Available *online* at : http://josi.ft.unand.ac.id/

Jurnal Optimasi Sistem Industri

| ISSN (Print) 2088-4842 | ISSN (Online) 2442-8795 |

Artikel Penelitian

Model Matematika Dampak Industri 4.0 terhadap Ketenagakerjaan Menggunakan Pendekatan Sistem

Rio Aurachman

Universitas Telkom, Jalan Telekomunikasi Nomor 1, Bandung, 40151, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: July 25, 18
Revised: January 5, 19
Available online: May 15, 19

KEYWORDS

Mathematical model, Industri 4.0, *System Approach*, *System Modelling*, *Simulation*

CORRESPONDENCE

Phone: +6282316403218
E-mail: rioaurachman@telkomuniversity.ac.id

A B S T R A C T

The objective of this research was to provide a mathematical model that can explain the relationship between the unemployment rate, openness to technology, and people development initiatives to overcome technology development. These research discussions were carried out in the context of predicted technological developments related to Industri 4.0 which caused the loss of several jobs and formed new business models that will provide new jobs. The method used is to using system approach so that mathematical modeling can be obtained from Influence Diagrams which have been designed in previous research. Mathematical models illustrate that openness to technology is directly proportional to the number of unemployed. And the unemployment rate is inversely proportional to the level of human resource development. Development of human resources that are too large without being carried out with openness and technological progress, can also cause unemployment. This mathematical model can be used as a decision maker to understand and establish appropriate policies in the face of this Industri 4.0 change.

INTRODUCTION

Industri 4.0 adalah salah satu isu yang marak terdengar pada tahun 2018. Istilah ini diawali dengan pemerintah federal Jerman yang mengumumkan Industri 4.0 sebagai salah satu inisiatif utama dari strategi teknologi tinggi pada tahun 2011 [1]. Revolusi industri kali ini berbeda dibandingkan revolusi Industri sebelumnya, untuk pertama kalinya revolusi industri diprediksi sebelum terjadi, tidak diamati sesudah terjadinya [2]. Revolusi industri ini telah didahului oleh tiga revolusi industri lainnya dalam sejarah umat manusia. Revolusi industri pertama adalah dibangunnya fasilitas produksi mekanis yang dimulai pada paruh kedua abad ke-18 dan semakin meningkat di seluruh abad ke-19. Dari tahun 1870-an, elektrifikasi dan pembagian kerja (yaitu Taylorisme) menyebabkan revolusi industri kedua. Revolusi industri ketiga, juga disebut "revolusi digital", yang dimulai sekitar tahun 1970-an, ketika teknologi elektronik dan teknologi informasi mengembangkan lebih jauh teknologi otomatisasi proses produksi [2]

Pemahaman tentang Industri 4.0 masih terus berkembang di masyarakat. "Meskipun Industri 4.0 adalah salah satu topik yang paling sering didiskusikan hari ini, saya tidak dapat menjelaskan kepada putra saya apa artinya itu", seorang manajer produksi suatu perusahaan kepada produsen otomotif Audiexplains masih bingung mengenai hal tersebut [3]. Didasari oleh dimungkinkannya komunikasi antara manusia, mesin, dan sumber daya, revolusi industri keempat dicirikan oleh pergeseran paradigma dari proses produksi yang dikendalikan secara terpusat menjadi terdesentralisasi [2]. “Kelompok Kerja Industri 4.0” menganggap, bahwa integrasi *Internet of Thing* (IoT) ke dalam proses manufaktur, adalah sebagai kunci yang memungkinkan untuk terjadinya revolusi industri keempat [2]. Industri 4.0 menjalankan Integrasi proses komputasi dan proses fisik. Komputer dan jaringan monitor tertanaman di dalam sistem dan mengontrol proses fisik. Bentuk kontrol yang terjadi biasanya dengan feedback loop di mana proses fisik mempengaruhi jalannya komputasi dan begitupun sebaliknya proses komputasi langsung mempengaruhi proses fisik [4].

Revolusi Industri 4.0 ini memberikan beberapa manfaat bagi masyarakat; menyediakan berbagai peluang bagi perusahaan dan lembaga penelitian untuk membentuk masa depan secara aktif. Dampak ekonomi dari revolusi industri ini seharusnya sangat besar, karena Industri 4.0 menjanjikan peningkatan secara substansial efektivitas operasional serta pengembangan model bisnis, layanan, dan produk baru yang sangat baru (belum ada) [3]. Akan tetapi perkembangan teknologi dapat menyimpan potensi permasalahan yang perlu diantisipasi. Terjadi hubungan

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019
Attribution-NonCommercial 4.0 International. Some rights reserved

sebab-akibat yang jelas antara penggantian oleh teknologi (mesin), mempersempit peluang kerja diberbagai bidang, dan membuat pengangguran meningkat [5]. Jika terjadi perubahan teknologi yang cepat dan juga terjadi pengangguran yang tinggi, kedua hal tersebut pasti akan dikaitkan dalam dalam benak masyarakat [6].

Penelitian terus berkembang untuk mempelajari kaitan antara perkembangan teknologi dan potensi dampak terhadap tenaga kerja. Tetapi ahli ekonomi tidak memiliki teori yang dapat diterapkan pada pendapatan dan kepegawaian yang lengkap pada tahun 1930 [6]. Namun peneltian terbaru sudah mulai mengkaji kaitannya secara rinci antara beberapa variabel. Terdapat penelitian yang berusaha memahami faktor yang secara terus menerus menyebabkan peningkatan tingkat pengangguran secara steady state, di mana juga terjadi perubahan teknologi yang bersifat *labor-saving* dalam sistem Industri [7].

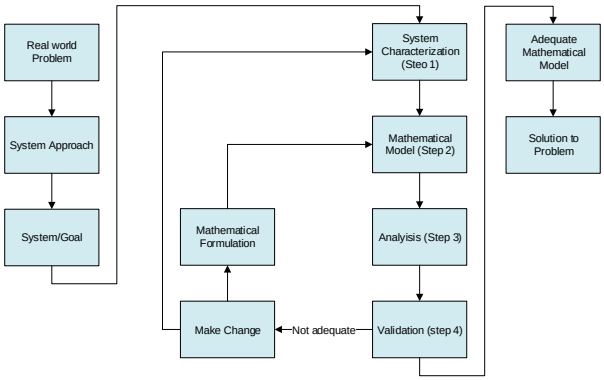
Tidak dipungkiri bahwa terdapat beberapa penelitian yang membuktikan bahwa ada kaitan yang nyata antara perkembangan teknologi dan pengangguran. Pada tahun 1983, *Upjohn Institute for Employment Research* memprediksi akan munculnya 50.000 hingga 100.000 robot industri di Amerika Serikat pada tahun 1990, yang membuat sekitar 100.000 pekerja kehilangan pekerjaan [8]. Hal ini tidak saja dikaji untuk era abad 20 tetapi sejak abad 19. Terdapat kesamaan antara zaman otomasi kini dan revolusi industri pertama sejak lama (sekitar tahun 1790-1840). Keduanya melakukan lompatan teknologi dengan kemajuan teknis dan produksi, dan menghapuskan pekerjaan yang tersedia bagi pekerja [9]. Penelitian lain juga mengkaji bahwa terobosan dalam perkembangan teknologi dapat menghasilkan pertumbuhan output tenaga kerja dan peningkatan upah, akan tetapi, dalam jangka panjang, juga dapat menghasilkan tingkat pengangguran yang lebih tinggi dan juga penurunan *labora-share* dalam pendapatan [7]. Terobosan dalam perkembangan teknologi, dalam jangka pendek, juga menurunkan output, karena investasi yang dilakukan dalam *labor-saving technology* tidak dapat berjalan efisien bila jumlah tenaga kerja masih banyak. Hal ini terjadi sebagaimana pada fenomena terjadinya pengangguran yang diakibatkan oleh teknologi [7]. Terdapat pula kajian untuk khusus negera tertentu, Kanada contohnya, penelitian tersebut membahas masalah makroekonomi yang menjadi diskusi yaitu tentang kaitan antara teknologi tinggi dan pengangguran. Model simulasi makroekonometrik dengan sejumlah fitur khusus digunakan untuk memeriksa skenario alternatif peningkatan kinerja produktivitas di Kanada [10].

