TRANSISI *CIRCULAR SUPPLY CHAIN* MELALUI *ENGINEERED SOCIO-TECHNICAL SYSTEM* DENGAN *AGENT-BASED MODELING*

Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar

pada Fakultas Teknik

Universitas Gadjah Mada

Disampaikan di depan Rapat Terbuka

Universitas Gadjah Mada

pada Tanggal 1 Agustus 2023

di Yogyakarta

oleh:

Prof. Ir. Bertha Maya Sopha, S.T., M. Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.

Bismillahirohmannirohim
Yang terhormat:
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Majelis Wali Amanat,
Rektor dan Wakil Rektor Universitas Gadjah Mada,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Dewan Guru Besar,
Ketua, Sekretaris, dan Anggota Senat Akademik,
Dekan dan Wakil Dekan, Ketua dan Sekretaris Senat Fakultas Teknik,
Rekan-rekan sejawat dosen, dan segenap sivitas akademis Universitas Gadjah Mada,
Para tamu undangan, keluarga yang saya cintai, serta hadirin sekalian yang saya hormati.

Assalamu 'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Selamat pagi, salam sejahtera bagi kita semuanya, shalom, om swastiastu, namo buddhaya, dan salam kebajikan.

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah melimpahkan rahmat, karunia dan hidayah-Nya sehingga hari ini kita, dalam kondisi sehat walafiat, berada di Balai Senat, Universitas Gadjah Mada, pada acara Pengukuhan Guru Besar bagi saya. Sungguh merupakan kehormatan bagi saya mendapat kesempatan menyampaikan pidato pengukuhan Guru Besar dalam bidang Ilmu Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, di hadapan majelis yang sangat terhormat ini sebagai salah satu tradisi akademik di lingkungan Universitas Gadjah Mada. Ucapan terima kasih kepada Bapak/Ibu semua, yang telah berkenan hadir pada pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dengan judul:

Transisi *Circular Supply Chain* melalui *Engineered Socio-Technical System* dengan *Agent-Based Modeling*

Bapak/Ibu yang saya muliakan, ijinkan saya menjelaskan mengapa judul ini penting untuk diangkat.

1. Latar Belakang

Sepanjang sejarah, kita telah mengalami empat revolusi industri. Revolusi industri, yang dimulai pada abad ke-18 di Inggris yang kemudian menyebar ke seluruh Eropa dan Amerika Utara, adalah periode di mana industri beralih dari penggunaan tenaga manusia ke mesin uap untuk memudahkan pekerjaan manusia pada sektor manufaktur. Transformasi ini juga menyebabkan berkembangnya industri besi dan baja dan industri peralatan mesin. Selain itu, penggunaan tenaga uap tidak hanya digunakan pada industri manufaktur, namun juga pada sektor transportasi yaitu lokomotif dan kapal uap. Revolusi industri pertama ini merupakan titik balik besar dalam sejarah dimana pendapatan rata-rata dan populasi meningkat pada titik yang belum pernah terjadi sebelumnya, yang pada akhirnya meningkatkan standar hidup masyarakat secara konsisten (Groumpos, 2021). Revolusi industri kedua dimulai pada abad ke-19 dengan adanya penemuan listrik yang telah mengubah teknologi perakitan dan produksi. Henry Ford mengadopsi teknologi tersebut dalam sistem perakitan mobil sehingga mobil dapat diproduksi dengan jauh lebih cepat dengan biaya yang rendah (Klingenberg dkk., 2022). Revolusi industri kedua merupakan fase standarisasi dan industrialisasi. Kemajuan dalam teknologi manufaktur dan produksi memungkinkan penerapan teknologi secara luas dan cepat. Dengan adanya penemuan listrik, sektor komunikasi juga mulai berkembang dengan ditemukannya radio, telepon, yang kemudian mengubah gaya hidup (*lifestyle*) menjadi masyarakat modern. Revolusi industri ketiga dimulai hanya beberapa tahun setelah berakhirnya Perang Dunia II di abad 20, dimana otomatisasi berkembang. Sebagai contoh, robot yang melakukan urutan terprogram atau pendaratan

pesawat secara otomatis tanpa campur tangan manusia. Revolusi Industri yang ketiga ini juga disebut dengan revolusi otomasi, yang kemudian menyebabkan perkembangan industri semikonduktor, komputer, dan internet, yang pada akhirnya mengubah teknologi analog menjadi digital. Revolusi industri keempat yang dimulai sejak tahun 2000 memperluas teknologi digital dengan koneksi jaringan yang menfasilitasi komunikasi antar entitas secara otomatis atau yang disebut *cyber physical system*. Namun, pada tahun 2011 Revolusi Industri keempat ini baru dicanangkan sebagai konsep pengembangan kebijakan industri dengan menggunakan teknologi cerdas. Contohnya, mesin yang dapat memprediksi kegagalan dan memicu proses pemeliharaan secara mandiri atau pengaturan logistik secara otomatis sebagi reaksi terhadap perubahan tak terduga dalam produksi. Dengan demikian revolusi industri keempat akan mengubah sistem produksi, sistem distribusi, dan pola konsumsi (Klingenberg dkk., 2022). Dengan semua inovasi ilmiah yang cepat dan tak terduga ini, dunia beralih ke individu dan kebutuhannya, yang menciptakan revolusi industri kelima dengan Industri 5.0, yaitu revolusi yang dipersonalisasi, yang dikenal dengan *humanized revolution* atau *Harmonious Human–Machine Collaboration* dimana manusia menjadi pusat dan menjadi penentu utama dalam segala aktivitas masyarakat (Noble dkk., 2022).

Revolusi industri telah memberikan dampak transformasi tidak hanya pada sektor industri namun juga sektor-sektor industri lain seperti transportasi, komunikasi (aspek teknologi dan ekonomi), yang kemudian mengubah gaya hidup, norma-norma sosial, dan urbanisasi (aspek sosial). Revolusi industri akan terus berlanjut karena yang tetap adalah perubahan itu sendiri. Namun demikian, pertanyaan mendasar yang perlu kita renungkan kembali adalah bagaimana dampak revolusi industri ini terhadap bumi? Perlu kita sadari bahwa *there is only **one** planet earth*. Tidak ada yang mengira bahwa aktivitas industri yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil akan memiliki dampak langsung terhadap iklim dan bumi. karena tujuan utama revolusi industri adalah untuk memudahkan pekerjaaan manusia dan meningkatkan kualitas hidup. Setelah 180 tahun kemudian baru diketahui *unintended consequences* dari revolusi industri. Abram dkk. (2016) menunjukkan bahwa peningkatan suhu di bumi telah dimulai sejak 1830-an, dimana terjadi saat revolusi industri yang pertama. Pemanasan global terjadi jauh lebih awal dari yang kita sadari. Emisi karbon dioksida (CO_2) meningkat dengan pesat dari sekitar 280 ppm (sekitar tahun 1800) mencapai 400 ppm (di tahun 2000) (Abram dkk., 2016). Peningkatan yang signifikan juga terjadi pada metana (CH_4) dan nitrogen oksida (N_2O) (IPCC, 2013). Berdasarkan data tersebut, aktivitas industri dapat dikatakan *unsustainable* karena aktivitas industri yang pada awalnya bertujuan meningkatkan standar hidup manusia, pada akhirnya justru akan mengurangi standar hidup manusia dikarenakan kerusakan lingkungan (*chicken-egg problem*). Hal ini disebabkan karena keterbatasan cara berpikir manusia seperti yang dijelaskan oleh Albert Einstein bahwa: "*the world we created today as a result of our thinking thus far has problems which cannot be solved by thinking the way we thought when we created"*. Hal serupa juga diperkuat oleh Tenner (2016) yang menyatakan bahwa "*human societies face unintended and often ironic consequences of their own ingenuity*".

Oleh karenanya, untuk memahami bagaimana aktivitas manusia mempengaruhi iklim dan bumi dan sebaliknya, maka dibutuhkan cara berpikir baru dalam memecahkan masalah yang kompleks yaitu cara berpikir yang mampu melihat sistem sebagai keseluruhan yang mampu melihat bagaimana antar komponen dalam sistem berinteraksi dan bekerja menghasilkan perilaku sistem (*system behavior*), mampu memprediksi *unintended consequences* dikarenakan sistem membutuhkan waktu untuk berubah, dan beriorientasi masa depan (*future oriented*).

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Cara berpikir yang kita butuhkan saat ini adalah *systems thinking*.

2. *Systems Thinking* dan *Industrial Ecology*

Systems thinking memperluas kesadaran untuk melihat hubungan antara bagian-bagian dan keseluruhan (tidak hanya melihat bagian-bagian yang terpisah dan terisolasi). *Systems thinking* bukanlah hal yang baru namun sudah ada sejak awal peradaban manusia yang telah menjadi tradisi budaya dan spiritual. *Systems thinking* adalah paradigma kognitif yang melibatkan kecenderungan implisit untuk mengenali berbagai fenomena sebagai satu set komponen yang saling berhubungan yang berinteraksi satu sama lain untuk membuat keseluruhan yang dinamis (Lezak dan Thibodeau, 2016). Oleh karenanya, *systems thinking* membantu memperluas cakrawala pemikiran dalam memahami interaksi dan dinamika antara aktivitas manusia dengan ekosistemnya dan mampu memfasilitasi etika ekologi, yaitu nilai-nilai untuk melestarikan dan melindungi alam (Ballew dkk., 2019).

Salah satu konsep yang berkembang yang didasarkan pada *systems thinking* adalah *industrial ecology* yang pertama kali dikenalkan sekitar tahun 1970-an. *Industrial Ecology* bertujuan untuk mengurangi dampak lingkungan dari aliran material dan energi melalui peningkatan efisiensi sumber daya pada tingkat sistem. Dua dimensi mencirikan *systems thinking* dalam *industrial ecology* meliputi dimensi ruang dan dimensi waktu. Terkait dengan dimensi ruang, *industrial ecology* mengadopsi entitas yang berbeda untuk menggambarkan aliran material dan energi baik pada ruang lingkup perusahaan, industri, wilayah, maupun negara. *Industrial ecology* juga memperluas konsep pencegahan polusi dalam perusahaan dengan menekankan hubungan, keterkaitan dan peluang untuk pengurangan limbah. Terkait dengan dimensi waktu, *industrial ecology* mengadopsi pemikiran siklus hidup (*life-cycle thinking*). *Industrial Ecology* memperhitungkan potensi dampak lingkungan di semua tahapan dalam siklus hidup suatu produk mulai dari tahap desain/perancangan, produksi, penggunaan, dan *end-of-life*, atau yang dikenal dengan istilah *from cradle to grave*. Metode analitis yang didasarkan *life-cycle thinking* adalah *life-cycle assessment* yang digunakan untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari suatu produk atau sistem produk. Sebagai contohnya, Sopha dan Ma'mun (2021) menggunakan *life-cycle assessment* untuk mengevaluasi potensi dampak lingkungan dari sebuah pembangkit listrik portabel yang menggunakan *alumunium debris* sebagai bahan bakar, sebagai alternatif pembangkit listrik potabel dengan bahan bakar diesel.

Industrial ecology didefinisikan sebagai ilmu yang memperlajari aliran bahan dan energi dalam kegiatan industri dan aktivitas konsumen, serta efek aliran tersebut terhadap lingkungan, dan pengaruh faktor ekonomi, politik, regulasi dan sosial terhadap aliran, penggunaan, dan transformasi sumber daya. Tujuan *industrial ecology* adalah untuk memahami dengan lebih baik bagaimana kita dapat mengintegrasikan aspek lingkungan ke dalam kegiatan ekonomi. Proses integrasi ini merupakan proses yang terus menerus yang diperlukan jika ingin mengatasi masalah lingkungan saat ini dan masa depan (White, 1994). Dapat disimpulkan bahwa *industrial ecology* berorientasi pada sistem yang mempelajari interaksi fisik, kimia, dan biologis (dan sosial-politik) dan keterkaitannya baik dalam sistem industri dan antara sistem industri dan sistem alam.

Industrial ecology memiliki beberapa peran, yaitu sebagai visi, bidang keilmuan interdisiplin (atau dikenal sebagai *science of sustainability*) and sumber inspirasi pada praktik lapangan (Ehrenfeld, 2000; den Hond, 2001). *Industrial ecology* sebagi visi memberikan perspektif yang membantu menemukan penyelesaian imajinatif untuk masalah sumber daya dan lingkungan dengan mengadopsi gagasan bahwa sistem industri harus dimodifikasi sedemikian rupa untuk meniru ekosistem alam dalam keseluruhan operasinya' (Frosch dan Gallopoulos, 1992). *Industrial ecology* sebagai bidang ilmu dan inspirasi pada praktik lapangan memiliki empat prinsip dasar, yaitu optimalisasi penggunaan sumber daya (melalui produksi bersih dan pemanfaatan kembali hasil samping industri), siklus material tertutup, dematerialisasi, pengurangan dan

penghapusan ketergantungan terhadap sumber energi tak terbarukan. Dalam pandangan ini, *industrial ecology* merupakan dasar transformasi radikal masyarakat industri (Ehrenfeld, 1997). Oleh karenanya, tujuan akhir dari revolusi industri menuju *sustainability* adalah *industrial ecology* (Dalbelo and Rutkowski, 2021).

