



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS DESAIN STASIUN MRT JAKARTA
DENGAN PEMODELAN BERBASIS AGEN**

SKRIPSI

**STEFAN DARMANSYAH
0806338065**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS DESAIN STASIUN MRT JAKARTA
DENGAN PEMODELAN BERBASIS AGEN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
sarjana teknik**

**STEFAN DARMANSYAH
0806338065**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Stefan Darmansyah

NPM : 0806338065

Tanda Tangan : 





Tanggal : 15 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Stefan Darmansyah
NPM : 0806338065
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisis Desain Stasiun MRT Jakarta Dengan
Pemodelan Berbasis Agen

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Akhmad Hidayatno, ST., MBT. ()
Penguji : Farizal, Ph.D. ()
Penguji : Dendi Prajadiana Ishak, MSIE. ()
Penguji : Romadhani Ardi, ST., MT. ()

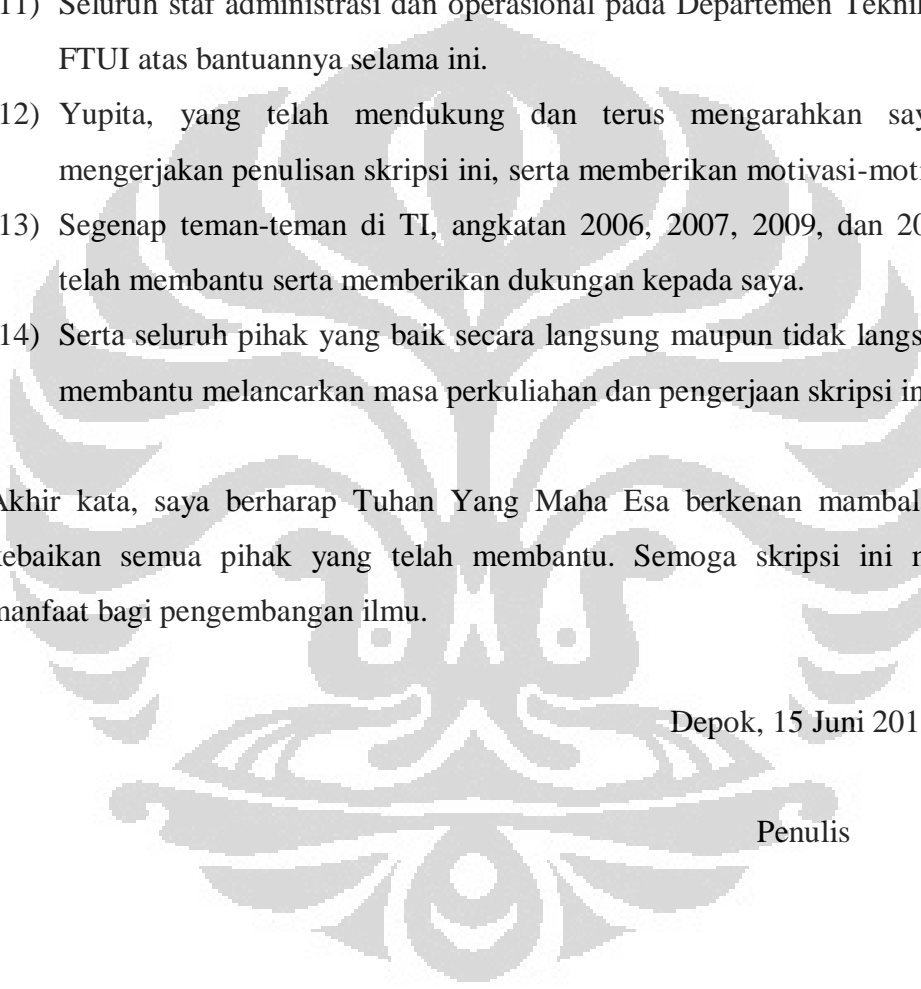
Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Akhmad Hidayatno, ST., MBT., selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, pikiran, serta tenaga untuk memperdalam wawasan akademis, memberikan pengarahan, dan memotivasi saya dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini.
- (2) Pihak PT MRT Jakarta, yaitu Ibu Ernie W. Rahardjo, Bapak Iwan Prijanto, dan Bapak Suharyanto, yang telah banyak membantu saya dalam hal pengumpulan data serta pembahasan arah penelitian ini.
- (3) Bapak Armand Omar Moeis, ST., M.Sc., selaku dosen di Laboratorium SEMS TIUI yang telah membantu saya dalam hal perluasan wawasan akademik serta motivasi diri.
- (4) Ibu Arian Dhini, ST., MT., selaku Pembimbing Akademis saya selama masa perkuliahan di Departemen Teknik Industri FTUI.
- (5) Kedua Orang Tua serta segenap keluarga saya, yang telah memberikan dorongan serta dukungan sepenuhnya dalam pengerjaan skripsi ini.
- (6) Segenap sahabat saya, yaitu Ricki Muliadi, Stephanie Rengkung, Alex Justian, Linda Stepvhanie, serta Shelly Apsari, Jimmy Fong, dan Anton Hartawan, atas dukungan moral dan kebersamaan selama perkuliahan ini.
- (7) Seluruh teman-teman periset di Laboratorium SEMS, yaitu Ajeng Masitha, Laisha Tatia, Irvanu Rahman, Tyonardo Cahayadi, Aninditha Kemala, Oktioza Pratama, dan Rakhmat Satriawan yang telah saling mendukung selama pengerjaan penulisan skripsi ini.

- 
- (8) Kolega di Laboratorium SEMS, yaitu Aziiz Sutrisno, Gersianto Bagusputra, Daril B.Y.B., Dhanita Fauziah, serta Christian, Edelina, Daisy, Arry, Yulius, Diana, Sudin, Alvin, Reiner, dkk. atas bantuan dan dukungannya.
 - (9) Segenap teman-teman di TI08 atas kebersamaan dan bantuan-bantuannya selama masa perkuliahan ini.
 - (10) Seluruh dosen Departemen Teknik Industri FTUI atas ilmu dan bimbingannya selama masa perkuliahan.
 - (11) Seluruh staf administrasi dan operasional pada Departemen Teknik Industri FTUI atas bantuannya selama ini.
 - (12) Yupita, yang telah mendukung dan terus mengarahkan saya untuk mengerjakan penulisan skripsi ini, serta memberikan motivasi-motivasi baru.
 - (13) Segenap teman-teman di TI, angkatan 2006, 2007, 2009, dan 2010, yang telah membantu serta memberikan dukungan kepada saya.
 - (14) Serta seluruh pihak yang baik secara langsung maupun tidak langsung telah membantu melancarkan masa perkuliahan dan pengerjaan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan mambalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 15 Juni 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Stefan Darmansyah
NPM : 0806338065
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Analisis Desain Stasiun MRT Jakarta Dengan Pemodelan Berbasis Agen

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 15 Juni 2012

Yang Menyatakan



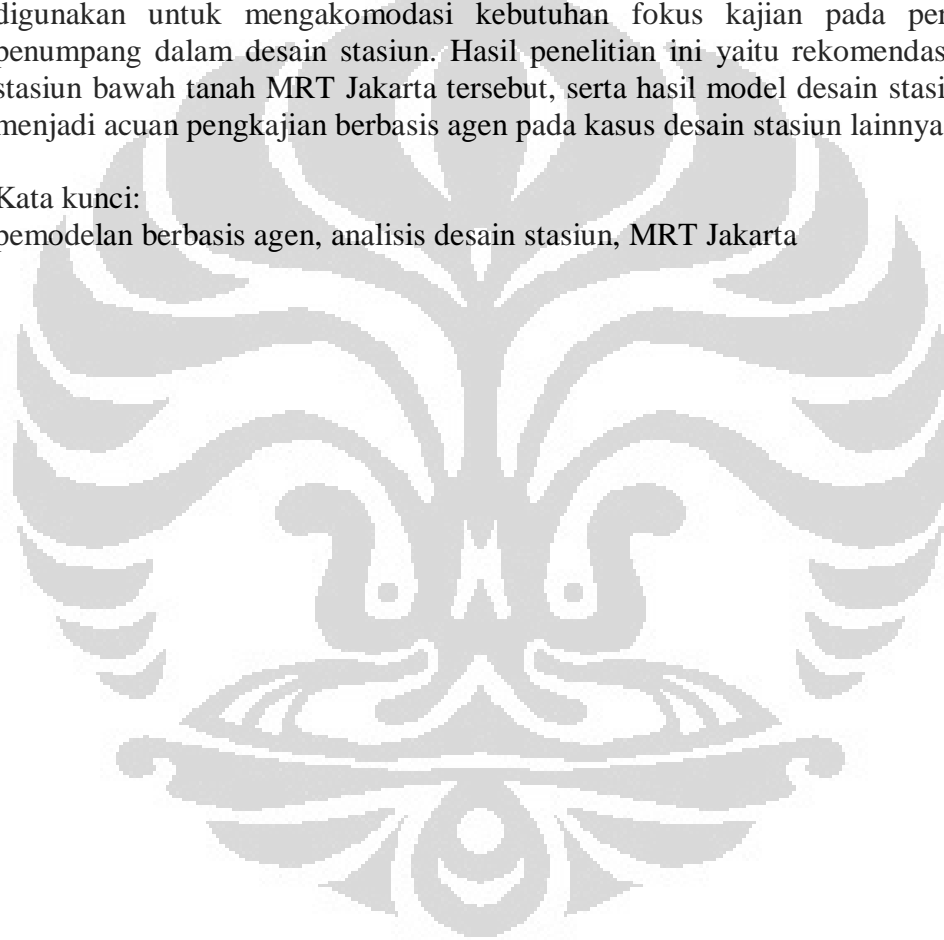
(Stefan Darmansyah)

ABSTRAK

Nama : Stefan Darmansyah
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Analisis Desain Stasiun MRT Jakarta dengan Pemodelan Berbasis Agen

Skripsi ini membahas mengenai analisis desain stasiun bawah tanah Bendungan Hilir pada sistem MRT Jakarta, dengan memperhatikan faktor peningkatan proyeksi penumpang, adanya potensi interkoneksi dengan lingkungan sekitar, serta standar kualitas pelayanan yang tinggi. Pendekatan pemodelan berbasis agen digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan fokus kajian pada pergerakan penumpang dalam desain stasiun. Hasil penelitian ini yaitu rekomendasi desain stasiun bawah tanah MRT Jakarta tersebut, serta hasil model desain stasiun yang menjadi acuan pengkajian berbasis agen pada kasus desain stasiun lainnya.

Kata kunci:
pemodelan berbasis agen, analisis desain stasiun, MRT Jakarta

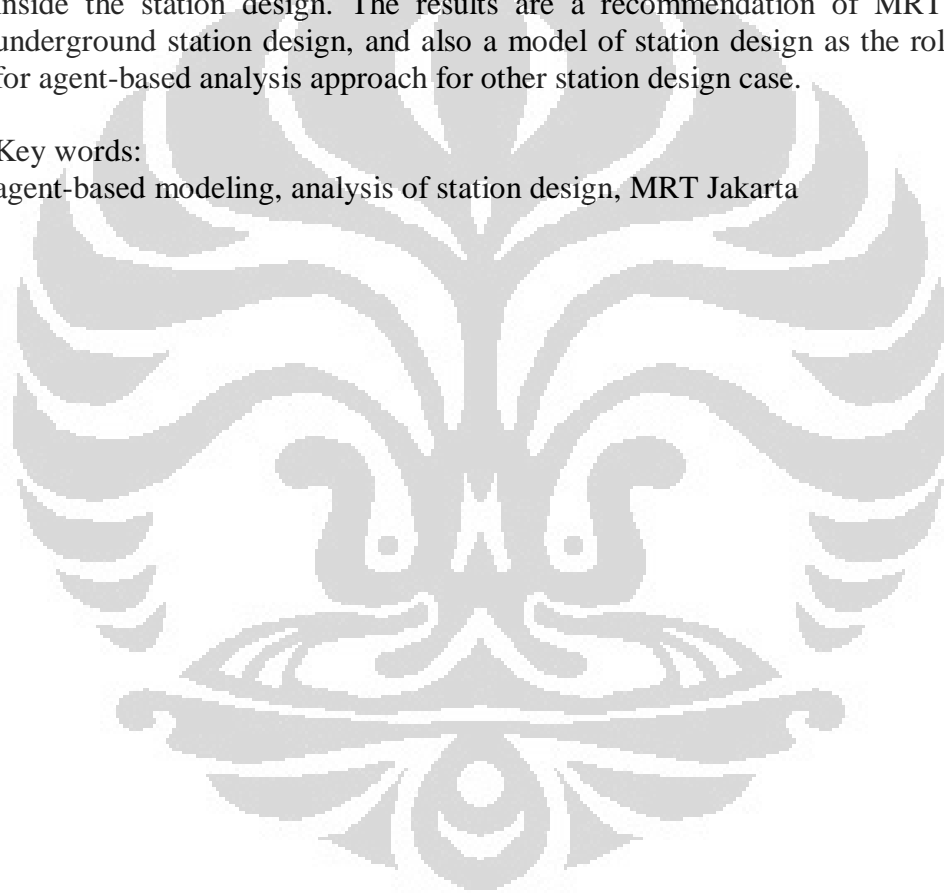


ABSTRACT

Name : Stefan Darmansyah
Study Program : Industrial Engineering
Title : Analysis of MRT Jakarta Station Design using Agent-Based Modeling

This study discusses about the analysis of Bendungan Hilir underground station design in MRT Jakarta system, taking into account factors such as growth of passenger volume projection, interconnection potential to surrounding area, and also high standard of service quality. Agent-based modeling approach is chosen to accommodate the need in focusing the study analysis to passengers movement inside the station design. The results are a recommendation of MRT Jakarta underground station design, and also a model of station design as the role model for agent-based analysis approach for other station design case.

