



Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pendekatan Model untuk Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik

Prof. Dr. Akhmad Hidayatno ST., MBT

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai
Guru Besar dalam Bidang Teknik Industri
Pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, 27 Maret 2021



Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pendekatan Model untuk Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik

Prof. Dr. Akhmad Hidayatno ST., MBT

Pidato pada Upacara Pengukuhan sebagai
Guru Besar dalam Bidang Teknik Industri
Pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Depok, 2021

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
Cetakan 2021
ISBN : 978-623-333-029-9
e-ISBN : 978-623-333-030-5 (PDF)

Diterbitkan pertama kali oleh UI Publishing
Anggota IKAPI & APPTI, Jakarta
Jalan Salemba 4, Jakarta 10430
Tel. + 62 21 319-35373; Fax. +62 21 319-30172
Kompleks ILRC Gedung B Lt. 1 & 2
Perpustakaan Lama Universitas Indonesia
Kampus UI, Depok, Jawa Barat 16424
Telp. +62 21 788-88199, 788-88278
E-mail: uipublishing@ui.ac.id

*Ing Ngarso Sung Tulodho
Ing Madyo Mangun Karso
Tut Wuri Handayani*

(Ki Hajar Dewantara)

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala karunia, limpahan rezeki, dan nikmat yang tiada terhitung yang telah Allah berikan sehingga tulisan naskah yang berjudul “Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pendekatan Model untuk Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik” ini dapat diselesaikan.

Tulisan ini merupakan rangkuman dari perjalanan penulis untuk melakukan eksplorasi aplikasi keilmuan sistem dalam mendukung penyelesaian permasalahan baik dari sisi-teknis melalui simulasi berbasis komputer, maupun dari sisi non-teknis yaitu pola berpikir. Eksplorasi ini menghasilkan kesimpulan pentingnya menggunakan pola berpikir yang dalam keilmuan sistem dikenal sebagai model. Aplikasi dari eksplorasi ini mencakup *Model-Based Systems Thinking*, *Model-Based Decision Making and Policy Making*, serta *Model-Based Learning* yang kami produksinya kami beri nama *Serious Simulation Games*.

Penulis juga menyampaikan terima kasih sebesar-besarnya terhadap orang tua, keluarga, teman, kolega, mahasiswa dan mantan mahasiswa yang telah mendukung perjalanan berkarya penulis untuk mengembangkan keilmuan teknik industri. Penulis juga menyampaikan mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekeliruan dan kekurangan dalam tulisan ini. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat untuk membuka cakrawala wawasan tentang aplikasi keilmuan sistem dalam berbagai aplikasi untuk mengurai dan menyelesaikan permasalahan sistem yang kompleks.

Depok, 27 Maret 2021

Prof. Dr. Akhmad Hidayatno ST., MBT

Daftar Isi

Kata Pengantar	iv
Daftar Isi	v
1. Apa itu keputusan yang baik?	3
2. Proses Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pola Berpikir Sistem	7
3. Dukungan Pendekatan Model untuk Mengurai Permasalahan Kompleks	12
4. Dukungan Pendekatan Model untuk Transfer Pengetahuan Kompleks	21
5. Penutup	27
6. Ucapan Terima Kasih	28
Daftar Pustaka	33
Curriculum Vitae	36

**Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pendekatan Model untuk
Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik**

Akhmad Hidayatno

Bismillahirrohmanniroohim

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Yang terhormat,

Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia

Ketua, Sekretaris dan Anggota Majelis Wali Amanah Universitas Indonesia

Rektor, Wakil Rektor dan Sekretaris Universitas Indonesia

Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia

Ketua dan Anggota Senat Akademik Universitas Indonesia

Dekan, Wakil Dekan, dan jajaran pimpinan Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Para Dekan, Wakil Dekan Fakultas di lingkungan Universitas Indonesia

Direktur dan Wakil Direktur Sekolah di lingkungan Universitas Indonesia

Ketua dan Anggota Dewan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Ketua dan Anggota Senat Akademik Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Para Ketua dan Sekretaris Departemen di lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Para Staf Pengajar Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia

Seluruh Sivitas Akademika Universitas Indonesia

Sanak keluarga semuanya yang Saya cintai, dan

Ibu/Bapak para undangan yang Saya muliakan

Puji syukur kehadiran Allah Subhanahu wata'ala atas segala karunia, limpahan rizki, dan nikmat yang tiada terhitung yang telah Allah berikan kepada kita semua

Perkenankan saya untuk menyampaikan pidato pengukuhan saya yang berjudul Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Dukungan Pendekatan Model untuk Pengambilan Keputusan yang Lebih Baik.

Ijinkan saya memulai pidato saya dengan sebuah dongeng cerita Nasrudin.

Di suatu malam, seorang sahabat dari Nasrudin mendapatinya sedang sibuk kebingungan mencari-cari sesuatu dibawah lampu jalanan yang terang. Melihat kebingungan ini dia bertanya kepada Nasrudin: "Wahai sahabatku, apa yang kau cari siapa tahu aku bisa membantumu"

Nasrudin menjawab, "aku kehilangan dompetku, bisakah kau menolongku mencarinya"

Sang sahabat serta merta mencari hingga radius lebih dari 50 m dari lampu tersebut, karena berpikir pasti Nasrudin kehilangan dompetnya disekitar itu. Namun setelah bersusah payah mencari, sang sahabat jadi kebingungan karena tidak bisa menemukannya, sehingga dia bertanya kembali ke Nasrudin, "Wahai sahabaku, dimana kau kehilangan dompetmu?"

Nasrudin menjawab, "Aku kehilangannya di rumahku, bukan disini"

Dengan heran sang sahabat kembali bertanya "Loh, kenapa kok mencarinya di Jalan ini, kenapa tidak dirumah?"

Nasrudin menjawab, "Rumahku lampunya kurang terang, lebih terang disini, jadi aku lebih enak mencarinya disini"

1. Apa itu keputusan yang baik?

Cerita dongeng Nasrudin diatas mengilustrasikan tentang trend pola pengambilan keputusan dan kebijakan saat ini yang bias dan memenangkan logika sendiri. Logika dapat didefinisikan sebagai koleksi aturan yang mengarahkan proses berpikir atau berargumen [1]. Definisi logika sebagai koleksi aturan ini menunjukkan adanya penilaian subjektif dan kenisbian (*relativity*), karena berarti setiap orang bisa memiliki koleksi aturan yang berbeda-beda, tergantung pendidikan dan pengalamannya. Pendidikan modern berorientasi untuk memberikan koleksi aturan dasar yang seragam dan ideal, sehingga tercipta aturan masyarakat yang menjadi patokan bersama. Patokan bersama ini yang biasanya menentukan sebuah logika wajar atau tidak wajar di masyarakat, sehingga sebuah logika yang tidak wajar dianggap “tidak logis” atau “tidak masuk akal”. Kita juga merasakan bahwa patokan masyarakat ini bisa berubah dan berbeda antar generasi seiring dengan perkembangan jaman.

Jika memang logika adalah konstruksi yang nisbi dan tergantung dari pemiliknya, maka perlu disadari bahwa akan sulit menentukan definisi baik dalam pengambilan keputusan. Penilaian “keputusan baik” bisa berbeda secara (1) perspektif dari setiap yang terlibat; (2) berjalannya waktu; dan (3) perubahan konteks situasi yang menyelimuti ketika keputusan dibuat. Ini berarti kita sebaiknya memindahkan perhatian dalam mendefinisikan keputusan yang baik, dari hasil keluaran ke prosesnya. Kita bisa mengasumsikan bahwa keputusan yang baik harus dibangun dengan proses pengambilan keputusan yang baik. Proses pengambilan keputusan yang baik yang baik dimulai dari proses *mengurai* permasalahan agar masalah tersebut dapat dipahami dengan lebih baik.

Arti bahasa mengurai adalah melepas terbuka (tidak terikat, tidak bersimpul). Mengurai dilakukan untuk mendapatkan pengertian dari sesuatu hal yang biasanya ruwet atau rumit. Ruwet dan rumit memiliki makna berbeda. Ruwet memiliki makna komponen yang banyak, sehingga masalah biasanya timbul akibat banyaknya komponen

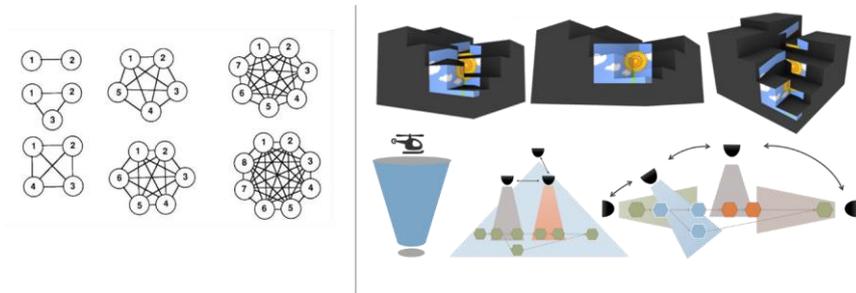
yang harus diamati. Pada permasalahan rumit, komponen tidak banyak namun konektivitas antar komponen lebih banyak dan bisa timbul dan tenggelam secara dinamis. Rumit seperti bermain catur yang bidaknya terbatas, namun kemungkinan alternatif pergerakan (konektivitas) berubah dinamis setiap kali pemain melakukan langkah permainan.