3. Circular Supply Chain

Prinsip dan konsep *industrial ecology* telah diadopsi dan dikembangkan di berbagai disiplin ilmu, termasuk Teknik Industri yang didefinisikan: "*the design, improvement and installation of integrated systems of people, materials, information, equipment and energy. It draws upon specialized knowledge and skill in the mathematical, physical, and social sciences together with the principles and methods of engineering analysis and design, to specify, predict, and evaluate the results to be obtained from such systems*" (IISE, 2021). Konsep *industrial ecology* yang telah diadopsi di dalam beberapa BoK Teknik Industri memberikan beberapa konsep baru seperti: *Design for Environment* (dalam BoK Product Design and Development), *Sustainable Manufacturing* (dalam BoK Design and Manufacturing Engineering), *Industrial Symbiosis* (dalam BoK Facilities Engineering and Energy Management), dan *Circular Supply Chain* (dalam BoK Supply Chain Management) (IISE, 2021).

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Dalam kesempatan ini, saya ingin membahas lebih detil terkait transisi *circular supply chain* sebagai salah satu pendeketan menuju sistem berkelanjutan. *Supply chain* merupakan salah satu BoK Teknik Industri yang mencakup proses perencanaan, penerapan, dan pengendalian aliran produk, bahan, dan informasi yang efisien dan hemat biaya (*cost-effective*) mulai dari *point-of-origin* sampai *point-of consumption* dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan pelanggan. *Supply chain* mengintegrasikan proses-proses baik di dalam dan antar perusahaan. Proses ini melibatkan beberapa entitas industri seperti pemasok, produsen, perantara, toko, dan perusahaan jasa terlibat dalam pengiriman produk dan layanan ke konsumen akhir. *Supply chain* juga mencakup koordinasi dan kolaborasi dengan mitra/aktor dalam *supply chain* (CSCMP, 2023). Dalam pengembangannya, konsep *supply chain* terus menerus berkembang baik dari konsep keilmuan dan domain aplikasi. Dari sisi domian aplikasi, *supply chain* pada awalnya diterapkan di militer untuk pengiriman obat-obatan dan alat perang, kemudian konsep ini diadopsi pada sektor komersial terutama industri otomotif, industri gas dan minyak, dan industri pertanian. Konsep keilmuan *supply chain* juga berkembang sesuai dengan konteks. Konsep *city logistics* (Taniguchi dkk., 2004) dan *maritime/archipelagic logistics* (Sopha dkk., 2021a) dikembangkan untuk konteks urban dan negara (contohnya: Sopha dkk., 2016; Sopha dkk., 2018a; Sopha dkk., 2018b; Arvianto dkk., 2021), konsep *humanitarian logistics* (Blanco dan Goentzel, 2006; Blecken, 2010) dikembangkan untuk konteks kebencanaan/kemanusiaan (contohnya: Sopha dkk. 2019; Sopha dkk., 2021), dan konsep *renewable energy supply chain* (Jelti dkk., 2021) untuk konteks energi terbarukan (contohnya: Sari and Sopha (2020); Tontowi dan Sopha (2022); Sopha dkk., 2022).

Terkait dengan konteks *sustainability*, konsep *supply chain* telah berkembang dengan dikembangkannya beberapa konsep sejak lima belas tahun terakhir, yaitu *green supply chain, sustainable supply chain, reverse logistics, closed-loop supply chain*, dan saat ini yang dikembangkan adalah konsep *circular supply chain*. Berlawanan dengan *supply chain* tradisional, *reverse supply chain* terkait dengan perpindahan produk dari pelanggan kembali ke dalam proses pada *supply chain*-nya baik melalui pengecer/produsen/pemasok. *Reverse supply chain* dapat menjadi *closed-loop supply chain* apabila produk diambil kembali dari konsumen dan dikembalikan ke pengecer/produsen/vendor awal untuk memulihkan nilai tambah dengan

menggunakan kembali semua atau sebagiannya. Sebaliknya, *open-loop supply chain* melibatkan pemulihan material oleh pihak selain pengecer/produsen/vendor awal (Genovese dkk., 2017). *Open-loop reverse supply chain* melibatkan penggunaan material kembali yang dilakukan oleh pihak lain selain yang terlibat dalam rantai pasok awal. Istilah *closed-loop supply chain dan green supply chain* biasanya digunakan secara bergantian. Namun, definisi *green supply chain management* (GSCM) dan *sustainable supply chain management* (SSCM) menunjukkan perbedaan yang substansial. GSCM tidak secara eksplisit membahas isu-isu sosial, sedangkan SSCM mengintegrasikan tiga dimensi *sustainability*, yaitu ekonomi (*profit*), sosial (*people*), dan lingkungan (*planet*) (Ahi dan Searcy, 2013).

Circular supply chain management (CSCM) mengintegrasikan pemikiran sirkular ke dalam sistem *supply chain* industri dan ekosistem alam (Farooque dkk., 2019). CSCM secara substansial melengkapi GSCM dan SSCM sehingga CSCM secara sistematis memulihkan produk/aset dalam sistem industri dan sistem alam melalui daur ulang (*recycling*), mempertahankan (*retaining*), menggunakan kembali (*reusing*), memperbaiki (*repairing*), memproduksi ulang (*remanufacturing*), memperbarui (*refurbishing*), dan memulihkan (*recovering*). CSCM bergerak menuju *zero waste* dengan memulihkan nilai dari aliran limbah kembali ke sistem industri dalam sektor yang sama atau sektor yang berbeda. Misalnya, bahan tekstil daur ulang digunakan sebagai bahan baku produk isolasi (Nasir dkk., 2017) dan minyak jelantah diubah menjadi biodiesel (Genovese dkk., 2017). Selain itu, limbah makanan dapat diubah menjadi kompos untuk digunakan sebagai pupuk pertanian dan hortikultura atau dicerna secara anaerob untuk menghasilkan metana. Integrasi sistem industri dan ekosistem alam adalah fitur spesifik CSCM. Dengan demikian, *circular supply chain* (CSC) membantu mengurangi ketergantungan pada *virgin material* dan mencegah kekurangan material langka, menurunkan biaya untuk pembelian material baru – karena beberapa proses membutuhkan biaya yang besar untuk mengkonversi *virgin material* (contoh: aluminium, nikel, tembaga), mengurangi dampak negatif pada lingkungan, mengurangi dan/atau menghilangkan pemborosan, menciptakan lapangan kerja, dan mencapai citra hijau dan kepercayaan pelanggan, dan pada akhirnya meningkatkan resiliensi dan keuntungan ekonomi, lingkungan dan sosial.

Namun demikian, proses transisi *circular supply chain* bukanlah hal yang mudah. Mengintegrasikan produk pada fase *end-of-life* (EoL) kembali dalam sistem *supply chain* membutuhkan pemahaman yang komprehensif tentang aspek teknis (yaitu beberapa opsi pemulihan/recovery, dan jaringan pengumpulan), keekonomian, lingkungan, sosial, regulasi, dan organisasi. Keterlibatan semua pemangku kepentingan, model bisnis yang inovatif, dan peraturan/penegakan yang tepat juga diperlukan untuk memfasilitasi implementasi *circular supply chain* (Sopha dkk., 2022).

Proses transisi pada sistem sosio-teknikal seperti transisi sistem energi, transisi *circular economy* (*circular supply chain*) melibatkan sistem teknis, sistem sosial, dan sistem lingkungan yang saling berinteraksi dalam berbagai mekanisme yang saling berkaitan dan mempengaruhi. Proses transisi ini melibatkan perubahan pada faktor struktur/konteks yang kemudian menentukan keekonomian transisi tersebut. Aspek ini meliputi teknologi dan infrastruktur pendukunganya, operasi *supply chain*, dan kelayakan ekonomi. Selain itu, proses transisi juga melibatkan perubahan pada aspek manusia (*human factor*) baik secara intrinsik (motivasi, *personal values*, *belief*, *attitute*) maupun dalam tataran sosial (*social interactions*, *social norms*). Proses transisi sistem sosio-teknikal (*socio-technical system*) biasanya melibatkan aktor yang heterogen yang masing-masing memiliki tujuan yang bisa jadi atau sering kali saling bertentangan. Kedua faktor tersebut saling berinteraksi dan pada akhirnya mempengaruhi dinamika transisi (*dynamics of transition pathway*).

Dalam konteks transisi *circular supply chain*, Sopha dkk. (2022) telah melakukan analisis faktor-faktor yang mempengaruhi transisi *circular supply chain* untuk baterai kendaraan listrik yang meliputi: Faktor teknologi dan infrastruktur, yang meliputi teknologi yang mendukung proses daur ulang, kemudahan dis-assembly, *parts commonality*, termasuk kelayakan teknis dan infrastruktur pendukungnya, seperti pusat remanufaktur/daur ulang, tempat pengumpulan (*collection points*), teknologi baterai, dan teknologi informasi. Contoh: teknologi daur ulang, infrastruktur. Faktor **operasi dan pengelolaan *supply chain*** mencakup tata kelola proses hulu dan hilir serta melibatkan pemangku kepentingan di EoL. Kategori ini juga mencakup interaksi dan kerjasama antara pemangku kepentingan dalam *supply chain*. Beberapa isu dalam proses ini meliputi tingkat pengembalian produk bekas yang masih rendah, ketidakpastian pasokan, koordinasi, komitmen stakeholder, pertukaran informasi antara aktor dalam supply chain). Faktor **ekonomi** yang mengacu pada faktor ekonomi yang menghambat atau memotivasi pemangku kepentingan untuk mengimplementasikan manajemen EoL dari baterai kendaraan listrik. Beberapa mekanisme skema finansial dapat diadopsi untuk mendukung implementasi *circular supply chain* untuk baterai kendaraan listrik, yaitu subsidi biaya daur ulang, insentif, nilai ekonomi, risiko investasi. Faktor **kebijakan dan regulasi** meliputi kebijakan dan peraturan melibatkan kebijakan pemerintah, peraturan, dan perusahaan kebijakan pengumpulan dan daur ulang serta standarisasi. Faktor **sosial** berkaitan dengan konsumen yang lebih luas pasar dalam masyarakat, termasuk faktor perilaku seperti kesadaran lingkungan dan aspek budaya (kesadaran konsumen, partisipasi lokal, persepsi terhadap produk daur ulang).

Proses transisi ini tentu saja melibatkan sejumlah *stakeholder* dengan peran dan tanggung jawab yang berbeda. Pemerintah berperan dalam merumuskan kebijakan dan peraturan terkait EoL baterai kendaraan listrik dan memberikan penalti terhadap ketidakpatuhan. Pemerintah dalam hal ini dapat bersifat lokal, nasional, regional, atau global. Produsen merupakan entitas bisnis yang memproduksi baterai kendaraan listrik. Dalam *circular supply chain*, produsen dapat mencakup perusahaan pertambangan/material, produsen kendaraan, atau pemasok produsen kendaraan. Pendaur ulang merupakan entitas yang bertanggung jawab untuk mengumpulkan baterai bekas dan melakukan pengolahan untuk penggunaan kembali. Produsen baterai dan produsen kendaraan biasanya bekerja sama untuk mengoptimalkan desain baterai, yang memenuhi standar ruang, keamanan, dan kemudahan servis. Di beberapa negara, seperti Norwegia, Columbia, dan Finlandia, produsen kendaraan juga berperan sebagai pendaur ulang yang bekerja sama untuk mendorong manajemen EoL untuk baterai kendaraan listrik. Di negara berkembang, para pendaur ulang melibatkan sektor formal dan informal. Pengguna dalam konteks ini dapat berupa individu atau perusahaan swasta, seperti perusahaan angkutan umum atau perusahaan energi. Perusahaan angkutan umum memiliki peran penting dalam menetapkan CE untuk baterai kendaraan listrik karena skalanya yang besar (Wrålsen dkk., 2021). Kompleksitas *circular supply chain* menciptakan beberapa tantangan praktis yang membutuhkan kerja interdisiplin. Wrålsen dkk. (2021) memasukkan universitas dan pusat penelitian tentang teknologi, desain sistem rantai pasok, dan aspek hukum (Somerville dkk., 2021) untuk mengeksplorasi model *circular supply chain* yang lebih kuat.