Key words:
agent-based modeling, analysis of station design, MRT Jakarta



DAFTAR ISI

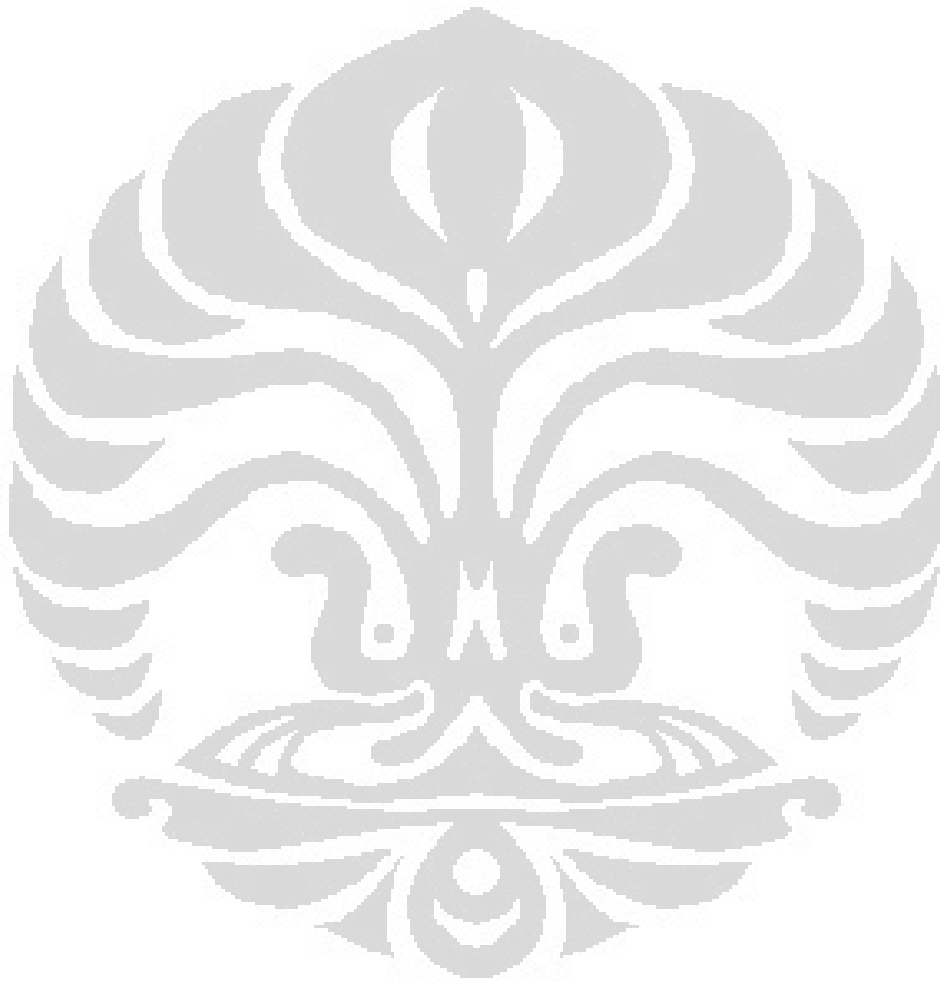
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB 1 - PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Diagram Keterkaitan Masalah.....	9
1.3. Perumusan Masalah.....	10
1.4. Tujuan Penelitian.....	10
1.5. Batasan Permasalahan	10
1.6. Metodologi Penelitian.....	11
1.7. Sistematika Penulisan	15
BAB 2 – TINJAUAN PUSTAKA	16
2.1. Pemodelan Berbasis Agen	16
2.1.1. Perkembangan Pemodelan Berbasis Agen	17
2.1.2. Elemen dan Proses Pemodelan	24
2.1.3. Aplikasi Pemodelan Berbasis Agen.....	32
2.2. Transportasi Massal Urban Berbasis Rel.....	33
2.2.1. Implementasi Transportasi Massal Urban.....	34
2.2.2. Sistem Transportasi Jakarta.....	38
2.2.3. Transportasi Massal Urban Berbasis Rel di Jakarta	43
2.3. Manajemen Keramaian	50
2.3.1. Perkembangan Studi Manajemen Keramaian	51

2.3.2. Dinamika dan Perilaku Pejalan Kaki	54
2.3.3. Aplikasi Manajemen Keramaian	59
BAB 3 – PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	61
3.1. Pengumpulan Data Awal.	61
3.1.1. Data Spesifikasi Stasiun MRT Jakarta.....	62
3.1.2. Data Proyeksi dan Persebaran Jumlah Penumpang	66
3.1.3. Data Perilaku dan Interaksi Penumpang	72
3.2. Pengolahan Data.....	74
3.2.1. Desain Awal Model Dasar dan Model Alternatif.....	74
3.2.2. Pembuatan Model Dasar, Batasan, dan Skenario	75
3.2.3. Verifikasi dan Validasi Model.....	82
3.2.4. Pengembangan Model Alternatif	84
BAB 4 – ANALISIS	86
4.1. Parameter Analisis dan Batasan Penerimaan Hasil	86
4.2. Hasil Seluruh Model.....	90
4.3. Perbandingan Hasil Seluruh Model.....	95
4.4. Rekomendasi Desain Akhir	99
BAB 5 – KESIMPULAN DAN SARAN	100
5.1. Kesimpulan.	100
5.2. Saran	100
DAFTAR REFERENSI.....	101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Jumlah kendaraan teregistrasi di DKI Jakarta.....	2
Gambar 1.2 Populasi Jabodetabek.....	5
Gambar 1.3 Tren Produk Domestik Bruto Regional Jabodetabek.	6
Gambar 1.4 Diagram keterkaitan masalah.	9
Gambar 1.5 Diagram alir metodologi penelitian.	14
Gambar 2.1 Permainan <i>Game of Life</i> dari Conway.....	20
Gambar 2.2 Struktur umum model berbasis agen.	25
Gambar 2.3 Diagram pengaturan agen.	27
Gambar 2.4 Topologi interaksi agen.	29
Gambar 2.5 Contoh implementasi model dengan AnyLogic.....	31
Gambar 2.6 Jaringan jalan tol Jakarta.....	39
Gambar 2.7 Peta rute Transjakarta.	40
Gambar 2.8 Peta rute KRL Jabodetabek.....	42
Gambar 2.9 Logo PT MRT Jakarta.	45
Gambar 2.10 Rute MRT Jakarta.....	45
Gambar 2.11 Contoh hasil observasi dengan foto.....	52
Gambar 2.12 Contoh visualisasi perilaku kolektif normal.	57
Gambar 2.13 Contoh aplikasi rekomendasi pada koridor teater.	59
Gambar 3.1 Peta lokasi stasiun Bendungan Hilir.....	63
Gambar 3.2 Ilustrasi stasiun MRT bawah tanah.	63
Gambar 3.3 Ilustrasi 3 komponen stasiun Bendungan Hilir.	64
Gambar 3.4 Model dasar lantai 1.	77
Gambar 3.5 Model dasar lantai 2.	77
Gambar 3.6 Contoh logika pengaturan model.	78
Gambar 3.7 Contoh logika proses kerja model.	79
Gambar 3.8 Pengaturan pelaksanaan simulasi model.....	79
Gambar 3.9 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi perilaku secara visual	83
Gambar 3.10 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi jumlah agen secara logika pergerakan.	83
Gambar 3.11 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi waktu dari pengaturan kerja model.	84

Gambar 4.1 Hasil model dasar lantai 1 - tahun 2017 skenario TDM pagi	95
Gambar 4.2 Hasil model dasar lantai 2 - tahun 2017 skenario TDM pagi	95
Gambar 4.3 Hasil model dasar lantai 1 - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore.....	96
Gambar 4.4 Hasil model dasar lantai 2 - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore.....	96
Gambar 4.5 Potongan logika model dasar - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore.....	97



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Daftar klasifikasi Selular Automata	20
Tabel 2.2 Penjelasan proyek MRT Jakarta	47
Tabel 2.3 Daftar perilaku pejalan kaki.....	55
Tabel 3.1 Proyeksi jumlah penumpang.....	67
Tabel 3.2 Distribusi jumlah penumpang per jam	68
Tabel 3.3 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2017 skenario 1	69
Tabel 3.4 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2027 A skenario 3.....	69
Tabel 3.5 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2037 B skenario 4.....	70
Tabel 3.6 Data distribusi untuk kondisi jam sibuk pagi	70
Tabel 3.7 Data distribusi untuk kondisi jam bukan sibuk.....	71
Tabel 3.8 Data distribusi untuk kondisi jam sibuk sore.....	71
Tabel 4.1 Data hasil untuk jam sibuk pagi.....	91
Tabel 4.2 Data hasil untuk jam bukan sibuk	92
Tabel 4.3 Data hasil untuk jam sibuk sore	93

BAB 1

PENDAHULUAN

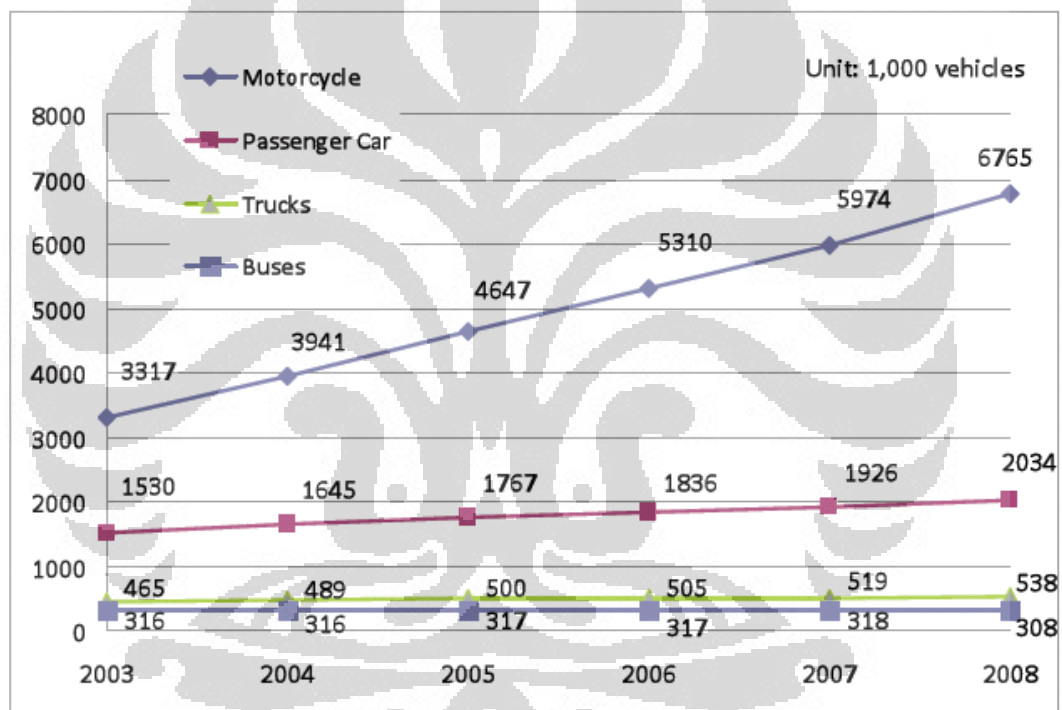
1.1 Latar Belakang

Jakarta sebagai ibukota negara merupakan pusat bagi seluruh kegiatan ekonomi Indonesia. Seluruh pihak-pihak yang berkepentingan di Indonesia menempatkan kantor utama maupun perwakilan di Jakarta, mulai dari badan utama pemerintahan negara yaitu kuasa eksekutif, legislatif, dan yudikatif, badan usaha swasta, hingga pihak perwakilan negara-negara sahabat. Seluruh pihak tersebut melaksanakan kegiatan pertimbangan dan penerapan kebijakannya di Jakarta, yang berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dengan penciptaan transaksi ekonomi, serta memberikan dampak mulai dari skala lokal hingga skala nasional.