Lapangan pekerjaan yang terdampak dari perkembangan teknologi ini tidaklah hanya lapangan pekerja kerah biru. Algoritma cerdas sudah berjalan dengan baik untuk membuat pekerjaan kantoran menjadi tidak membutuhkan manusia: agen perjalanan, analis data, dan paralegal saat ini berada di garis kepunahan. Dalam waktu dekat, para dokter, pengemudi taksi, dan bahkan para programmer komputer juga siap untuk digantikan oleh mesin [10]. Di lain sisi, terdapat pula penelitian yang megkaji kaitan antara tingkat pengangguran dan perkembangan teknologi namun dalam pengaruh yang sebaliknya. Dampak teknologi terhadap pengangguran memang penting untuk diselidiki, tetapi ada juga koneksi yang mengarah ke cara lain – yakni pengaruh pengangguran dalam membatasi penggunaan teknologi yang lebih baik [11].

Telah terlaksana beberapa perkembangan hasil penelitian yang mempelajari kaitan lapangan pekerjaan dan perkembangan teknologi. Penelitian terdahulu berfokus pada dampak perkembangan teknologi terhadap ketenagakerjaan menggnakan pendekatan ekonomi makro dan tidak berfokus pada peran serta pengembangan sumber daya manusia. Sedangkan penelitian kali ini mencoba mengkaji kaitan antara jumlah pengangguran dan perkembangan teknologi serta usaha pengembangan sumber daya manusia. Kaitan antara variabel tersebut dikaji menggunakan pendekatan sistem, model matematika diskrit, dan simulasi statik. Diharapkan melalui penelitian ini dapat diperoleh sebuah pemahaman dan rumusan langkah tindakan untuk mencegah dampak negatif perkembangan teknologi terhadap lapangan pekerjaan khususnya, pengangguran.

METODE

Pada Gambar 1 [12], langkah dalam menyusun model matematika dimulai dengan mengkaji objek real serta kondisi tidak ideal dalam sistem yang dipelajari. Langkah selanjutnya yaitu menerapkan pendekatan sistem untuk mendapatkan sudut pandang holistic serta mengimplementasikan perspektif helikopter. Berpikir secara sistem mendukung untuk mendapatkan pemecahan dari permasalahan secara optimal global sehingga tidak mencari solusi dalam persepektif yang dangkal sehingga solusi yang didapatkan tidak optimal dan tidak menyelesaikan permasalahan [13].



Gambar 1. Alur Pengembangan Model Matematika [12]

Setelah dilakukan analisis, pendekatan, dan kajian menggunakan *system approach*, langkah berikutnya adalah karakterisasi sistem dan diformulasikan secara jelas, apa tujuan dari model yang dirancang dan apa permasalahan yang diselesaikan oleh model yang dirancang ini. Salah satu *language* atau diagram yang dapat digunakan adalah *Influence diagram* [14] Sampai pada tahap penelitian berikut, sudah dilaksanakan pada publikasi sebelumnya yaitu Perancangan *Influence Diagram* Perhitungan Dampak Dari Revolusi Industri 4.0 terhadap Pengangguran Kerja [15].

Langkah berikutnya adalah merancang model matematika berdasarkan *influence diagram* yang sudah dirancang. Model matematika yang dirancang tersebut, perlu dianalisis dan dilakukan uji validasi serta uji verifikasi. Validasi yaitu memastikan bahwa keterkaitan yang tetera pada *influence diagram* secara jelas tercantum dalam model matematika. Adapun verifikasi dapat dilakukan dengan cara menguji konsisten satuan dari variabel dan gabungan variabel dari setiap

persamaan, antara ruas kiri persamaan, dibandingkan dengan ruas kanan dari persamaan. [13]

Tahapan verifikasi dan validasi bertujuan untuk memperjelas apakah model yang sudah diterapkan dan ditetapkan masih harus diperkaya dan dibuat lebih tepat agar cukup representative terhadap sistem yang dijadikan objek kajian. Proses pemodelan ini tidak harus dilakukan dalam satu langkah tuntas, namun dapat dilakukan pengulangan secara berkali kali hingga mendapatkan hasil yang diharapkan. Bila proses tersebut telah dilalui, maka didapatkanlah model matematika yang tepat dan sesuai dengan tujuan penelitian [13]. Model matematika tidak harus sama persis dengan sistem yang dikaji dikarenakan bila model matematika dibuat sedemikian rinci dan sama persis, maka model menjadi rumit dan tidak dapat dikelola dengan baik. Pengambil keputusan akan menjadi terlalu kerepotan dengan variabel yang demikian banyak.

Dalam pengembangan model matematika dan *influence diagram*, perlu ditentukan variabel-variabel yang menunjang dan terkait dalam sistem yang dikaji. Beberapa variabel penting dapat diklasifikasikan menjadi tiga yaitu: (1) *Decision variable;* (2) *Response variable*; (3) *State variable* (*In Process Measure*). *Decision variable* atau variabel keputusan adalah variabel yang independen di dalam sebuah model ataupun simulasi. Variabel ini adalah variabel yang dikendalikan oleh para pengambil keputusan dan berada dalam lingkup kendali dari pengendali sistem. *Response variable* adalah sebuah ukuran performansi dari sistem yang menanggapi keputusan yang tercermin dalam variabel keputusan. Dapat dikatakan bahwa *response variable* adalah output dari model matematika yang dirancang. *State variabel* adalah sebuah variabel yang mengindikasikan kondisi dari sistem dalam suatu waktu tertentu. Kondisi sistem tersebut atau nilai dari variabel tersebut mencerminkan satu komponen atau bagian dari sistem dan bukan merupakan luaran akhir dari model matematika ataupun *influence diagram* yang dirancang [16].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel-variabel tersebut saling berkaitan dan berpengaruh. Pengaruh dan kaitan tersebut dapat dipetakan menggunakan pendekatan sistem. Kaitan antara variabel secara matematis dapat digambarkan menggunakan beberapa pilihan diagram. Pilihan diagram tersebut digunakan sesuai dengan keperluan, keunggulan, dan kebutuhan. Beberapa alternatif diantaranya adalah menggunakan *influence diagram, causal loop diagram, stock flow diagram*, dan diagram lainnya. Bentuk diagram sederhana yang dapat memperjelas kaitan antara variabel tersebut adalah *influence diagram.* Diagram tersebut mengaitkan hubungan antara variabel yang digambarkan dengan beberapa ikon unik. Keunggulan *influence diagram* adalah dapat membedakan antara input yang dapat dikendalikan dan input yang tidak dapat dikendalikan. Hal ini bermanfaat bila pemodel ingin membuat model versi sederhana yang fokus pada sub sistem tertentu. Sistem yang lebih luas diperlukan sebagai input yang tidak bisa dikendalika (*uncontrollable input)*.
Gambar 2 adalah *influence diagram* yang telah dirancang. Variabel-variabel yang terlibat dalam model matematika dijelaskan langsung pada gambar tersebut. Gambar tersebut dirancang dan dibangun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya tentang perancangan *Influence Diagram* [15].

Tujuan dari model matematika ini adalah memperjelas kaitan antara jumlah pengangguran dan variabel lain yang berkaitan dengan jumlah pengangguran tersebut. Maka, muara dari model matematika ini adalah Jumlah Pengangguran (U_{total}). Adapun jumlah pengangguran tersebut dapat dibedah menjadi beberapa klasifikasi pengangguran berdasarkan teknologi yang menunjang yaitu Jumlah Pengangguran Terkait Industri 4.0 (U_a), Jumlah Pengangguran Terkait Model Bisnis Baru (U_b), dan terakhir adalah Jumlah Pengangguran Pekerjaan Umum (U_c).

$$U_{total} = U_a + U_b + U_c \quad (1)$$

Jumlah pengangguran di lapangan pekerjan umum yang belum terkait dengan Industri 4.0, disimbolkan dengan U_c , dipengaruhi oleh variabel angkatan kerja siap untuk pekerjaan umum A_c dan variabel lapangan pekerjaan umum L_c. Kondisi terbaik tentu terjadi bila jumlah lapangan pekerjaan dan jumlah tenaga kerja adalah sama sehingga terjadi *market clearance* untuk pasar tenaga kerja. Pengangguran terjadi bila jumlah tenaga kerja lebih banyak dibandingkan dengan jumlah lapangan pekerjaan. Hal ini menyebabkan pekerja tidak dapat berperan karena posisi kerja telah penuh oleh tenaga kerja lain. Maka dari itu angka dari pengangguran dapat dikatakan sebagai hasil pengurangan dari Angkatan kerja siap dan jumlah lapangan pekerjaan umum.