Kerumitan memang menguat menjadi sumber kompleksitas utama dalam permasalahan pada dunia modern saat ini. Salah satu penyebab utamanya adalah teknologi mobilitas dan internet yang telah menciptakan konektivitas yang luar biasa (*hyper-connectivity*). Sebuah permasalahan yang memiliki elemen atau komponen masalah lebih dari 3 akan memiliki jumlah koneksi yang lebih banyak daripada jumlah komponennya. Sehingga kompleksitas akibat konektivitas seperti ini membutuhkan penggunaan pendekatan yang berbeda dalam memahaminya.

Konektivitas juga bersifat dinamis, sehingga ketika komponen baru dikenalkan atau ada komponen lama yang dihilangkan, maka akan terjadi penguatan, pelemahan, penambahan dan pengurangan dari konektivitas. Perubahan konektivitas juga bisa terjadi akibat konteks dari permasalahan serta persepsi dinamis dalam melihat permasalahan. *Context is King*. Sebuah organisasi yang berada didalam masa krisis akan melakukan restrukturisasi dan perubahan proses bisnis, yang artinya mengubah berbagai komponen dan konektivitas kerja dalam organisasi tersebut.

Dalam proses mengurai kompleksitas permasalahan maka peranan dinamika dari konteks dan persepsi pada masa kini telah menimbulkan kompleksitas lebih tinggi. Kompleksitas ini sering dipandang sebagai sebuah kompleksitas sistemik, yaitu kompleksitas yang memiliki ciri-ciri sebuah sistem, bukan hanya kelompok. Sehingga salah satu pendekatan yang dianggap lebih sesuai adalah pendekatan keilmuan sistem (*System Science*) [2]. Pendekatan ini dianggap lebih sesuai karena mampu mencakup hal-hal yang menjadi perhatian diatas. Ciri-ciri tersebut adalah:

1. Kompleksitas permasalahan dinilai meningkat akibat dinamika konektivitas antar komponen yang menjadi sumber dominan kompleksitas itu sendiri, yang bisa berubah secara struktur (ruwet) maupun fungsi (rumit) [3].
2. Kompleksitas permasalahan membutuhkan kombinasi melihat secara detail dengan melihat secara utuh sekaligus, yang diwajibkan dalam keilmuan sistem. Ini karena ciri utuh sebuah sistem bisa berbeda dari prediksi kombinasi komponen yang membangunnya (*system emergence properties*).
3. Kompleksitas permasalahan juga diperkuat oleh kekuatan dinamika akibat perbedaan pada beberapa skala dimensi, seperti dimensi waktu, dimensi geografis maupun dimensi ciri pandang pelaku/aktor. Dinamika ini yang sering harus dilihat dengan menggunakan perspektif dinamis helikopter (*helicopter views*) untuk melihat berbagai sudut pandang



Gambar 1. Kompleksitas meningkat akibat konektivitas dan perspektif yang berbeda-beda

Ketiga ciri-ciri dari kompleksitas sistem inilah yang membuat proses pendekatan sistem untuk mengurai masalah menawarkan proses yang lebih baik dibandingkan proses tradisional. Sebagai catatan tambahan, mengurai permasalahan bukan berarti menggampangkan masalah namun membuat sebuah masalah menjadi gampang, karena keduanya berbeda. Menggampangkan masalah adalah kata lain dari

meremehkan masalah. Sebuah masalah kompleks, jika diremehkan, memiliki kemungkinan besar tidak diselesaikan dengan baik, dan memiliki dampak samping yang menimbulkan masalah lebih besar dari masalah aslinya. Sedangkan membuat gampang sebuah masalah adalah sebuah proses untuk mengurai permasalahan sehingga lebih gampang untuk dipahami.

Everything should be made as simple as possible, but not simpler (Einstein)

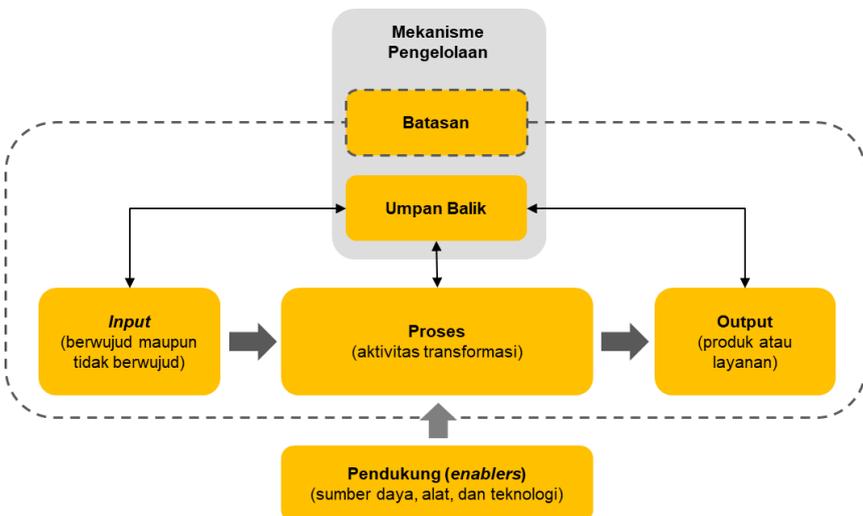
Proses mengurai permasalahan yang merupakan langkah awal proses pengambilan keputusan akan memberikan pemahaman yang lebih utuh terhadap permasalahan. Pemahaman yang lebih utuh ini didapatkan dari mengamati kompleksitas permasalahan sebagai kompleksitas sistem. Pemahaman yang lebih utuh akan menjadi jaminan terhadap pengambilan keputusan yang lebih baik.

Mengamati berbeda dengan melihat (*observe vs. see*). Mengamati membutuhkan proses berpikir dibelakangnya, dan perbedaan hasil pengamatan bisa terjadi dari proses berpikir yang berbeda. Ketika kita sedang melihat sebuah lukisan makanan misalnya, apa yang Anda amati bisa berbeda dengan saya. Saya bisa terinspirasi untuk jenis makanan apa yang akan saya makan berikutnya, sedangkan Anda mungkin membahas betapa indahny lukisan tersebut atau membahas teknik melukis yang canggih terhadap lukisan.

Ini berarti ketika kita ingin memperbaiki proses mengurai permasalahan, maka sebenarnya kita harus memperbaiki pola berpikir kita. Pola berpikir akan menyaring, memprioritaskan dan mengarahkan apa yang anda amati dan apa yang anda hiraukan bahkan sejak sebelum proses pengambilan keputusan dilakukan. Sehingga jika kita ingin mengubah proses penguraian permasalahan ke arah penguraian secara sistem, maka kita perlu mengubah pola berpikir ke berpikir sistem (*Systems Thinking*).

2. Proses Mengurai Kompleksitas Sistem dengan Pola Berpikir Sistem

Proses berpikir sistem secara klasik pada awalnya diterjemahkan sebagai pola *Input-Proses-Output-Feedback* (IPOF) (Gambar 2). IPOF hingga saat ini masih sering digunakan hingga saat ini dalam penelitian dan publikasi di berbagai bidang ilmu sebagai sebuah pola, model dan pendekatan penguraian permasalahan. IPOF mendorong penguraian yang tidak hanya memperhatikan aspek keluaran atau dampak saja, namun melakukan penelusuran terhadap berbagai proses yang menghasilkan keluaran tersebut. Penelusuran juga dilakukan terhadap masukan untuk menjalankan proses dan apakah anda mekanisme kontrol berbasis kepada output terhadap masukan dan proses.



Gambar 2 Diagram *Input Proses Output* dan Umpan Balik sebagai Pendekatan Sistem secara klasik

IPOF sebagai model berpikir sistem cukup memadai untuk melakukan penguraian masalah, namun tentunya dengan peningkatan kompleksitas seperti yang telah dibahas sebelumnya, perlu pengayaan

terhadap pendekatan proses ini yang mempertimbangkan konektivitas dan konteks permasalahan.

Terdapat dua pendekatan umum yang digunakan untuk menjelaskan apa itu berpikir sistem. Pertama, memberikan perbedaan ciri-ciri antara proses berpikir sistem dan proses berpikir biasa [4]. Kedua, membuat konsep gabungan antara berbagai pendekatan berpikir, yaitu konsep berpikir ilmiah, berpikir dinamis, berpikir proses, berpikir kritis dan berpikir secara *helicopter view* [5]. Pendekatan ketiga yang lebih ditawarkan berbeda dari dua pendekatan di atas adalah dengan membuat pola pertanyaan untuk mengalihfokuskan penguraian masalah kita ke arah sistem [6]. Pendekatan ini merupakan pendekatan berbasis 2 elemen dari kata-kata berpikir sistem: arti dari berpikir dan arti dari sistem.

Untuk elemen pertama yaitu berpikir, arti berpikir paling mudah adalah ketika kita sedang berusaha menjawab pertanyaan, maka kita berpikir untuk menjawab pertanyaan itu. Jadi jika saya bertanya kepada Anda misalnya “Apakah Anda sedang berpikir?” Jika anda mencoba menjawab pertanyaan saya, maka YA, Anda sedang berpikir. Edward De Bono mengajukan pendekatan ini dengan mengenalkan konsep berpikir lateral (*lateral thinking*) untuk meningkatkan kreativitas [7], [8]. Metode dalam berpikir lateral menggunakan pendekatan bertanya secara terstruktur untuk memaksa kita berpikir berbeda dari kebiasaan berpikir sebelumnya.

Sehingga secara sederhana, untuk mulai berpikir berbeda, Anda bisa mulai dengan mengubah cara dan koleksi pertanyaan yang biasa Anda ajukan kepada diri anda ketika sedang menguraikan permasalahan.