Penciptaan dampak bagi ekonomi Indonesia tersebut secara dinamis juga menciptakan dampak kembali bagi Jakarta. Aktivitas yang berlangsung setiap waktu dan setiap hari, menciptakan dinamika intensitas kegiatan ekonomi bagi Jakarta dalam setiap waktu. Penciptaan dampak bagi Indonesia juga menimbulkan respon dampak kembali bagi setiap pihak usaha di Jakarta tersebut. Hubungan ini menciptakan kondisi yang terjadi sekarang, yang mana pertumbuhan ekonomi positif yang pesat di Indonesia, juga memberikan dampak pertumbuhan ekonomi yang positif di Jakarta secara dinamis.

Posisi strategis Jakarta serta pertumbuhan ekonomi yang positif saat ini menciptakan permintaan besar serta pertumbuhan yang positif dalam hal akomodasi residensial, area komersial, konsumsi barang dan jasa, energi dan utilitas, serta kebutuhan lainnya. Kebutuhan dalam hal transportasi juga meningkat, dalam posisinya sebagai penghubung lokasi antar kegiatan ekonomi tersebut, serta penghubung aktivitas sosial masyarakat. Persebaran seluruh kebutuhan tersebut mencakup wilayah inti DKI Jakarta serta wilayah penyangganya, yaitu Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi. Hambatan yang terjadi pada salah satu kebutuhan tersebut pada area Jakarta dan penyangganya, akan mempengaruhi kelancaran seluruh kegiatan secara langsung di Jakarta, dan juga turut mempengaruhi dinamika pertumbuhan ekonomi di Indonesia.

Sebagai salah satu tulang punggung kegiatan usaha dan ekonomi di Jakarta, transportasi telah mendapatkan beragam keterbatasan. Kondisi infrastruktur dan pilihan moda transportasi Jakarta pada saat ini terfokus pada perpindahan berbasis kendaraan pribadi, yaitu mobil dan motor. Sedangkan kendaraan umum seperti angkutan kota, bus reguler, serta bus Transjakarta berjumlah minim dan berkapasitas terbatas. Kebutuhan akan moda transportasi massal belum dapat dipenuhi oleh berbagai moda kendaraan umum tersebut. Dan hingga saat ini, pembangunan infrastruktur seperti jalan masih menjadi fokus utama, yang hanya mampu memberikan kontribusi pertumbuhan jalan 1% per tahun.



Gambar 1.1 Jumlah kendaraan teregistrasi di DKI Jakarta

(sumber: Jakarta Dalam Angka 2009, Laporan JMEC 2010)

Keadaan tersebut diperdalam dengan adanya tantangan dalam kondisi saat ini, serta perhatian khusus maupun kritik dari berbagai pihak. Pertumbuhan kendaraan pribadi baru pada saat ini telah mencapai angka 1000 unit per hari dan semakin meningkat (Dinas Perhubungan Pemprov DKI Jakarta, 2010). Kondisi kendaraan umum yang ada juga kurang baik, dengan tingkat pelayanan yang minim. Hal ini jelas menunjukkan potensi peningkatan kemacetan di Jakarta.

Masalah kemacetan tidak terbatas pada perpanjangan waktu tempuh saja, tetapi berefek kepada masalah-masalah lainnya. Kerugian ekonomi menjadi perhatian utama, yaitu terkait biaya tambahan untuk bahan bakar, biaya kesehatan, serta potensi kerugian akibat hilangnya potensi ekonomi. Biaya ini mencapai angka 12,8 triliun Rupiah per tahun pada perhitungan tahun 2005 oleh Yayasan Pelangi. Kemudian, dampak kesehatan akibat polusi menjadi perhatian selanjutnya, terkait gas buang serta polusi suara kendaraan. Hal terakhir yang menjadi perhatian adalah kualitas hidup penduduk Jakarta, sebagai manifestasi atas seluruh masalah ini, yaitu kepuasan & kebahagiaan hidup penduduk Jakarta.

Sebagai langkah antisipasi terkait kebutuhan transportasi massal, sejak tahun 1986 hingga 2000 pemerintah provinsi Jakarta telah melakukan beragam studi analisis dan kerjasama antar negara. Pada tahun 2000, dimulai kerjasama dengan JICA (*Japan International Cooperation Agency*) dalam hal studi *Master Plan* Transportasi Jabodetabek. Studi tersebut mengarah pada pembuatan MRT (*Mass Rapid Transit*) sebagai salah satu alternatif moda transportasi massal, seperti yang telah dianut pada berbagai kota besar di dunia.

Sebagai sebuah sistem transportasi massal baru di Jakarta, MRT dirancang sebagai sebuah sistem yang mumpuni dan berkualitas tinggi. Keberadaan MRT Jakarta bertujuan untuk menyerap kebutuhan perpindahan masyarakat yang awalnya adalah pengguna mobil, mengurangi peredaran mobil di wilayah Jakarta, sebagai salah satu alternatif pemecahan masalah kemacetan. Posisi kebutuhan masyarakat tersebut, serta ekspektasi akan sistem MRT di Jakarta untuk memecahkan persoalan kemacetan serta transportasi massal tersebut, membuat operasional MRT Jakarta menjadi sesuatu yang harus dapat berjalan lancar dalam kondisi yang sangat berat.

Terlebih lagi dengan adanya penerapan stasiun MRT yang berada di bawah tanah, selain stasiun layang yang telah diimplementasikan pada jalur kereta dalam kota Jakarta, yang membutuhkan pendekatan khusus serta berbiaya investasi lebih mahal dengan keterbatasan tinggi. Kelancaran operasional dengan seluruh kompleksitas ini salah satunya dipastikan dengan desain sistem operasional MRT yang komprehensif, serta telah diperbandingkan dengan sistem-sistem MRT kota besar lainnya, seperti Singapura dan Jepang.

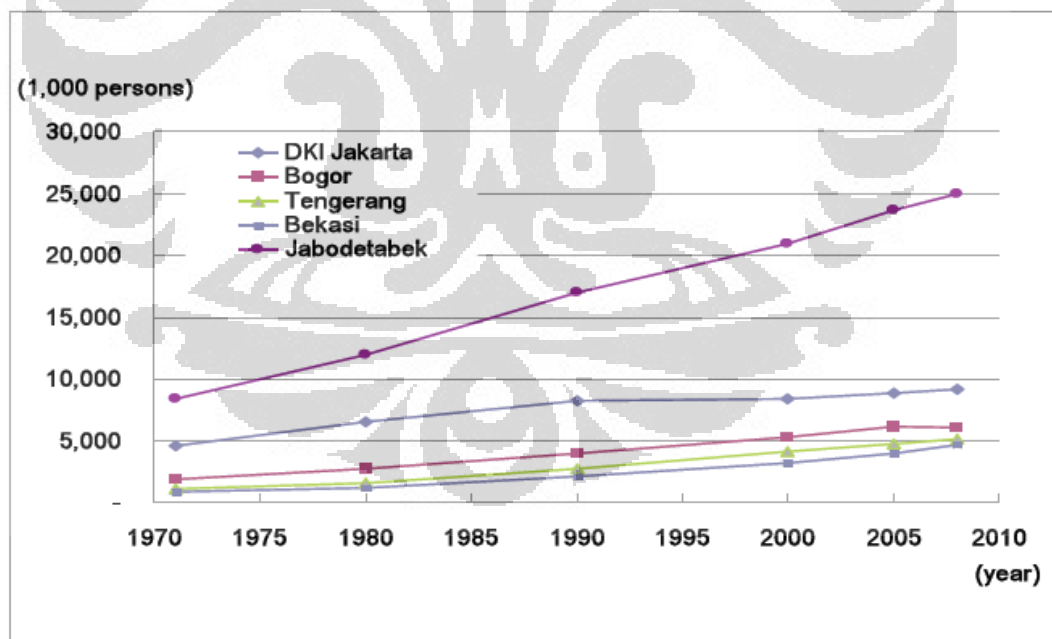
Desain operasional tersebut hanya dapat dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan yang berbeda dari sebelumnya. Dengan terfokus sebagai moda transportasi massal dalam wilayah kota Jakarta, serta mengambil pasar pengguna mobil yang merupakan masyarakat bertingkat ekonomi menengah dan menengah atas, maka MRT harus mendapatkan paradigma yang berbeda dengan kereta api maupun transportasi umum lainnya. Dalam hal ini, desain operasional MRT harus berfokus penuh pada penumpang, dan pergerakannya selama berada dalam sistem. Sehingga, paradigma transportasi yang awalnya sebagai sarana memindahkan orang dan barang pada kondisi yang sama, diubah secara seksama menjadi berbasis pada perpindahan orang sebagai penumpang, bukan barang. Perubahan paradigma menjadi berbasis penumpang ini merupakan pendekatan spesifik MRT untuk melakukan desain operasional sistemnya.

Kualitas operasional stasiun MRT Jakarta juga ditunjukkan dengan penerapan standar pelayanan berkelas dunia dan tinggi, serta penerapan standar keamanan dan keselamatan penumpang yang juga tinggi. Sesuai dengan penggunaan paradigma penumpang sebagai fokus utama, yang searah dengan visi dan misi MRT Jakarta, maka kualitas hidup harus tetap diutamakan dalam MRT Jakarta, sejalan dengan prinsip mobilitasnya. Standar pelayanan tersebut ditetapkan untuk memastikan kelancaran dan kualitas operasional MRT Jakarta, bagian dari desain operasionalnya. Dan, standar keamanan serta keselamatan penumpang pun diterapkan setara standar pelayanan tersebut.

Meninjau pada sistem MRT pada umumnya, seperti yang juga ada pada MRT Jakarta, komponen utama sistem ada pada kereta dan stasiun. Penumpang menggunakan kereta sebagai sarana perpindahan utama dari lokasi awal menuju lokasi tujuan, dan menggunakan stasiun sebagai titik transfer dari areanya ke dalam kereta pada setiap lokasi. Kedua komponen ini memiliki fleksibilitas perubahan yang berbeda, yang mana jumlah kereta dapat ditingkatkan serta pergerakan kereta dapat dipercepat, sedangkan stasiun bersifat permanen dan membutuhkan usaha lebih untuk mengadakan perluasan, terutama untuk stasiun bawah tanah yang sangat rumit usaha konstruksinya. Dengan demikian, dalam analisis sistem operasional dan desainnya untuk penumpang, fokus utama ada pada kereta dan stasiun MRT Jakarta tersebut.

Perencanaan kemampuan pelayanan pada sistem MRT Jakarta didasarkan pada pertimbangan mengenai kondisi saat ini, proyeksi kondisi masa depan, dan tujuan pengadaan sistem tersebut. Tujuan pengadaan sistem MRT, seperti yang telah dijelaskan, yaitu pada penciptaan moda transportasi massal urban yang berkualitas. Kondisi saat ini yang menjadi faktor pemicu MRT Jakarta yaitu mengenai masalah kemacetan dan tingginya permintaan pada segi transportasi. Dengan demikian, masalah yang secara nyata dihadapi oleh sistem MRT Jakarta, adalah mengenai kemampuan pelayanannya untuk kondisi masa depan.

