkan keinginan artistik (Nijholt, Jacob, Andujar, Yuksel, & Leslie, 2018), terapi dan peningkatan otak serta perluasan pikiran (Coin & Dubljević, 2021), otomatisasi transportasi & entertainment (Schmid, Friedrich, Kessner, & Jox, 2021), teknologi assistive untuk orang buta (Ptito et al., 2021), penelitian bisa menggerakkan semua bagian tubuh primata (Rajangam et al., 2016), tes buta warna (Norton et al., 2021), rehabilitasi penderita penyakit neurological dengan VR & BCI (Wen et al., 2021), Monitoring aktifitas fisik dan stress (Parent et al., 2020), rekognisi emosi manusia (Houssein, Hammad, & Ali, 2022), neurorehabilitasi, menyembuhkan penglihatan, pendengaran, motorik, dan meningkatkan kemampuan kognitif matematika (Frolov & Bobrov, 2018), sistem kontrol drone yang akurat (Miehlbradt et al., 2018), rehabilitasi stroke atau cedera sumsum tulang belakang (Rizzoglio, Pierella, De Santis, Mussa-Ivaldi, & Casadio, 2020), menyembuhkan autisme (Sadique Shaikh, 2017) dan mengontrol layar bagi anak yang memiliki kelainan kongenital bagian tubuh atas dan bawah (Lee, Ranganathan, Kagerer, & Mukherjee, 2016).

Dengan perkembangan BCI tidak luput didalamnya ada teknologi yang mendukung yaitu AI dan IoT, bahkan digabung menjadi AIoT. AI sendiri yaitu *artificial intelligence* merupakan teknologi yang membuat mesin dikontrol oleh semacam kecerdasan, dimana bisa memiliki kemampuan seperti manusia untuk melakukan pekerjaan dan menyelesaikan masalah lebih

cepat dan menghasilkan hasil yang lebih baik & efisien (Ishengoma et al., 2022). Lalu untuk IoT sendiri merupakan sesuatu yang terdiri dari elektronik, perangkat lunak, sensor, dan aktuator untuk terhubung, berkomunikasi, mengupulkan dan bertukar data melalui jaringan secara otomatis (Ishengoma et al., 2022). Ketika dua teknologi ini bergabung, AIoT akan lebih cerdas, komunikatif & handal, serta lebih bisa memproses data lebih cepat dan akurat untuk meningkatkan efisiensi, resiliensi sistem, skalabilitas, dan memiliki kemampuan analisis data yang baik pada sistem siber-fisik (Ishengoma et al., 2022). Teknologi ini merupakan jantung untuk era masyarakat 5.0 karena merupakan jembatan cara yang lebih *data-driven* dan bisa menghubungkan dunia virtual & fisik, seperti penelitian Sun et al. (2021) menggunakan AIoT untuk membuat aplikasi toko virtual dengan sensor yang ditingkatkan menggunakan *Soft Robotic Manipulator*. Penelitian lainnya juga oleh Miroshnichenko (2018) dimana AI bisa menggantikan manusia dalam bidang jurnalistik, membantu tenaga medis & kesehatan untuk bisa bekerja lebih baik dengan fasilitas kesehatan yang cerdas (Talukder & Haas, 2021), penerapan *smart supply chain* pada dunia industri (Nozari, Szmelter-jarosz, & Ghahremani-nahr, 2022), penerapan pada rumah sakit dan pariwisata (Hsu, Ting, Lui, Chen, & Cheah, 2022), sistem pemantuan aktifitas pasien untuk memonitoring pasien dengan jarak jauh (Malche et al., 2022), sistem pintar agrikultural untuk deteksi hama (C. J. Chen, Huang, Li, Chang, & Huang, 2020), rekognisi aktifitas manusia (Gupta et al., 2022), penerapan pada bidang kesehatan mental dan penyakit mental (Graham et al., 2019), bidang neurosains seperti pembedahan otak, kelainan pada otak, neuro-onkologi, neuro-traumatologi, stroke, dan neurorehabilitasi (Frolov & Bobrov, 2018), bahkan pada prevensi dan kontrol pandemi COVID-19 (S. W. Chen, Gu, Wang, & Zhu, 2021).