Dengan kompleksitas transisi menuju *circular supply chain*, maka intervensi perlu dilakukan secara simultan yaitu teknologi dan infrastruktur yang memadai, model bisnis yang inovatif (atau dikenal dengan istilah *servitization*), mekanisme insentif ekonomi efektif dan tepat, kebijakan dan peraturan yang efektif, *design for environment*, dan intervensi perilaku yang mendorong komitmen sosial (karena partisipasi sukarela seperti yang terjadi saat ini tidaklah cukup) (Sopha dkk, 2022). Oleh karenanya, dalam mendukung eksplorasi strategi dan intervensi yang efisien dan efektif dalam mendukung transisi *circular supply chain* dibutuhkan *tools*/*methods* yang mampu memodelkan sistem dengan representasi yang memadai dan mampu memprediksi secara akurat kondisi masa mendatang.

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Di sinilah dibutuhkan metode yang mampu mamfasilitasi rekayasa sistem sosio teknikal (*engineered socio-technical system*) yang memodelkan komponen-komponen utama dalam sistem sosio-teknikal yang kompleks yang meliputi aspek teknologi-ekonomi, aspek keberagaman stakeholder dalam proses transisi, aspek mekanisme interaksi antar aspek-aspek tersebut dalam memprediksi dinamika transisi di masa depan. Metode tersebut harus mampu merepresentasikan ko-evolusi (*co-evolution*) antara aspek teknis dan aspek sosial, sehingga dapat digunakan sebagai alat pembantu pengambilan keputusan dalam mengekplorasi kebijakan yang efisien dan tepat.

4. *Agent-Based Modeling* (ABM) untuk Rekayasa Sistem Sosio-Teknikal

Agent-Based Modeling (ABM) merupakan salah satu metode pemodelan simulasi untuk sistem kompleks seperti contohnya sistem sosio-teknikal (*socio-technical system*) (Sopha dan Sakti, 2021). Dengan berkembangnya sains dan teknologi, dunia menjadi sangat kompleks dan manusia sebagai pengambil keputusan terlibat dalam interaksi yang kompleks. Kebutuhan untuk memahami sistem yang lebih kompleks didukung oleh ketersediaan data dan teknologi. Teknologi komputasi yang semakin canggih memunculkan pendekatan simulasi yang lebih mampu merepresentasikan sistem nyata. Teori sistem kompleks mendefinisikan sistem kompleks sebagai sistem yang terdiri dari beberapa elemen individu yang berinteraksi satu sama lain namun sifat atau perilaku sistem tidak dapat diprediksi. Sistem kompleks dapat dilihat pada pola yang muncul pada sekelompok burung ketika terbang, yaitu berbentuk formasi V (Wilensky dan Rand, 2015). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa formasi V tidak terbentuk karena adanya burung yang memimpin tetapi disebabkan karena interaksi antar burung yang memiliki gerakan independen dan menjaga jarak dengan burung lain agar tidak bertabrakan (Wilensky dan Rand, 2015). Peristiwa pembentukan formasi ini muncul sebagai suatu fenomena atau *emergence*, dan sifat-sifat sistemnya dikenal sebagai *emergent properties*. *Emergent properties* adalah sifat sistem yang terbentuk karena interaksi antar komponen-komponennya, dimana tidak secara khusus terlihat pada tingkat individu, namun dapat dilihat pada tingkat makro (sistem). Oleh karenanya, perilaku pada tingkat individu (mikro) dapat menghasilkan perilaku sistem yang tidak terduga pada tingkat makro. Aturan sederhana pada tingkat mikro (contohnya seperti perilaku burung yang bergerak independen dan menjaga jarak dengan burung lainnya) dapat menghasilkan emergence berupa formasi V. Emergence atau fenomena yang muncul tidak selalu berupa angka, melainkan dapat berupa pola, luasan ruang atau spasial.

Ketika *Equation-Based Modeling* (contoh dengan persamaan diferensial) digunakan untuk pemodelan, model yang dibentuk harus sesederhana mungkin agar dapat diselesaikan secara analitis. Hal ini menyebabkan beberapa permasalahan sulit dimodelkan. Banyak sistem kompleks yang apabila dimodelkan dengan model matematis maka penyederhanaan harus dilakukan sehingga tidak mampu menggambarkan fenomena kompleks didalamnya. Dengan menggunakan ABMS, sistem kompleks dapat dimodelkan dengan lebih alami (*natura*l) dan fenomena-fenomena dalam sistem kompleks juga dapat dimodelkan secara akurat. Equation-based modeling biasanya tidak mampu menyelesaikan permasalahan kompleks.

Agent-Based Modeling (ABM) adalah metode pemodelan dan simulasi yang memodelkan masing-masing individu/agen dan interaksinya dalam sistem sosial dinamis (Sopha dan Sakti, 2021). ABM menggunakan *bottom-up approach* karena pemodelan dilakukan pada komponen individu/agen (mikro) untuk mengevaluasi *emergent properties* (makro). ABM dapat digunakan untuk dua hal, yaitu mengevaluasi pola/*pattern* agregat ketika perilaku individu telah diketahui (*integrative understanding*), dan mengevaluasi perilaku individu apabila pola agregat diketahui (*differential understanding*). ABM telah digunakan di

berbagai bidang, yaitu politik, biologi, dan bisnis seperti rekonstruksi arkeologi peradaban kuno, memahami proses yang melibatkan identitas nasional dan pembentukan negara, pembentukan aliansi bangsa selama perang dunia kedua, analisis jaringan sosial kelompok teroris, model biologis penyakit menular, pertumbuhan koloni bakteri, pemodelan proses ekonomi sebagai sistem dinamis berinteraksi agen, kemacetan lalu lintas, jaringan perdagangan, bisnis koalisi, evakuasi, adopsi dan difusi produk, penyebaran penyakit, dan customer flow management. Dalam konteks sistem sosio-teknikal, ABM telah digunakan untuk memahami mekanisme sistem sosio-teknikal pada transisi energi, evakuasi, logistik nasional dan untuk mengeksplorasi potensi intervensi untuk merekayasa sistem sosio-teknikal tersebut.

Dalam pengembangannya, ABM dapat dikombinasikan dengan beberapa metode (Sopha dan Sakti, 2021). ABM dapat dikombinasikan dengan metode optimasi (*hybrid simulation-optimization*), contohnya seperti yang didemonstrasikan oleh Sopha dkk. (2016b). ABM dapat dikombinasikan dengan metode simulasi lainnya (yaitu *Discrete-Event Simulation* dan *System Dynamics*) seperti yang dicontohkan oleh Sopha dkk., (2022). ABM juga dapat dikombinasikan dengan metode analisis data seperti *data mining* dan kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). ABM dan kombinasinya juga dapat digunakan sebagai *digital twin* untuk membantu pengambilan keputusan dalam sistem yang kompleks. Berikut deskripsi aplikasi ABM yang telah dikembangkan dalam konteks transisi sistem sosio-teknikal, yang memodelkan transisi energi (Sopha dkk., 2017; Nurwidiana dkk., 2022) dan sistem logistik (Sopha dkk., 2021a; Sopha dkk., 2021b).

4.1. ABM untuk Transisi Kendaraan Ramah Lingkungan (Sopha dkk., 2017)

Sejak tahun 2004, Indonesia telah menjadi negara pengimpor minyak, dimana sektor transportasi merupakan sektor yang berkontribusi terhadap 70% emisi. Oleh karenanya pemerintah mencanangkan program diversifikasi bahan bakar untuk kendaraan pribadi dengan mengenalkan gas sebagai salah satu alternatif bahan bakar. Kota metropolitan Jakarta digunakan sebagai pilot test. Walaupun pemerintah telah menyediakan pasokan bahan bakar yang cukup dan membangun infrastruktur pendukung (stasiun pengisian bahan bakar gas dan bengkel konversi), namun tidak banyak penduduk yang tertarik menggunakan kendaraan berbahan gas. ABM dikembangkan untuk memahami mekanisme adopsi dan difusi kendaraan berbahan bakar gas yang bertujuan untuk megurangi konsumsi bahan bakar minyak dan mengurangi emisi.

ABM digunakan untuk memodelkan proses pengambilan keputusan dengan mempertimbangkan jaringan sosial (*social network*) yang berbeda untuk setiap individu, beberapa alternatif kendaraan yang menjadi opsi dalam pemilihan kendaraan dimodelkan. Model konseptual dibangun berdasarkan kajian empiris yang melibatkan 120 respondents di Jakarta. Model konseptual tersebut kemudian diimplementasikan pada platform ABM. Beberapa tahapan pengujian dilakukan dan hasil memunjukkan kesesuaian dengan data historis, yang mengimplikasikan bahwa model dapat digunakan untuk melakukan eksperimen kebijakan transisi energi.

Beberapa insights yang diperoleh berdasarkan hasil eksperimen. Pertama, kebijakan transisi energi harus dilakukan secara simultan, yaitu pada aspek *demand* yaitu pada pengambilan keputusan oleh konsumen dan pada aspek *supply* yang meliputi tersedianya kendaraan dan infrastruktur pendukung karena kedua aspek ini saling mempengaruhi satu dengan yang lain yang memiliki karakter permasalahan *chicken-egg problem*. Kedua, konsumen tidak selalu bertindak rasional yang mempertimbangkan *benefit* dan *cost*, konsumen juga dapat melakukan heuristik seperti imitasi dimana keputusan pemilihan kendaraan juga dipengaruhi oleh interaksi sosial. Hal ini menunjukkan bahwa pengambilan keputusan kendaraan ramah lingkungan harus didekati dengan pendekatan psikologis yang melibatkan *attitude* (penilaian seseorang tentang baik buruknya kendaraan ramah lingkungan), kemampuan seseorang dalam membeli kendaraan, dan interaksi sosial (*social interaction*). Ketiga, penyediaan infrastruktur saja tidak menjamin adopsi dan difusi

kendaraan ramah lingkungan. Adopsi dan difusi kendaraan ramah lingkungan akan *sustain* dalam jangka panjang bila kebijakan infrastruktur dan insentif ekonomi melalui subsidi juga dilakukan bersamaan dengan dengan peningkatan pajak kendaraan yang tidak ramah lingkungan, serta membangun persepsi terhadap tingkat keamanan kendaraan ramah lingkungan. Transisi energi pada sektor transportasi merupakan sistem kompleks yang melibatkan aspek teknikal dan aspek sosial. Oleh karenanya, kebijakan energi terkait kendaraan ramah lingkungan harus ditargetkan pada kebijakan untuk membangun infrastruktur yang dilaksanakan secara simultan dengan kebijakan yang ditargetkan pada entitas pengambil keputusan (individu). Artikel ilmiah ini telah mendapatkan *acknowledgement* dari *Environmental Innovation and Societal Transitions* (Elsevier) sebagai artikel yang paling banyak disitasi dalam periode 30 hari setelah penerbitan.

4.2. ABM untuk Transisi Energi Photovoltaics (Nurwidiana dkk., 2022)

Transisi energi terbarukan dengan menggunakan photovoltaics (PV) juga menunjukkan karakter sistem sosio-teknikal yang kompleks, dimana proses transisi melibatkan konsumen/penduduk, vendor PV, dan pemerintah. Oleh karenanya, penyelesaian permasalahan ini membutuhkan pendekatan terintegrasi dan interdisiplin. Difusi PV di Indonesia bertujuan untuk mengurangi tingkat emisi dengan meningkatkan proporsi energi terbarukan PV sebagai bagian dari komitmen Indonesia pada *Paris Agreement*. Pengembangan teknologi PV yang signifikan menjadikan PV sebagai alternatif sumber energi yang ekonomis, dimana nilai LCOE (*levelized cost of electricity*) dari PV lebih rendah daripada LCOE dari pembangkit listrik berbasis fosil. Namun demikian, adopsi PV masih sangat rendah di Indonesia, walaupun beberapa program seperti *Solar Home System* 50 Wp untuk sektor rumah tangga tanpa akses listrik, dan Gerakan Nasional Sejuta Surya Atap (GSSA) untuk sektor industri telah dilaksanakan. Program-program inisiasi tersebut belum mampu meningkatkan adopsi dan difusi PV dalam jangka panjang.

ABM yang dikombinasikan dengan optimasi (*hybrid simulation-optimazion*) dibangun untuk mengintegrasikan pengambilan keputusan rumah tangga (konsumen) yang meliputi aspek psikologis dan sosial, teknologi, ekonomi dan regulasi, yang kesemuanya dimodelkan secara endogen. Konsumen memutuskan untuk mengadopsi atau tidak mengadopsi PV, sementara perusahaan melakukan investasi dan mengoptimalkan *supply chain* penyediaan PV dan layanan pendukungnya. Pemerintah menyusun regulasi, memberikan insentif ekonomi, atau melakukan jenis intervensi lainnya. Interaksi antara rumah tangga, vendor, dan pemerintah terjadi secara dinamis. Mekanisme yang mendasari pola dinamis adopsi PV perlu dipahami untuk merumuskan intervensi yang efektif dan efisien yang diperlukan untuk mempercepat adopsi dan difusi PV di Indonesia. ABM digunakan untuk memodelkan heterogeneitas rumah tangga dan proses pengambilan keputusan adopsi, sementara optimasi digunakan untuk mengoptimalkan *supply chain* PV yang didasarkan pada jumlah permintaan yang diperoleh dari hasil simulasi.