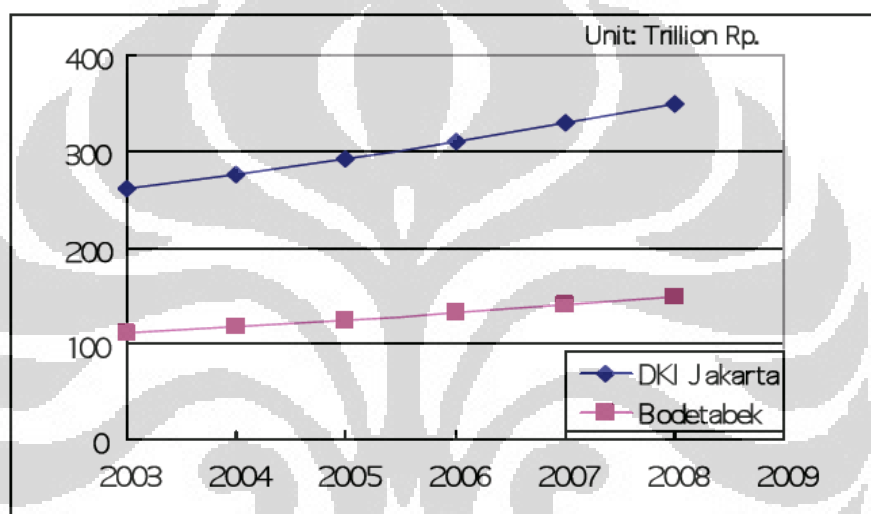
Kondisi tantangan pada masa depan ini terletak pada proyeksi jumlah penumpang MRT Jakarta, baik secara umum pada sistem maupun secara khusus pada setiap stasiun-stasiun pelayanannya. Proyeksi jumlah penumpang ini terkait erat dengan pertumbuhan populasi Jabodetabek, pertumbuhan ekonomi daerah terlayani sistem MRT Jakarta, dan peningkatan ketertarikan penumpang untuk menggunakan layanan sistem MRT Jakarta. Kondisi yang tertantang dalam sistem MRT Jakarta ini yaitu pada komponen utamanya, yaitu kereta dan stasiun.



Gambar 1.2 Populasi Jabodetabek

(sumber: Jakarta Dalam Angka 2009, Laporan JMEC 2010)

Populasi Jabodetabek yang telah mencapai 25 juta orang (Jakarta Dalam Angka, 2009) membuat potensi penumpang MRT Jakarta menjadi semakin tinggi. Dalam studi yang dilakukan JMEC untuk mempersiapkan kerangka utama desain operasional MRT Jakarta pada tahun 2010, diproyeksikan bahwa minimal akan terdapat 173 ribu penumpang per hari saat awal mula operasionalnya di tahun 2017, dan pada tahun 2037 minimal akan terdapat 785 ribu penumpang per hari. Nilai minimal ini berpotensi untuk semakin meningkat, seiring dengan pertumbuhan ekonomi Indonesia dan Jakarta yang semakin pesat.



Gambar 1.3 Tren Produk Domestik Bruto Regional Jabodetabek

(sumber: Statistik BPS 2009, Laporan JMEC 2010)

Pertumbuhan ekonomi pada kawasan sekitar layanan MRT Jakarta juga menunjukkan potensi tinggi. Pada studi yang dilakukan oleh MRT Jakarta, secara spesifik pada faktor GFA (*Gross Floor Area*) atau luasan area komersial yang tersedia, terdapat potensi peningkatan signifikan pada lokasi setiap stasiun, terutama pada area komersial yang sudah mapan sepanjang Jalan Jend. Sudirman dan Jalan M.H. Thamrin. Pertumbuhan ekonomi ini menjadi penting dalam menciptakan peningkatan potensi penumpang MRT Jakarta, serta secara spesifik menjadi tantangan besar bahwa lokasi tersebut merupakan area untuk stasiun tipe bawah tanah (*underground*). Potensi ini juga menjadi semakin tinggi pada saat terciptanya konektivitas tinggi antara stasiun dengan sekitarnya, misalnya dengan penggunaan terowongan bawah tanah untuk stasiun bawah tanah.

Peningkatan proyeksi jumlah penumpang yang dilayani oleh MRT Jakarta dalam berbagai kondisi tersebut, membuat desain sistem operasionalnya harus bersiap untuk menghadapinya. Dengan mengacu pada kedua komponen utama sistem MRT, kereta menjadi komponen yang masih fleksibel untuk diubah, namun tidak demikian halnya untuk stasiun. Keterbatasan perubahan pada stasiun membuat kondisi komponen ini rentan mempengaruhi standar operasional MRT Jakarta. Stasiun bawah tanah maupun stasiun layang seluruhnya membutuhkan intervensi masif untuk dapat mengadaptasikannya dengan keperluan pelayanan proyeksi jumlah penumpang yang ada, dengan nilai investasi juga tinggi.

Desain sebuah stasiun juga tidak dapat dilepaskan pada hubungannya dengan lingkungan di sekitarnya. Sesuai dengan paradigma penumpang sebagai fokus, maka area sekitar stasiun menjadi penting untuk dapat terhubung dengan baik pada stasiun, untuk memudahkan penumpang masuk serta keluar dari sistem MRT Jakarta. Kemudahan tersebut pada akhirnya turut berkontribusi positif pada MRT Jakarta, yaitu dalam hal peningkatan pendapatan.

Sehingga, mengacu pada seluruh pemaparan diatas, diketahui bahwa penumpang MRT Jakarta berpotensi untuk mencapai nilai yang maksimal, melebihi proyeksi pada studi-studi yang telah dilakukan saat ini. Potensi penumpang ini mengacu pada faktor-faktor seperti peningkatan perekonomian nasional dan Jakarta, peningkatan ketertarikan penggunaan MRT Jakarta pada pengguna kendaraan pribadi, adanya potensi peningkatan kemudahan akses konektivitas ke sistem MRT Jakarta, dan lainnya. Seluruh faktor ini berkontribusi pada peningkatan jumlah penumpang dalam sistem MRT secara signifikan.

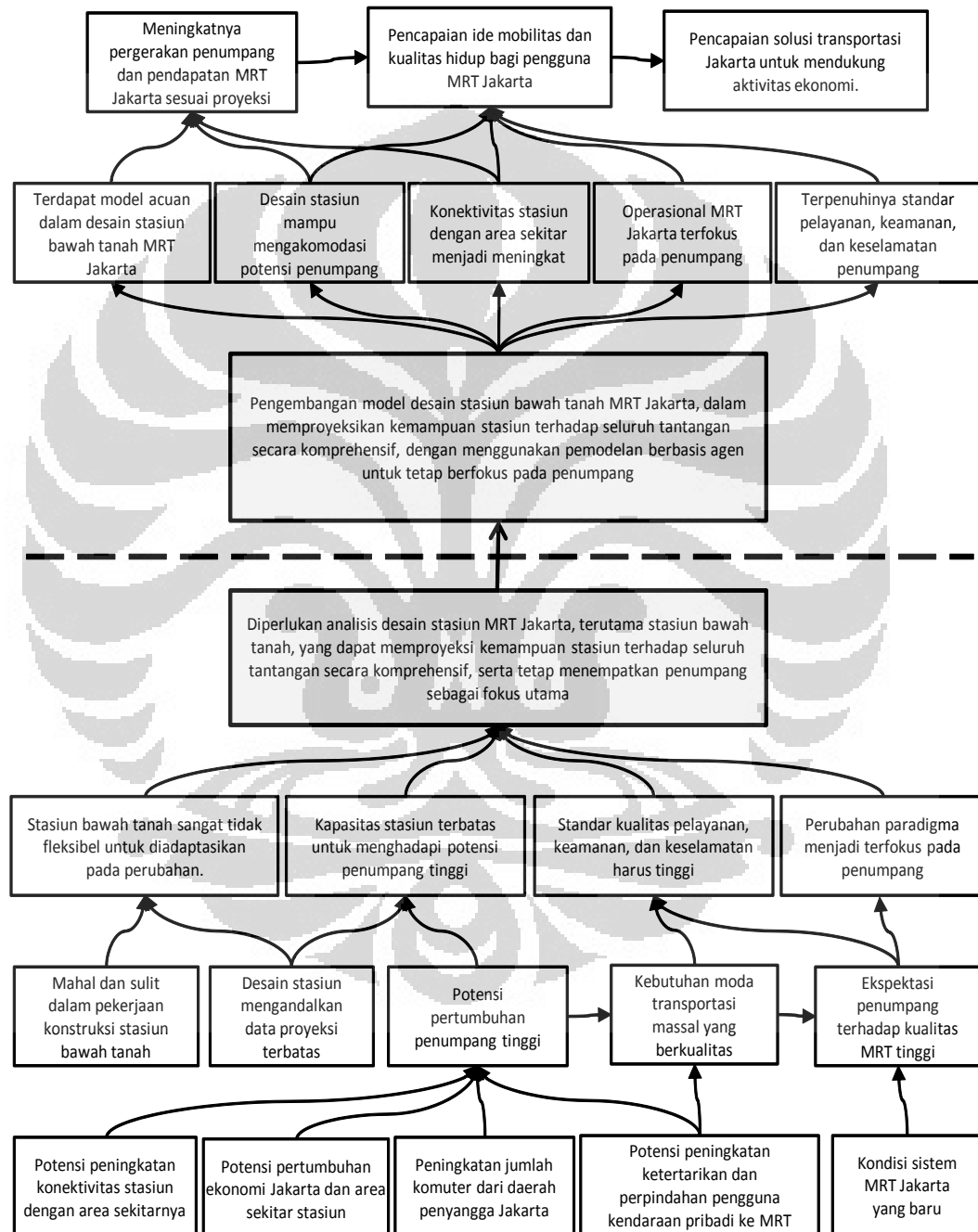
Namun demikian, stasiun menjadi titik lemah dalam sistem, yang mana stasiun bersifat permanen dan membutuhkan investasi sangat besar untuk mengubahnya kembali. Hal ini semakin kuat pada stasiun bawah tanah, yang mana kesulitan konstruksinya setara dengan nilai investasi yang dibutuhkan, yaitu sangat tinggi. Stasiun juga menjadi titik utama penumpang dalam merasakan pelayanan awal dan akhir sistem MRT Jakarta, serta titik transfer utama penumpang untuk masuk dan keluar sistem. Dalam hal ini, peningkatan penumpang menjadi krusial untuk meninjau kembali desain stasiun yang ada.

Peninjauan desain stasiun pun tidak dapat dilakukan sembarangan. Dengan mengacu pada paradigma penumpang sebagai fokus utama, maka analisis desain stasiun pun memerlukan pendekatan baru yang mampu mengakomodasi paradigma tersebut. Metode desain yang digunakan harus mampu dalam mewakili perilaku penumpang secara acak, serta mampu menggambarkan kondisi stasiun dengan penumpangnya secara dinamis, agar dapat mencerminkan keadaan stasiun secara sebenarnya. Kompleksitas peninjauan desain stasiun ini menjadi semakin tinggi, dan harus tetap berfokus pada penumpang, dan penerapan standarnya.

Dalam mengakomodasi keperluan-keperluan ini, diperlukan sebuah studi khusus dalam menganalisa sebuah stasiun MRT Jakarta, terutama stasiun bawah tanah, yang mampu memproyeksikan kemampuan stasiun terhadap tantangan-tantangan tersebut diatas secara komprehensif, serta tetap menempatkan penumpang sebagai fokus utama. Studi ini juga diharapkan mampu menghasilkan sebuah model untuk keperluan analisis tersebut, dan menyediakan rekomendasi desain stasiun yang akomodatif bagi sistem operasional MRT Jakarta. Dengan berjalannya studi penelitian ini, serta beroperasinya MRT Jakarta dengan lancar, maka secara langsung sistem MRT Jakarta akan mampu mendukung pertumbuhan aktivitas ekonomi, secara khusus bagi Jakarta dan secara umum bagi Indonesia.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berikut ini adalah diagram keterkaitan masalah mengenai analisis desain stasiun MRT Jakarta, dalam menggambarkan keterkaitan antar masalah serta kondisi ideal yang dapat dicapai dengan terpecahkannya masalah tersebut.



Gambar 1.4 Diagram keterkaitan masalah

1.3 Perumusan Masalah

Pokok permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menganalisa sebuah desain stasiun bawah tanah pada MRT Jakarta, agar mampu mengakomodasi potensi jumlah penumpang, interkoneksi dengan lingkungan, dan standar kualitas pelayanan yang tinggi selama masa utilisasinya, dengan tetap memposisikan penumpang sebagai fokus utama.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis desain stasiun bawah tanah pada MRT Jakarta, sehingga mampu mengakomodasi tantangan pada potensi jumlah penumpang, interkoneksi dengan lingkungan sekitar, dan standar kualitas pelayanan yang tinggi, serta dapat memberikan rekomendasi hasil evaluasi untuk meningkatkan utilisasi stasiun tersebut. Analisis menggunakan metode pemodelan berbasis agen, sehingga dapat juga terciptakan sebuah model berbasis agen untuk mendukung proses analisis desain stasiun tersebut.