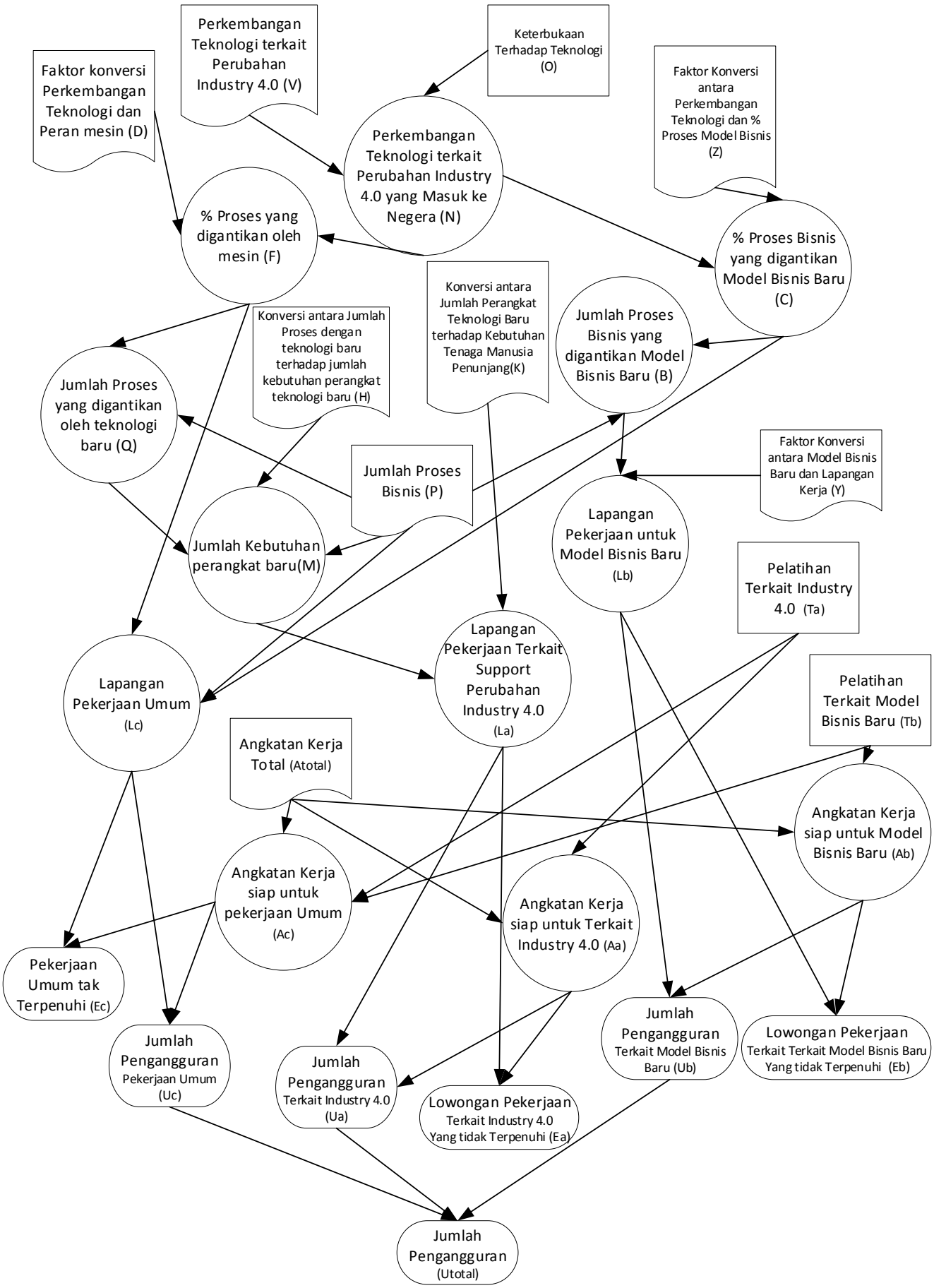
$$U_c = \min((A_c - L_c), 0) \quad (2)$$

Begitu pula dengan pasar tenaga kerja yang terkait dengan Industri 4.0 maupun pasar tenaga kerja dari model bisnis baru yang timbul akibat kemajuan teknologi Industri 4.0. Jumlah pengangguran adalah selisih antara jumlah tenaga kerja yang tersedia dan jumlah tenaga kerja yang siap. Persamaan Ua = min ((Aa – La) , 0) menunjukkan tingkat pengangguran untuk lapangan pekerjaan yang terkait dengan Industri 4.0 dan persamaan **Error! Reference source not found.**) menunjukkan tingkat pengangguran untuk lapangan pekerjaan pada model bisnis baru. A dan L menunjukkan jumlah tenaga kerja yang siap dan lapangan kerja yang tersedia untuk masing-masing pasar tenaga kerja.

$$U_a = \min((A_a - L_a), 0) \quad (3)$$
$$U_b = \min((A_b - L_b), 0) \quad (4)$$

Jika angka pengangguran menunjukkan jumlah tenaga kerja yang gagal terserap oleh lapangan pekerjaan, maka kejadian tersebut dapat pula berlaku sebaliknya, yaitu jumlah lapangan kerja yang tidak terisi oleh tenaga kerja yang ada. Lowongan pekerjaan umum yang tidak terpenuhi tersebut merupakan selisih dari jumlah lapangan kerja dikurangi dengan jumlah tenaga kerja. Tetapi bila hasil pengurangan tersebut memberikan angka negatif, maka angka negatif tersebut digantikan dengan angka nol. Angka nol tersebut menunjukkan tidak adanya lapangan kerja yang tidak terisi, semua terisi, atau bisa jadi jumlah tenagar kerja terlalu banyak. Jumlah lapangan kerja yang tidak terisi tersebut diberi symbol E. Maka E_a adalah jumlah lapangan kerja terkait Industri 4.0 yang kosong karena tidak diisi oleh tenaga kerja. Sedangkan, E_b adalah jumlah lapangan tenaga kerja akibat model bisnis baru yang tidak terisi oleh tenaga kerja dan E_c adalah jumlah lapangan tenaga kerja yang tidak terisi.