Hasil simulasi menunjukkan beberapa fakta yang menarik. Pertama, terdapatnya gap antara *willingness* untuk mengadopsi PV dan keputusan adopsi yang sesungguhnya, dimana *willingness* PV sangat tinggi namun tidak diikuti dengan adopsi PV. Bukti di mana *willingness* tidak selalu diterjemahkan ke dalam perilaku adopsi menunjukkan perlunya memahami faktor penghambat adopsi. Selain itu, hal ini menunjukkan bahwa *supply* dan *demand* harus dimodelkan secara endogen dalam memodelkan transisi PV. Kedua, kebijakan *export tariff* mampu meningkatkan tingkat adopsi PV, dan sebaliknya pemberian insentif tidak memadai untuk mempertahan adopsi dan difusi PV jangka panjang. Berdasarkan hasil eksperimen, skenario kebijakan tunggal terbaik diperoleh melalui *export tariff*. Ketiga, kebijakan tunggal tidak mampu mendorong adopsi dan difusi PV dalam jangka panjang. Kebijakan kombinasi terbaik diperoleh dengan kombinasi penerapan *export tariff*, insentif/subsidi instalasi PV dan kampanye PV. Penting juga untuk

dicatat bahwa peningkatan tarif ekspor harus digabungkan dengan yang lain intervensi seperti insentif dan lingkungan untuk mengoptimalkan dampak secara ekonomi dan lingkungan (Nurwidiana dkk., 2022).

4.3. ABM untuk Transisi Sistem Logistik Nasional (Sopha dkk., 2021a)

Ilustrasi dua kasus di atas menunjukkan bahwa ABM adalah metodologi yang tepat untuk memodelkan sistem kompleks yang melibatkan entitas yang dan heterogen yang saling berinteraksi. Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana ABM digunakan untuk memodelkan transisi pada sistem logistik.

Pemerintah telah merancang *blueprint* Sistem Logistik Nasional (SISLOGNAS) melalui Peraturan Presiden no. 26/2012 dengan tujuan meningkatkan performansi logistik di Indonesia. *Logistics Performance Index* (LPI) Indonesia = 3,15 di tahun 2018, peringkat kelima di antara negara-negara ASEAN setelah Singapura, Thailand, Vietnam, dan Malaysia. Pada tahun 2023, *Logistics Performance Index* (LPI) Indonesia sedikit mengalami penurunan menjadi 3 (The World Bank, 2023), dan masih berada di bawah Singapura, Thailand, Vietnam, dan Malaysia. *Blueprint* SISLOGNAS tersebut merencanakan jumlah dan lokasi Regional Distribution Center (RDC) yang berfungsi sebagai *hub* yang menghubungan antara Provincial Distribution Center (PDC) dengan *global market* dengan mengunakan pendekatan *hub-and-spoke*. Namun demikian, implementasi rencana tersebut berjalan lambat karena investasi yang tinggi dan masih terdapat keraguan terkait efektifitas dari *blueprint* SISLOGNAS dalam jangka panjang.

ABM yang dikombinasi dengan optimasi dibuat untuk membuat *decision support system* untuk mengevaluasi kinerja jangka panjang RDC yang direncanakan dalam jaringan *hub-and-spoke* (HS) sesuai dengan *blueprint* Sistem Logistik Nasional Indonesia (SISLOGNAS). ABM memodelkan heterogeneitas masing-masing provinnsi dalam hal kapasitas produksi dan jumlah permintaan untuk komoditas pokok. Beberapa provinsi memiliki sumber daya dan kemampuan produksi lebih besar dibanding kebutuhan, dan sebagian provinsi yang lainnya memiliki kebutuhan yang melebihi ketersediaan sumber daya dan kemampuan produksi. Oleh karenanya, transaksi terjadi antar provinsi dan dilakukan pada RDC dimana tiap provinsi diklasterkan pada RDC sesuai dengan rancangan *blueprint* SISLOGNAS. Moda transportasi yang meliputi truk, pesawat, dan kapal, dan penggunaan multi-modal serta rute untuk mendistribusikan komoditas dioptimasikan dengan menimimalkan biaya transportasi untuk setiap kegiatan distribusi.

Skenario dikembangkan untuk mengevaluasi keefektifan strategi *hub-and-spoke* (dibanding strategi *point-to-point*) dan performansi logistik dari masing-masing RDC yang telah ditentukan dalam blueprint SISLOGNAS dievaluasi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jaringan *hub-and-spoke* menghasilkan kinerja logistik yang lebih baik daripada jaringan *point-to-point* sehingga pendekatan *hub-and-spoke* sangat tepat untuk karakter sistem logistik kepulauan di Indonesia. Biaya transportasi memberikan kontribusi terbesar terhadap total biaya logistik. Oleh karenanya, merancang jaringan distribusi yang efektif dan mengevaluasi kombinasi multi-moda yang optimal akan mengurangi biaya logistik secara signifikan. Namun demikian, ditemukan ketidakseimbangan beban logistik pada masing-masing RDC dimana sebagain RDC memiliki beban logistik yang melebihi kapasitasnya sementara RDC yang lain beroperasi di bawah kapasitasnya. Hal ini menunjukkan bahwa rencana penentuan jumlah dan lokasi RDC yang tertuang dalam *blueprint* SISLOGNAS belum efektif. Fenomena ini menjelaskan lambatnya implementasi *blueprint* SISLOGNAS. Beban logistik yang tidak merata di antara RDC menyiratkan bahwa adanya kebutuhan untuk mengeksplorasi lebih lanjut cakupan RDC yang direncanakan sebagai *hub*, sehingga perlu pengkajian ulang dalam menentukan lokasi dan alokasi PDC pada RDC, serta mekanisme koordinasi antara RDC. Hasil temuan ini juga telah dikomunikasikan melalui pertemuan *triple helix* antara akademisi, praktisi dan kementrian perdagangan, sehingga diharapkan kebijakan sistem logistik kepulauan (*archipelagic logistic system*) didasarkan pada hasil kajian yang mendalam (*research-based policy*). Selain itu, artikel ini

mendapatkan penghargaan *Editor Choice Award of Maritime Economics and Logistics* dari Palgrave-Macmillan-Springer di tahun yang sama saat penerbitan.

4.4. ABM untuk *Sustainable Humanitarian Operations* (Sopha dkk., 2021b)

Selain digunakan untuk memahami mekanisme transisi energi dan sistem logistik, ABM juga dapat diimplementasikan dalam perancangan evakuasi (*evacuation plan*), yang merupakan bagian dari operasi dalam logistik kemanusiaan (*humanitarian logistics*). Dalam operasi kemanusiaan, evakuasi memiliki peranan yang kritis dalam mengurangi risiko fatalitas. Membangun model evakuasi yang akurat snagat penting untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi rencana evakuasi yang dapat mengurangi jumlah korban.Evakuasi dipengaruhi banyak faktor yaitu karakteristik bencana (yang biasanya sulit diprediksi), penduduk (sebaran dan kepadatan penduduk, pengambilan keputusan penduduk untuk mengungsi yang heterogen), infrastruktur (tempat pengungsian, rute, jumlah kendaraan untuk mengungsi), jumlah donor dan relawan, yang kesemuanya saling berinteraksi dan menghasilkan dinamika evakuasi yang biasanya diukur dengan menggunakan waktu evakuasi dan jumlah pengungsi.

Keputusan untuk mengungsi tidaklah sama antar individu. Hal ini menunjukkan adanya heterogeneitas dalam proses pengambilan keputusan mengungsi, yang tidak diperhitungkan untuk mengestimasi waktu evakuasi pada pendekatan *single-discipline*. Sopha dkk. (2019) telah menunjukkan bahwa keputusan mengungsi (yaitu kapan dan bagaimana mengungsi) secara signifikan mempengaruhi waktu evakuasi. Oleh karenanya, waktu evakuasi yang diperkirakan tanpa mempertimbangkan faktor ini biasanya tidak akurat (Vorst, 2010). Seringkali, penduduk yang menolak mengungsi menjadi tantangan dalam proses evakuasi. Oleh karenanya, ABM digunakan karena mampu memodelkan keputusan evakuasi di tingkat individu. Namun demikian, ABM perlu dikombinasikan dengan *Discrete-Event Simulation* yang mampu memodelkan secara akurat proses evakuasi dengan *resources* (yaitu relawan dan kendaraan) yang terbatas. Kombinasi ini disebut dengan *multi-method simulation* (MMS) yang saat ini belum banyak peneliti yang menggunakan. Menggabungkan ABM dan DES dalam perancangan evakuasi memodelkan interaksi antara pengungsi, relawan, kendaraan, dan infrastruktur (yaitu, jaringan jalan, tempat berlindung) dengan akurasi yang lebih tinggi sehingga beberapa potensi intervensi pada tingkat yang berbeda dapat dilakukan. MMS mampu memodelkan pengambilan keputusan evakuasi berbasis data empiris terkait dengan pergerakan dan relawan serta kendaraan yang dibutuhkan. Model secara akurat mensimulasikan pengambilan keputusan evakuasi, pergerakan evakuasi, dan sumber daya yang dibutuhkan, yang memberikan pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme dibalik dinamika evakuasi.

Selain itu, operasi logistik kemanusiaan tidak hanya bertujuan untuk meminimalisir korban dengan *resources* yang ada, namun juga perlu dirancang sedemikian rupa meminimalkan dampak terhadap lingkungan dalam jangka panjang. Oleh karena, indikator kinerja yang diukur tidak hanya jumlah pengungsi yang dapat diselamatkan, namun juga mengukur dampak lingkungan yang dapat diukur dengan emisi (dalam kajian ini menggunakan emisi CO_2) dan *fairness* (sebagain dua indikator kinerja yang terkait dengan *sustainability*). Kajian ini menggunakan tiga indikator *sustainability* untuk mengukur rencana evacuation (*evacuation contigency plan*) yaitu waktu evakuasi, emisi CO_2 dan keseimbangan beban *shelter*. Menggunakan indikator kinerja berkelanjutan membantu memilih solusi jangka panjang yang memenuhi kebutuhan secara efektif yang meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Hasil eksperimen menunjukkan fakta yang berguna dalam melakukan perancangan evakuasi. Pertama, kapasitas *shelter* saat ini tidak semuanya mampu memenuhi semua kebutuhan pengungsi. Beberapa *shelter*

memiliki kapasitas di bawah bebannya. Kedua, pengambilan keputusan evakuasi mempengaruhi beban *shelter* dan emisi CO_2, sedangkan alokasi sumber daya mempengaruhi waktu evakuasi. Ketiga, jumlah, lokasi, dan alokasi pengungsi ke titik kumpul dan *shelter*, dan alokasi sumber daya harus dievaluasi kembali untuk mengantisipasi pengungsi yang tidak mengikuti tujuan shelter dan rute yang telah ditentukan dalam rencana evakuasi. Hal ini perlu diantisipasi karena deviasi ini menghasilkan waktu evakuasi yang lebih lama (disebabkan karena kepadatan yang tidak merata saat evakuasi), beban *shelter* yang tidak seimbang, dan emisi CO_2 yang lebih tinggi.

5. *Insights* dan Refleksi

Berdasarkan paparan yang sudah dijelaskan di atas, maka dapat kita petik insights/wawasan dan melakukan refleksi terhadap pendekatan yang saat ini kita lakukan dan melakukan perumusan perbaikan ke depan dengan *systems thinking* dan metode yang tepat sesuai dengan karakter permasalahan.

Systems thinking membantu menganalisis suatu masalah sebagai suatu sistem yang tidak hanya mengenali komponen-komponen dalam sistem tetapi juga memahami interaksi antar komponen-komponennya. Interaksi dalam sistem inilah yang menghasilkan perilaku sistem yang sulit untuk diprediksi dan sering kali bersifat *counter-intuitive*. *Systems thinking* yang bersifat *future-oriented* dapat mengidentifikasi *unintended consequences* di masa depan. Dengan permasalahan yang semakin kompleks, maka dibutuhkan pendekatan yang inovatif dan metode interdisiplin dan multidisiplin untuk mengakomodir hal tersebut. Oleh karenanya, *systems thinking* perlu dilengkapi dengan metodologi dan *tools* yang mampu memodelkan komponen dan interaksinya. ABM adalah salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk memodelkan komponen dan interaksinya serta memprediksi perilaku sistem dalam jangka panjang. ABM pada dasarnya adalah suatu *platform* yang dapat memfasilitasi pendekatan multidisiplin dalam pemecahan masalah. Dengan perkembangan Industrial Revolution 4.0, ABM menjadi alat yang sangat relevan karena dapat digunakan sebagai *digital twin* untuk membantu dalam perancangan strategi, intervensi, dan kebijakan.