1.5 Batasan Permasalahan

Dalam penelitian ini, batasan permasalahan diterapkan untuk dapat memfokuskan penelitian pada masalah utama, sesuai dengan perumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditentukan pada bagian diatas. Batasan permasalahan ini juga menjadi dasar asumsi dalam pembuatan dan analisis model.

Batasan lingkup masalahnya yaitu sebagai berikut :

1. Stasiun MRT Jakarta yang digunakan dalam analisis yaitu stasiun bawah tanah Bendungan Hilir, pada koridor Utara – Selatan tahapan pertama. Desain, spesifikasi, dan kelengkapan sarana stasiun yang digunakan mengacu pada desain dan keterangan dari MRT Jakarta.
2. Jumlah penumpang potensial menggunakan data Laporan JMEC tahun 2010, yang mencakup proyeksi penumpang tahun 2017 hingga tahun 2037, dengan kondisi adanya ekspansi tahap kedua (*East-West Line*) maupun tidak. Serta empat tipe kondisi manajemen transportasi Jakarta, yang terdiri dari tipe dasar, penerapan TOD (*Transit Oriented Development*), penerapan TDM (*Traffic Demand Management*), dan kombinasi keduanya.

3. Asumsi persebaran penumpang per jam disesuaikan dengan persebaran penumpang harian pada bus transjakarta koridor Blok M – Kota. Data persebaran tujuan penumpang menggunakan hasil Laporan JMEC 2010.
4. Asumsi kecepatan pergerakan penumpang menggunakan data studi perilaku pejalan kaki di Indonesia. Kecepatan pergerakan yang digunakan yaitu pergerakan penumpang pada kondisi jalan kaki normal, serta kondisi jalan kaki menaiki tangga dan menuruni tangga.
5. Asumsi kecepatan pergerakan dan pelayanan sarana dalam stasiun, seperti eskalator, loket pembelian tiket, gerbang pemeriksaan tiket masuk & keluar, dan sarana lainnya, menggunakan data spesifikasi umum sarana tersebut, sesuai keterangan dari MRT Jakarta.
6. Ruang intervensi desain ditetapkan pada penggunaan eskalator, jumlah tentakel penghubung stasiun ke trotoar jalan, dan keberadaan jalur koneksi bawah tanah ke area komersial sekitar stasiun.
7. Analisis desain stasiun menggunakan pemodelan berbasis agen.

1.6 Metodologi Penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan mengenai metodologi penelitian, yaitu langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, sebagaimana yang tergambar pada diagram alir metodologi penelitian. Tahapan-tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut :

1. Penentuan topik penelitian

Pada tahap ini, peneliti menentukan topik penelitian dengan menentukan terlebih dahulu ragam topik penelitian yang dapat diteliti, kemudian melakukan penyesuaian dengan pihak MRT Jakarta dalam menentukan rumusan permasalahan yang ada. Kemudian, dengan adanya permasalahan untuk mengarahkan topik penelitian, dilakukan penentuan tujuan penelitian dan penyesuaian arah penelitian dengan menentukan batasan masalah dalam penelitian ini.

Dalam tahap ini, ditentukan bahwa topik yang diteliti adalah mengenai pemodelan desain stasiun MRT Jakarta, spesifik pada stasiun bawah tanah, dengan menggunakan metode pemodelan berbasis agen.

2. Tinjauan literatur

Tahapan ini menyediakan dasar literatur yang digunakan untuk mendukung pelaksanaan penelitian ini. Pencarian literatur terfokuskan pada kebutuhan utama penelitian, yaitu mengenai teori pemodelan berbasis agen, sebagai metode penelitian yang digunakan. Kemudian juga mengenai transportasi massal urban berbasis rel, untuk mendasari pemahaman terhadap sistem operasional MRT Jakarta. Dan juga mengenai teori manajemen keramaian, untuk mendasari pemodelan perilaku pergerakan penumpang dalam model, serta mendukung proses analisis.

3. Pengumpulan data

Dalam memulai penelitian ini, data yang diperlukan berbasis pada kebutuhan utama pemodelan berbasis agen, yaitu pada agennya (penumpang), relasi antar agen (proses interaksi), dan lingkungan tempat agen tersebut bergerak secara otonom.

Dari segi lingkungan, data yang digunakan yaitu mengenai spesifikasi stasiun Bendungan Hilir pada sistem MRT Jakarta, baik desain hingga kepada sarana-sarana dalam stasiun tersebut. Dari segi agen dan interaksinya, digunakan data mengenai potensi jumlah, persebaran, dan juga perilaku individual serta perilaku kolektif penumpang MRT Jakarta. Data tambahan lainnya adalah mengenai variabel-variabel perubahan yang diterapkan pada desain stasiun, sebagai solusi perubahan desain.

4. Pengolahan data

Pelaksanaan pengolahan data dimulai dengan mendefinisikan tujuan pembuatan model, sebagai gambaran hasil akhir model yang akan digunakan untuk analisis. Kemudian ditentukan pengaturan model-model alternatif, sesuai dengan variabel perubahan yang tersedia.

Penggambaran model yang sudah selesai menjadi dasar untuk pembuatan dan pengembangan model awal stasiun MRT Jakarta. Kemudian dilakukan langkah validasi dan verifikasi model, untuk menyelesaikan model dasar tersebut. Setelah itu, maka dilakukan pembuatan model alternatif sesuai langkah penggunaannya, sebagai bentuk intervensi terhadap desain stasiun saat diujikan.

Adapun pembuatan model dilakukan dengan membangun terlebih dahulu lingkungan pada model, sesuai dengan spesifikasi desain stasiun dan dimensi-dimensinya. Kemudian ditentukan pengaturan untuk seluruh sarana dalam stasiun, lokasi serta pengaruhnya bagi penumpang. Kemudian, ditentukan proses pergerakan penumpang, mulai dari kereta hingga keluar stasiun dan juga sebaliknya. Dan, terakhir dimasukkan data-data proyeksi penumpang, sebagai input untuk model.

Proses verifikasi model dilakukan dengan memeriksa kembali proses pergerakan penumpang pada setiap tujuan, mencakup secara spesifik lokasi-lokasi target pergerakan dan penggunaan sarana pada stasiun secara normal dalam proses geraknya. Sedangkan proses validasi model dilakukan dengan memeriksa perilaku model, yaitu penggunaan data dasar untuk memeriksa kemunculan perilaku kolektif maupun perilaku individual pada setiap penumpang.

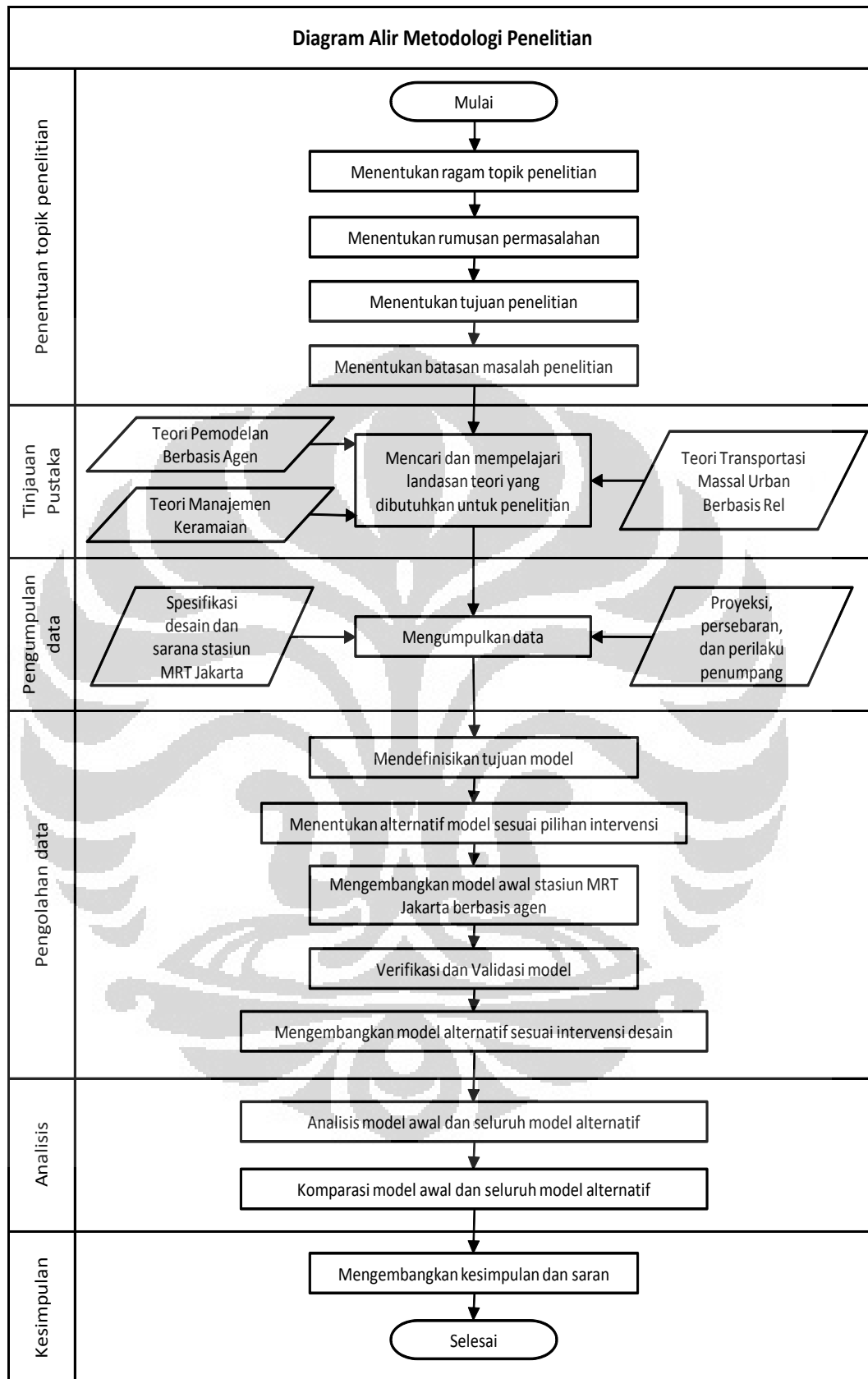
5. Analisis

Dengan selesainya model dasar serta tersedianya model alternatif, maka dilakukan analisis dalam hal hasil pada setiap model, secara kuantitatif maupun kualitatif. Perbandingan hasil setiap model ini menjadi tahapan akhir pada penelitian ini, yang akhirnya dapat menunjukkan hasil akhir penelitian ini. Dalam hal ini, ditentukan desain stasiun Bendungan Hilir MRT Jakarta yang dapat mengakomodasi seluruh potensi dan tantangan, pada seluruh skenario proyeksi penumpang.

6. Kesimpulan dan saran

Dengan adanya hasil akhir penelitian ini, yaitu rekomendasi desain stasiun terbaik serta model desain stasiun yang valid, maka langkah ini menjadi penutup seluruh langkah penelitian, yaitu penentuan kesimpulan akhir penelitian. Kemudian juga dilakukan penentuan saran akhir untuk penelitian, sebagai perbaikan dan rekomendasi pada penelitian selanjutnya.

Gambar diagram alir metodologi penelitian yang digunakan dalam penyusunan penelitian ini ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 1.5 Diagram alir metodologi penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini dipaparkan dalam bentuk tulisan yang terbagi dalam 5 bab. Bab 1 merupakan bagian pendahuluan, yang berisikan latar belakang pemilihan topik serta persiapan dan pelaksanaan penelitian ini. Dalam bab ini terdapat penjelasan mengenai latar belakang, keterkaitan masalah yang diangkat dalam penelitian ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, dan batasan permasalahan, sebagai gambaran umum mengenai penelitian ini yang mudah untuk dipahami oleh pembaca. Kemudian bab ini juga menyediakan metodologi penelitian dan sistematika penulisan laporan penelitian ini, sebagai gambaran langkah pengerjaan serta pelaporan penelitian ini.

Bab 2 merupakan bagian tinjauan pustaka, berisikan teori-teori mengenai pemodelan berbasis agen, teori transportasi massal urban berbasis rel, dan teori manajemen keramaian. Teori-teori ini diperlukan untuk menjadi dasar pijakan bagi peneliti dalam meninjau masalah yang diangkat dalam penelitian ini.

Bab 3 merupakan bagian pengumpulan dan pengolahan data, yang mana pada bagian ini disajikan seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini, mencakup data spesifikasi stasiun MRT Jakarta, dan data proyeksi serta persebaran dan perilaku penumpang. Setelah penyajian seluruh data yang diperlukan dalam model, bagian ini juga memaparkan mengenai pembuatan model, proses verifikasi dan validasi, dan pembuatan model alternatif yang berdasarkan bentuk intervensi yang digunakan.