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019



Gambar 2. *Influence Diagram a*ntara Jumlah Pengangguran dan Perkembangan Teknologi

Rumus atau formula perhitungan dari ketiga variabel tersebut adalah sebagai berikut.

$$E_a = \min ((L_a - A_a), 0) \quad (5)$$
$$E_b = \min ((L_b - A_b), 0) \quad (6)$$
$$E_c = \min ((L_a - A_a), 0) \quad (7)$$

Angkatan tenaga kerja siap kerja yang terkait dengan model bisnis baru (A_b) dan angkatan tenaga kerja yang siap kerja terkait Industri 4.0 (A_a) merupakan variabel yang dipengaruhi oleh angkatan kerja total (A_{total}). Beberapa dari jumlah tenaga kerja keseluruhan (A_{total}) tersebut, sebagiannya akan siap menghadapi tantangan kompetensi baru setelah menghadapi pelatihan dan bentuk peningkatan kompetensi diri lainnya (T_a). Maka, jumlah tenaga kerja yang siap untuk model bisnis baru (A_b) merupakan hasil perkalian antara angkatan kerja total (A_{total}) dengan tingkat pelatihan yang terkait dengan model bisnis baru tersebut (T_b). Semakin tinggi tingkat pelatihan dan peningkatan kompetensi, semakin siap tenaga kerja menghadapi lapangan kerja yang baru tersebut. Hal ini dapat dipahami melalui persamaan berikut.

$$A_b = A_{total} \, . \, Tb \quad (8)$$

Sama halnya dengan tenaga kerja yang siap untuk mengahadapi lapangan kerja baru terkait Industri 4.0, (A_a) merupakan hasil perkalian antara angkatan kerja total (A_{total}) dengan tingkat pelatihan terkait Industri 4.0 (T_a), baik secara kualitas dan kuantitas. Semakin rendah tingkat pelatihan tersebut, maka akan semakin sedikit porsi dari tenaga kerja total yang siap untuk Industri 4.0.

$$A_a = A_{total} \, . \, T_a, \quad (9)$$

Adapun jumlah tenaga kerja yang tidak siap untuk Industri 4.0 ataupun untuk model bisnis baru, yang dinamakan dengan angkatan kerja untuk pekerjaan umum (A_c) merupakan sisa dari tenaga kerja yang tidak terlatih oleh (T_a) dan (T_b). Bila seluruh tenaga kerja total terlatih antara pelatihan Industri 4.0 atau pelatihan terkait model bisnis baru, maka tenaga kerja untuk pekerjaan umum ini bernilai nol. Secara jelas dapat dilihat pada persamaan berikut

$$A_c = A_{total} \, . \, (1 - T_a - T_b) \quad (10)$$

Jumlah lapangan pekerjaan yang terkait Industri 4.0 ini dipengaruhi oleh seberapa banyak pertumbuhan perangkat lunak maupun perangkat keras baru (M) yang muncul akibat dari perkembangan teknologi di era Industri 4.0. Semakin banyak jumlah perangkat baru tersebut, maka akan membutuhkan tenaga kerja yang mampu mengelola perangkat perangkat baru tersebut. Semakin sedikit munculnya pernagkat baru tersebut, maka semakin sedikit pula lapangan kerja untuk teknologi baru tersebut. Sebagai ilustrasi, meningkatnya jumlah kendaraan roda dua, meningkatkan pula kebutuhan montir dan ahli mekanik untuk dapat melakukan service. Konversi antara variabel jumlah perangkat kepada variabel jumlah kebutuhan tenaga kerja, menggunakan suatu koefisien (K). Nilai dari koefisien ini perlu diteliti secara lebih mendalam pada penelitian berikutnya. Secara lebih jelas, dapat dipelajari pada persamaan berikut:

$$L_a = M \, . \, K \quad (11)$$

Jumlah perangkat baru akibat perkembangan Industri 4.0, diakibatkan oleh jumlah proses bisnis, yang awalnya dilakukan oleh manusia lalu digantikan perannya oleh teknologi. Peran manusia tersebut dapat digantikan oleh mesin ataupun robot. Semakin banyak proses bisnis yang digantikan perannya oleh teknologi, maka semakin besar pula kebutuhan akan perangkat lunak dan perangkat keras teknologi baru, yang akan meningkatkan juga kebutuhan tenaga kerja dengan kompetensi baru untuk mengelola perangkat dan teknologi baru tersebut. Dapat dikatakan bahwa jumlah perangkat baru (M) adalah fungsi dari jumlah proses bisnis dengan teknologi baru (Q) dan faktor Konversi antara Jumlah Proses dengan teknologi baru terhadap jumlah kebutuhan perangkat teknologi baru (H). Secara jelas hal tersebut dapat dijelaskan dengan persamaan berikut:

$$M = Q \, . \, H \quad (12)$$

Jumlah proses bisnis yang digantikan oleh teknologi baru dipengaruhi oleh berapa jumlah proses bisnis yang berjalan dalam sistem ekonomi suatu negara. Variabel ini dipengaruhi oleh tingkat performansi ekonomi suatu negara. Semakin besar proses transaksi dan *value generation* yang dilakukan oleh masyarakat, maka semakin besar pula proses bisnis yang terjadi. Nilai yang telah dibentuk tersebut lalu dipertukarkan dalam suatu aktivitas ekonomi melalui proses jual beli. Namun tidak semua proses bisnis dikerjakan oleh manusia dan juga tidak semua proses bisnis dilakukan oleh mesin. Perkembangan teknologi telah membuat mesin, perangkat, dan pesawat sederhana mengambil alih peran yang awalnya dilakukan oleh manusia tersebut. Maka dapat dikatakan bahwa jumlah proses bisnis yang digantikan oleh teknologi baru (Q) adalah fungsi dari Jumlah Proses Bisnis (P) dan % proses yang digantikan oleh mesin (F). Hal itu dapat dilihat dalam persamaan berikut:

$$Q = P \, . \, F \quad (13)$$

Persentase proses yang digantikan oleh mesin (F) tidak terjadi dengan sendirinya. Hal itu dipengaruhi oleh peran dari teknologi. Sejarah mencatat bagaimana peran manusia dalam industri diambil alih oleh mesin uap yang ditandai dengan terjadinya revolusi industri. Namun, perkembangan teknologi dalam peradaban umat manusia tidak serta merta mempengaruhi penerapan teknologi di suatu negara. Ada beberapa wilayah atau pun negara yang memang memilih untuk tidak menerapkan teknologi yang marak berkembang di dunia. Maka teknologi yang dapat dipertimbangkan dalam model ini adalah teknologi yang berperan dalam suatu negara. Negara dapat memilih untuk menutup dirinya sehingga menghambat perkembangan teknologi tersebut. Variabel Persentase Proses yang Digantikan oleh Mesin (F) merupakan fungsi dari variabel Faktor Konversi Perkembangan Teknologi dan Peran mesin (D) dan Perkembangan Teknologi Terkait Perubahan Industri 4.0 yang masuk ke Negara (N).

$$F = D \, . \, N \quad (14)$$

Perkembangan Teknologi Terkait Perubahan Industri 4.0 yang masuk ke Negara (N) selain mempengaruhi diambil alihnya proses bisnis oleh mesin, juga mempengaruhi pertumbuhan

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019

model bisnis baru yang mana akan menimbulkan lapangan kerja baru. Hal ini memperlihatkan bahwa perkembangan teknologi bisa menjadi ancaman yaitu berkurangnya tenaga kerja, namun juga dapat menjadi peluang melalui terbentuknya model bisnis baru dan munculnya lapangan pekerjaan baru. Semakin tinggi perkembangan teknologi yang diterima suatu negara, akan memunculkan semakin banyak model bisnis baru. Fenomena umum yang terjadi mulai pada tahun 2010 adalah perkembangan teknologi informasi dan perangkat komunikasi *smartphone* menyebabkan munculnya perusahaan aplikasi transportasi *online* seperti Gojek, Grab, dan Uber di Indonesia. Model bisnis baru ini menimbulkan banyak lapangan tenaga kerja baru di bidang transportasi tersebut. Persentase Proses Bisnis yang digantikan Model Bisnis Baru (C) adalah fungsi dari Perkembangan Teknologi Terkait Perubahan Industri 4.0 yang Masuk ke Negera (N) dan Faktor Konversi antara Perkembangan Teknologi dan Model Bisnis (Z).

$$C = Z \, . \, N \tag{15}$$

Perkembangan model bisnis baru dapat menghilangkan model bisnis lama. Model bisnis baru menjalankan fungsi lama tapi dengan cara baru yang lebih unggul dan diterima oleh masyarakat dan konsumen. Kemudahan dan proses yang lebih baik itu dapat terjadi atas dukung teknologi yang juga mempengaruhi pertumbuhan model bisnis baru itu sendiri. Sebagai contoh, model bisnis angkutan umum dan taksi dapat tergerus oleh tumbuhnya aplikasi transportasi *online*. Model bisnis lama menjadi perlahan mati kehilangan konsumennya karena berpindah ke model bisnis baru yang menawarkan berbagai kemudahan dan keunggulan. Dengan adanya pertumbuhan teknologi, selain terjadi lapangan kerja baru akibat munculnya teknologi, juga muncul lapangan kerja baru akibat munculnya model bisnis baru. Jumlah Proses Bisnis yang digantikan Model Bisnis Baru (B) adalah fungsi dari % Proses Bisnis yang digantikan Model Bisnis Baru (C) dengan Jumlah Proses Bisnis (P).