Transisi sistem *supply chain* (*circular supply chain/circular economy*, *archipelagic logistics*, *humanitarian logistics*) dan transisi sistem energi adalah sistem sosio-teknikal yang kompleks karena dalam proses transisi tersebut, tidak hanya melibatkan faktor teknologi, infrastruktur, ekonomi, namun juga faktor psikologi, sosial, regulasi, serta interaksi antara faktor-faktor tersebut. Oleh karenanya, pendekatan yang berfokus pada satu faktor dan/atau intervensi yang dilakukan hanya pada satu faktor, tidak akan mampu untuk menyelesaikan masalah dalam sistem kompleks, sebaliknya pemahaman interaksi antar faktor yang menghasilkan intervensi simultan dengan mempertimbangkan dampak pada saat ini dan dampak masa depan adalah pendekatan yang perlu diadopsi untuk membangun sistem yang berkelanjutan.

Bila direfleksikan pada salah satu kebijakan *net zero emission*, yaitu adopsi kendaraan listrik di Indonesia, maka dengan menggunakan *systems thinking*, dapat dipahami bahwa dengan *energy mix* (bauran energi) saat ini, maka penggunaan kendaraan listrik di Indonesia belum dapat dikatakan *sustainable*. Hal ini disebabkan karena pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh batubara, sehingga emisi pada fase penggunaan kendaraan (*use phase*) berpindah ke pembangkit listrik, sehingga hal ini menunjukkan terjadinya fenomena *problem shifting* – penyelesaian masalah pada satu aspek menyebabkan permasalahan pada aspek yang lain. Dengan menggunakan *systems thinking*, *problem shifting* dapat dihindari. Selain itu, penggunaan kendaraan listrik harus dibarengi dengan pembangunan ekosistem pengelolaan *end-of-life* dari kendaraan listrik agar intervensi yang awalnya bertujuan untuk mengurangi *Global Warming Potential* tidak dibarengi dengan peningkatan dampak lingkungan yang lain seperti *Human Toxicity Potential* dan *Mineral Depletion Potential*.

Dalam kesempatan ini, saya mengajak para akademisi, praktisi, dan pemerintah untuk membangun ekosistem kendaraan listrik dengan pendekatan *circular suppy chain* yang meliputi pembangkit listrik, produksi kendaraan, penggunaan, pengelolaan end-of-life dan industri-industri terkait seperti industri pertambangan, industri elektronik, industri photovoltaics dan seterusnya yang pada akhirnya akan membentuk sistem ekonomi sirkular (*circular economy*). Oleh karenanya, untuk mendukung implementasi *circular economy*, intervensi perlu difomulasikan dengan pendekatan *life-cycle thinking*, interdisiplin dan multidisiplin dan kolaborasi antar *stakeholder* baik akademisi, bisnis, pemerintah, dan masyarakat (Smagl dan Ward, 2013). Terkhusus bagi akademisi, penelitian harus berkontribusi tidak hanya untuk penciptaan pengetahuan tetapi juga kesejahteraan umat manusia/masyarakat (Sopha, 2023). Dengan pendekatan yang inovatif, interdisiplin dan multidisiplin, dan berorientasi masa depan, kebijakan/intervensi yang didasarkan pada kajian mendalam terhadap relevansi permasalahan dan konteks (*research-based policy*) dapat diformulasikan secara tepat, bijaksana dan berkelanjutan. Sebagaimana kita telah diingatkan dalam QS Ar Rum (30):41: “

“*Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)*”

Semoga generasi kita adalah salah satu generasi yang berkontribusi dalam melakukan perbaikan. Dengan ini, sampailah saya di penghujung pidato pengukuhan ini.

Bapak/Ibu yang saya muliakan,

Capaian yang saya raih sebagai Guru Besar Teknik Industri di Universitas Gadjah Mada tidak akan dapat saya raih tanpa ijin dari Allah, *Rabb* semesta alam. Pada bagian akhir pidato pengukuhan ini, perkenankan saya mengucapkan terimakasih kepada:

Pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi dan Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi yang telah memberikan kepercayaan sebagai Guru Besar dalam bidang Teknik Industri.

Rektor dan Senat Akademik Universitas Gadjah Mada, Dekan dan Senat Akademik Fakultas Teknik, dan dan seluruh unsur pimpinan Fakultas Teknik yang telah menyetujui usulan saya sebagai Guru Besar dalam bidang Teknik Industri.

Semoga amanah sebagai seorang Guru Besar dalam bidang ilmu Teknik Industri dapat saya laksanakan dengan setulus hati dan sebaik-baiknya sebagai bentuk ketaatan kepada Allah dan darma bakti kepada Republik Indonesia melalui Universitas Gadjah Mada yang saya banggakan.

Salam takdzim saya sampaikan kepada:

Segenap guru-guru saya di Sekolah Dasar Negeri Teladan 009 Samarinda, Sekolah Menengah Pertama Negeri 1 Samarinda, dan Sekolah Menengah Atas Negeri 1 Samarinda, Kalimantan Timur.

Prof. Prof. Ir. Panut Mulyono, M.Eng., D.Eng., IPU., ASEAN.Eng. sebagai dosen pembimbing akademik dan dosen pembimbing penelitian selama kuliah sarjana di Teknik Kimia UGM yang dengan sabar membimbing dan memberikan pengalaman penelitian dengan industri (PT PUSRI). Prof. Ida Bagus Agra sebagai dosen pembimbing skripsi yang mengajarkan saya tentang disiplin dan *self-resilience*.

Prof. Patrik Jonsson sebagai dosen pembimbing tesis di *Management of Production*, Chalmers University of Technology, Swedia, yang pertama kali mengajarkan saya tentang *logistics and supply chain engineering* yang pada saat itu belum dikenal di Indonesia. Prof. Edgar Hertwich yang memberikan kesempatan pada saya (yang berkompetisi dengan 60 *international candidates*) sebagai *research fellow* di Industrial Ecology Norwegian University of Science and Technology, Norwegia. Beliau mengenalkan saya dengan *life-cycle thinking* dan *life-cycle assessment*, serta mengajarkan saya *life-work balance* dan konsistensi dalam menghasilkan karya ilmiah yang berkualitas dan berdampak. Prof. Christian Klockner sebagai co-supervisor yang mengajarkan saya *environmental psychology* dan sekaligus *supervisor* untuk *post-doctoral* project di bidang *energy behavior*. Prof. Ellen Matthies (NTNU), Prof. Roland Scholtz (ETH Zurich, Switzerland), Dr. Ruud Kempener (Harvard University, US) sebagai komite penguji disertasi yang memberikan tantangan kepada saya untuk mengekspansi pendekatan interdisiplin dengan mengembangkan ABM yang dikombinasikan dengan *empirical research* untuk menyelesaikan permasalahan kompeks.

Salam hormat dan terimakasih saya haturkan bagi sesepuh di Fakultas Teknik UGM, Prof. Ir. Sudjarwadi, M.Eng., Ph.D., Prof. Ir. Nizam, M.Sc., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., Prof. Ir. Siti Malkhamah, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng., Prof. Ir. Wahyudi Budi Sediawan, S.U., Ph.D., Prof. Ir. I Made Bendiyasa, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Suryo Purwono, M.A.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN.Eng., Prof. Dr.Techn. Ir. Danang Parikesit, M.Sc., IPU., ASEAN.Eng., Prof. Dr. Ir. Agus Taufik Mulyono, MT., IPU. ASEAN.Eng., Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA., IPM., ASEAN Eng, Prof. Ir. Samsul Kamal, M.Sc., Ph.D., Prof. Ir. Jamasri, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Prof. Dr. Ir. Harwin Saptoadi, M.SE., IPM., ASEAN Eng., Ir. Muhammad Waziz Wildan, M.Sc., Ph.D., IPU., Prof. Dr. Eng. Ir. Deendarlianto, S.T., M.Eng., Prof. Ir. Heru Santoso Budi Rochardjo, M.Eng., Ph.D., IPM., Prof. Ir. Alva Edy Tontowi, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. yang telah membimbing saya dengan ilmu dan kebijaksanaannya.

Saya haturkan terimakasih untuk kolega dan mitra atas kerjasama dan berbagi pengetahuan yang pengalaman yang berharga:

Cecilia Haskins, Ph.D. (Universitet in SØrØst, Norway) yang mengenalkan tentang *systems engineering*, Bhwna Singh, Ph.D. dan Rachel Jorge, Ph.D. (NTNU) yang menjadi teman suka duka selama studi doktoral, Ir. Anna Maria Sri Asih, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM, ASEAN Eng. yang juga sebagai sahabat dan kolega berbagai dan saling mengingatkan sejak pertama kali bergabung di DTMI, Dr. rer. silv. Muhammad Ali Imron, S.Hut., M.Sc. sebagai *partner-in-ABM*, Prof. Robert de Souza (NUS) yang selalu menginspirasi dan mengenalkan *humanitarian logistics*, Prof. Eiichi Taniguchi (Kyoto University) yang mengenalkan *city logistics* dan Prof. Russel Thompson (University of Melbourne) yang bersedia membimbing salah satu dosen junior TI UGM bidang *supply chain*, Prof. Kevin Cullinane (Gothenburg University) sebagai *partner* penelitian *maritime logsitics* dan Prof. Per Engelseth (Molde University) sebagai partner penelitian *agriculture logistics*, Prof. I Lin Wang dan Prof. Jerry (National Cheng-Kung University) yang memberikan kesempatan saya untuk *visiting lecture* di National Cheng Kung University, Prof. Anthony F. Chiu (De La Sale Univ) sebagai pioner dan mengenalkan *Industrial Ecology* di Asia, Prof. Benny Tjahjono (Coventry University) dan Dr. Lynette Cheah (Singapore University of Technology and Design) sebagai *partner* penelitian dan joint supervisor untuk mahasiswa doktoral bimbingan saya, Prof. Gyu Min Lee (Pusan National University, Korea) atas bantuannya untuk *Journal of Industrial Engineering and Education*, Prof. Bopaya Bidanda (Pittburgs University, US) dan Prof. Hamid Parsaei (Texas A&M University, US) yang memberikan kesempatan kepada saya untuk berkontribusi sebagai *author* dalam *Maynard Industrial Engineering Handbook 2023*, Prof. Rahmat Nurcahyo (UI) sebagai *partner* riset kolaborasi, Prof. Ahad Ali dan Prof. Don Reimer di Industrial Engineering and Operations Management Society (IEOM).

Pengurus Departemen Teknik Mesin dan Industri periode 2016-2020, Prof. Ir. Mochammad Noer Ilman, S.T., M.Sc., Ir. Fauzun, S.T., M.T., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., M.Pm., Ph.D.,

IPU. ASEAN Eng., Ir. Muhammad Kusumawan Herliansyah, S.T., M.T.,Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Ir. Nur Aini Masruroh, S.T., M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng., Dr. Ir. Kusmono, S.T., M.T., IPM, Ir. Muslim Mahardika, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng., Ir. Indro Pranoto, S.T., M.Eng., Ph.D, IPM., ASEAN Eng., Dr.Eng. Ir. R. Rachmat A. Sriwijaya, S.T., M.T., D.Eng., IPM., ASEAN Eng., Dr. Indraswari Kusumaningtyas, S.T., M.Sc., yang dibantu juga oleh mas Sani Wicaksono, mbak Titin, mba Citra, terimakasih atas kebersamaannya, serta kolega, asisten, dan alumni asisten Supply Chain Engineering and Logistics (SCiLog), Teknik Industri UGM.

Pengurus Fakultas Teknik UGM: Prof. Ir. Selo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng., Dr. Ir. Sugeng Sapto Surjono, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., Prof. Ir. Muslikhin Hidayat, S.T., M.T., Ph.D., IPU., Ir. Ali Awaludin, S.T., M.Eng., Ph.D., IPU, ACPE., Indra Perdana, S.T., M.T., Ph.D., Dr. Ahmad Nasikun, S.T., M.Sc., Jimly Al Faraby, S.T., M.Sc., Ph.D., Dr. Eng. Ir.Herianto, S.T., M.Eng., IPU., Dr. Faridah, S.T., M.Sc., Dr. Ir. Inggar Septhia Irawati, S.T., M.T., IPM., Rita Kurniawaty, S.E., M.Sc., mas Franky, mbak Deny, mbak Nuning, dan mas Handoko yang selalu ceria di balik jadwal yang tidak pernah *idle.*

Seluruh dosen, tenaga kependidikan, dan para mahasiswa bimbingan sarjana, magister, dan doktoral yang tidak dapat saya sebut namanya satu persatu yang telah membentuk atmosfir akademik, Dharma Wanita dan keluarga besar Departemen Teknik Mesin dan Industri dan Fakultas Teknik, dan keluarga besar alumni Teknik Industri (Katigama).