Bab 4 menjadi bagian untuk memaparkan analisis hasil seluruh model yang dikerjakan dalam penelitian ini. Analisis masing-masing model serta perbandingan hasil antar model dijelaskan pada bagian ini, yang kemudian akan memberikan gambaran mengenai bentuk desain terbaik dan terakomodatif.

Bab 5 menjadi penutup laporan penelitian ini, dengan menjelaskan mengenai kesimpulan penelitian, dan juga saran untuk penelitian ini maupun pada penelitian lanjutan lainnya. Kesimpulan dan saran ini merupakan hasil dari seluruh analisis yang terjadi dalam penelitian ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab 2 dalam penelitian ini berisikan penjelasan mengenai teori-teori yang digunakan, sebagai hasil dari tinjauan pustaka. Teori-teori yang dijelaskan dalam bab ini yaitu teori pemodelan berbasis agen, teori transportasi massal urban berbasis rel, dan teori manajemen keramaian. Ketiga teori ini menjadi dasar dalam penelitian ini, baik dalam pembuatan dan pengembangan model, maupun dalam analisis model stasiun MRT Jakarta.

2.1 Pemodelan Berbasis Agen

Pemodelan berbasis agen (*Agent-Based Modeling / ABM*) merupakan sebuah pendekatan pemodelan yang baru, dalam menganalisis sebuah sistem yang kompleks dalam dunia nyata. Pada pemodelan berbasis agen, sistem terbangun atas interaksi agen-agen pada sebuah lingkungan tertentu, dengan setiap agen memiliki otonomi dalam menentukan respon interaktifnya. Hasil interaksi antar agen dalam pemodelan ini menciptakan beragam perilaku, baik secara mikro antar agen tersebut, hingga secara makro yaitu pola perilaku kolektif. Keseluruhan interaksi dan perilaku ini terjadi pada sebuah lingkungan yang telah ditentukan.

Kekuatan pemodelan berbasis agen terletak pada kemampuannya untuk memodelkan heterogenitas pengambilan keputusan pada setiap agen, serta memunculkan dampak heterogenitas tersebut secara mikro serta secara makro. Kekuatan ini juga terakomodasi secara sederhana, yaitu dengan memodelkan logika pengambilan keputusan maupun urutan alir kondisi setiap agen. Kelemahan pemodelan ini sendiri terletak pada kebutuhannya akan performa komputasi yang tinggi serta intensif, untuk menjalankan kondisi setiap agen.

Dalam bagian ini, akan dijelaskan mengenai perkembangan pemodelan berbasis agen, kemudian mengenai elemen-elemen pemodelan serta prosesnya, dan juga mengenai aplikasi pemodelan berbasis agen. Bagian ini memberikan pemahaman lengkap mengenai pemodelan berbasis agen, sebagai dasar dalam menggunakan metode ini dalam penelitian kali ini.

2.1.1 Perkembangan Pemodelan Berbasis Agen

Menurut BL Heath dan RR Hill (2010) pada jurnal ilmiah mereka mengenai kemunculan pemodelan berbasis agen, terdapat tiga hal yang mengawali kemunculan metode pemodelan ini, yaitu (1) kemunculan dan perkembangan komputer, (2) kesadaran akan kebutuhan untuk kompleksitas, dan (3) pemahaman akan sistem. Dengan mengandalkan keberagaman latar belakang ini, serta dibantu oleh perkembangan teknologi pada saat ini, maka pemodelan berbasis agen menjadi metode pemodelan yang semakin efektif pada saat ini.

Komputer dan teknologi menjadi hal pertama yang mendukung kemunculan dan perkembangan pemodelan berbasis agen, sebagaimana yang terjadi pada metode pemodelan lainnya. Secara teknis, komputer membantu peneliti dalam melakukan beragam percobaan matematis maupun kalkulasi pendukung secara simultan, menciptakan proses penelitian yang lebih cepat dan efektif. Komputer juga mendukung pelaksanaan eksperimen secara otomatis dan efisien, dengan menggunakan pemodelan matematis yang diterapkan dalam komputer. Komputer terposisi menjadi alat bantu operasi simulasi untuk situasi dan kondisi pada dunia nyata, sesuai modelnya.

Serangkaian perkembangan pada teknologi komputer, misalnya pembuatan teori Mesin Turing oleh Alan Turing, kemudian Hipotesis Church – Turing pada tahun 1936, dan juga dari hasil kontribusi Godel dan Charles Babage dalam teori komputer maupun pembuatan mesin komputer, membuat kalkulasi matematis serta penggambaran sistem menjadi mungkin untuk diaplikasikan dalam komputer. Dalam hal ini, komputer menjadi mampu secara lengkap untuk menjalankan sebuah simulasi secara kontinu, simultan dalam penerapan kalkulasi matematisnya kepada model sistemiknya.

Kemampuan lengkap ini juga menjadikan kemunculan komputer sebagai sebuah permulaan bagi peneliti dalam melaksanakan eksperimennya secara simulasi. Von Neumann pada tahun 1966 menyatakan bahwa komputer memungkinkan untuk digunakan secara heuristik dalam pengembangan teori-teori baru. Kemampuan pemodelan sistem dunia nyata serta berjalannya simulasi tersebut membuat komputer menjadi mampu dalam menggantikan maupun melengkapi pelaksanaan eksperimen di dunia nyata.

Kompleksitas menjadi hal kedua yang mendukung kemunculan pemodelan berbasis agen. Pada masa-masa awal penelitian dan ilmu pengetahuan, teori-teori yang dikemukakan oleh peneliti cenderung menyederhanakan kondisi dunia nyata, untuk mendapatkan ide dasar mengenai sebab dan akibat dari interaksi antar individu. Kesederhanaan ini menyebabkan ketidakmampuan dalam menjelaskan fenomena kompleks yang muncul akibat interaksi antar individu tersebut secara kolektif, yang kemudian diasumsikan sebagai sebuah faktor khusus yang tidak dapat dikontrol maupun dijelaskan. Misalkan dalam analogi Adam Smith untuk teori ekonominya, faktor khusus tersebut dinamakan Tangan Tak Terlihat.

Kesederhanaan teori-teori tersebut semakin diperkuat dengan asumsi dasar bahwa dunia nyata merupakan sistem linear, yang dapat dibagi menjadi komponen-komponen penyusunnya. Dengan asumsi tersebut, muncul analogi berikutnya bahwa penyusunan kembali komponen-komponen yang sama akan memunculkan kembali sistem awal. Pada akhirnya, asumsi dan analogi ini dipatahkan oleh peneliti-peneliti setelah semakin banyak bukti bahwa asumsi dan analogi ini tidak tepat, bahwa dunia nyata merupakan sistem nonlinear. Kompleksitas pun muncul sebagai bahan studi terbaru peneliti, memenuhi motivasi mempelajari kondisi dunia nyata secara tepat dan sesuai kondisi nyata.

Kompleksitas pada dunia nyata muncul pada seluruh bidang studi penelitian di dunia. Misalkan pada biologi dan kedokteran, hubungan antar mikroorganisme untuk menciptakan sebuah organisme kompleks merupakan bahan penelitian yang rumit, baik dalam interaksi antar organisme maupun dalam organisasi aktivitasnya. Dalam bidang meteorologi dan klimatologi, peramalan cuaca serta penelitian mengenai perubahan iklim menjadi sebuah studi berkepanjangan yang sangat sulit ditemukan metode yang lebih tepat, dengan diperlukannya keterlibatan multifaktor dalam kondisi dinamis untuk memproyeksikan kondisi selanjutnya. Dalam studi antropologi dan sosiologi juga ditemukan kesulitan yang sama untuk mempelajari bagaimana interaksi sosial antar individu serta organisasi masyarakat pada akhirnya mampu menentukan keberlangsungan masyarakat tersebut, serta performa setiap individunya. Kompleksitas seluruh bidang ini tidak hanya berdasarkan multifaktor, tetapi juga akibat adanya interaksi antar individu dan dampaknya secara kolektif.

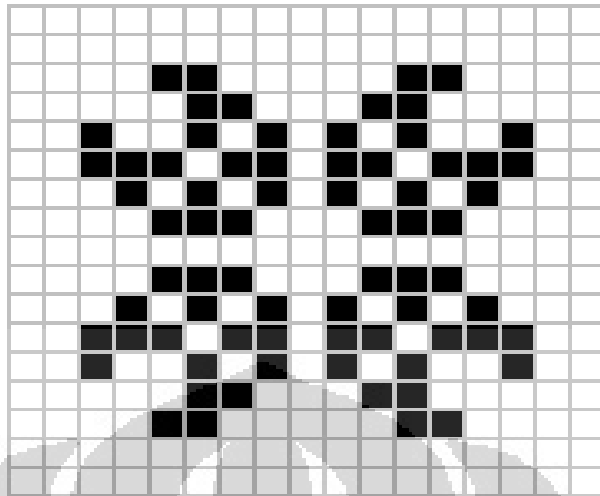
Bertemunya kompleksitas dengan teknologi komputer menciptakan kondisi ideal, yang mana komputer menjadi alat bantu paling mendukung untuk menggambarkan kompleksitas sistem tersebut secara lengkap. Salah satunya adalah pada karya Von Neumann di tahun 1966, yaitu mengenai automata yang mampu mereproduksi secara otonom (*Self-Reproducing Automata*). Dalam karya ini, Von Neumann mampu menggambarkan proses pemberian informasi antar entitas, sebagai bagian dari penggambaran sistemnya yang kompleks.

Namun demikian, perkembangan awal ini masih dipenuhi dengan paradigma penyederhanaan, sehingga penggambaran kompleksitas dalam model masih merupakan penyederhanaan dari sistem dunia nyata, metode pendekatan atas-ke-bawah (*top-down*). Pendekatan ini menyebabkan inefektivitas penelitian, serta masih memunculkan tingkat kompleksitas yang berlebihan.

Paradigma baru dikenalkan oleh Ulam bersama dengan Von Neumann, yaitu dengan menggunakan Selular Automata (*Cellular Automata*) untuk mempelajari mengenai kompleksitas sistem. Selular Automata merupakan entitas otonom yang berada pada sel individual, dalam lingkungan dua dimensi dan dapat berinteraksi dengan entitas lainnya. Selular Automata memenuhi karakteristik sistem kompleks dengan adanya regulasi dan interaksi antar entitas tersebut.

Selular Automata menjadi pendekatan mempelajari kompleksitas sistem yang terbaik, dengan adanya dua keunggulan. Keunggulan pertama yaitu mengenai adanya kemampuan pengambilan keputusan secara otonom antar entitas, yaitu pada setiap sel, mengubah pendekatan dari sistem serial menjadi sistem paralel yang merupakan kondisi umum dunia nyata. Keunggulan kedua yaitu pada terbentuknya kondisi sistem kompleks dari kondisi komponen-komponen secara individual, sehingga kemunculan perilaku kolektif cenderung acak. Selular Automata menjadi pendekatan bawah-ke-atas (*bottom-up*) yang dimulai dari pengaturan kondisi dan regulasi interaksi setiap entitas, untuk kemudian mempelajari perilaku kolektif sistemik nonlinear yang muncul.

Aplikasi Selular Automata yang paling umum adalah dalam bentuk permainan, yaitu *Game of Life* karya Conway, pada tahun 1989. Aplikasi lainnya pada bidang-bidang studi yang beragam, seperti ekologi, biologi, ekonomi, pertahanan, dan lainnya, dengan memanfaatkan nonlinearitasnya.



Gambar 2.1 Permainan *Game of Life* dari Conway

(sumber: Glowdot Productions Inc., 2009)

Salah satu studi pada Selular Automata adalah mengenai karakteristik dan potensi penggunaannya, yang mana pada tahun 1994, Wolfram mendapati bahwa sebuah sistem Selular Automata memiliki hingga 4 kelas untuk keterkaitan kondisi awal dan kondisi akhir sistem. Dari keempat kelas ini, Wolfram mengambil kesimpulan bahwa untuk membentuk sistem kompleks dan memunculkan perilaku kolektif, diperlukan keseimbangan yang tepat antara keteraturan dengan kekacauan (*chaos*). Spesifikasi kondisi awal dan akhir ini menekankan kembali pada keacakan kondisi sistem dunia nyata yang kompleks.