$$B = C. \, P \tag{16}$$

Variabel Lapangan Pekerjaan untuk Model Bisnis Baru (L_b) merupakan fungsi dari variabel Jumlah Model Bisnis Baru (B) dan variabel Faktor Konversi antara Model Bisnis Baru dan Lapangan Kerja (Y).

$$L_b = B \, . \, Y \tag{17}$$

Semua proses bisnis yang berjalan dalam satu rantai nilai akan mengalami pergeseran akibat adanya teknologi baru. Pada awalnya 100% dikerjakan oleh pekerja dengan kemampuan tradisional, dengan munculnya teknologi, beberapa bagiannya akan digantikan oleh lapangan kerja baru dengan teknologi baru. Lapangan pekerjaan baru tersebut terdiri dari lapangan pekerjaan penunjang Industri 4.0 dan akibat munculnya model bisnis baru. Sebagai contoh untuk kasus transportasi *online*, diilustrasikan ada 100 pekerja yang bekerja sebagai calo angkutan umum. Dengan munculnya teknologi aplikasi transportasi *online*, beberapa persennya akan hilang dan digantikan oleh peran lain. Peran untuk mencari penumpang yang sedianya dikerjakan oleh calo, digantikan oleh teknologi informasi. Hal itu dikemas dalam bentuk model bisnis aplikasi transportasi *online*. Maka, lapangan kerja calo juga akan berkurang menjadi lapangan kerja baru yaitu para *programmer* perancang aplikasi tersebut. Bila para calo angkutan umum tidak mampu meningkatkan kemampuannya, maka mereka tidak akan mampu mengisi lapangan kerja dengan model bisnis baru tersebut. Lapangan pekerjaan umum akan menjadi sisa dari penggerusan kemunculan lapangan tenaga kerja baru tersebut. Lapangan Pekerjaan Umum (L_c) adalah fungsi dari Jumlah Proses Bisnis (P) total yang dikalikan dengan satu kurang % Proses Bisnis yang digantikan Model Bisnis Baru (C) dan % Proses yang digantikan oleh mesin (F).

$$Lc = P \, (1\text{-}C\text{-}F) \tag{18}$$

Kemudahan yang ditawarkan model bisnis baru ini pun memotivasi masyarakat untuk bertransaksi dan berbisnis dalam bentuk peningkatan penjualan dan pemesanan. Hal ini dapat dilihat dari meningkatnya pemesanan makanan menggunakan jasa aplikasi transportasi *online* ini. Maka dapat dikatakan bahwa perkembangan teknologi juga meningkatkan pertumbuhan ekonomi yang mana meningkatkan kegiatan ekonomi di suatu masyarakat yang akan meningkatkan proses bisnis. Peningkatan proses bisnis ini juga menimbulkan peningkatan lapangan pekerjaan. Maka ada kaitan antara variabel Jumlah Model Bisnis Baru (B) dan variabel Jumlah Proses Bisnis (P). Namun hal ini akan dibahas dalam penelitian selanjutnya.

Perkembangan Teknologi terkait Perubahan Industri 4.0 yang Masuk ke Negera (N) merupakan akibat dari kebijakan suatu negara tentang penerimaan teknologi negara dapat menerima teknologi tersebut atau dapat menolaknya sama sekali. Salah satu contoh yang jelas adalah bagaimana pemerintah Indonesia menolak menerapkan teknologi *Crypto Currency*. Penolakan itu membuat teknologi tersebut tidak mendapatkan ruang berkembang di Indonesia yang menyebabkan tidak tumbuhnya model bisnis terkait teknologi tersebut. Hal itu juga berefek pada kondisi lapangan pekerjaan tetap dalam kondisi yang ada dan tidak terancam. Adapun perkembangan teknologi yang ada di dunia juga mempengaruhi perkembangan teknologi di suatu negara. Bila memang teknologi tersebut belum ditemukan maka negara mana pun tidak akan dapat mengadopsi perkembangannya di negara setempat. Perkembangan teknologi di suatu negara dipengaruhi oleh keterbukaan negara tersebut dan perkembangan yang terjadi di dunia. Variabel Perkembangan Teknologi terkait Perubahan Industri 4.0 yang Masuk ke Negera (N) merupakan fungsi dari Variabel Perkembangan Teknologi terkait Perubahan Industri 4.0 (V) dan Keterbukaan Terhadap Teknologi (O). Hal tersebut dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$N = V. \, O \tag{19}$$

Setelah didapatkan rancangan kaitan antara variabel dengan beberapa variabel lainnya dalam bentuk persamaan matematika, maka tahap berikutnya adalah menggabungkan persamaan tersebut sehingga didapatkan pemahaman kaitan antara seluruh variabel khususnya antara variabel keputusan dan fungsi tujuan. Fungsi tujuan adalah Jumlah Pengangguran (U_{total}). Variabel keputusan adalah Keterbukaan Terhadap Teknologi (O), Pelatihan Terkait Industri 4.0 (T_a), dan Pelatihan Terkait Model Bisnis Baru (T_b).

Dengan model matematika yang telah dirancang, dapat dilakukan simulasi statis performansi dari perkembangan tenaga kerja akibat perkembangan teknologi Industri 4.0. Tahap awal dari simulasi statis model tersebut adalah dengan menentukan nilai dari setiap parameter yang merupakan *Uncontrollable Variable* atau variabel yang tidak dapat dikendalikan. Penentuan tersebut adalah angka hipotetik yang dibangun untuk mempermudah proses perhitungan dan penjelasan. Pada *influence diagram*, variabel tersebut digambarkan dalam bentuk ikon awan. Tabel 1 adalah rekap nilai hipotetik dari setiap parameter yang terdapat pada model. Angka tersebut ditentukan berdasarkan angka yang memberikan kemudahan dalam proses perhitungan.

Tabel 1. Angka Hipotetik Paramater Model

Parameter	Variabel	Nilai
Konversi antara jumlah proses dengan teknologi baru terhadap jumlah kebutuhan perangkat teknologi baru	H	1
Konversi antara jumlah perangkat teknologi baru terhadap kebutuhan tenaga manusia penunjang	K	1
Faktor konversi antara model bisnis baru dan lapangan kerja	Y	1
Jumlah proses bisnis	P	1000
Faktor konversi perkembangan teknologi dan peran mesin	D	1
Perkembangan teknologi terkait perubahan Industri 4.0	V	0,4
Faktor konversi antara perkembangan teknologi dan model bisnis	Z	1,5

Nilai H diskenariokan bernilai satu. Hal itu memberi arti bahwa Untuk setiap proses bisnis dengan teknologi baru, akan berimplikasi terhadap kebutuhan perangkat dengan teknologi baru sebesar satu juga. Nilai K memiliki angka satu bermakna bahwa setiap satu jumlah perangkat teknologi baru akan membutuhkan satu buah tenaga manusia sebagai penunjang kebersihan perangkat tersebut. Sedangkan nilai Y memiliki nilai satu bermakna satu buah model bisnis menciptakan satu buah lapangan pekerjaan. Diskenariokan nilai P adalah 1000. Angka tersebut ditetapkan dalam rangka untuk mempermudah proses perhitungan. Angka 1000 bermakna bahwa jumlah proses bisnis yang terjadi dalam suatu masyarakat tertentu dalam skenario ini, adalah 1000 proses. Nilai D diskenariokan satu artinya satu buah perkembangan teknologi membuat peningkatan peran mesin sebesar satu. Diskenariokan juga perkembangan perkembangan teknologi terkait Industri 4.0 adalah 0,4, sedangkan nilai Z yaitu 1,5 memiliki makna bahwa 1 buah perkembangan teknologi akan menciptakan 1,5 buah model bisnis baru. Nilai-nilai tersebut adalah bentuk skenario. Tentunya pada saat diimplementasikan untuk permasalahan nyata, perlu disesuaikan dengan data dan fakta yang ada. Skenario ini dibangkitkan dahulu agar menguji kemampuan dalam melakukan prediksi dan perhitungan. Tahap berikutnya adalah melakukan penentuan dari Variabel keputusan.