Ucapan terimakasih juga saya haturkan bagi pengurus dan kolega di BKSTI baik di pusat maupun di wilayah atas dukungan yang luar biasa dan kontribusi yang tidak henti untuk kemajuan Teknik Industri di Indonesia: Bapak/Ibu Badan Pertimbangan BKSTI, Prof. Dr. Ir. Abdul Hakim Halim, M. Eng., Dr. Ir. Sri Gunani Partiwi, M.T., Prof. Dr. Ir. Sukaria Sinulingga, M. Eng., Ir. Sritomo Wignjosubroto, M.Sc., Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo, Prof. Dr. Ir. Susy Susmartini, MSIE, Prof. Dr. Ir. Yuri M. Zagloel, M.Sc. Eng., Prof. Dr. Wahyudi Sutopo, S.T., M.Si., Prof. Ir. Nizam, M.Sc., Ph.D., IPM, ASEAN Eng., Prof. Dr. Ir. Dradjad Irianto, M. Eng., Ir. I Made Dana Tangkas, M.Si., IPU, ASEAN Eng.. Ibu-ibu tim sekretariat yang selalu memberikan energi positif untuk terus mengabdi: Dr. Naniek Utami Handayani, S.Si., M.T., Muriani Emelda Isharyani, S.T., M.T., Utaminingsih Linarti, S.T., M.T., Dr. Manik Mahachandra. Badan Pelaksana BKSTI yang aktif mengadakan kegiatan-kegiatan BKSTI Pusat: Dr. Andi Cakravastia Arisaputra Raja, S.T., M.T., Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., Jonrinaldi, S.T., M.T., Ph.D., Prof. Markus Hartono, S.T., M.Sc., Ph.D, CHFP, Ardiyanto, S.T., M.Sc., Ph.D., Dr. Ir. Anas Ma'ruf, M.T., Prof. Iwan Vanany, S.T., M.T., Ph.D., Zulhamidi, S.T., M.T., Dr. Dra. Amelia Santoso, M.T., Dr. Carles Sitompul, S.T., M.T., M.I.M., Irma Nur Afiah, S.T., M.T., Ph.D., Dr. Made Andriani, Dr. Ir. Yopa Eka Prawatya, S.T., M.Eng., IPM, Ikhwan Arief, S.T., M.Sc., Much. Djunaidi, S.T., M.T., Prof. Dr. Ir. Elisa Kusrini, M.T., Dr. Ir. Syarifuddin M. Parenreng, S.T., M.T., Dr. Muh. Hisjam, ASCA, Dr. Lamto Widodo, ST., MT, Nasir Widha Setyanto, S.T., M.T., Angga Akbar Fanani, S.T., M.T., dan para Ketua Koordinatoriat Wilayah yang membantu BKSTI Pusat memberikan pelayanan untuk prodi-prodi di wilayah: Prof. Dr. Meilita Tryana Sembiring, S.T., M.T., Dr. Ir. Ari Setiawan, M.T., Prof. Dr-Ing. Amalia Suzianti, S.T., M.Sc., Eko Setiawan, S.T., M.T., Ph.D., Ririn Diar Astanti, S.T., M.MT., D.Eng., Dr. Saiful Mangenre, S.T., M.T, dan seluruh kaprodi sarjana, magister, dan doktoral Teknik Industri di seluruh Indonesia.

Pengurus Institut Supply Chain dan Logistik Indonesia (ISLI): Prof. Dr. I Nyoman Pujawan, CSCP, Prof. Dr. Tomy Perdana, Ir. Eric Wibisono, Ph.D., IPU, Dr. Yuanita Handayati, M.S.M., Oki Anita Candra Dewi, ST., MT. yang selalu kompak, serta Bapak/Ibu pengurus ISLI 2022-2025.

Kolega peneliti di Pusat Studi Transportasi dan Logistik (PUSTRAL) serta Pusat Studi Energi (PSE) UGM.

Mitra pemerintahan dan industri: Ibu Yuni Karuniawati (Dinas Perhubungan Provinsi DIY), Bapak Jaka Purwanta (Chief of Capability Center PT TMMIN) dan tim TMMIN (Pak Wijaya, Pak Syaefuddin), Bapak

Nafi'ul Minan (Kepala UPT Logam Yogyakarta), Bapak Ananto Wimbaji (Senior Sustainability Consultant Nike), Bapak Iqbal dan Bapak Almas Aprilana (PT PLN), Ibu Risma Fattahatin (IKMA Kemenperin), Dr. Iwan Kusmarwanto (Presiden Direktur PT Mataram Paint Co.)

Kolega-kolega reviewer penelitian nasional, evaluator IABEE, dan asesor LAMTEK atas kebersamaannya dalam menjalankan tugas.

Para rekan-rekan yang bersama-sama menimba ilmu terkhusus untuk keluarga spansa kelas 3-1 (1992), terimakasih atas jalinan silaturahmi yang sudah terjalin selama 31 tahun, dan keluarga Teknik Kimia Angkatan 95 yang selalu aktif dengan ide-ide segarnya, serta kolega Siswa Teladan 91 (terimakasih mas Iqbal, lurah kelurga Sistel 91 yang menyambungkan tali silaturahmi setelah 25 tahun) dan keluarga IKA Sistelnas yang energinya tidak pernah habis, keluarga Trondheimers, keluarga Rejodani I RT02/RW01 dan keluarga haji Jarwal Al-Khoir yang guyup.

Ucapan terimakasih yang teristimewa dan sungkem untuk kedua orang tua saya H. R. Achmad (alm). dan Hj. Sri Amaningsih (alm) yang mengasuh dan mendidik saya untuk memegang teguh integritas dan mengajarkan kepada saya kemandirian, serta mendo'akan dengan tulus dan tanpa batas. Semoga Allah swt memberikan tempat terindah bagi almarhun orang tua saya yang tidak sempat menyaksikan acara ini serta melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya. Bapak dan Ibu Mertua, H. Aming (alm) dan Hj. Asiyah (alm) atas do'a dan restunya bagi kami sekeluarga. Kakak, Dr. Andy Erwin Wijaya, S.T., M.T., dan adik, Cynthia Devy Irawati, SKH, M.M., beserta keluarga, yang berbagi cerita kehidupan, saling mengingatkan dengan guyonan-guyonan, dan do'a-do'anya. Terhatur ucapan terimakasih untuk keluarga besar Bapak Kartodiredjo di Rembang, Bapak Ngadi Hadisuwito di Blitar dan Malang, dan keluarga besar Bapak Haji Mansur di Subang.

Teruntuk anak-anak yang saya sayangi: Nada Salsabila Ma'mun, Naufal Stjerne Ma'mun dan Naveed Sivert Ma'mun, terimakasih atas bakti, sayang, dan do'a kalian untuk papa dan mama, dan kesediaan kalian menerima segala keterbatasan mama. Semoga pengertian dan bakti kalian menjadi amal jariyah yang tidak terputus sampai akhir zaman.

Last but not least, untuk pendamping hidup saya yang saya sayangi dengan segenap hati, Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. atas kasih sayang yang tiada bersyarat dalam meniti perjalanan rumah tangga yang sudah dilalui selama 23 tahun dan yang selalu ada untuk mendukung saya apapun kondisinya. Ucapan terimakasih tidaklah cukup. Semoga Allah yang akan memberikan balasan yang jauh lebih baik dan menjaga keluarga kita agar selalu sakinah mawaddah wa rohmah sehidup sesurga, amiin ya rabbal alamiin.

Akhirnya, kepada Bapak/Ibu yang telah meluangkan waktu dengan sabar dan tulus mendengarkan pidato pengukuhan ini, baik yang berada di ruang Balai Senat Universitas Gadjah Mada, maupun yang mengikuti secara daring via zoom atau youtube dimanapun Bapak/Ibu berada. Kami ucapkan terimakasih dan apresiasi sedalam-dalamnya serta memohon maaf atas segala kekhilafan dan kesalahan. Semoga Allah memberkahi kita semua.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wa Barakaatuh.

DAFTAR PUSTAKA

Abram, N. J., McGregor, H. V., Tierney, J. E., Evans, M. N., McKay, N. P., Kaufman, D. S. & the PAGES 2k Consortium (2016). Early onset of industrial-era warming across the oceans and continents. *Nature*, 536, 411-418. https://doi.org/10.1038/nature19082

Ahi, P. & Searcy, C. (2013). A comparative literature analysis of definitions for green and sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 52, 329–341. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.02.018

Arvianto, A., Sopha, B. M., Asih, A. M. S. & Imron, M. A. (2021). City logistics challenges and innovative solutions in developed and developing economies: A systematic literature review. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 1-18. https://doi.org/10.1177/18479790211039723

Ballew, M. T., Goldberg, M. H., Rosenthal, S. A., Gustafson, A. & Leiserowitz, A. (2019). Systems thinking as a pathway to global warming beliefs and attitudes through an ecological worldview. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 116(17), 8214-8219. https://doi.org/10.1073/pnas.181931011

Blanco, E. E. & Goentzel, J. (2006). *Humanitarian supply chains: a review*. MIT Center for Transportation & Logistics, POMS.

Blecken, A. (2010). Supply chain process modelling for humanitarian organizations. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(8/9), 675-692. https://doi.org/10.1108/09600031011079328

CSCMP (2023) CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Online: https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921

den Hond, F. (2001). Industrial Ecology. *International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences*, 7320-7326. https://doi.org/10.1016/B0-08-043076-7/04138-3.

dos Santos Dalbelo, T. & Rutkowski, E.W. (2021). Industrial ecology: Ultimate of the industrial revolution toward sustainability. In: Leal Filho, W., Azul, A.M., Brandli, L., Lange Salvia, A., Wall, T. (eds) industry, innovation and infrastructure. *Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95873-6_75

Ehrenfeld, J. R. (1997). Industrial ecology: A new framework for product and process design. *Journal of Cleaner Production*, 5(1-2), 87-95. https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00015-2

Ehrenfeld, J. R. (2000). Industrial Ecology: Paradigm Shift or Normal Science? *American Behavioral Scientist*, 44(2), 229–244. https://doi.org/10.1177/0002764200044002006

Farooque, M., Zhang, A., Thürer, M., Qu, T. & Huisingh, D. (2019). Circular supply chain management: A definition and structured literature review. *Journal of Cleaner Production*, 228, 882–900. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.303

Frosch, R.A. & Gallopoulos, N.E. (1992). Towards an Industrial Ecology, in Bradshaw, et al.(eds.) *The Treatment and Handling of Wastes*, Chapman and Hall, London, pp.269-292.

Genovese, A., Acquaye, A.A., Figueroa, A. & Koh, S.C.L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega*, 66, 344–357. https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015

Groumpos, P. P. (2021). A critical historical and scientific overview of all industrial revolution. *IFAC PapersOnline*, 54-13, 464-471. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.492

IISE (Institute of Industrial and Systems Engineering) (2021). *IISE Body of Knowledge*. Online: https://www.iise.org/details.aspx?id=43631

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2013) The Fifth Assessment Report. Online: https://unfccc.int/topics/science/workstreams/cooperation-with-the-ipcc/the-fifth-assessment-report-of-the-ipcc

Jelti, F., Allouhi, A., Büker, M. S., Saadani, R. & Jamil, A. (2021). Renewable power generation: A supply chain perspective. *Sustainability*, 13(3),1271. https://doi.org/10.3390/su13031271

Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V. & Antunes Jr. (2022). Industry 4.0: What makes it a revolution? A historical framework to understand the phenomenon. *Technology in Society*, 70, 102009, https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.102009

Lezak, S. B. & Thibodeau, P. H. (2016). Systems thinking and environmental concern. *Journal of Environmental Psychology*, 46, 143-153. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.04.005

Nasir, M.H.A., Genovese, A., Acquaye, A.A., Koh, S.C.L. & Yamoah, F. (2017). Comparing linear and circular supply chains: A case study from the construction industry. *International of Production Economics*, 183, 443–457. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.06.008

Noble, S. M., Mende, M., Grewal, D. & Parasuraman, A. (2022). The fifth industrial revolution: How harmonious human-machine collaboratiin is triggering a retail and service [R]evolution. *Journal of Retailing*, 98(2), 199-208. https://doi.org/10.1016/j.jretai.2022.04.003

Nurwidiana, N., Sopha, B. M. & Widyaparaga, A. (2022). Simulating socio-technical transitions of photovoltaics using empirically based hybrid simulation-optimization approach. *Sustainability*, 14(9), 5411, 1-25. https://doi.org/10.3390/su14095411

Sari, T. & Sopha, B.M. (2020). Designing supply chain network of photovoltaic in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 6 April 2020; 2223 (1): 020001. https://doi.org/10.1063/5.0000987

Smagl, A. & Ward, J. (2013). A framework to bridge science and policy in complex decision making arenas, *Futures*, 52, 52-58. https://doi.org/10.1016/j.futures.2013.07.002

Sommerville, R., Zhu, P., Rajaeifar, M.A., Heidrich, O., Goodship, V. & Kendrick, E. (2021). A qualitative assessment of lithium ion battery recycling processes. *Resource, Conservation and Recycling*, 165, 105219. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105219

Sopha, B. M., Asih, A. M. S. & Nursitasari, P. D. (2018). Location planning of urban distribution center under uncertainty: A case study of Yogyakarta Special Region Province, Indonesia. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(3), 542-568. http://dx.doi.org/10.3926/jiem.2581

Sopha, B. M., Asih, A. M. S., Nurdiansyah, H. A. & Maulida, R. (2018). Decision support system for an urban distribution center using agent-based modelling: A case study of Yogyakarta Special Region Province, Indonesia. In Taniguchi, E., and Thompson, R. G. *City Logistics 2: Modeling and Planning Initiatives*, 2018, ISTE-Ltd and John Wiley & Sons, UK.