Tabel 2.1 Daftar klasifikasi Selular Automata

Kelas	Karakteristik
1	Berevolusi menjadi kondisi homogen. Perubahan pada kondisi awal tidak mempengaruhi kondisi akhir.
2	Berevolusi menjadi sekelompok kondisi periodik sederhana. Perubahan pada kondisi awal memiliki daerah hasil tertentu.
3	Berevolusi menjadi pola yang berkembang tanpa batas. Perubahan pada kondisi awal memicu perubahan besar pada kondisi akhir.
4	Berevolusi menjadi pola-pola lokal kompleks yang berekspansi dan berkontraksi seiring waktu. Perubahan pada kondisi awal menghasilkan perubahan-perubahan tidak biasa pada kondisi akhir.

(sumber: Wolfram, 1994)

Hal penting ketiga, setelah komputer dan kompleksitas, adalah mengenai pemahaman untuk sistem. Dalam hal pemahaman mengenai sistem, terdapat dua pendekatan yang dilakukan pada saat yang sama, yaitu pendekatan Von Neumann pada komponen penyusun sistem kompleks, dan pendekatan Wiener mengenai perilaku sistem kompleks. Kedua pendekatan ini saling mengisi dan melengkapi dalam hal pengertian mengenai sistem.

Dalam pendekatan Wiener pada tahun 1962, digunakan pendekatan dari bidang *cybernetic*, yaitu ilmu kontrol dan komunikasi pada fauna dan mesin. Bidang ini menggunakan dasar teori mengenai informasi, membuat peneliti dapat menggunakan analogi koordinasi, regulasi, dan kontrol untuk analisa mengenai sistem. Pada akhirnya, bidang ini mendapatkan kesimpulan bahwa prinsip kontrol komunikasi pada mesin memiliki prinsip yang sama dengan pada fauna.

Pengertian sistem pada bidang ini, yaitu perilaku sistem kompleks, ditunjukkan dengan ditemukannya alur timbal balik (*feedback*) pada jalur kontrol dan komunikasinya. Alur ini mempengaruhi bentuk pola, hasil pola jangka panjang sistem, serta karakteristik sistem tersebut.

Hasil lainnya yang didapatkan dari studi *cybernetics* ini adalah terbentuknya pola kacau (*chaotic*) pada sistem kompleks, terutama pada saat terjadinya timbal balik (*feedback*) positif dan negatif pada sistem secara simultan. Walaupun diketahui bahwa sistem memiliki perilaku yang deterministik, pada saat sistem sistem telah menunjukkan pola chaos maka perilakunya akan menjadi terpersepsikan sebagai acak (*random*). Pola chaos ini menyebabkan proyeksi jangka panjang sebuah sistem menjadi tidak dapat dilakukan, walaupun telah menggunakan metode simulasi, dengan adanya batasan pada kemampuan pengumpulan data awal yang signifikan.

Walaupun demikian, pola chaos ini memiliki karakteristik yang justru membantu peneliti untuk membentuk pola chaos ke dalam model simulasi, tanpa memerlukan kompleksitas tinggi. Karakteristik pertama adalah bahwa pola chaos berada pada area hasil yang dapat didefinisikan, memberikan kemungkinan untuk membatasi area penelitian. Karakteristik kedua yaitu bahwa pola chaos dapat ditunjukkan dan dimodelkan dengan regulasi-regulasi model yang sederhana, menimbulkan kesan alami bahwa kompleksitas sistem muncul secara otomatis.

Karakteristik ketiga untuk pola chaos yaitu bahwa sistem tersebut sangat dipengaruhi pada kondisi awal sistem, sehingga pemodelan dan simulasi sistem kompleks cenderung diarahkan pada penemuan hal-hal baru mengenai perilaku sistem tersebut. Karakteristik keempat, serta yang terakhir, yaitu bahwa sistem berpola chaos cenderung untuk menjadi aperiodik, dengan perspektif bahwa sistem dapat beradaptasi pada perubahan situasi untuk mempertahankan keberadaannya, kecuali pada saat yang mana sistem menghadapi variasi yang terlalu besar sehingga menjadi destruktif bagi sistem tersebut.

Secara garis besar, dalam pembahasan mengenai ketiga hal penting untuk kemunculan pemodelan berbasis agen, yaitu mengenai komputer, kompleksitas, dan pemahaman sistem, dapat ditarik kesimpulan bahwa sistem kompleks dapat dimodelkan dan disimulasikan dengan bantuan komputer, menggunakan pendekatan entitas individu yang memiliki alur timbal balik serta regulasi sederhana, yang kemudian dapat memunculkan pola chaos kompleks sesuai karakteristik alami sistem tersebut. Ketiga hal ini membuka jalan pada terbentuknya bidang permulaan bagi pemodelan berbasis agen, yaitu Sistem Kompleks Adaptif (*CAS / Complex Adaptive System*).

Sistem Kompleks Adaptif ini dipelajari dan dikembangkan oleh Holland pada tahun 1995, dengan mengambil inspirasi dari sistem biologis, dan berfokus untuk mempelajari bagaimana perilaku kompleks adaptif muncul secara alami dari interaksi antar agen otonom. Dalam studi ini, Holland berhasil mengemukakan karakteristik-karakteristik utama serta mekanisme-mekanisme yang menjadi komposisi sebuah sistem kompleks adaptif.

Salah satu karakteristiknya yaitu mengenai agregasi, bahwa sistem kompleks adaptif tersebut dapat digeneralisasikan dalam subgrup, dan setiap subgrup dapat diperlakukan sama. Karakteristik ini berhubungan dengan mekanisme sistem tersebut, yaitu klasifikasi agen dan subgrup komposisi. Karakteristik dan komposisi ini menunjukkan tatanan sistem tersebut.

Karakteristik lainnya yaitu mengenai nonlinearitas, bahwa hasil keluaran sebuah sistem dapat menjadi lebih besar daripada hasil keluaran masing-masing komponen sistem secara individual, yang berasal dari adanya interaksi dan alir timbal balik dinamis dalam sistem tersebut.

Nonlinearitas terjadi akibat adanya elemen sistem kompleks adaptif ini, yaitu elemen sifat aliran, dan elemen mekanisme internal model. Elemen sifat aliran menentukan bahwa setiap entitas dalam sistem mampu saling berkomunikasi, dan setiap komunikasi dapat berubah seiring waktu. Perubahan tersebut terjadi akibat efek berkelipatan (*multiplier*) dan efek daur ulang (*recycling*), yang mana setiap efek merupakan dampak dari aktivitas yang dilakukan sistem pada inputnya. Sedangkan elemen mekanisme internal model memberikan kemampuan pada setiap entitas untuk mempersepsikan kondisi lingkungannya, serta membuat keputusan berdasarkan informasi tersebut.

Karakteristik lainnya yaitu mengenai diversitas, bahwa setiap kondisi yang distimulasikan akan memunculkan hasil reaksi dari setiap entitas agen secara berbeda, yang kemudian akan memunculkan hasil keluaran yang juga berbeda. Keragaman ini muncul akibat adanya interaksi baru serta adaptasi baru pada setiap agen secara spesifik, yang kemudian mengubah perilaku sistem secara keseluruhan. Karakteristik diversitas ini sesuai dengan prinsip pola chaos.

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa pemodelan berbasis agen muncul akibat kebutuhan manusia untuk memahami sistem nonlinear, sebuah sistem kompleks serta sulit dipahami. Pemahaman mengenai sistem nonlinear ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan komponen serta pendekatan perilaku. Kedua pendekatan ini menunjukkan bahwa sistem nonlinear terbentuk atas entitas-entitas otonom yang saling berinteraksi aktif dinamis antar entitas serta dengan lingkungannya, menggunakan regulasi sederhana yang memiliki kemampuan adaptif, serta terorganisasi sesuai hirarki kebutuhannya. Pola chaos yang ditunjukkan merupakan hasil kombinasi dinamis setiap entitas dan regulasinya, serta kondisi awal yang diberikan kepada sistem. Dalam hal ini, kompleksitas sistem menjadi termodelkan pada saat komponen entitas, regulasi, dan lingkungannya telah didefinisikan. Pemodelan dan simulasi dilakukan dengan bantuan komputer, serta pendekatan baru penelitian yang menggunakan komputer untuk meningkatkan efektivitas eksperimen. Penelitian mengenai sistem kompleks yang diawali oleh Von Neumann, Wiener, Holland, dan lainnya menciptakan metode yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu pemodelan berbasis agen.

2.1.2 Elemen dan Proses Pemodelan

Dengan munculnya studi mengenai sistem kompleks adaptif (*CAS / Complex Adaptive System*) oleh Holland pada tahun 1995, maka pemodelan berbasis agen menjadi semakin berkembang. Fokus pada agen otonom dan interaksinya pada agen lain serta pada lingkungannya, pemodelan berbasis agen mampu menunjukkan perilaku organisasi mandiri pada sistemnya secara alami, serta menggunakan entitas agen yang heterogen. Studi mengenai pemodelan berbasis agen secara lebih detail dilakukan oleh CM Macal dan MJ North, berdasarkan hasil karya ilmiahnya pada tahun 2010.

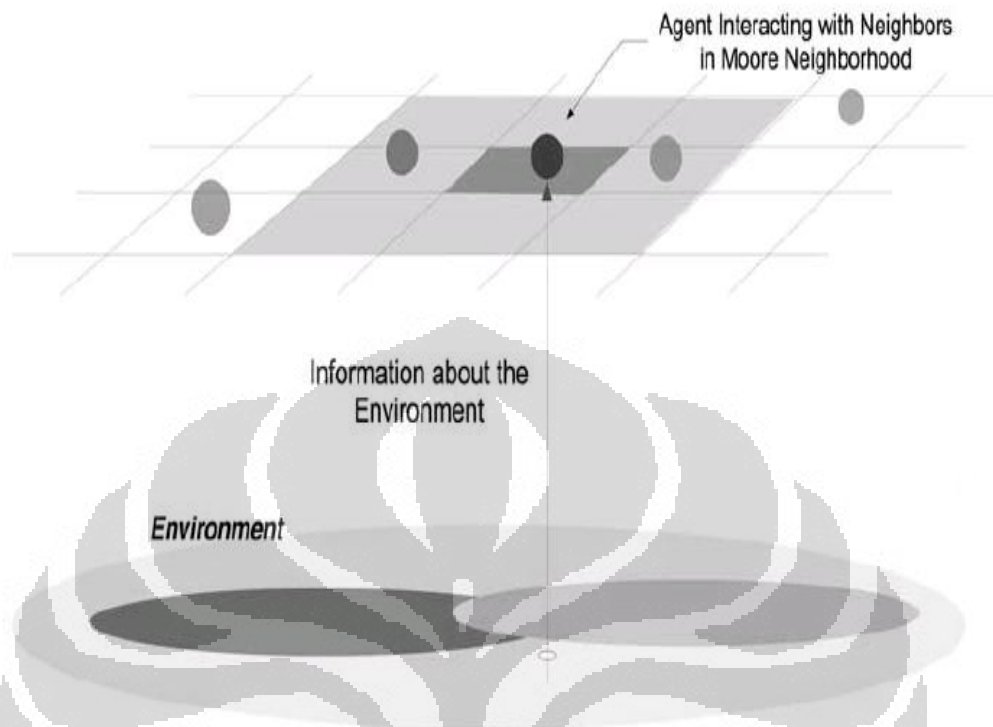
Berdasarkan sistem kompleks adaptif, sebuah sistem dapat dikategorikan sebagai kompleks pada saat terdapat komponen sistem yang heterogen, otonom, dan saling berinteraksi secara aktif dinamis. Sistem kompleks tersebut juga harus menunjukkan pola chaos, yang lebih kepada kasus deterministik pada kondisi input yang multifaktor. Kemudian, sistem tersebut harus memiliki kemampuan adaptasi pada tingkat komponennya, terkait kondisi sistem maupun perubahan masukan pada sistem tersebut.

Dengan berdasarkan pada penjelasan diatas, pemodelan berbasis agen mengkategorikan tiga elemen utama sebuah model untuk dapat dikategorikan berbasis agen, yaitu sebagai berikut.

1. Sekelompok Agen. Entitas otonom heterogen yang memiliki atribut dan perilaku individual.
2. Serangkaian Regulasi Interaksi dan Hubungan Antar Agen. Topologi komunikasi dan kontrol antar agen.
3. Lingkungan Agen. Kondisi area spasial tempat agen berada dan beraktivitas, serta berinteraksi dengan agen lain maupun dengan area itu.