Tabel 2 menunjukkan variable-variabel keputusan yang juga merupakan *controllable variable*. Hal ini bermakna bahwa nilai dari variabel ini merupakan nilai yang dapat dikendalikan oleh para pengambil keputusan. Beberapa variabel keputusan tersebut diskenariokan untuk awal ini adalah nol bagi variabel pelatihan terkait Industri 4.0 dan variabel pelatihan terkait model bisnis baru. Hal ini menunjukkan bahwa tidak dilakukan sama sekali pelatihan terhadap kedua bidang tersebut. Di sisi lain, nilai dari variabel keterbukaan terhadap teknologi adalah 1. Hal ini bermakna bahwa sikap negara dalam hal penerimaan teknologi adalah terbuka sepenuhnya yaitu bernilai 100%. Sedangkan jika bernilai nol, maka sikap negara adalah tertutup terhadap penerapan teknologi baru tersebut.

Tahap berikutnya adalah melakukan perhitungan pada variabel-variabel *in process measure* akibat nilai hipotetik dari parameter yang telah ditentukan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Nilai yang telah diskenariokan pada Tabel 1 dan Tabel 2, berimbas kepada nilai-nilai pada Tabel 2. Nilai Variabel Keputusan

Variabel Keputusan	Variabel	Nilai
Pelatihan terkait Industri 4.0	Ta	0
Pelatihan terkait model bisnis baru	Tb	0
Keterbukaan terhadap teknologi	O	1

Tabel 3 yang merupakan variabel variabel internal sistem yang diukur. Nilai N tersebut didapatkan dengan melakukan perhitungan menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada persamaan 1 hingga persamaan 17 di halaman-halaman sebelumnya menggunakan angka yang dijelaskan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Variabel Keputusan

Variabel Keputusan	Variabel	Nilai
Pelatihan terkait Industri 4.0	T_a	0
Pelatihan terkait model bisnis baru	T_b	0
Keterbukaan terhadap teknologi	O	1

Tabel 3. Nilai *in Process Measure*

In Process Measure	V	N
Angkatan kerja siap untuk terkait Industri 4.0	A_a	0
Angkatan kerja siap untuk model bisnis baru	A_b	0
Angkatan kerja siap untuk pekerjaan umum	A_c	1000
Angkatan kerja total	A_{total}	1000
Lapangan pekerjaan terkait dukungan perubahan Industri 4.0	L_a	400
Lapangan pekerjaan untuk model bisnis baru	L_b	600
Lapangan pekerjaan umum	L_c	0
Jumlah kebutuhan perangkat baru	M	400
Jumlah proses yang digantikan oleh teknologi baru	Q	400
% Proses yang digantikan oleh mesin	F	0,4
Perkembangan teknologi terkait perubahan Industri 4.0 yang masuk ke negera	N	0,4
Jumlah proses bisnis yang digantikan model bisnis baru (B)	B	600
% Proses bisnis yang digantikan model bisnis baru (C)	C	0,6

Nilai dari A_a adalah 0 bermakna tidak ada satupun angkatan kerja yang siap untuk Industri 4.0. Begitu juga dengan AB yang bernilai 0, bermakna bahwa tidak ada satupun pekerja yang siap untuk menghadapi model bisnis baru akibat Industri 4.0. A_{total}

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019

bernilai 1000. Hal ini bermakna ada total angkatan kerja sejumlah 1000 orang yang siap kerja. A_c bernilai 1000 artinya ada 1000 orang angkatan kerja yang siap untuk pekerjaan umum. Di sisi lain, nilai L_a adalah 400 yaitu terdapat 400 pekerjaan yang terkait Industri 4.0. Variabel ini dipengaruhi terutama oleh variabel keputusan keterbukaan terhadap teknologi dan juga variabel perkembangan teknologi terkait perubahan Industri 4.0. Begitu pula dengan nilai L_b yaitu 600, memiliki makna terdapat 600 lapangan pekerjaan yang terkait model bisnis baru. Sedangkan L_c bernilai nol berarti tidak ada satu pun lapangan pekerjaan terkait pekerjaan umum. Lapangan pekerjaan umum tersebut diisikan dengan pekerjaan yang tidak mendukung perubahan Industri 4.0 dan juga tidak mendukung pekerjaan untuk model bisnis baru. M bernilai 400 bermakna bahwa akibat perubahan teknologi terhadap sistem industri, maka dibutuhkan 400 perangkat baru untuk menjalankan proses bisnis menggunakan teknologi baru tersebut. Sedangkan nilai Q adalah 400 bermakna bahwa terdapat jumlah proses sebanyak 400 proses bisnis yang digantikan oleh teknologi baru di mana sebelumnya dilakukan oleh manusia atau oleh teknologi yang lama.

Nilai N adalah 0,4 bermakna terdapat pertumbuhan teknologi Industri 4.0 setinggi 0,4 yang masuk ke dalam suatu negara tersebut. Variabel ini dipengaruhi oleh perkembangan teknologi yang terjadi di dunia dan sikap keterbukaan masyarakat dan pemerintah terhadap perkembangan teknologi tersebut. Nilai F adalah 0,4 bermakna terdapat 40% proses yang digantikan oleh mesin. Nilai B adalah 600 bermakna terdapat 600 buah jumlah proses bisnis baru yang digantikan oleh model bisnis baru. Sedangkan nilai C adalah 0,6 bermakna bahwa terdapat 60% Proses bisnis yang digantikan oleh model bisnis baru. Variabel-variabel ini adalah variabel-variabel yang merupakan pengukuran proses dalam internal sistem dan sistem variabel-variabel ini memiliki nilai yang terpengaruh oleh nilai dari parameter serta variabel keputusan. Variabel ini akan menjadi jembatan dan akan bermuara pada nilai output model. Berdasarkan nilai-nilai tersebut, dapat dihasilkan nilai output model yaitu nilai yang menjadi kriteria penilaian dari variabel keputusan yang ditentukan oleh pengambil keputusan.

Berdasarkan simulasi statik awal dengan nilai variabel keputusan yang telah ditentukan pada Tabel 2 maka dihasilkan nilai total pengangguran adalah 1000 sebagaimana terlihat pada baris pertama Tabel 4. Hal ini dikarenakan, sebagaimana terlihat pada Tabel 2, dilakukan keterbukaan terhadap teknologi sebesar angka 1 yaitu keterbukaan penuh, tetapi tidak tersedia sistem pelatihan yaitu bernilai nol untuk variabel T_a dan T_b, Pada Tabel 2, dari 1000 angkatan kerja untuk 1000 proses bisnis atau 1000 lapangan kerja, tidak ada yang terserap dikarenakan lapangan kerja yang tersedia adalah Lapangan Pekerjaan Terkait Support Perubahan Industri 4.0 (L_a) sebesar 400 dan Lapangan Pekerjaan untuk Model Bisnis Baru (L_b) dengan nilai 600, seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Nilai Variabel Keputusan

Variabel Keputusan	Variabel	Nilai
Pelatihan terkait Industri 4.0	Ta	0
Pelatihan terkait model bisnis baru	Tb	0
Keterbukaan terhadap teknologi	O	1

Tabel 3.

Terjadi kekosongan lapangan tenaga kerja 400 (E_a) dan 600 (E_b). Di sisi lain terdapat pengangguran pekerjaan umum sebesar 1000 (U_c). Ini adalah salah satu paradoks dari lapangan tenaga kerja. Pencari kerja tidak bisa mendapatkan pekerjaan di sisi lain ada pencari tenaga kerja yang sulit mencari tenaga kerja yang cocok dan kompeten sehingga terpaksa mencari dari luar negeri. Model ini mengilustrasikan kondisi paradoks tersebut disebabkan oleh keterbukaan terhadap teknologi yang begitu besar, yang menyebabkan perubahan pada sistem industri, perubahan pada proses bisnis, dan perubahan komposisi kebutuhan tenaga kerja. Namun di sisi lain, masyarakat dan negara belum mampu menyediakan sarana pengembangan sumber daya manusia yang cukup untuk mampu merespon perubahan tersebut.