Sopha, B. M., Asih, A. M. S., Pradana, F. D., Gunawan, H. E. & Karuniawati, Y. (2016). Urban distribution center location: Combination of spatial analysis and multi-objective mixed-integer linear programming. *International Journal of Engineering Business Management*, 8, 1 -10. https://doi.org/10.1177/1847979016678371

Sopha, B. M., Doni, R. E. & Asih, A. M. S. (2019). Mount Merapi eruption: Simulating dynamic Evacuation and volunteer coordination using agent-based modeling approach. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(2), 292-322. https://doi.org/10.1108/JHLSCM-05-2018-0035

Sopha, B. M., Kloeckner, C. A. & Febrianti, D. (2017). Using agent-based modeling to explore options supporting adoption of natural gas vehicles in Indonesia, *Journal of Environmental Psychology*, 52, 149-165. https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2016.06.002

Sopha, B. M. & Mamun, S. (2021). Economic analysis and environmental assessment of aluminum debris power generator for deployment to communal-scale disaster areas. *Heliyon*, e07264. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07264

Sopha, B. M. & Sakti, S. (2021). *Pemodelan dan simulasi berbasis agen untuk sistem kompleks sosio-teknikal: Konsep, Metode dan Aplikasi*. Gadjah Mada Press, Yogyakarta.

Sopha, B. M., Sakti, S., Prasetia, A. C. G., Dwiansarinopa, M. W. & Cullinane, K. (2021a). Simulating long-term performance of regional distribution centers in archipelagic logistics system. *Maritime Economics and Logistics*, 23(4), 697-725. https://doi.org/10.1057/s41278-020-00166-3

Sopha, B. M., Triasari, A. I. & Cheah, L. (2021b). Sustainable humanitarian operations: Multi-method simulation for large-scale evacuation, *Sustainability*, 13(13), 7488, 1-19. https://doi.org/10.3390/su13137488

Sopha, B. M. (2023). Industrial Engineering development in Indonesia. In Bidanda, B., *Maynard's Industrial and Systems Engineering Handbook*, 6th ed., McGraw Hill Book Co., United States.

Sopha, B. M., Purnamasari, D. M. & Ma'mun, S. (2022). Barriers and enablers of circular economy implementation for electric-vehicle batteries: From systematic literature review to conceptual framework. *Sustainability*, 14, 6359. https://doi.org/10.3390/su14106359

Sopha, B.M., Sari, W.P., Novitasari, D., Budiarto. R. & Sarjiya (2022). PV supply chain readiness to support the 2060 Net Zero Emission Goal in Indonesia. *Climate Compatible Growth Programme COP27 Policy Brief Series* (Version 1). Online: https://doi.org/10.5281/zenodo.7107857

Sopha, B.M., Siagian, A. & Asih, A.M. S. (2016). Simulating Dynamic Vehicle Routing Problem using Agent-Based Modeling and Simulation. *IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management IEEM*, 27 December 2016, Bali, Indonesia. https://doi.org/10.1109/IEEM.2016.7798095

Taniguchi, E., Thompson, R.G. & Yamada, T. (2004), Visions for city logistics, In Taniguchi, E. and Thompson, R.G. (Ed.) *Logistics Systems for Sustainable Cities*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, pp. 1-16. https://doi.org/10.1108/9780080473222-001

Tenner, E. (1996). *Why things bite back: Technology and the revenge of unintended consequences*, New York: Knopf.

The World Bank (2023). Logistics Performance Index. Online: https://lpi.worldbank.org/international/global.

Vorst, H. C. M. (2010). Evacuation models and disaster psychology. *Procedia Engineering*, 3, 15–21. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2010.07.004

White, R. (1994). *The greening of industrial ecosystems*. The National Academy Press, Washington DC. https://doi.org/10.17226/2129

Wilensky, U., Rand, W. (2015). *An introduction to agent-based modeling: modeling natural, social, and engineered complex systems with netlogo*. The MIT Press. Cambridge, Massachusetts, England.

Wrålsen, B., Prieto-Sandoval, V., Mejia-Villa, A., O'Born, R., Hellström, M. & Faessler, B. (2021). Circular business models for lithium-ion batteries—stakeholders, barriers, and drivers. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128393. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128393

BIODATA

Nama	: Bertha Maya Sopha
Tempat/tanggal lahir	: Malang, 11 Agustus 1977
NIP	: 197708112002122002
Pangkat/Golongan	: Pembina Tk I/IVb
Jabatan	: Guru Besar, 1 Desember 2022
Alamat Kantor	: Departemen Teknik Mesin dan Industri FT UGM, Jl. Grafika No. 2, D.I. Yogyakarta 55281
Email	: bertha_sopha@ugm.ac.id
Keluarga	: 1. Sholeh Ma'mun, S.T., M.T., Ph.D. (Suami) 2. Nada Salsabila Ma'mun (Anak) 3. Naufal Stjerne Ma'mun (Anak) 4. Naveed Sivert Ma'mun (Anak)
Alamat Rumah	: Rejodani I, Kav. Fisipol UGM D6, RT/RW 02/01, Sariharjo, Ngaglik, Sleman

Riwayat Pendidikan

1995 – 2000	:	Sarjana Teknik (*Cumlaude*), Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
2002 – 2004	:	Master in Management of Production - Logistics and Transportation (*Graduate with Distinction*), Chalmers University of Technology, Swedia
2006 – 2011	:	Doctor of Philosophy in Industrial Ecology, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Norwegia
2018	:	Pendidikan Profesi, Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Penghargaan

2022	:	Indonesian Best Scientist AD Scientific Index
2021	:	Distinguished Woman in Industry and Academia (WIIA) Award – The Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) Society
2020	:	Editor Choice Award – Maritime Economics and Logistics, Palgrave-Macmillan, Springer
2018	:	Best Paper Award – Institute of Industrial and Systems Engineering (IISE) Asia, Taiwan
2018	:	Best Paper Award (Silver Medal) – State University of Malang, Indonesia
2017	:	Highly cited research in Environmental Innovation and Societal Transition – Elsevier

2017	:	Best Research Award – Institute of Supply Chain and Logistics Indonesia (ISLI)
2017	:	Best Paper Award in Supply Chain and Logistics Category, Seminar Nasional Teknik Industri – Badan Kerjasama Penyelenggara Pendidikan Tinggi Teknik Industri Indonesia (BKSTI)
2017	:	Satya Lencana Karya Satya XV tahun
2015	:	Dosen Berpretasi (peringkat dua) – Universitas Gadjah Mada
2011	:	IndEcol Publication Prize – Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology, Norwegia
2006	:	Research fellow employment – Industrial Ecology Programme, Norwegian University of Science and Technology, Norwegia
2004	:	Graduate with Distinction – Chalmers University of Technology, Sweden
2000	:	STINT Award – The Swedish Foundation for International Cooperation, Sweden
1991	:	Siswa Teladan Nasional

Hibah Penelitian

2021 – 2023	:	World Class Research (WCR) – Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan
2020	:	Massachusetts Institute of Technology (MIT) – Indonesia Research Alliance Program (MIRA)
2019 – 2021	:	RESilient Emergency Preparedness for Natural Disaster Response through Operational Research (RESPOND-OR) – UK GCRF (co-principal investigator with Lancaster University, UK)
2017 – 2019	:	PTUPT – Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan
2017	:	Centre for Development of Sustainable Region (CDSR) – USAID Sustainable Higher Education Research Alliances (co-principal investigator)
2016 – 2018	:	MP3EI – Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan
2014	:	Supply Chain Design of Indonesian Aircraft Industry – BOEING (co-principal investigator)
2013 – 2015	:	Penelitian pascasarjana – Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan

Asosiasi Profesional

2006 – 2011	:	Institute of Industrial Ecology (ISE)
2013 – sekarang	:	Persatuan Insinyur Indonesia PII (1205.07.028942)
2017 – sekarang	:	Institut Supply Chain dan Logistik Indonesia ISLI (201700109)
2021 – sekarang	:	Indonesian Life Cycle Assessment Network ILCAN (20210034)

Riwayat Kerja dan Jabatan

2023 – sekarang	:	Manajer Layanan Pendidikan, Pengembangan Akademik dan Pascasarjana, Fakultas Teknik UGM
2022 – sekarang	:	Anggota Senat Fakultas Teknik UGM
2022 – sekarang	:	Koordinator Kelompok Bidang Keahlian Supply Chain and Operations Research (SCORE), Departemen Teknik Mesin dan Industri (DTMI)

2022 – sekarang	:	Wakil Ketua I, Institut Supply Chain dan Logistik Indonesia ISLI
2020 – sekarang	:	Ketua Umum, Badan Kerjasama Penyelenggara Pendidikan Tinggi Teknik Industri Indonesia (BKSTI)
2016 – 2020	:	Ketua Program Studi Sarjana Teknik Industri, Departemen Teknik Mesin dan Industri (DTMI)
2013 – 2015	:	Kepala Laboratorium Supply Chain Engineering and Logistics (SCiLog), Departemen Teknik Mesin dan Industri (DTMI)
2013 – sekarang	:	Peneliti Pusat Studi Energi (PSE) UGM
2004 – sekarang	:	Peneliti Pusat Studi Transportasi dan Logistik (PUSTRAL) UGM
2003 – 2004	:	SINTEF Industrial Management, Norway
2000 – sekarang	:	Dosen Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Publikasi Ilmiah H-indeks = 14 (5 tahun terakhir, terindeks Scopus)

1. Wigati, S. S., **Sopha, B. M.**, Asih, A. M. S., Sutanta, H. (2023). Geographic Information System Based Suitable Temporary Shelter Location for Mount Merapi Eruption. *Sustainability*, 15(3), 2073. [Journal]
2. Harwati, Asih, A.M.S., Sopha, B. M. (2023). Demographic and Behaviour Clustering on Chicken Meat's Seller Using K-means Method. *AIP Conference Proceedings*, 2674, 030063. [Proceeding]
3. **Sopha, B.M.**, Purnamasari, D.M., Ma'mun, S. (2022). Barriers and Enablers of Circular Economy Implementation for Electric-Vehicle Batteries: From Systematic Literature Review to Conceptual Framework. *Sustainability*, 14(10), 6359. [Journal]
4. Hadiyat, M.A., **Sopha, B.M.**, Wibowo, B.S. (2022). Response Surface Methodology Using Observational Data: A Systematic Literature Review. *Applied Sciences*, 12(20), 10663. [Journal]
5. Mara, S.T. W., Rifai, S. P., **Sopha, B. M.** (2022). An adaptive large neighborhood search heuristics for the flying sidekick traveling salesman problem with multiple drops. *Expert Systems with Applications*, 2015, 117647. [Journal]
6. **Sopha, B. M.**, Arvianto, A., Tjahjono, B. (2022). Survival strategies of traditional retailers during the COVID-19 pandemic: Some insights from a developing country. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 15(2), 185-201. [Journal]
7. Imron, M. A., Widyastuti, K., Al Bihad, D., Satria, R. A., Prayoga, W., Pradopo, S. T., Suryatmojo, H., **Sopha, B. M.**, Harrison, M. E., Berger, U. (2022). Beyond climatic variation: Human disturbances alter the effectiveness of a protected area to reduce fires in a tropical peatland. *Frontiers in Forest and Global Change*, 5, 788023, 1-14. [Journal]
8. Nurwidiana, N., **Sopha, B. M.**, Widyaparaga, A. (2022). Simulating Socio-Technical Transitions of Photovoltaics Using Empirically Based Hybrid Simulation-Optimization Approach. *Sustainability*, 14(9), 5411, 1-25. [Journal]
9. Harwati, Asih, A.M.S, **Sopha, B.M.** (2022). Fuzzy Logic Prioritization in Halal Risk Assessment (A Case Study of Halal Chicken Supply Chain in Indonesia). *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2022*, December, pp. 1261-1265. [Proceeding]
10. Febriani, A., **Sopha, B.M.**, Wibisono, M. A. (2022). Enablers and Barriers of Omnichannel in Traditional Grocery Retailers. *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2022*, December, pp. 807-811. [Proceeding]