Arti berpikir sebagai mencari jawaban dari serangkaian pertanyaan memiliki 2 keunggulan utama:

1. pertanyaan memaksa kita untuk mengalihkan dan mengarahkan perhatian saat menjawab pertanyaan. Ini berarti kita bisa mengarahkan persepsi kita yang terkadang merupakan salah satu sumber permasalahannya.

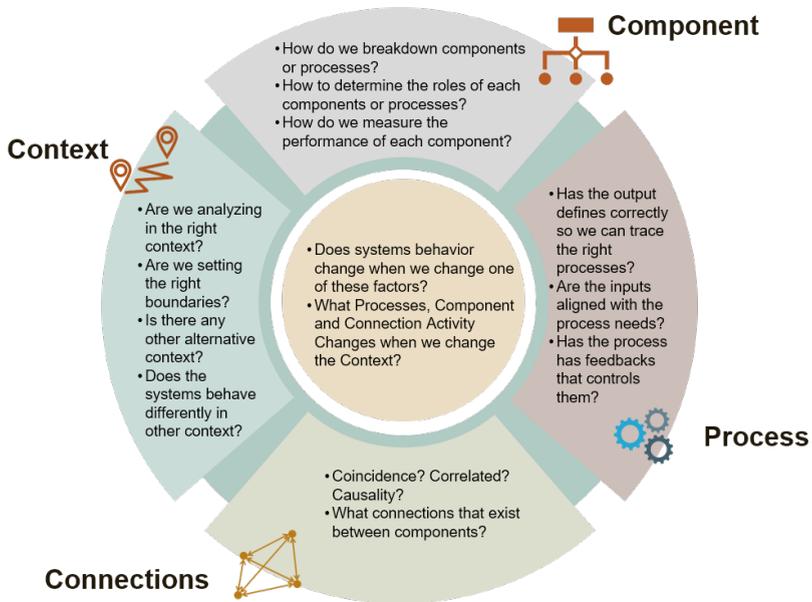
2. memahami berpikir sebagai sebuah proses, bukan hanya sebagai *output*. Sebagai sebuah proses selalu ada ruang perbaikan dengan memperhatikan uraian proses berpikir dan melakukan latihan rutin untuk mengubah proses tersebut. Ini berarti memandang berpikir sebagai suatu keahlian, yang bisa kita perbaiki dan tidak menyerah untuk berubah.

Jadi seperti apa serangkaian pertanyaan yang harus diajukan? Ini berarti kita memasuki elemen kata kedua dari berpikir sistem, yaitu sistem. Jika ingin berpikir sistem maka pertanyaan-pertanyaan harus dibuat sebagai sebuah pola pertanyaan yang mengurai ciri-ciri sistem dari permasalahan. Ciri-ciri sistem bisa disarikan dari definisi sistem yang dapat diartikan sebagai sebuah struktur yang terdiri dari komponen yang saling berinteraksi yang berproses untuk mencapai sebuah tujuan dalam batasan tertentu [9].

Dengan memperhatikan definisi ini maka berpikir sistem dapat diterjemahkan sebagai:

1. bertanya tentang **komponen** atau sub-sistem yang ada dan seharusnya dilihat (K1=Komponen)
2. bertanya tentang **koneksi** interaksi antar bagian dari sub-sistem ini ketika sedang menjalankan berbagai **proses** utamanya (K2=Koneksi dan P= Proses)
3. bertanya tentang perubahan batasan atau **konteks** dimana sistem itu berubah (K3=Konteks). Konteks ini sering bisa dilihat dari bagaimana batasan dari sistem berubah baik secara skala atau permeabilitas hubungan antara sistem dengan lingkungannya.

Jadi berpikir sistem dapat diterjemahkan sebagai upaya mendapatkan jawaban pola pertanyaan tentang uraian dari ciri-ciri sistem, yaitu proses, komponen, koneksi, konektivitas (PK3), seperti pada ilustrasi Gambar 3.

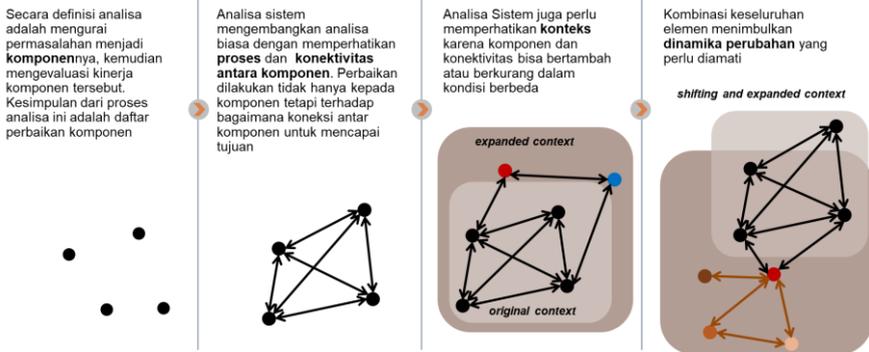


Gambar 3 Proses, Komponen, Koneksi, Konteks - PK3 untuk Berpikir Sistem

Proses penguraian seringkali disebut sebagai proses analisa. Koleksi pertanyaan sebagai sebuah pola bertanya untuk mengurai secara sistem akan mendorong perubahan proses analisa dari analisa biasa menjadi analisa sistem. Analisa secara definisi adalah mengurai permasalahan menjadi komponennya, kemudian mengevaluasi kinerja komponen tersebut. Kesimpulan dari proses analisa ini adalah daftar perbaikan untuk mengembalikan kinerja komponen tersebut. Perbaikan pada komponen diasumsikan akan secara otomatis memperbaiki kinerja keseluruhan.

*Judge a man by his questions rather than his answers
(Voltaire)*

Namun ternyata tidak semua sistem bersifat seperti mesin seperti ini. Pada mesin kendaraan, jika mengalami kerusakan maka perbaikan dilakukan dengan mengganti komponen yang rusak dengan yang baru, sehingga diasumsikan mesin akan segera berfungsi kembali. Namun tidak semua sistem adalah mesin. Dalam sistem yang lebih kompleks, mengganti komponen belum tentu mengembalikan sistem berfungsi normal. Contohnya organisasi sebagai sebuah sistem, ketika sumber daya manusia berganti, tidak serta merta sistem dapat berfungsi seperti sebelumnya. Hal ini karena komponen baru akan berinteraksi berbeda dengan komponen lain, sehingga ada konektivitas yang perlu diperhatikan.



Gambar 4 Dinamika perubahan dari analisa biasa menjadi analisa sistem dengan berpikir sistem

Koneksi akan mempengaruhi kinerja sistem dan bisa berubah dalam situasi yang berubah. Koneksi sebuah komponen A ke komponen B bisa menguat, melemah, timbul atau hilang dalam kondisi tertentu. Sehingga konteks dimana analisa sistem dilakukan juga menjadi penting. Komponen juga bisa timbul dan hilang tergantung dari situasi dan kondisi. Komponen baru atau hilang juga bisa membuat konteks berubah. Perhatian dinamika perubahan yang bersumber dari setiap elemen analisa ini yang membedakan analisa biasa dengan analisa

sistem. Analisa Sistem tidak hanya memperhatikan komponen, namun juga memperhatikan koneksi dan konteks.

“You think because you understand 'one' you must also understand 'two', because one and one make two. But you must also understand 'and'.” (Jalal-al-Din Rumi)

3. Dukungan Pendekatan Model untuk Mengurai Permasalahan Kompleks

Pola struktur dalam keilmuan sistem dikenal sebagai sebuah model. Hal ini karena model memiliki makna yang lebih lengkap dan dinamis dibandingkan dengan pola. Keduanya memang memiliki kesamaan makna, yaitu sesuatu hal yang bisa kita tiru dan acuan untuk kita ikuti.

Kata model yang digunakan di industri mode pakaian secara umum adalah seorang manusia yang mengenakan pakaian tertentu yang merepresentasikan bagaimana tampilan seluruh calon pembelinya jika memakai pakaian tersebut. Terlepas apakah tampilan yang direpresentasikan mendekati atau sama menariknya. Namun dalam dunia industri mode sebenarnya juga terdapat model patung statis (*mannequin*) yang dipakai untuk menjadi pola ketika merancang pakaian.

Di dunia rekayasa produk, kata model mengacu kepada representasi 3-dimensi dalam skala yang berbeda dari produk aslinya untuk dilakukan pengujian dinamis terhadap model tersebut. Kata model di bidang simulasi komputer memiliki makna kode aplikasi komputer yang digunakan untuk melakukan simulasi.

Definisi yang dinamis juga bisa ditemukan ketika kita melihat seseorang sebagai panutan (*role-model*) maka kita berusaha meniru secara lengkap tidak hanya tindakan namun pola pikir, perilaku dan kebiasaan panutan kita.