Dengan berbagai teknologi yang sudah ada, mengapa manusia tidak mengembangkan teknologi yang dapat disatukan dengan manusia? Gagasan ini bisa menyeimbangkan antara singularitas teknologi dan juga era 5.0 dimana tidak hanya menyatukan lingkungan fisik-virtual dengan manusia tetapi menyatukan teknologi yang menghubungkannya dengan manusia. Beberapa ahli juga mengatakan bahwa teknologi singular ataupun AGI dapat terbentuk sebelum tahun 2060 (Tariq, Iftikhar, Chaudhary, & Khurshid, 2022). Walaupun pandangan ini bisa menjadi pola pikir yang baru, penulis menemukan beberapa fakta yang mendukung & tidak pendukung terkait dengan efek positif maupun negatif, tantangan dan kemungkinan penerapannya. Lingkungan yang terbentuk akan membuat manusia bisa saling terhubung dan menghasilkan sesuatu yang lebih baik (Braga & Logan, 2017). Bahkan teknologi BCI dapat membuat *brain backup* dan juga memperluas pikiran (Coin & Dubljević, 2021). Walaupun gagasan ini membuat cara baru bagaimana tubuh manusia dengan teknologi, tetapi proses didalamnya masih sama (Buller, 2021). Teknologi BCI juga diterima walaupun harus menerima risiko seperti operasi, harapan yang tidak sesuai, dan pencurian data (Kögel, Jox, & Friedrich, 2020). Teknologi BCI juga dapat meningkatkan, menyembuhkan, dan mengembangkan otonomi tubuh dan aktivitas otak penggunaannya (Friedrich, Racine, Steinert, Pömsl, & Jox, 2021), pada pekerjaan, manusia dapat bekerja lebih baik dan pada hal yang berarti serta meningkatkan kemampuan para pekerja (Bankins & Formosa, 2023).

Namun, disisi lain untuk penerapan teknologi yang bisa mencapai teknologi singular masih memiliki berbagai keterbatasan. Pikiran manusia sangat berbeda dengan komputer digital (Wang, Liu, & Dougherty, 2018) dimana komputer tidak bisa memiliki kesadaran, emosi, dan rasa cinta dimana memiliki peranan penting pada cara berpikir, pengambilan keputusan, dan cara belajar (Logan, 2017). Penerapan BCI juga masih sangat terbatas (Sadique Shaikh, 2017). Pada praktikalnya, BCI juga masih sulit dalam memberikan umpan balik dan banyaknya

prosedur umpan balik, juga dapat mempengaruhi dari perkembangan pengguna dengan mengubah pemikiran pengguna pada pilihan akan ketergantungan dengan teknologi yang ada (Friedrich et al., 2021). Tetapi beberapa kekurangan itu pun bisa ditutupi dengan perkembangan teknologi *quantum computing* yang bisa mendekati pemikiran manusia yang kompleks, pendekatan pemikiran komputer yang non-linier. Komputasi kuantum meningkatkan teknologi dan bisa mengatasi kekurangan dan batasan yang ada secara signifikan dan dapat diterapkan di berbagai industri juga khususnya fasilitas kesehatan (Otanasap, 2021), peningkatan AI untuk komputasi yang lebih kompleks juga bisa dilakukan dengan komputasi kuantum (Rawat, Mehra, Bist, Yusup, & Sanjaya, 2022) dengan algoritma, kemampuan, sifat, dan karakteristik yang berbeda, teknologi komputasi kuantum dapat menyelesaikan masalah yang lebih kompleks, kombinatorial, dan stokastik (Griffin, Boguslavsky, Huang, Kauffman, & Tan, 2021).