Tabel 5 menunjukkan kondisi di mana dilakukan keterbukaan terhadap teknologi (O) sebesar 0,5 atau 50%. Hal ini menyebabkan perubahan dalam sistem Industri. Komposisi lapangan tenaga kerja berubah. Tetapi tenaga kerja belum mampu merespon perubahan tersebut akibat tingkat pelatihan (T_a dan T_b) masih belum siap, yaitu bernilai nol. Akibat yang terjadi adalah terjadi pengangguran (Utotal) sebesar 500.

Tabel 4. Output Model

Penjelasan Output Model	Variabel	Nilai
Jumlah pengangguran	U_{total}	1000
Jumlah pengangguran terkait Industri 4.0	U_a	0
Jumlah pengangguran terkait model bisnis baru	U_b	0
Jumlah pengangguran pekerjaan umum	U_c	1000
Lowongan pekerjaan terkait Industri 4.0 yang tidak terpenuhi	E_a	400
Lowongan pekerjaan terkait model bisnis baru yang tidak terpenuhi	E_b	600
Pekerjaan umum tak terpenuhi	E_c	0

Tabel 5. Simulasi Statis Keterbukaan Teknologi Separuh

Output Model		*Decision Variable*		*Constraint*	
U_{total}	**500**	T_a	0	H	1
U_a	0	T_b	0	K	1
U_b	0	**O**	**0,5**	Y	1
U_c	500			P	1000
E_a	200			D	1
E_b	300			V	0,4
E_c	0			Z	1.5
In Process Measure					
L_a	200	A_a	0	Q	200
L_b	300	A_b	0	F	0,2
L_c	500	A_c	1000	N	0,2
M	200	A_{total}	1000	B	300
				C	0,3

Tabel 6. Simulasi Statis Keterbukaan Teknologi Separuh dengan Pengembangan Sumber Daya Manusia

Output Model		*Decision Variable*		*Constraint*	
U_{total}	**300**	**T_a**	**0,1**	H	1
U_a	0	**T_b**	**0,1**	K	1
U_b	0	**O**	**0,5**	Y	1
U_c	300			P	1000
E_a	100			D	1
E_b	200			V	0,4
E_c	0			Z	1.5

In Process Measure					
L_a	200	A_a	100	Q	200
L_b	300	A_b	100	F	0,2
L_c	500	A_c	800	N	0,2
M	200	A_{total}	1000	B	300
				C	0,3

Tabel 6 menunjukkan kondisi dimana dilakukan keterbukaan terhadap teknologi (O) sebesar 0,5 atau 50%. Hal ini menyebabkan perubahan dalam sistem industri. Komposisi lapangan tenaga kerja berubah. Beberapa tenaga kerja belum mampu merespon perubahan tersebut akibat tingkat pelatihan (T_a dan T_b) masih belum siap seratus persen. Namun skenario ini menunjukkan kondisi yang lebih baik yaitu memilliki nilai T_a dan T_b sebesar 0,1. Kondisi tingkat pengangguran menjadi lebih baik dari yang sebelumnya bernilai 500, sekarang menurun menjadi bernilai 300. Hal ini menunjukkan urgensi dari pengembangan sumber daya manusia dalam menghadapi tingkat keterbukaan terhadap teknologi. Teknologi berkembang dengan cepat tetapi masyarakat dapat memilih untuk bersikap terbuka atau tertutup hingga tenaga kerja siap. Model ini menggambarkan bahwa tingkat pengembangan sumber manusia perlu diukur sehingga seimbang dengan perkembangan teknologi yang ada.

Tabel 7 menunjukkan kondisi optimal yaitu tingkat pengangguran di angka nol dengan keterbukaan teknologi sebesar 0,5. Kondisi optimal tersebut dapat diraih dengan membuat tingkat pelatihan sumber daya manusia menjadi bernilai 0,2 untuk T_a dan 0,3 untuk T_b. Model ini menawarkan sebuah alat pengambilan keputusan dalam menentukan tingkat pelatihan yang tepat, Tepat atau tidaknya suatu tingakt pelatihan dibatasi oleh kondisi keterbukaan terhadap teknologi yang dipilih.

Tabel 8 menggambarkan suatu kondisi di mana tingkat pelatihan T_a dan T_b menjadi batasan pengambilan keputusan. Bila dinilai kesanggupan masyarakat dalam menyediakan pengembangan sumber daya manusia berada di level 0,1, maka model ini dapat menjawab seberapa besarkah tingkat keterbukaan terhadap teknologi yang dapat diimplementasikan. Tingkat keterbukaan tersebut dapat dipatok pada nilai 0,2 yaitu dengan harapan tingkat pengangguran kerja hanya bernilai 20 saja.

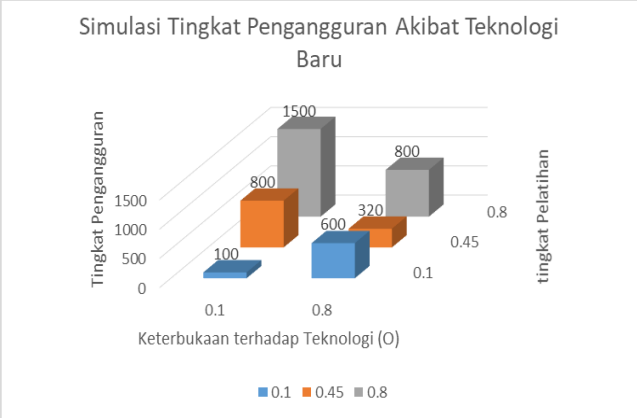
Tabel 7. Simulasi Statis Keterbukaan Teknologi Separuh dengan Tingkat Pengangguran Nol

Output Model		***Decision Variable***		***Constraint***	
U_{total}	0	T_a	0,2	H	1
U_a	0	T_b	0,3	K	1
U_b	0	O	0,5	Y	1
U_c	0			P	1000
E_a	0			D	1
E_b	0			V	0,4
E_c	0			Z	1.5
In Process Measure					
L_a	200	A_a	200	Q	200
L_b	300	A_b	300	F	0,2
L_c	500	A_c	500	N	0,2
M	200	A_{total}	1000	B	300
				C	0,3

Tabel 8. Keterbukaan Teknologi Optimal dengan Batasan Pengembangan Sumber Daya Manusia

Output Model		***Decision Variable***		***Constraint***	
U_{total}	**20**	**T_a**	**0,1**	H	1
U_a	20	**T_b**	**0,1**	K	1
U_b	0	**O**	**0,2**	Y	1
U_c	1.14E-13			P	1000
E_a	0			D	1
E_b	20			V	0,4
E_c	0			Z	1.5
In Process Measure					
L_a	80	A_a	100	Q	80
L_b	120	A_b	100	F	0,08
L_c	800	A_c	800	N	0,08
M	80	A_{total}	1000	B	120
				C	0,12

Gambar 3 menunjukkan rekap hasil simulasi tingkat pengangguran dari berbagai skenario variabel keputusan. Hasil perhitungan ini dapat digunakan sebagai validasi terhadap model dimana angka yang dihasilkan memberikan pemaknaan yang sesuai secara intuitif. Variabel keputusan yang diubah adalah keterbukaan terhadap teknologi (O) dengan *range* nilai 0,1 dan 0,8. Serta tingkat pelatihan yang merupakan rata-rata nilai dari T_a dan T_b. Kedua nilai tersebut dirata-ratakan agar grafik masih dapat digambarkan dalam 3 dimensi dan mudah dipahami oleh pembaca. Keterbukaan terhadap teknologi bernilai 0,8, sedangkan tingkat pelatihan bernilai 0,1 menyebabkan tingkat pengangguran sebesar 600. Begitu pula jika keterbukaan bernilai 0,1 sedangkan pelatihan bernilai tinggi yaitu 0,8 juga terjadi pengangguran sebesar 800.