Gambar 5 Tiga Dukungan Utama dari model dalam mengurai permasalahan

*Understanding Life, begins with the understanding of
patterns (Fritjof Capra [10])*

Dengan definisi ini maka pola berpikir sistem yang telah diuraikan sebelumnya dapat dikatakan sebagai sebuah *Model-Based Systems Thinking* (MBST). Secara klasik MBST menggunakan Model IPOF, dan dalam tulisan ini, bisa dikembangkan menjadi sebuah Model PK3. MBST dengan menggunakan model PK3 akan menjadi sebuah kerangka sebuah kerangka kerja untuk membantu kita mengurai permasalahan. Bantuan itu mencakup:

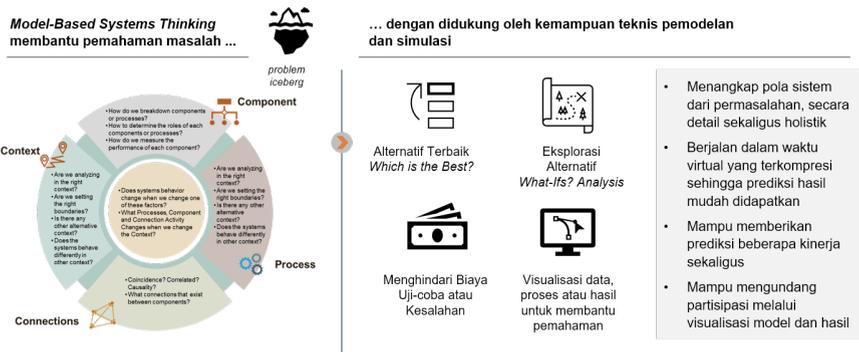
1. Mendapatkan struktur dan dinamika dari permasalahan sebagai sebuah sistem, yang mencakup proses, komponen, koneksi antar komponen, dan perubahan keduanya akibat perubahan konteks. Misalnya, dalam mengurai dalam model struktur klasik awal perspektif sistem adalah Model Input-Proses-Output-Umpun Balik (IPOF) yang diilustrasikan di Gambar 2. Model klasik sederhana dari sistem ini mendorong kita untuk tidak melihat output saja, namun proses dibelakang layar untuk

menghasilkan output. Proses ini membutuhkan input. Untuk mengelola ketiganya supaya bisa mencapai output yang baik, perlu ada elemen umpan balik. Umpan balik ini akan mengarahkan upaya perbaikan untuk meningkatkan output. yang berarti meningkatkan kinerja sistem. Secara umum, berbagai model-model acuan telah banyak digunakan.

2. Mendapatkan daftar celah perbaikan dengan membandingkan antara kondisi ideal dengan kondisi saat ini. Ini berarti mempermudah menemukan aktivitas perbaikan apa yang harus dilakukan. Kita bisa memulai analisa dengan membayangkan ciri-ciri ideal yang seharusnya mengemuka jika model kita berjalan seperti seharusnya. Ciri-ciri ini kemudian kita urai dengan identifikasi proses, komponen dan konektivitas, serta konteks apa yang harus ada sehingga ciri-ciri ideal dapat mengemuka seperti yang kita harapkan. Uraian ini kita bandingkan dengan kondisi saat ini, untuk melihat apa saja perbaikan yang harus dilakukan. Fokus kepada kondisi ideal ini mendorong pemecahan masalah yang proaktif dibandingkan reaktif (*fire-fighting*).
3. Menjadi kerangka struktur naratif (*narrative structure*) dalam menjelaskan permasalahannya sehingga membantu proses berkomunikasi dan berdiskusi. Cerita (*story telling*) yang terstruktur memiliki kekuatan penarik inspirasi tanpa unsur menggurui. Seperti dongeng Nasrudin yang saya ceritakan di awal naskah ini. Sebagai sebuah kerangka diskusi, maka proses diskusi dimulai dari eksplorasi komponen, proses, konektivitas dan konteks yang terjadi. Konfirmasi bisa didapatkan apakah para peserta diskusi melihat komponen yang sama, proses yang sama, persepsi konektivitas yang timbul, dan melihat dinamika konteks apa saja sistem akan diaplikasikan serta pengaruhnya kepada aspek lain secara sistem.

Kita telah membahas dukungan model yang digunakan dalam untuk menjadi model berpikir sistem. Namun, dukungan model sebenarnya tidak hanya berada pada sisi-berpikir atau non-teknis, namun juga berada pada sisi teknis, yakni berupa dukungan model komputasi (*hard-support*) yang biasanya menggunakan simulasi model berbasis komputer (*systems modeling*). Dukungan dari sisi teknis inilah yang sebenarnya menjadi dominasi awal interpretasi dukungan model dalam penguraian permasalahan. Hal ini seiring dengan dukungan kekuatan komputasi personal dan portabel yang kemampuannya terus berlipat ganda sejak dikenalkan di awal tahun 1980-an. Sebuah simulasi yang tadinya membutuhkan kemampuan super-computer pada saat itu, saat ini bisa dilakukan secara personal di komputer masing-masing, bahkan di telepon genggam kita.

Gabungan antara sisi berpikir dan sisi teknis ini diaplikasikan pada permasalahan pengambilan keputusan dalam 2 skala permasalahan yaitu skala mikro keputusan berupa *Model-Based Decision Making* (MBDM) dan skala makro kebijakan *Model-Based Policy Making* (MBPM) [11][12].



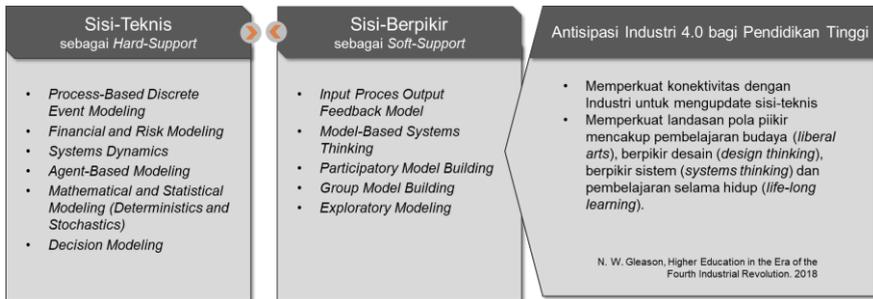
Gambar 6 Dukungan model sisi-teknis terhadap sisi-berpikir dapat memberikan berbagai manfaat tambahan

Saat ini secara teknis, di Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia secara *state-of-the-art* telah menerapkan secara rutin dan berkesinambungan berbagai pendekatan simulasi

terkini, dari pemrograman matematis, *decision modeling*, *system dynamics*, *process-based discrete event modeling*, dan *agent based modeling*. Kebutuhan industri untuk memprediksi sebuah kinerja dari hasil perbaikan yang dilakukan telah mendorong berbagai pengembangan pemodelan dan simulasi model komputer. Menggunakan simulasi bisa menghasilkan penghematan biaya dan mengurangi resiko kesalahan yang bisa terjadi jika sebuah solusi langsung dilakukan di dunia nyata. Hal ini mengapa dalam memasuki era Revolusi Industri 4.0 di berbagai industri, simulasi mendapatkan peranan penting untuk memastikan investasi teknologi Industri 4.0 yang masih mahal dapat dikonfirmasi peningkatan hasilnya melalui hasil simulasi.

Namun sisi teknis pembangunan dan penggunaan model akan tergantung dari pola berpikir penggunanya dan pembuat modelnya. Pengalaman dalam melakukan berbagai pengembangan dan analisa hasil simulasi, telah memberikan kesadaran bahwa seringkali kesalahan terbesar dalam pengembangan atau penggunaan model adalah dari pengguna dari model. Terutama ketika model hanyalah dipakai untuk untuk membenarkan asumsi dan dugaan tanpa berbasis fakta seperti dalam dongeng cerita Nasrudin di awal tulisan ini. Sehingga dukungan sisi non-teknis atau sisi-berpikir yaitu proses berpikir sistem yang baik akan menjadi fondasi untuk mendapatkan model komputer yang lebih tepat guna.

Penekanan dari sisi-berpikir juga terbaca dalam bagaimana dunia pendidikan tinggi menterjemahkan tantangan Industri 4.0 [13]. Selain adopsi keterbaruan teknologi secara selektif melauai kerjasama industri, peranan pendidikan tinggi adalah memperkuat fondasi berpikir mahasiswa untuk menghadapi perubahan yang sangat cepat. Penguatan ini mencakup pembelajaran budaya (*liberal arts*), berpikir desain (*design thinking*), berpikir sistem (*systems thinking*) dan pembelajaran selama hidup (*life-long learning*).



Gambar 7 Pendidikan tinggi dalam mengantisipasi Revolusi Industri 4.0 didorong untuk memperkuat aspek *soft-skills*.

Pada skala makro pengambilan keputusan yaitu kebijakan terdapat perbedaan tambahan yang akan menimbulkan tambahan kompleksitas, walaupun keduanya memiliki makna yang sama, yaitu keluarnya sebuah tindakan (keputusan/kebijakan) yang berasal dari kesimpulan setelah melakukan analisa atau uraian. Perbedaan antara keputusan dan kebijakan dapat dilihat pada Tabel 1,

Tabel 1 Perbedaan and Persamaan Keputusan dan Kebijakan (*Decision vs Policy*)

Keputusan - Mikro	Kebijakan - Makro
Berorientasi kepada individu (satu orang) dengan satu keputusan	Multi-aktor dengan seperangkat keputusan sekaligus (baik secara seri maupun paralel)
Tidak Mengambil Keputusan atau Menundanya adalah sebuah keputusan	Tidak Mengambil Kebijakan atau Menundanya adalah sebuah Kebijakan
Biasanya lebih berjangka pendek dengan batasan area geografis terbatas	Biasanya berfokus ke jangka panjang dengan batasan area geografis yang luas
Kondisi terbaik (<i>best</i>) dapat dengan lebih mudah didapatkan	Kondisi terbaik (<i>best</i>) sulit didapatkan, sehingga kondisi yang lebih baik adalah target (<i>better</i>)
Pertimbangan rasional yang dominan	Pertimbangan politik yang dominan

Berbasis kepada perbedaan diatas maka dukungan *Model-Based Policy Making* (MBPM) akan menghadapi tambahan tantangan kompleksitas sistem [14] berupa:

1. Kondisi multi-aktor, yang akan memberikan permasalahan prioritas akibat kondisi multi-perspektif.
2. Ketidakpastian (*Uncertainties*) yang timbul dari keterbatasan informasi yang bisa didapatkan.
3. Ketidaktentuan (*Ambiguity*), ketika tidak ada satu ketentuan yang bisa disepakati bersama akibat interpretasi yang berbeda-beda. Ini menimbulkan pergelutan untuk mendapatkan interpretasi yang dominan dalam kondisi multi aktor diatas.
4. Pencarian abadi keseimbangan kebijakan untuk memenuhi dimensi kepentingan yang berbeda. Pasa sisi waktu kepentingan jangka pendek dan jangka panjang. Pada sisi aspek dampak, kepentingan ekonomi, lingkungan dan sosial.