Teknologi dan era 5.0 dapat memberikan percepatan perkembangan teknologi dan adopsi revolusi masyarakat 5.0 di Indonesia dan membentuk teknologi dan era itu sendiri. Luasnya penerapan dan manfaat yang bisa diterapkan di Indonesia bisa menjadi rujukan untuk riset yang lebih mendalam pada penelitian yang sudah dilakukan didunia. Pemanfaatan teknologi dan penerapan era masyarakat 5.0 di Indonesia juga mempermudah untuk pencapaian poin-poin SDG di Indonesia, karena konsep era 5.0 sendiri merupakan menerapkan teknologi dan data untuk menyelesaikan masalah yang ada sesuai kebutuhan manusia agar manusia dan kemanusiaan berkembang secara utuh dan tidak ada yang tertinggal (Deguchi & Karasawa, 2020). Oleh karena itu, era masyarakat 5.0 dan teknologi di dalamnya dapat menghasilkan banyak kesempatan baru dan solusi masalah dan penemuan hal baru yang lebih cepat khususnya di Indonesia.

4. Simpulan

Pertumbuhan teknologi berkembang sangat cepat, tidak bisa dikendalikan maupun dikembalikan. Revolusi Society 5.0 menjadi konsep yang ideal untuk berbagai perubahan cara hidup manusia. Tidak luput, salah satunya perkembangan pada bidang ilmu sains khususnya biologi juga bidang medis menyebabkan bioinformatika dan antarmuka otak-komputer berkembang secara masif. Namun, perkembangan itu memiliki banyak pengaruh baik secara positif maupun negatif dimana teknologi bisa saja menjadi singular dengan kehidupan dan manusia, juga belum banyaknya adaptasi di Indonesia. Perkembangan teknologi yang mengarah ke singular juga bertujuan untuk mengembangkan banyak ilmu seperti bioinformatika juga antarmuka otak-komputer sudah banyak diaplikasikan karena menjadi terobosan beberapa masalah yang sulit bahkan tidak mungkin sebelumnya, tidak luput dari kekurangan, banyaknya efek positif dapat diterapkan di kehidupan masyarakat Indonesia.

Daftar Rujukan

- Asyhari, M. Y. (2020). Pendekatan Elektroensefalografi berbasis Antarmuka Otak-Komputer untuk Mengukur Tingkat Visual Height Intolerance.
- Bankins, S., & Formosa, P. (2023). The Ethical Implications of Artificial Intelligence (AI) For Meaningful Work. *Journal of Business Ethics*, (0123456789). <https://doi.org/10.1007/s10551-023-05339-7>
- Braga, A., & Logan, R. K. (2017). The emperor of strong AI has no clothes: Limits to artificial intelligence. *Information (Switzerland)*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/info8040156>
- Buller, T. (2021). Brain-Computer Interfaces and the Translation of Thought into Action. *Neuroethics*, 14(2), 155–165. <https://doi.org/10.1007/s12152-020-09433-9>
- Chen, C. J., Huang, Y. Y., Li, Y. S., Chang, C. Y., & Huang, Y. M. (2020). An AIoT Based Smart Agricultural System for Pests Detection. *IEEE Access*, 8, 180750–180761. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3024891>