Gambar 3. Rekap Hasil Simulasi Tingkat Pengangguran

KESIMPULAN

Model ini dapat diimplementasikan dalam dua arah, yaitu bila keterbukaan teknologi sebagai *constraint*. Model ini juga dapat diimplementasikan dalam kondisi di mana tingkat pengembangan sumber daya manusia menjadi batasan. Terkadang mengubah kesiapan pengembangan sumber daya manusia menjadi lebih sulit dibandingkan mengubah tingkat keterbukaan terhadap teknologi. Keterbukaan teknologi dapat diubah dengan menerapkan izin regulasi. Suatu peralatan bisa saja dilarang untuk diimport karena terkait dengan teknologi yang terlarang. Dapat pula dilakukan syarat perizinan dalam penerapan suatu model bisnis dan teknologi tertentu. Beda halnya dengan kesiapan pengembangan sumber daya manusia. Sistem pengembangan sumber daya mansuia dalam suatu negara adalah suatu sistem yang kompleks dimana banyak variabel saling berkaitan satu sama lain.

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019

Model ini mencoba menawarkan solusi perhitungan keseimbangan antara keterbukaan terhadap teknologi dan ketuntasan pengembangan sumber daya manusia. Model ini menunjukkan bahwa bila masyarakat belum siap dalam segi kompetensi, maka salah satu opsi untuk mencegah pengangguran adalah tidak terbuka terhadap perkembangan teknologi untuk sementara waktu. Pemerintah dapat menerapkan kebijakan untuk melarang suatu teknologi tertentu diaplikasikan, sampai sumber daya manusia siap untuk mengisi kekosongan lapangan pekerjaan yang akan tercipta nantinya.

DAFTAR PUSTAKA

[1] H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig and e., "Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 WorkingGroup, Frankfurt, 2013.," Frankfurt, 2013.

[2] R. Drath and A. Horch, ""Industrie 4.0: Hit or Hype?"," *IEEE Industrial Electronics Magazine*, pp. 56-58, 2014. https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079.

[3] H. Kagermann, ""Chancen von Industrie 4.0"," *in:Bauernhansl, T., M. ten Hompel, and B. Vogel-Heuser, eds.,Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik,Springer, Wiesbaden, 2014, pp. 603-614H. Lasi, P. Fettke, H.-G. Kemper, T. Feld, and M.Hoffmann, "Industri 4.0", Business & Information ,* pp. 239-242, 2014.

[4] E. A. Lee, "“Cyber Physical Systems: DesignChallenges”," *11th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC)*, pp. 363-369, 2008. https://doi.org/10.1109/ISORC.2008.25.

[5] J. Danaher, "Will life be worth living in a world without work? Technological unemployment and the meaning of life.," *Science and engineering ethics, 23(1)*, pp. 41-64, 2017. https://doi.org/10.1007/s11948-016-9770-5.

[6] R. M. Solow, "Technology and unemployment.," *The Public Interest, (1)*, p. 17, 1965.

[7] G. Casey, "Technology-Driven Unemployment.," 2017.

[8] R. H. Mabry and A. D. Sharpin, "Does more technology create unemployment? (Vol. 68).," *Cato Institute*, 1986.

[9] D. F. Noble, "Progress without people: New technology, unemployment, and the message of resistance.," *Between the Lines*, 1995.

[10] P. Dungan and A. Younger, "Dungan, P., and Younger, A. (1985). New technology and unemployment: A simulation of macroeconomic impacts and responses in Canada.," *Journal of Policy Modeling, 7(4)*, pp. 595-619, 1985. https://doi.org/10.1016/0161-8938(85)90018-3.

[11] A. Sen, "Inequality, unemployment and contemporary Europe.," *Int'l Lab Rev.*, pp. 136, 155, 1997.

[12] D. N. P. Murty, N. W. Page and E. Y. Rodin, Mathematical modelling: a tool for problem solving in engineering, physical, biological, and social sciences, Oxford: Pergamon Press, 1990.

[13] R. Aurachman and A. Y. Ridwan, "Perancangan Model Optimasi Alokasi Jumlah Server untuk Meminimalkan Total Antrean pada Sistem Antrean Dua Arah pada Gerbang Tol," *JRSI (Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri)*, vol. 3, no. 2, pp. 25-30, 2016.

[14] H. D. D. McNickle and S. Dye, Management science: decision-making through systems thinking, Palgrave macmillan, 2012.

[15] R. Aurachman, " Perancangan Influence Diagram Perhitungan Dampak Dari Revolusi Industri 4.0 Terhadap Pengangguran Kerja," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri*, vol. 4, no. 2, pp. 7-12, 2018.

[16] C. R. Harrel, B. K. Ghosh and R. Bowden, Simulation using promodel, 2014.

[17] M. N. Georgiou, "Does Technology Cause Unemployment?.," 2009. https://doi.org/10.2139/ssrn.1484571.

[18] D. R. Davis, "Technology, unemployment, and relative wages in a global economy.," *European Economic Review, 42(9)*, pp. 1613-1633, 1998. https://doi.org/10.1016/S0014-2921(97)00113-X.

[19] D. T. Mortensen and C. A. Pissarides, "Unemployment responses to ‘skill-biased’technology shocks: the role of labour market policy.," *The Economic Journal, 109(455)*, pp. 242-265, 1999. https://doi.org/10.1111/1468-0297.00431.

[20] M. Ford, "The rise of the robots: Technology and the threat of mass unemployment.," *Oneworld Publications*, 2015.

NOMENKLATUR

U_{total}	Jumlah Pengangguran
E_a	Lowongan Pekerjaan Terkait Industri 4.0 Yang tidak Terpenuhi
E_b	Lowongan Pekerjaan Terkait Terkait Model Bisnis Baru Yang tidak Terpenuhi
E_c	Pekerjaan Umum tak Terpenuhi
U_a	Jumlah Pengangguran Terkait Industri 4.0
U_b	Jumlah Pengangguran Terkait Model Bisnis Baru
U_c	Jumlah Pengangguran Pekerjaan Umum
A_a	Angkatan Kerja siap untuk Terkait Industri 4.0
A_b	Angkatan Kerja siap untuk Model Bisnis Baru
A_c	Angkatan Kerja siap untuk pekerjaan Umum
A_{total}	Angkatan Kerja Total
L_a	Lapangan Pekerjaan Terkait Support Perubahan Industri 4.0
L_b	Lapangan Pekerjaan untuk Model Bisnis Baru
L_c	Lapangan Pekerjaan Umum
T_b	Pelatihan Terkait Model Bisnis Baru
Variabel	Penjelasan
T_a	Pelatihan Terkait Industri 4.0
M	Jumlah Kebutuhan perangkat baru
Q	Jumlah Proses yang digantikan oleh teknologi baru
H	Konversi antara Jumlah Proses dengan teknologi baru terhadap jumlah kebutuhan perangkat teknologi baru

	Konversi antara Jumlah Perangkat Teknologi Baru terhadap Kebutuhan Tenaga Manusia
K	Penunjang
B	Jumlah Model Bisnis Baru
	Faktor Konversi antara Model Bisnis Baru dan
Y	Lapangan Kerja
P	Jumlah Proses Bisnis
F	% Proses yang digantikan oleh mesin
	Perkembangan Teknologi terkait Perubahan
N	Industri 4.0 yang Masuk ke Negera
	Faktor konversi Perkembangan Teknologi dan
D	Peran mesin
	Perkembangan Teknologi terkait Perubahan
V	Industri 4.0
O	Keterbukaan Terhadap Teknologi
	Faktor Konversi antara Perkembangan
Z	Teknologi dan Model Bisnis

BIODATA PENULIS



Rio Aurachman, MT

Alumni S1 Teknik Industri ITB serta S2 Teknik dan Manajemen Industri ITB. Kini menjadi dosen di Program Studi Teknik Industri Universitas Telkom dengan fokus penelitian di bidang Operation Research dan Pemodelan Sistem

DOI: 10.25077/josi.v18.n1.p14-24.2019