Dalam MBPM, di sisi-teknis pemodelan komputer, kebutuhan pelaku kebijakan untuk melakukan prediksi secara jangka panjang berbasis tidak hanya kepada keluaran (*output*), tetapi juga hasil (*outcomes*) terhadap berbagai alternatif kebijakan juga sudah mampu dilakukan. Harus diakui memang tidak mudah untuk mendapatkan prediksi komputasi yang akurat secara jangka panjang dibandingkan jangka pendek dalam skala makro di Indonesia, hal ini diakibatkan oleh:

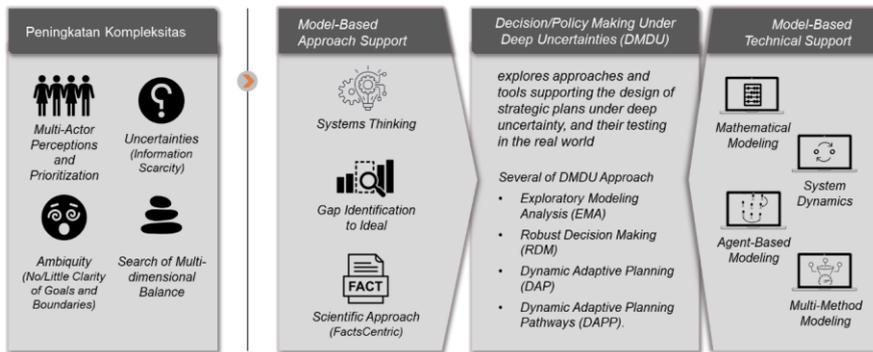
1. Mendapatkan data atau bukti yang valid, terutama di Indonesia adalah tidak mudah. Secara umum kebutuhan data didominasi oleh kebutuhan klasik data sehingga tidak berkembang ke data-data lain yang sebenarnya sudah harus dibutuhkan.
2. Secara alami, kebijakan berorientasi kepada masa depan. Memprediksi masa depan pada umumnya bisa dilakukan dengan belajar dari pengalaman masa lampau. Namun ketika masa lampau terlalu lampau atau timbul disrupsi luar biasa, data masa

lalu menjadi berkurang nilainya untuk bisa memprediksi masa depan. Krisis ekonomi, Bencana Alam, termasuk Bencana Pandemi COVID-19 adalah bentuk disrupsi yang membuat upaya mendasarkan kebijakan kepada pengalaman dan data masa lampau harus dilakukan dengan hati-hati. *“Policy making is about future **predictions**, not just past **data projections**”*

You are entitled to your own opinion, but you are not entitled to your own facts (Daniel Patrick Moynihan)

Sehingga perlu disadari bahwa kontribusi lebih besar MBPM tetap berada kepada sisi-berpikir yang terjadi ketika model dibangun, bukan hanya terhadap hasil dari prediksi model. Proses mengurai permasalahan kebijakan sebaiknya dilakukan secara kelompok dan bersama-sama, sehingga didapatkan pemahaman utuh dan wawasan bersama, seperti yang digunakan dalam *participatory policy analysis* [15]. Proses partisipatif ini akan dapat dibantu dengan menggunakan model komputer yang disajikan sebagai pemicu dan alat konfirmasi. Model akan menjadi alat bantu untuk mendorong proses analisa lebih lengkap, mendorong penggunaan metode ilmiah (*scientific methods*), mengidentifikasi data dan membedakan asumsi yang digunakan untuk mengisi celah ketiadaan data. Bahkan proses partisipatif bisa dikemas pula sebagai proses pengembangan model komputer bersama yang dikenal sebagai *Group Model Building* [16].

Tantangan kondisi unik ini telah menjadi lahan baru eksplorasi penggunaan model pada masa kini. Sebagai contoh adalah DMDU (*Decision Making under Deep Uncertainty*) atau Pengambilan Keputusan dalam Kondisi Ketidakpastian Sangat Tinggi.



Gambar 8 Peningkatan kompleksitas pada skala makro mengembangkan berbagai pendekatan baru untuk mempertimbangkan satu atau beberapa aspek kompleksitas, contohnya DMDU dengan memasukkan aspek ketidakpastian tinggi (*Deep Uncertainties*)

Sebenarnya ketidakpastian sudah dicoba untuk diintegrasikan pada pendekatan sebelumnya, namun dalam DMDU terdapat perbedaan utama pada bagaimana kondisi ketidakpastian tidak hanya ditentukan saat awal kebijakan dibuat, namun terus diesplorasi ketika kebijakan tersebut dijalankan, sehingga bisa disiapkan langkah-langkah antisipatif ketika suatu kondisi perubahan tercapai. [17]. Hal ini yang mengakibatkan pendekatan seperti *Robust Decision Making (RDM)* [18], *Dynamic Adaptive Planning (DAP)*[19], *Dynamic Adaptive Planning Pathways (DAPP)* [20].

DMDU memang lahir dengan didorong oleh semakin tingginya kemampuan komputasi dan algoritma komputer untuk mengolah data menjadi informasi. Namun bukan berarti tidak ada proses awal untuk mengurai atau mengeksplorasi alternatif yang terjadi, dan proses explorasi ini bisa dilakukan dengan bantuan model (*Exploratory Modeling Analysis – EMA*) [21].

4. Dukungan Pendekatan Model untuk Transfer Pengetahuan Kompleks

Eksplorasi terhadap dukungan pemodelan untuk penguraian masalah juga mengantarkan ke sebuah area permasalahan kompleks lain di organisasi, yaitu transfer pengetahuan. Pemecahan masalah kompleks biasanya harus mempertimbangkan elemen berbeda, memperhatikan kebutuhan multi-aktor, dan adaptif terhadap perubahan. Proses pertimbangan ini merupakan pengalaman berharga yang perlu dipastikan tetap berada di organisasi secara jangka panjang. Seorang pakar yang memiliki jam terbang tinggi perlu ditransfer pola berpikirnya ke generasi berikutnya. Namun di sisi lain, mempelajari hal yang kompleks bisa menyulitkan dan membosankan jika dijalankan secara pengajaran tradisional yang cenderung linear dan satu arah.

Berbasis kepada pemikiran ini, menimbulkan ide bagaimana pendekatan model bisa membantu. Kami mengetahui bahwa simulasi model mampu menciptakan ulang tantangan yang disarikan dari dunia nyata dan membentuk tantangan virtual yang mungkin tidak terjadi di dunia nyata, namun perlu untuk disiapkan. Hal ini bisa dikatakan sebagai *Model-Based Learning*.

Bentuk klasik penggunaan model adalah dalam bentuk studi kasus. Studi kasus adalah kompresi sebuah permasalahan dunia nyata dengan data yang disediakan untuk analisa. Studi kasus interaktif adalah studi kasus yang memiliki berbagai plot dengan berbeda aliran kesimpulan. Namun studi kasus yang terinteraktifpun biasanya tetap memiliki keterbatasan pada solusi yang telah ditentukan sebelumnya.

Disini letak simulasi komputer dari model bisa memberikan keuntungan dalam memperluas limitasi ini. Simulasi komputer memberikan kondisi virtual untuk mendapatkan hasil dari berbagai alternatif keputusan, dengan asumsi hasil yang diberikan tidak berbeda dengan respons di dunia nyata. Ini memberikan peluang analisa lebih kaya dengan berbagai kondisi "bagaimana-jika" (*What-Ifs Condition*) yang tidak terbatas. Kondisi virtual ini memiliki 3 kekuatan utama:

1. Memberikan kesempatan untuk memberikan situasi yang jarang terjadi di dunia nyata, namun mungkin terjadi dan harus disiapkan. Simulator Penerbangan untuk Pilot misalnya, memberikan berbagai skenario kegawatdaruratan yang sebaiknya tidak terjadi, namun perlu disiapkan untuk dihadapi. Stermann memberikan istilah simulator penerbangan manajemen (*Management Flight Simulators*) saat menganalogikan kebutuhan simulator untuk melatih para manajer [22].
2. Menggunakan waktu virtual lebih cepat dari dunia nyata. Simulasi bisa memberikan hasil dalam waktu 3 detik, yang di dunia nyata membutuhkan waktu 3 tahun. Waktu virtual ini penting dalam pembelajaran karena belajar merupakan sebuah proses umpan balik. Dengan umpan balik yang cepat, siklus untuk belajar juga berjalan lebih cepat, karena setiap kekurangan dapat dengan segera dipelajari.
3. Kondisi virtual memberikan keamanan terhadap dampak nyata dari kesalahan yang mungkin dilakukan mengambil keputusan. Dengan cepat proses kesalahan percobaan (*trial-error*) dilakukan tanpa merusak kondisi nyata yang biasanya berbiaya tinggi. Ketiadaan resiko ini meningkatkan kepercayaan diri dan membuka berbagai ruang percobaan dengan kesempatan untuk mencoba berbagai hal dan menstimulasi keingintahuan [23].