- Chen, S. W., Gu, X. W., Wang, J. J., & Zhu, H. S. (2021). AIoT Used for COVID-19 Pandemic Prevention and Control. *Contrast Media and Molecular Imaging*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/3257035>
- Coin, A., & Dubljević, V. (2021). The Authenticity of Machine-Augmented Human Intelligence: Therapy, Enhancement, and the Extended Mind. *Neuroethics*, 14(2), 283–290. <https://doi.org/10.1007/s12152-020-09453-5>
- Deguchi, A., Hirai, C., Matsuoka, H., Nakano, T., Oshima, K., Tai, M., & Tani, S. (2020). What Is Society 5.0? In *Society 5.0* (hal. 1–23). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_1
- Deguchi, A., & Karasawa, K. (2020). Issues and Outlook. In *Society 5.0* (hal. 155–173). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_8
- Friedrich, O., Racine, E., Steinert, S., Pömsl, J., & Jox, R. J. (2021). An Analysis of the Impact of Brain-Computer Interfaces on Autonomy. *Neuroethics*, 14(1), 17–29. <https://doi.org/10.1007/s12152-018-9364-9>
- Frolov, A. A., & Bobrov, P. D. (2018). Brain-Computer Interfaces: Neurophysiological Bases and Clinical Applications. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 48(9), 1033–1040. <https://doi.org/10.1007/s11055-018-0666-5>
- Ganapathy, K., Abdul, S., & Nursetyo, A. (2018). Artificial intelligence in neurosciences: A clinician's perspective. *Neurology India*, 66(4), 934–939. <https://doi.org/10.4103/0028-3886.236971>
- Graham, S., Depp, C., Lee, E. E., Nebeker, C., Tu, X., Kim, H. C., & Jeste, D. V. (2019). Artificial Intelligence for Mental Health and Mental Illnesses: an Overview. *Current Psychiatry Reports*, 21(11). <https://doi.org/10.1007/s11920-019-1094-0>
- Griffin, P. R., Boguslavsky, M., Huang, J., Kauffman, R. J., & Tan, B. R. (2021). Quantum Computing: Computational Excellence for Society 5.0. In *Data Science and Innovations for Intelligent Systems* (hal. 1–32). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003132080-1>
- Gupta, N., Gupta, S. K., Pathak, R. K., Jain, V., Rashidi, P., & Suri, J. S. (2022). Human activity recognition in artificial intelligence framework: a narrative review. In *Artificial Intelligence Review* (Vol. 55). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10462-021-10116-x>
- Harjana, A. M., Djamal, E. C., & Ilyas, R. (2018). Brain Computer Interface Untuk Menggerakkan Animator Pemukul Bass Drum Menggunakan Wavelet dan Support Vector Machine. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi (SNATi) 2018*, 37–41.
- Houssein, E. H., Hammad, A., & Ali, A. A. (2022). Human emotion recognition from EEG-based brain-computer interface using machine learning: a comprehensive review. In *Neural Computing and Applications* (Vol. 34). Springer London. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07292-4>
- Hsu, M. J., Ting, H., Lui, T. W., Chen, S. C., & Cheah, J. H. (2022). Guest editorial: Challenges and prospects of AIoT application in hospitality and tourism marketing. *Journal of Hospitality and Tourism Technology*, 13(3), 349–355. <https://doi.org/10.1108/JHTT-05-2022-326>
- Ishengoma, F. R., Shao, D., Alexopoulos, C., Saxena, S., & Nikiforova, A. (2022). Integration of artificial intelligence of things (AIoT) in the public sector: drivers, barriers and future research agenda. *Digital Policy, Regulation and Governance*, 24(5), 449–462. <https://doi.org/10.1108/DPRG-06-2022-0067>
- Kögel, J., Jox, R. J., & Friedrich, O. (2020). What is it like to use a BCI? - Insights from an interview study with brain-computer interface users. *BMC Medical Ethics*, 21(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s12910-019-0442-2>
- Lee, M. H., Ranganathan, R., Kagerer, F. A., & Mukherjee, R. (2016). Body-machine interface for control of a screen cursor for a child with congenital absence of upper and lower limbs: A case report. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 13(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12984-016-0139-4>
- Logan, R. K. (2017). Can computers become conscious, an essential condition for the singularity? *Information (Switzerland)*, 8(4). <https://doi.org/10.3390/info8040161>
- Majumdar, D., Banerji, P. K., & Chakrabarti, S. (2018). Disruptive technology and disruptive innovation: ignore at your peril! *Technology Analysis and Strategic Management*, 30(11), 1247–1255. <https://doi.org/10.1080/09537325.2018.1523384>
- Malche, T., Tharewal, S., Tiwari, P. K., Jabarulla, M. Y., Alnuaim, A. A., Hatamleh, W. A., & Ullah, M. A. (2022). Artificial Intelligence of Things- (AIoT-) Based Patient Activity Tracking System for Remote Patient Monitoring. *Journal of Healthcare Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/8732213>