11. Widiawati, K., **Sopha, B. M.**, Wardana, F. K. (2022). Public Acceptance of Electric Vehicles in Indonesia. *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2022*, December, pp. 1301-1305. [Proceeding]
12. Alif., H.H., Sari, W.P., **Sopha, B.M.**, Almas, A., Mulyani, Y.P., Tiva, W.D., Hapsari. (2022). Specific Fuel Consumption Prediction Model for Diesel Engines: A Preliminary Study. *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2022*, December, pp. 497-501. [Proceedings]
13. Redi, A. A. N. P., **Sopha, B. M.**, Asih, A. M. S., Liperda, R. I. (2021). Collaborative hybrid aerial and ground vehicle routing for post-disaster assessment. *Sustainability*, 13(22), 12841, 1-25. [Journal]
14. **Sopha, B. M.,** Mamun, S. (2021). Economic analysis and environmental assessment of aluminum debris power generator for deployment to communal-scale disaster areas. *Heliyon*, e07264. [Journal]
15. **Sopha, B. M.,** Triasari, A. I., Cheah, L. (2021). Sustainable humanitarian operations: Multi-method simulation for large-scale evacuation, *Sustainability*, 13(13), 7488, 1-19. [Journal]
16. **Sopha, B. M.,** Sakti, S., Prasetia, A. C. G., Dwiansarinopa, M. W., Cullinane, K. (2021). Simulating long-term performance of regional distribution centers in archipelagic logistics system. *Maritime Economics and Logistics*, 23(4), 697-725. [Journal]
17. Nurwidiana, N., **Sopha, B. M.,** Widyaparaga, A. (2021). Modelling photovoltaic system adoption for households: A systematic literature review. *Evergreen*, 8(1), 69-81. [Journal]
18. Arvianto, A., **Sopha, B. M.**, Asih, A. M. S., Imron, M. A. (2021). City logistics challenges and innovative solutions in developed and developing economies: A systematic literature review. *International Journal of Engineering Business Management*, 13, 1-18. [Journal]
19. **Sopha, B. M**., Jie, F., Himadhani, M. (2021). Analysis of the uncertainty sources and SMEs' performance. *Journal of Small Business and Entrepreneurship*, 33(1), 1-27. [Journal]
20. Widyastuti, K., Imron, M., Pradopo, S., Suryatmojo, Hatma, **Sopha, B.M.**, Spessa, A., Berger, U. (2021). PeatFire: an agent-based model to simulate fire ignition and spreading in a tropical peatland ecosystem. *International Journal of Wildland Fire*, 30(2), 71-89. [Journal]
21. Rahman, K. A., **Sopha, B. M.** (2021). Determinants of When-to-evacuate Decisions: An Empirical Investigation. *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2021*, December, pp. 880-884. [Proceeding]
22. Isharyani, M. E., **Sopha, B.M.**, Wibisono, M. A., Tjahjono, B. (2021). Smart Retail Adaptation Framework for Traditional Retailers: A Systematical Review of Literature. *Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2021*, December, pp. 143-147. [Proceeding]
23. Arvianto, A., **Sopha, B. M.**, Asih, A.M.S., Imron, M. A. (2021). Decision-making behavior of traditional retail in distribution system: A conceptual framework. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 2129-2137. [Proceeding]
24. Isharyani, M. E., **Sopha, B.M.**, Wibisono, M. A. (2020). Conceptual Model of Consumers Purchase Intention towards Smart Retail: A Literature Review. *ACM International Conference Proceeding Series*, 3429812. [Proceeding]
25. Arvianto, A., **Sopha, B.M.**, Asih, A.M.S., Imron, M. A. (2020). Literature review of city logistics: Classification of studies and dominant factors in developing countries. *AIP Conference Proceedings*, 2217, 030064. [Proceeding]
26. Sari, T., **Sopha, B.M.** (2020). Designing supply chain network of photovoltaic in Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 2223, 020001. [Proceeding]

27. **Sopha, B.M.**, Ma'mun, S. (2020). *System dynamics simulation of private and public transportation in a developing country*. AIP Conference Proceedings, 2223, 050009. [Proceeding]
28. Perwira Redi, A.A.N., Liperda, R.I., **Sopha, B.M.**, Asih, A.M.S., Sekaringtyas, N.N., Astiana, H. B. (2020). Relief Mapping Assessment using Two-Echelon Vehicle Routing Problem with Drone. *Proceedings - 2020 6th International Conference on Science and Technology, ICST 2020* [Proceeding]
29. **Sopha, B. M**., Doni, R. E., Asih, A. M. S. (2019). Mount Merapi Eruption: Simulating Dynamic Evacuation and Volunteer Coordination using Agent-Based Modeling Approach. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(2), 292-322. [Journal]
30. Sakti, S., Yu, V. F., **Sopha, B. M.** (2019). Heterogeneous fleet location routing problem for waste management: A case study of Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Information and Management Sciences*, 30(1), 1-16. [Journal]
31. Nasution, A.H., Tontowi, A.E., **Sopha, B.M.**, Hartono, B., Persada, S.F. (2019). A dynamic model of budget competition allocation on craft industry: Evidence from Indonesia. *Problems and Perspectives in Management*, 17(4), pp. 416-429. [Journal]
32. Wigati, S.S., **Sopha, B.M.**, Sri Asih, A.M., Sutanta, H. (2019). Bibliometric Analysis for Site Selection Problems Using Geographic Information Systems, Multi-Criteria Decision Analysis and Fuzzy Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1351(1),012051 [Proceeding]
33. **Sopha, B.M.**, Asih, A.M.S. (2019). Identifying aid items of survival kit for natural disasters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673(1),012073 [Proceeding]
34. Sakti, S., Panjaitan, A.E.D., Asih, A.M.S., **Sopha, B.M.** (2019). A Computerized measurement system of machine performance for a textile industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 673(1),012078 [Proceeding]
35. Narendra, A., Malkhamah, S., **Sopha, B.M.** (2019). The modeling of dwelling time of buses at bus stop. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 508(1),012039 [Proceeding]
36. Indra Purnama, I.L., Tontowi, A.E., **Sopha, B.M.**, Herianto (2019). Development of Medical Props Production Towards Industry 4.0. *Proceedings - 2018 1st International Conference on Bioinformatics, Biotechnology, and Biomedical Engineering, BioMIC 2018*, 8610581. [Proceeding]
37. **Sopha, B. M.**, Asih, A. M. S., & Nursitasari, P. D. (2018). Location planning of Urban Distribution Center under uncertainty: A case study of Yogyakarta Special Region Province, Indonesia. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 11(3), 542-568. [Journal]
38. **Sopha, B.M.**, Hestiani, A. (2018). A case study of Indonesian SMEs: An empirical evidence of SCM practices and their impact on firm performance. *International Journal of Services, Technology and Management*, 24(5-6), pp. 394-413. [Journal]
39. Irawan, M.Z., Belgiawan, P.F., Widyaparaga, A., Deendarlianto, Budiman, A., Muthohar, I., **Sopha, B.M.** (2018). A market share analysis for hybrid cars in Indonesia. *Case Studies on Transport Policy*, 6(3), 336-341. [Journal]
40. **Sopha, B.M.**, Makasenda, F., Asih, A.M. S. (2018). Temporal and spatial prediction of retailer growth. *MATEC Web of Conferences*, 204, 01001 [Proceeding]
41. Asih, A. M. S., Rubbyarta, N, R., **Sopha, B. M.** (2018). Analysis of human behavioral attributes in improving disaster evacuation strategy of mount Merapi. *MATEC Web of Conferences*, 204, 01005. [Proceeding]
42. Narendra, A., Malkhamah, S., **Sopha, B.M.** (2018). Distribution pattern of public transport passenger in Yogyakarta, Indonesia. *AIP Conference Proceedings*, 1941,020053. [Proceeding]
43. **Sopha, B.M.**, Asih, A.M.S. (2018). Human resource allocation for humanitarian organizations: A systemic perspective. *MATEC Web of Conferences*, 154,01048. [Proceeding]

44. Asih, A. M. S., **Sopha, B.M.**, Mardiyah, S. (2018). Urban logistics profile - Yogyakarta city, Indonesia. *MATEC Web of Conferences*, 154,01053 [Proceeding]
45. **Sopha, B.M.**, Asih, A.M.S., Ilmia, D.G., Yuniarto, H.A. (2018). Knowledge engineering: Exploring evacuation behavior during volcanic disaster. *Proceeding of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2017*, December, pp. 235-239. [Proceeding]
46. Asih, A.M.S., **Sopha, B.M.**, Khairunnisa, Y., Gunawan, H.E., Karuniawati, Y. (2018). Heterogeneous vehicle routing delivery on collaborative distribution using genetic algorithm - The case of Yogyakarta city. *Proceeding of IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2017*, December, pp. 1432-1436. [Proceeding]
47. Khair, F., **Sopha, B.M.** (2018). Evaluation of location and number of aid post for sustainable humanitarian relief using agent-based modeling (ABM) and geographic information system (GIS). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 109(1), 012001 [Proceeding]
48. Asih, A. M. S., **Sopha, B. M.,** Kriptaniadewa, G. (2017) Comparison study of metaheuristics: Empirical application of delivery problems. *International Journal of Engineering Business Management*, 9, 1 - 12. [Journal]
49. **Sopha, B. M.**, Kloeckner, C. A & Febrianti, D. (2017). Using agent-based modeling to explore options supporting adoption of natural gas vehicles in Indonesia, *Journal of Environmental Psychology*, 52, 149-165. [Journal]
50. **Sopha, B. M.**, Setiowati, Ma'mun, S., (2017). Environmental assessment of motorcycle using a life-cycle perspective. *Indonesian Journal of Life-Cycle Assessment and Sustainability*, 1, 22-28. [Journal]
51. Deendarlianto, Widyaparaga, A., **Sopha, B. M.**, Budiman, A., Muthohar, I., Setiawan, I. C., Lindasista, A., Soemardjito, J., Kazutaka, O. (2017). Scenarion analysis of energy mix for road transportation sector in Indonesia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 13-23. [Journal]
52. Handayani, D., **Sopha, B. M.**, Hartono, B., Herliansyah, M. K. (2017). The behavioral rules of people during disaster emergency evacuation: A case study of Mount Merapi Eruption in Indonesia. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(21). [Journal]

Book Chapter (5 tahun terakhir)

1. **Sopha, B. M.** (2023). Industrial Engineering Development in Indonesia. In Bidanda, B., *Maynard's Industrial and Systems Engineering Handbook*, 6th ed., McGraw Hill Book Co., United States.
2. Tontowi, A.E., **Sopha, B. M.** (2022). Domestic Industry Readiness Supporting Net Zero Emission 2060: A Supply Chain Perspective. In Kumorotomo, W., Baiquni, M. *Addressing Global Issues with Collective and Concerted Actions: Indonesian Scholar Perspective for the G-20 Forum 2022*, Gadjah Mada University Press, Indonesia.
3. **Sopha, B. M.**, Asih, A. M. S., Nurdiansyah, H. A., Maulida, R. (2018) Decision Support System for an Urban Distribution Center using Agent-Based Modelling: A Case Study of Yogyakarta Special Region Province, Indonesia. In Taniguchi, E., and Thompson, R. G. *City Logistics 2: Modeling and Planning Initiatives*, ISTE-Ltd and John Wiley & Sons, UK.

HAKI (5 tahun terakhir)

2022 Addressing Global Issues with Collective and Concerted Actions: Indonesian Scholar Perspective for the G-20 Forum 2022 – buku

2021 Pemodelan dan simulasi berbasis agen untuk sistem kompleks sosio-teknikal: Konsep, Metode dan Aplikasi (000272210) – buku

2020 Membangun Kemampuan Nasional dalam Rantai Pasok Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia (000225453) – buku

2019 Aplikasi Sistem Pembantu Pengambilan Keputusan Logistik Kemanusiaan SILOKA (000162540) – program komputer

Lampiran: Histori alur persetujuan

No	Jabatan	Nama	Jenis	Tanggal Disetujui
1	Ketua Departemen Teknik Mesin dan Industri	Prof. Ir. Budi Hartono, S.T., M.PM, Ph.D., IPU, ASEAN Eng.	Paraf	Senin, 10 Juli 2023 08:06
2	Ketua Senat	Prof. Ir. Sudaryono, M.Eng, Ph.D., IPU.	Paraf	Senin, 10 Juli 2023 10:22
3	Dekan	Prof. Ir. Selo, S.T., M.T., M.Sc., Ph.D., IPU, ASEAN Eng.	Tanda Tangan	Senin, 10 Juli 2023 14:32

Diajukan oleh Supriyanto,S.Sos.

Dokumen ini telah melalui proses approval secara daring sebelum QR Code dibubuhkan.
Scan QR Code yang ada di setiap halaman dokumen ini untuk verifikasi.