Keuntungan penggunaan simulasi ini dapat memberikan perspektif yang lebih luas, lebih terkoneksi dan merasakan realita dari dunia nyata [24].

“Learn from the mistakes of others. You can't live long enough to make them all yourself.”

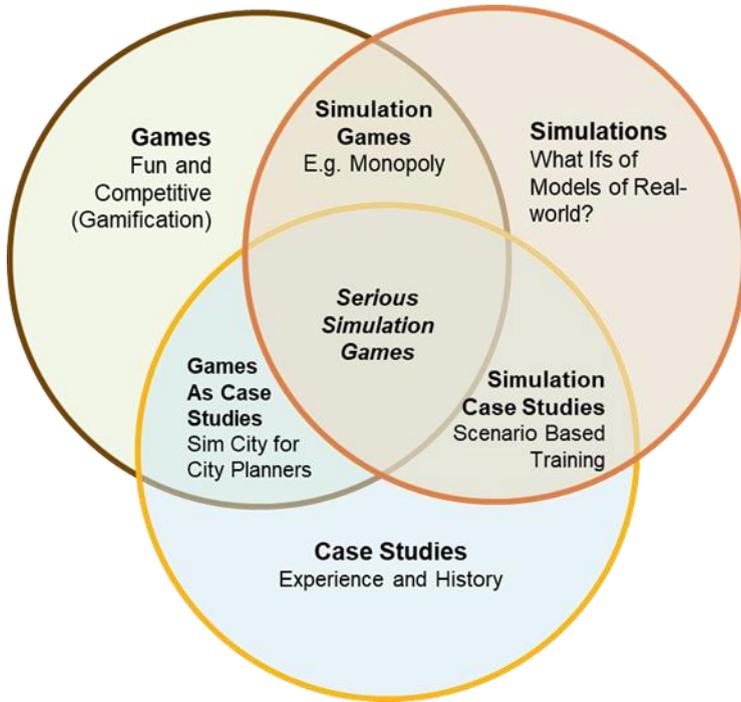
Kombinasi studi kasus dengan simulasi komputer ini akan membutuhkan motivasi dan tantangan secara internal dari pesertanya

untuk tetap bersemangat mempelajari hal yang kompleks. Disinilah letak pendekatan permainan untuk belajar (*learning games*) menjadi instrumen penting berikutnya.

Bermain berarti berinteraksi dengan pemain lain untuk mencapai kemenangan dalam kondisi tertentu dengan aturan dan prosedur yang telah ditentukan. Bermain juga memiliki suasana kompetitif yang bisa memotivasi. Bermain sampai batas tertentu juga menyenangkan karena ada interaksi dengan pemain lainnya ketika menghadapi tantangan bersama. Ketika bermain, para pemain ketika bermain harus secara siklus: mengevaluasi situasi dan kondisi, mengambil keputusan, melaksanakan keputusan, mendapatkan konsekuensi dari keputusan dan menganalisa konsekuensi tersebut untuk siklus selanjutnya.

We don't stop playing because we grow old, we grow old because we stop Playin (George Bernard Shaw)

Kombinasi ketiga aspek inilah yang mendorong pengembangan penggunaan permainan sebagai sarana belajar (Gambar 9). Simulasi karena permainan yang digunakan menggunakan model dari dunia nyata, bukan fantasi. Studi kasus karena permainan yang digunakan memiliki tujuan spesifik sebagai media pembelajaran. Tujuan spesifik ini sering disebut tujuan serius (*Serious Purpose*) untuk membedakan permainan yang hanya untuk mendapatkan kesenangan. Permainan karena ada unsur kompetisi antar pemain yang memotivasi untuk terus bermain karena ingin menjadi pemenang. Penggabungan ini dikenal luas sebagai pendekatan permainan untuk belajar (*learning games*) dengan berbagai istilahnya seperti *Simulation Games for Learning*, *Simulation and Gaming* atau *Serious Games*.



Gambar 9. Diagram Venn kombinasi antara studi kasus, permainan dan simulasi [25]

Di Teknik Industri, Universitas Indonesia, kami memberi nama hal ini sebagai Permainan Serius untuk Belajar (*Serious Simulation Games-SSG*). Penamaan ini mempertimbangkan tanggapan dari kolega kami di Indonesia ketika pertama kali konsep ini kami coba kenalkan di 1990an. “Kok bisa main game buat belajar?” adalah tanggapan yang diberikan. Sehingga kami harus mengkombinasikan penamaan baru yang memastikan kata *serious* masuk sebagai judul sehingga kata permainan (*games*) tidak menjadi fokus utama. Simulasi adalah kata lain yang harus dimasukkan, karena menunjukkan ciri khas bahwa permainan kami bukan berdasarkan fantasi atau skenario hipotesis, namun berbasis kepada kasus di dunia nyata.

Kami juga telah telah menciptakan berbagai karya permainan yang dikembangkan dalam rangka mengeksplorasi hal ini. Sebagian besar karya ini memang berbentuk permainan fisik diatas meja (*table-top board-games*) secara berkelompok. Hal ini karena kami mmemperhatikan bahwa masih sulit mendapatkan suasana kompetisi dan saling ejek yang timbul ketika beberapa orang berkumpul bersamasama dan bermain melalui papan permainan. Beberapa karya digital juga telah kami kembangkan, tapi biasanya berorientasi kepada pembelajaran individu melalui interaksi umpan balik dari hasil simulasi.

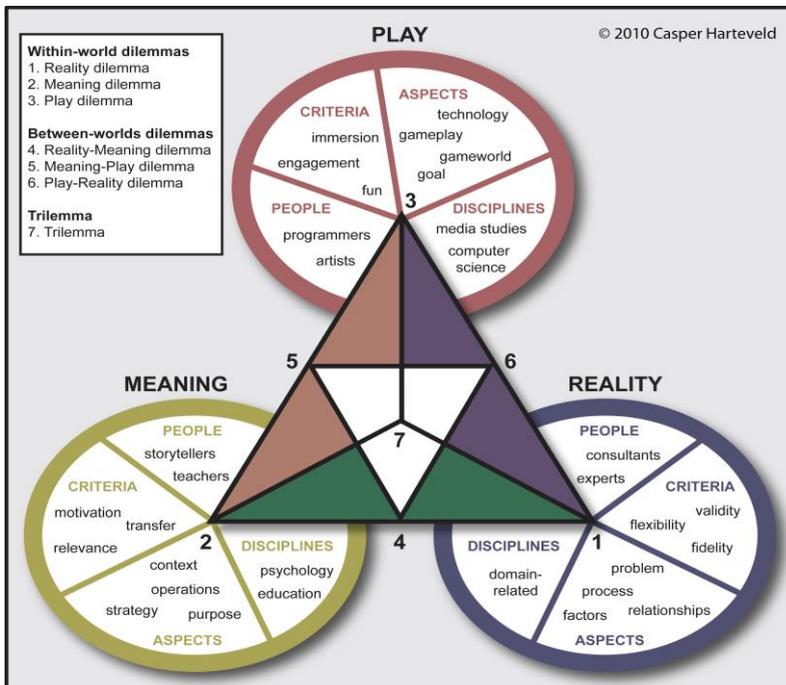
Berbagai karya yang berhasil diciptakan di Departemen Teknik Industri, mencakup:

1. *Strategic Sourcing Management Game* (SSMG): SSG untuk mengajarkan konsep pengadaan pada tingkat strategi jangka panjang dengan mempertimbangkan multi sumber dari berbagai negara. (Hak Cipta EC0020161597)
2. *Project Management Game* (PMG): SSG untuk mengajarkan prinsip-prinsip manajeemen proyek yang disarikan dari PMBOK (*Project Management Book of Knowledge*) (Hak Cipta EC00201702448)
3. *Operation Management Game: A Customizable Serious Simulation Board Game for Learning the Core Principles of Operations Management* (Hak Cipta C00201301672) [26]
4. *The Container Game*. SSG untuk mengajarkan peletakan kontainer didalam kapal yang efisien dan efektif tanpa memiringkan kapal secara tidak perlu. (No. C00200801202)
5. *Franchising Simulator for Understanding the Complexity of Franchise Management* (Hak Cipta No. C00201103663)
6. *Fleet Management Serious Simulation Game*. SSG berbasis kepada permainan klasik Beerg Game MIT dengan variasi adanya penentuan jenis kendaraan yang digunakan untuk melakukan transportasi antar rantai pasok (Hak Cipta No C00201304797)



Gambar 10 Berbagai Karya Papan Permainan SSG dengan bantuan Mahasiswa Teknik Industri UI

Kami juga menulis berbagai publikasi mengenai pengalaman kami dalam mengembangkan berbagai karya SSG [27], [28], [29], [30]. Hal ini mempertimbangkan bahwa permainan simulasi serius untuk belajar perlu menyeimbangkan antara tiga aspek: permainan, makna dan realitas, yang dikenal sebagai konsep *triadic game design* [31] (Gambar 11).