- Matsuoka, H., & Hirai, C. (2020). Habitat Innovation. In *Society 5.0* (hal. 25–42). Singapore: Springer Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2989-4_2
- Miehlbradt, J., Cherpillod, A., Mintchev, S., Coscia, M., Artoni, F., Floreano, D., & Micera, S. (2018). Data-driven body-machine interface for the accurate control of drones. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(31), 7913–7918. <https://doi.org/10.1073/pnas.1718648115>
- Miroshnichenko, A. (2018). AI to bypass creativity. Will robots replace journalists? (The answer is “yes”). *Information (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/info9070183>
- Mussa-Ivaldi, F. A., Casadio, M., & Ranganathan, R. (2013). The body-machine interface: A pathway for rehabilitation and assistance in people with movement disorders. *Expert Review of Medical Devices*, 10(2), 145–147. <https://doi.org/10.1586/erd.13.3>
- Nicolescu, B. (2016). Technological Singularity – The Dark Side. *Transdisciplinary Journal of Engineering & Science*, 7(1). <https://doi.org/10.22545/2016/00076>
- Nijholt, A., Jacob, R. J. K., Andujar, M., Yuksel, B. F., & Leslie, G. (2018). Brain-computer interfaces for artistic expression. *Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2018-April*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3170427.3170618>
- Norton, J. J. S., DiRisio, G. F., Carp, J. S., Norton, A. E., Kochan, N. S., & Wolpaw, J. R. (2021). Brain-computer interface-based assessment of color vision. *Journal of Neural Engineering*, 18(6), 1–17. <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ac3264>
- Nozari, H., Szmelter-jarosz, A., & Ghahremani-nahr, J. (2022). Analysis of the Challenges of Artificial Intelligence of Things (AIoT) for the Smart Supply Chain (Case Study: FMCG Industries). *Sensors*, 22(8), 0–18. <https://doi.org/10.3390/s22082931>
- Nurhaddi, R. P., & Budiyanto, M. (2020). Pembelajaran ilmu pengetahuan alam berbasis high order thinking skills untuk menghadapi era society 5.0. *Jurnal Pendidikan Sains*, 8(3), 282–287.
- O’Lemmon, M. (2020). The Technological Singularity as the Emergence of a Collective Consciousness: An Anthropological Perspective. *Bulletin of Science, Technology and Society*, 40(1–2), 15–27. <https://doi.org/10.1177/0270467620981000>
- Otanasap, N. (2021). Quantum Computer and Applications for the Society 5.0. *SAU Journal of Science & Technology*, 7(1), 11. Diambil dari <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/saujournalst/article/view/244265/166384>
- Parent, M., Albuquerque, I., Tiwari, A., Cassani, R., Gagnon, J. F., Lafond, D., ... Falk, T. H. (2020). PASS: A Multimodal Database of Physical Activity and Stress for Mobile Passive Body/ Brain-Computer Interface Research. *Frontiers in Neuroscience*, 14(December), 1–22. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.542934>
- Potapov, A. (2018). Technological singularity: What do we really know? *Information (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/info9040082>
- Ptito, M., Bleau, M., Djerourou, I., Paré, S., Schneider, F. C., & Chebat, D. R. (2021). Brain-Machine Interfaces to Assist the Blind. *Frontiers in Human Neuroscience*, 15(February), 1–19. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2021.638887>
- Putri, T. A. W., Dewi, I. A. M., Bhaka, S. D., & Sardi, N. W. A. (2022). Pemanfaatan Teknologi Informasi dalam Bentuk Aplikasi untuk Konsultasi Gigi Secara Online (Teledentistry) di Kalangan Generasi Z pada Era Society 5.0. *Prosiding Webinar Nasional Pekan Ilmiah Pelajar*, 2(Juli), 593–602. Diambil dari <https://e-journal.unmas.ac.id/index.php/pilar/article/view/4491>
- Rajangam, S., Tseng, P. H., Yin, A., Lehew, G., Schwarz, D., Lebedev, M. A., & Nicoletis, M. A. L. (2016). Wireless cortical brain-machine interface for whole-body navigation in primates. *Scientific Reports*, 6, 1–13. <https://doi.org/10.1038/srep22170>
- Rawat, B., Mehra, N., Bist, A. S., Yusup, M., & Sanjaya, Y. P. A. (2022). Quantum Computing and AI: Impacts & Possibilities. *ADI Journal on Recent Innovation (AJRI)*, 3(2), 202–207. <https://doi.org/10.34306/ajri.v3i2.656>
- Rizzoglio, F., Pierella, C., De Santis, D., Mussa-Ivaldi, F., & Casadio, M. (2020). A hybrid Body-Machine Interface integrating signals from muscles and motions. *Journal of Neural Engineering*, 17(4). <https://doi.org/10.1088/1741-2552/ab9b6c>