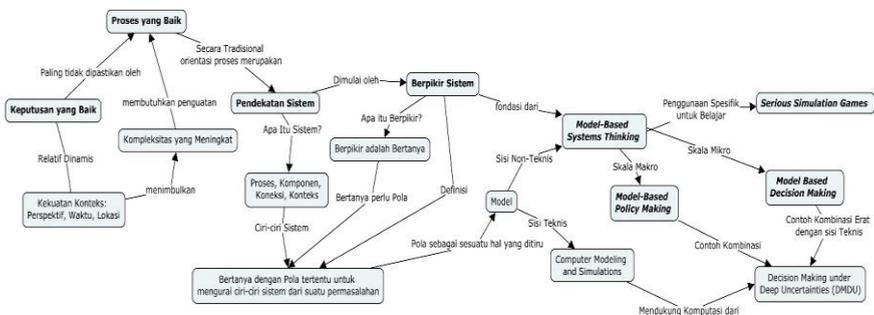


Gambar 11 Aspek Triadic Game Design dalam Perancangan Permainan Simulasi [31]

Sebuah permainan untuk bermain biasa tidak memiliki makna untuk digunakan sebagai belajar, namun bisa saja mendekati realita. Sebuah permainan untuk belajar bisa kehilangan kekuatan motivasinya ketika terlalu susah dimainkan akibat terlalu mendekati kompleksitas realitanya atau terlalu berat muatan pembelajarannya. Keseimbangan ketiganya menjadi penting dalam perancangan permainan.

5. Penutup

Ketika keputusan yang baik adalah relatif, maka penilaian baik hanya bisa dievaluasi apakah melalui suatu proses pengambilan keputusan yang lebih baik. Proses ini dimulai mengurai permasalahan melalui sebuah pola tertentu sehingga didapatkan pemahaman masalah yang lebih baik. Dewasa ini, ketika kompleksitas permasalahan semakin meningkat, maka pendekatan sistem bisa menjadi alternatif untuk menjadi dasar penguraian masalah. Mempertimbangkan bahwa penguraian masalah bahkan telah dimulai pada saat kita mengamati permasalahan tersebut, sehingga pendekatan sistem sudah harus dimulai dari pola berpikir kita. Sehingga kita perlu mengubah pola berpikir kita ke pola berpikir sistem yang diterjemahkan sebagai serangkaian pertanyaan untuk mengemukakan ciri-ciri sistem berupa proses, komponen, koneksi dan konteks.



Gambar 12 Peta konseptual tulisan ini

Pola dalam keilmuan sistem adalah sebuah model, sehingga bisa dikatakan, dukungan model dalam mengurai permasalahan kompleks secara sistem dapat diberikan mulai dari sisi-berpikir hingga ke berbagai alternatif sisi teknis pemodelan komputer. Kombinasi keduanya yang menghasilkan 3 aplikasi utama yang kami lakukan di Universitas Indonesia: *Model-Based System Thinking*, *Model-Based Decision and Policy Making* dan *Model-Based Learning* melalui *Serious Simulation Games*. Dukungan model dalam berbagai aplikasi ini telah memberikan pemicu, arah, pola contoh dan kerangka kerja yang membantu kita mendapatkan uraian permasalahan secara lebih lengkap dan sistemis. Uraian yang lebih baik dan sistematis akan membantu pemahaman yang lebih baik dan hal ini merupakan modal awal dalam mendapatkan keputusan yang lebih baik.

6. Ucapan Terima Kasih

Pada hadirin yang Saya hormati, akhirnya perkenankanlah Saya pada akhir pidato ini memanjatkan puji syukur ke hadirat Allah Subhanahu wata'ala atas segala karunia, limpahan rezeki, dan nikmat yang tiada terhitung yang telah Allah berikan kepada Saya dan keluarga selama ini.

Pada kesempatan ini pula, izinkanlah Saya mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Pemerintah Republik Indonesia melalui Menteri Pendidikan dan Kebudayaan - Bapak Nadiem Makarim BA, MBA yang telah memberikan kepercayaan kepada Saya dengan mengangkat Saya menjadi Guru Besar Tetap pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia, serta kepada Rektor Universitas Indonesia - Prof. Ari Kuncoro SE, MA, Ph.D dan kepada Ketua Dewan Guru Besar Universitas Indonesia - Prof. Harkristuti Harkrisnowo, SH, MA, Ph.D. beserta seluruh Anggota Dewan Guru Besar Universitas Indonesia yang telah mengukuhkan saya pada hari ini dan telah berkenan menerima saya dalam lingkungan akademik yang sangat terhormat ini.

Terima kasih saya ucapkan juga pada Dekan Fakultas Teknik Universitas Indonesia - Dr. Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng, Ketua Dewan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia - Prof. Ir. Yulianto S. Nugroho, MSc.,PhD beserta anggota Dewan Guru Besar Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Ketua Senat Akademik Fakultas Teknik Universitas Indonesia – Prof. Ir. Mahmud Sudibandriyo, MSc., Ph.D., Wakil Dekan Bidang Pendidikan, Penelitian dan Kemahasiswaan FTUI - Dr. Ir. Muhammad Asvial, Wakil Dekan Bidang Sumber Daya, Ventura dan Administrasi Umum FTUI – Prof. Dr.-Ing. Nandy Putra, Manajer SDM dan Administrasi Umum FTUI - Jos Istiyanto PhD, Ketua Departemen Teknik Industri Dr. -Ing. Amalia Suzianti S.T., M.Sc., Sekretaris Departemen Teknik Industri Dr. Komarudin, ST., M.Eng yang telah memproses, mengusulkan dan mendukung Saya sehingga pengukuhan Guru Besar ini dapat terlaksana dengan baik.

Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada tim review usulan Guru Besar saya baik dari internal Departemen Teknik Industri, Prof. Ir. Isti Surjandari, MT, MA, PhD dan Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri M. Zagloel, M.Eng., serta tim review eksternal saya yaitu Prof. Dr. Ir. Budisantoso Wirjodirdjo M. Eng. dari Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, yang telah memberikan tenaga, pikiran dan waktu yang cukup panjang dalam mempelajari karya-karya ilmiah saya.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada Direktur SDM Universitas Indonesia – Dr. Abdillah Ahsan, S.E., M.S.E beserta tim SDM UI, tim SDM FTUI -Amida Wahyuningsih, S.T dan Departemen Teknik Industri FTUI dan Dody Hartojo, S.E yang telah memproses, mendokumentasi, dan mendukung pengusulan Guru Besar Saya dari awal, terima kasih atas bantuannya.

Selanjutnya terima kasih Saya sampaikan kepada rekan-rekan Dosen dan Guru Besar di Departemen Teknik Industri. Ucapan terima kasih juga saya khususkan kepada Bapak Ir. Boy Moch Nurtjahjo MSIE selaku dosen senior saya yang menceburkan saya untuk berkarya sebagai dosen sejak Departemen Teknik Industri berdiri serta Prof. Dr. Ir.

M. Dachyar MSc selaku pembimbing skripsi saya. Mereka berdua yang mengajak saya untuk bersama-sama mendirikan Jurusan Teknik Industri di Universitas Indonesia di tahun 1998.

Ucapkan terima kasih khusus juga kepada Prof. Dr. Ir. Widodo W. Purwanto DEA di sebagai pembimbing S3 saya di Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia yang setia menarik saya dari keasyikan melakukan pekerjaan administratif maupun profesional, sehingga menjadi dosen paripurna secara tridarma.

Secara khusus ucapan terima kasih saya haturkan kepada para keluarga kolega saya di Laboratorium Rekayasa, Pemodelan dan Simulasi Sistem – Departemen Teknik Industri FTUI: Dr. Armand Omar Moeis, Dr. Andri D. Setiawan, Dr. Komarudin, Hariyanto Salim MSIE, Dr. Aziiz Sutrisno, Irvanu Rahman MPA, Arry Rahmawan MT, dan Bramka Arga Jafino M.Sc., yang selalu mendukung saya dan memberikan atmosfir laboratorium yang luar biasa untuk selalu belajar, membuka jalan dan ruang baru pengetahuan, namun tetap tidak melupakan canda tawa. Terima kasih juga saya berikan kepada semua mahasiswa asisten laboratorium (*SEMSONIANS FELLOWS*) yang menjadi inspirasi untuk selalu “*keep moving forward*”.

Saya sampaikan terima kasih kepada para karyawan dan alumni karyawan di TI FTUI, Babe Mursyid, Dody, Acil, Fatimah, Tryana, Willy, Dede, Taufan, Nurul, Iwan, Fajar, Bambang, Bu Har, dan Hesti yang telah banyak membantu saya, terutama saat saya menjadi Ketua Departemen Teknik Industri FTUI tahun 2013-2018.

Pada kesempatan ini Saya juga ingin menyampaikan terima kasih kepada mahasiswa bimbingan Saya baik dari program S1, S2 maupun S3 Departemen Teknik Industri FTUI yang telah memberikan saya banyak pengalaman dan pengetahuan yang luas sehingga Saya dapat memperdalam bidang keilmuan, baik melalui diskusi, tulisan ilmiah di jurnal nasional dan internasional, serta seminar nasional dan internasional. Semuanya telah berjuang keras, meluangkan waktu, dan mendo’akan Saya sehingga mencapai posisi saat ini.

Terima kasih kepada guru-guru Saya di SDN Kertajaya XII No. 218 Surabaya, SMP Negeri 1 Teladan Surabaya, SMA 5 Surabaya, dan SMAN 3 Jakarta serta para dosen di Departemen Teknik Mesin, Departemen Teknik Industri dan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah mendidik saya dengan tulus, semoga ini menjadi amal jariyah untuk para guru dan dosen yang saya hormati.