- Sadique Shaikh, M. (2017). Fundamental Engineering for Brain-Computer Interfacing (BCI): Initiative for Neuron-Command Operating Devices. *Computational Biology and Bioinformatics*, 5(4), 50. <https://doi.org/10.11648/j.cbb.20170504.12>
- Schmid, J. R., Friedrich, O., Kessner, S., & Jox, R. J. (2021). Thoughts Unlocked by Technology—a Survey in Germany About Brain-Computer Interfaces. *NanoEthics*, 15(3), 303–313. <https://doi.org/10.1007/s11569-021-00392-w>
- Sugiono, S. (2021). Pemanfaatan Chatbot Pada Masa Pandemi COVID-19: Kajian Fenomena Society 5.0. *Jurnal PIKOM*, 22(2), 133–148. Diambil dari <https://jurnal.kominfo.go.id/index.php/jpkp/article/view/3833>
- Sun, Z., Zhu, M., Zhang, Z., Chen, Z., Shi, Q., Shan, X., ... Lee, C. (2021). Artificial Intelligence of Things (AIoT) Enabled Virtual Shop Applications Using Self-Powered Sensor Enhanced Soft Robotic Manipulator. *Advanced Science*, 8(14), 1–14. <https://doi.org/10.1002/advs.202100230>
- Talukder, A., & Haas, R. (2021). AIoT: AI meets IoT and Web in Smart Healthcare. *ACM International Conference Proceeding Series*, 92–98. <https://doi.org/10.1145/3462741.3466650>
- Tariq, S., Iftikhar, A., Chaudhary, P., & Khurshid, K. (2022). Is the ‘Technological Singularity Scenario’ Possible: Can AI Parallel and Surpass All Human Mental Capabilities? *World Futures*, 0(0), 1–67. <https://doi.org/10.1080/02604027.2022.2050879>
- Värbu, K., Muhammad, N., & Muhammad, Y. (2022). Past, Present, and Future of EEG-Based BCI Applications. *Sensors*, 22(9). <https://doi.org/10.3390/s22093331>
- Wang, P., Liu, K., & Dougherty, Q. (2018). Conceptions of artificial intelligence and singularity. *Information (Switzerland)*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/info9040079>
- Wen, D., Fan, Y., Hsu, S. H., Xu, J., Zhou, Y., Tao, J., ... Li, F. (2021). Combining brain–computer interface and virtual reality for rehabilitation in neurological diseases: A narrative review. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 64(1), 101404. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2020.03.015>
- Yao, D., Qin, Y., & Zhang, Y. (2022). From psychosomatic medicine, brain–computer interface to brain–apparatus communication. *Brain-Apparatus Communication: A Journal of Bacomics*, 1(1), 66–88. <https://doi.org/10.1080/27706710.2022.2120775>