Terima kasih pada kawan-kawan alumni SD hingga SMA, alumni Teknik Mesin UI 91, UNSW Australia dan ILUNI TIUI atas segala dukungan, persahabatan dan persaudaraan yang terus terjalin hingga saat ini.

Terima kasih terbesar saya haturkan kepada kedua orang tua saya, Bapak saya Ir. Soedjadi Martodiwirjo dan ibu saya yang telah melahirkan, membesarkan, membimbing dan mendidik saya, serta terus menerus mendo'akan saya dengan tulus-ikhlas sejak saya lahir hingga saat ini sehingga Alhamdulillah keberkahan selalu meliputi saya dan keluarga. Bapak dan Ibu saya yang selalu menginspirasi saya untuk terus belajar, berkarya, berguna buat orang lain, dan juga telah mengikhhlaskan dan meridhoi Saya untuk meniti karir akademis di FTUI. Dalam kesempatan ini, Saya memohon maaf yang sebesar-besar atas segala kekurangan dan kekhilafan yang saya lakukan. Sekali lagi, terima kasih Saya haturkan pada ayah dan ibu yang Saya cintai atas segala keridhoannya.

Kepada kedua mertua saya, bapak Prof. Dr. Eddy Rahardjo., dr., SpAn., KIC., KAO, saya juga haturkan terima kasih, yang telah menjadi inspirasi untuk berkarya sebagai seorang pendidik. Serta kepada ibu RR Hj. Atiet Rahardjo yang juga selalu men-support, memberikan cintanya, dan mendo'akan. Semoga Allah SWT selalu meberikan kasih sayang-Nya kepada orang tua dan mertua sebagaimana mereka menyayangi kami ketika kami kecil.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada kakak dan adik saya, yaitu Mas Hohok, Mbak Roosje, Mas Wawan, Mbak Titiek, Mas Aman, Mbak Mbak Ita, Mas Joko, serta Dik Deisy dan Dik Kosa serta kepada 7 orang keponakan-keponakan yang selalu mendukung,

memberikan kasih sayang dan pengertiannya, serta mendo'akan Saya dan keluarga.

Untuk istriku tercinta dr. Ernie Widianty Rahardjo M.Kes, MBA, CHRP, ERMAP, ERMCP, terima kasih atas doa dan kesabaran, dukungan dan pengorbanan serta kasih sayangnya selama menjalani kehidupan. Suka duka dan perjuangan telah kita lewati sepanjang lebih dari 22 tahun hidup bersama. Semoga Allah SWT terus memberikan keberkahan dalam hidup kita dan semoga selalu bersama dalam kebaikan, dan terus bersama menua di dunia, dan bertemu kembali menjadi pasangan abadi di akhirat kelak.

Akhir kata saya ucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada para hadirin, teman, kerabat dan undangan yang hadir pada upacara pengukuhan ini. Mohon maaf yang sebesar- besarnya karena tidak dapat Saya sebutkan satu persatu. Saya juga menyampaikan mohon maaf yang sebesar-besarnya jika ada kekeliruan dan kekhilafan dalam pidato pengukuhan ini serta kekurangan dalam penerimaan pada acara pengukuhan ini. Semoga Allah SWT membalas budi baik Bapak dan Ibu sekalian dengan balasan yang lebih baik lagi. Terima Kasih.

Wabillahi Taufik Wal Hidayah, Wassalaamu'alaikum Warohmatullaahi Wabarakaatuh

Daftar Pustaka

- [1] L. Haaparanta, "Introduction," in *The Development of Modern Logic*, Oxford University Press, 2009, pp. 3–10.
- [2] R. L. Flood and E. R. Carson, *Dealing with Complexity*. Boston, MA: Springer US, 1993.
- [3] L. Turnbull *et al.*, "Connectivity and complex systems: learning from a multi-disciplinary perspective," *Appl. Netw. Sci.*, vol. 3, no. 1, p. 11, Dec. 2018.
- [4] P. M. Senge, *The fifth discipline : the art and practice of the learning organization*, 1st ed. New York: Doubleday/Currency, 1990.
- [5] B. Richmond, "Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond," *Syst. Dyn. Rev.*, no. January, pp. 113–133, 1993.
- [6] A. Hidayatno, *Berpikir Sistem: Pola Berpikir untuk Pemahaman Masalah yang Lebih Baik*. Jakarta: Leutikia Prio, 2013.
- [7] E. De Bono, "Lateral Thinking: Creativity Step by Step," *Harper Collins*, 2015.
- [8] E. De Bono, *Thinking Course: Powerful Tools to Transform Your Thinking*. Essex, England: BBC Active - Pearson Education, 2006.
- [9] A. Kossiakoff, W. N. Sweet, S. J. Seymour, and S. M. Biemer, *Systems Engineering Principles and Practice: Second Edition*. 2011.
- [10] F. Capra and P. L. Luisi, *The systems view of life: A unifying vision*. 2012.
- [11] A. P. Wierzbicki, M. Makowski, and J. Wessels, Eds., *Model-Based Decision Support Methodology with Environmental Applications*. Dordrecht: Springer Netherlands, 2000.
- [12] W. E. Walker and C. E. van Daalen, "System Models for Policy Analysis," 2013, pp. 157–184.
- [13] N. W. Gleason, *Higher Education in the Era of the Fourth*

- Industrial Revolution*. 2018.
- [14] P. Cairney, *The Politics of Evidence-Based Policy Making*. London: Palgrave Macmillan UK, 2016.
- [15] J. L. A. Geurts and C. Joldersma, "Methodology for participatory policy analysis," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 128, no. 2, pp. 300–310, Jan. 2001.
- [16] S. Peck, "Group Model Building: Facilitating Team Learning Using System Dynamics," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 49, no. 7, pp. 766–767, Jul. 1998.
- [17] V. A. W. J. Marchau, W. E. Walker, P. J. T. M. Bloemen, and S. W. Popper, "Introduction," in *Decision Making under Deep Uncertainty*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 1–20.
- [18] R. J. Lempert, "Robust Decision Making (RDM)," in *Decision Making under Deep Uncertainty*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 23–51.
- [19] W. E. Walker, V. A. W. J. Marchau, and J. H. Kwakkel, "Dynamic Adaptive Planning (DAP)," in *Decision Making under Deep Uncertainty*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 53–69.
- [20] M. Haasnoot, A. Warren, and J. H. Kwakkel, "Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP)," in *Decision Making under Deep Uncertainty*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 71–92.
- [21] A. Hidayatno, B. A. Jafino, A. D. Setiawan, and W. W. Purwanto, "When and why does transition fail? A model-based identification of adoption barriers and policy vulnerabilities for transition to natural gas vehicles," *Energy Policy*, vol. 138, p. 111239, Mar. 2020.
- [22] J. D. Sterman, "Learning from evidence in a complex world.," *Am. J. Public Health*, vol. 96, no. 3, pp. 505–14, Mar. 2006.
- [23] G. Alinier, "Nursing students' and lecturers' perspectives of objective structured clinical examination incorporating

- simulation," *Nurse Educ. Today*, vol. 23, no. 6, pp. 419–426, Aug. 2003.
- [24] H. Haapasalo and J. Hyvönen, "Simulating business and operations management—a learning environment for the electronics industry," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 73, no. 3, pp. 261–272, Oct. 2001.
- [25] E. Leigh and J. Kinder, *Fun & Games for Workplace Learning: 40 Structured Learning Activities to Enhance Workplace Learning Programs*. McGraw-Hill, 2001.
- [26] A. Hidayatno, A. O. Moeis, H. Salim, and D. W. Heryanto, *OMG! - Operations Management Game: A Customizable Serious Simulation Board Game for Learning the Core Principles of Operations Management*. Systems Engineering, Modeling and Simulation Lab - Universitas Indonesia, 2014.
- [27] A. Hidayatno, Zulkarnain, R. G. Hasibuan, G. C. Wardana Nimpuno, and A. R. Destyanto, "Designing a Serious Simulation Game as a Learning Media of Sustainable Supply Chain Management for Biofuel Production," *Energy Procedia*, vol. 156, pp. 43–47, Jan. 2019.
- [28] A. R. Destyanto, O. A. Putri, and A. Hidayatno, "Serious simulation game development for energy transition education using integrated framework game design," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 94, p. 012157, Nov. 2017.
- [29] A. Omar Moeis, S. Marcheline, A. R. Destyanto, T. Yuri Zagloel, and A. Hidayatno, "Indonesian Port Cluster Simulation Game: Understanding Complex System Through Simulation Game," *J. Penelit. Transp. Laut*, vol. 22, no. 1, pp. 13–20, Sep. 2020.
- [30] A. R. Destyanto, A. Hidayatno, A. O. Moeis, and M. R. N. Iman, "Co-creating Prototype Improvement Using Participatory Design on the Development of a Serious Game in Financial Literacy Skills," 2019, pp. 111–122.
- [31] C. Hartevel, *Triadic Game Design*. London: Springer London, 2011.

Setting & Percetakan Oleh: UI PUBLISHING

Komplek ILRC Gedung B Lt. 1 & 2
Perpustakaan Lama Universitas Indonesia,
Kampus UI, Depok, Jawa Barat - 16424



Jl. Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat - 10430
WA : 0818 436 500
E-mail: uipublishing@ui.ac.id