Penjelasan mengenai setiap elemen terdapat pada bagian selanjutnya, berikut dengan ilustrasi mengenai model berbasis agen secara umum. Adapun bagi peneliti yang membutuhkan pemodelan berbasis agen, maka yang bersangkutan perlu mengidentifikasi modelnya berdasarkan ketiga elemen tersebut, kemudian meneliti dan menspesifikasikan setiap elemen, dan kemudian memodelkan serta mensimulasikan modelnya sesuai kebutuhan penelitian.

Agents Interacting in Agent Space (Grid Topology)



Gambar 2.2 Struktur umum model berbasis agen

(sumber: Macal & North, 2010)

Elemen pertama dan menjadi fokus awal pemodelan ini yaitu Agen. Dalam metode pemodelan ini, berbeda dengan entitas standar yang pasif dan sesuai perintah pembuat model, dalam metode ini agen harus menjadi entitas yang beraktivitas secara otonom, dapat bereaksi pada situasi dalam sistem, membuat keputusan-keputusan berdasarkan input informasi situasi tersebut, dan aktif dinamis, dengan tujuan untuk memenuhi target masing-masing agen.

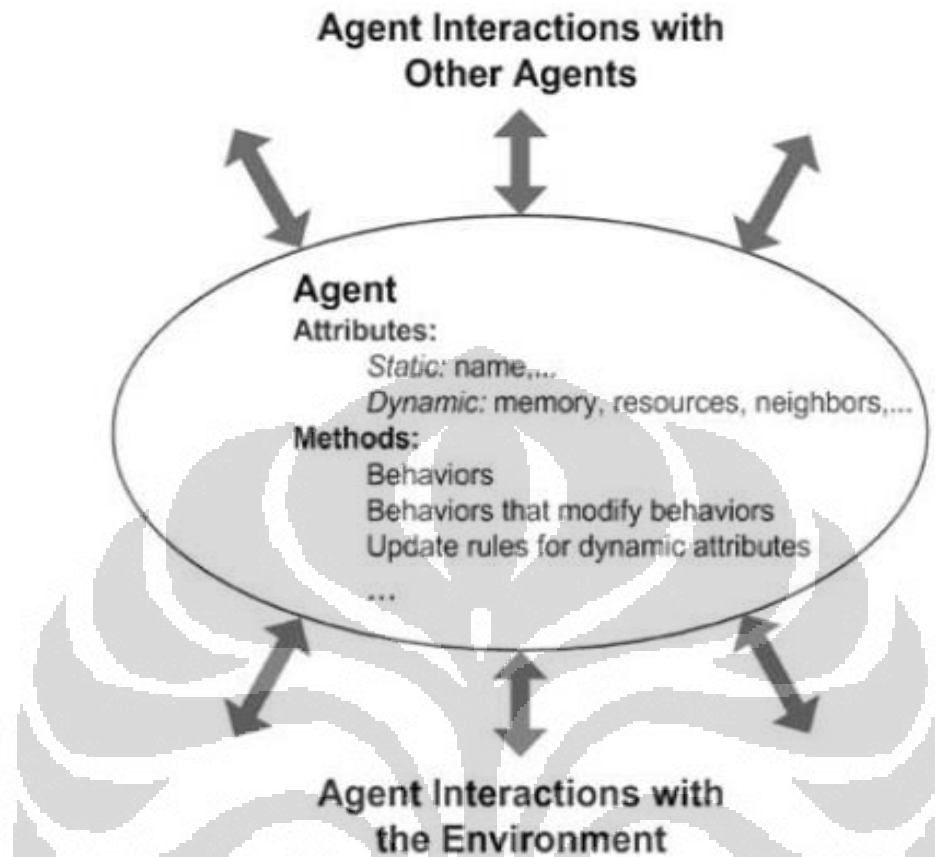
Setiap agen dapat menggunakan dua jenis pendekatan untuk menentukan perilakunya, yaitu pendekatan sederhana berbasis sebab – akibat, serta pendekatan kompleks yang menggunakan teknik dasar pembuatan intelegensia buatan yang adaptif. Kedua pendekatan memberikan hasil respon pada agen yang lengkap, yaitu respon pasif berdasarkan kondisi lingkungan, dan respon aktif adaptif berdasarkan perubahan masing-masing agen yang berinteraksi dengannya disekitarnya. Pendekatan perilaku ini juga dapat menggunakan logika pembelajaran, untuk memodelkan dampak pengalaman bagi agen.

Karakteristik utama yang penting bagi agen yaitu sebagai berikut.

1. Setiap agen memiliki ketentuan sendiri, individualis, unik dan dapat membedakan agen tersebut dari lainnya. Sehingga setiap agen memiliki batasan yang jelas, atribut yang digunakan, dan dapat dikenali serta dibedakan oleh agen lainnya.
2. Agen otonom dan mandiri. Setiap agen beraktivitas dan berinteraksi secara independen. Informasi yang didapatkan oleh agen berasal dari interaksinya dengan agen lain serta lingkungannya. Informasi tersebut diolah agen secara mandiri sesuai perilakunya, yang mana ditentukan oleh pengaturan intelegensi buatan masing-masing agen.
3. Setiap agen memiliki kondisi yang berubah seiring waktu. Kondisi agen direpresentasikan oleh variabel-variabel esensial yang mewakili situasi saat itu, sesuai atributnya. Kondisi model sendiri ditentukan oleh kumpulan kondisi agen-agen dalam model serta kondisi lingkungannya. Variasi kondisi agen ditentukan dari variasi perilaku agen tersebut.
4. Setiap agen berlaku sosial, memiliki interaksi dinamis dengan agen lain, yang kemudian mempengaruhi perilaku agen tersebut. Setiap agen memiliki pengaturan untuk berinteraksi, dalam hal berkomunikasi, bergerak dan mengambil area, kemampuan merespon kondisi lingkungan, kemampuan mengenali serta membedakan maksud agen lain.

Karakteristik lain yang juga berguna bagi agen, yaitu sebagai berikut.

1. Agen dapat berlaku adaptif. Agen dapat memiliki kemampuan lebih jauh untuk memodifikasi perilakunya berdasarkan penambahan pengalamannya seiring berjalannya simulasi. Kemampuan ini menciptakan kebutuhan dalam memori setiap agen, serta secara model berpotensi membuat populasi agen menjadi lebih adaptif saat terjadi perubahan.
2. Agen dapat memiliki tujuan. Tujuan setiap agen dapat mempengaruhi perilaku setiap agen saat merespon informasi baru, dengan membandingkan kondisi saat itu relatif terhadap kondisi tujuannya.
3. Agen dapat heterogen. Pemodelan berbasis agen memungkinkan agen untuk menjadi berbeda-beda dalam seluruh pengaturannya.



Gambar 2.3 Diagram pengaturan agen
 (sumber: Macal & North, 2010)

Diagram diatas menggambarkan pengaturan bagi sebuah agen secara internal, dalam metode pemodelan berbasis agen ini.

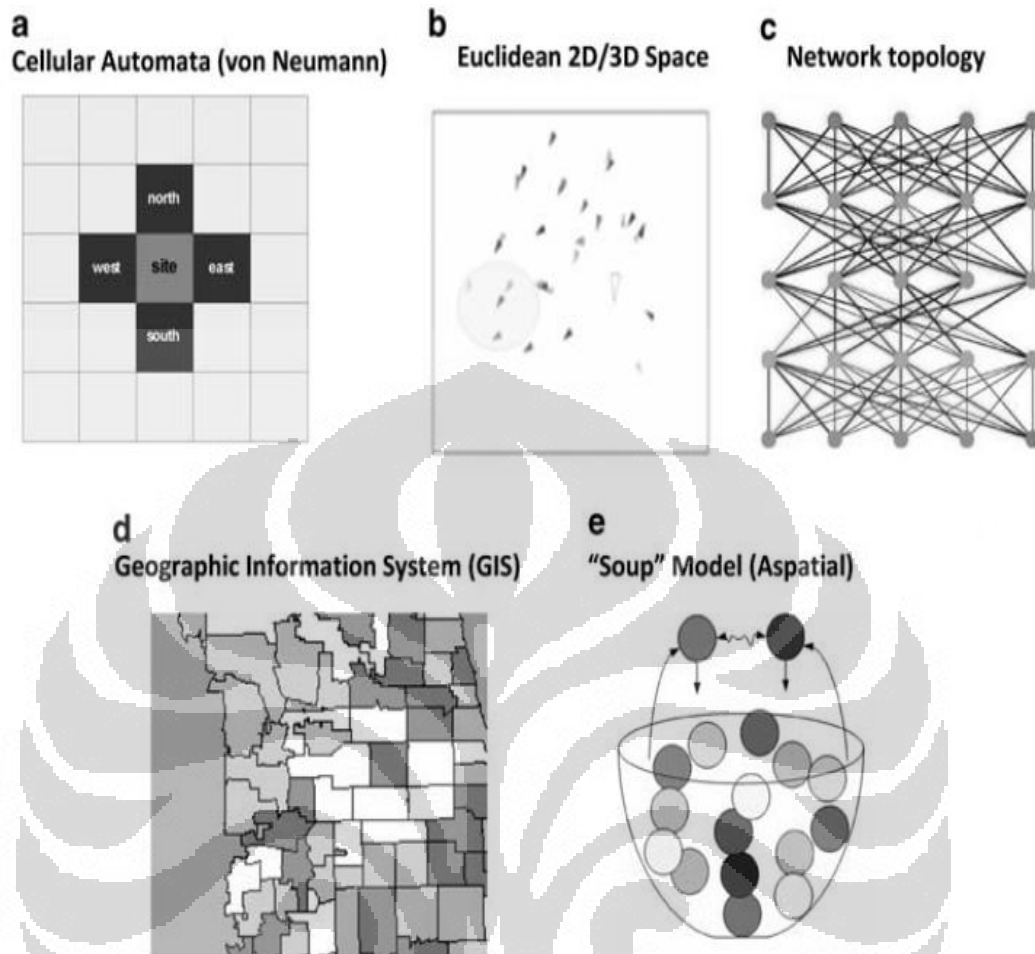
Dengan mengetahui bahwa hal penting pada setiap agen adalah perilaku dan atributnya, maka diperlukan perhatian khusus pada kedua hal ini. Untuk atribut, terdapat atribut statis yang khusus untuk agen tersebut saja, dan atribut dinamis yang berubah-ubah sesuai kondisi lingkungan dan interaksinya. Untuk perilaku, diperlukan teori khusus saat agen mendapati situasi spesifik, untuk dapat memodelkan perilaku agen dengan tepat. Teori perilaku tersebut dapat menggunakan model normatif, dapat juga menggunakan model berdasarkan perilaku yang telah ada datanya. Bagi model yang menggunakan perilaku adaptif berdasarkan pembelajaran, maka teori pembelajaran pada agen individual maupun secara kolektif menjadi penting.

Elemen kedua dalam pemodelan ini yaitu mengenai regulasi interaksi dan hubungan antar agen. Elemen kedua merupakan fokus berikutnya, yang mana dalam elemen ini ditentukan bentuk komunikasi antar agen, dalam dua bahasan utama yaitu menentukan batasan interaksinya dan juga mekanisme dinamika interaksinya. Elemen kedua ini berpengaruh baik dalam intensitas komunikasi antar agen, maupun pada informasi yang dapat diterimanya.

Dalam hal batasan interaksi, setiap agen ditentukan hanya dapat menerima informasi lokal. Informasi yang ada didapatkan dari agen-agen sekitar agen tersebut dalam radius jarak yang telah ditentukan, untuk membentuk batasan area lingkungan yang dapat saling menghubungkan. Informasi tidak dapat disebarkan kepada seluruh agen sekaligus, sehingga tidak ada rekayasa kondisi agen secara masif pada saat jalannya simulasi model, sebagai batasan yang mempertahankan kondisi dunia nyata. Agen yang saling berinteraksi akan cenderung berganti terus-menerus seiring jalannya simulasi tersebut.

Dalam hal mekanisme dinamika interaksi, pengaturan ini merupakan ranah topologi model. Topologi model sendiri merupakan pendefinisian objek-objek yang terhubung untuk mentransfer informasi, serta bentuk hubungannya. Topologi model yang umum digunakan dalam pemodelan berbasis agen contohnya terdapat pada mekanisme Selular Automata (*CA / Cellular Automata*), yang berdasarkan jaringan kotak spasial. Topologi lainnya dapat berupa hubungan atributik, dengan ketentuan seperti misalnya pada jaringan sosial yang sama, maupun pada status sosial yang setara, contohnya pada hubungan keluarga dan hubungan pertemanan. Topologi lainnya yang juga dapat digunakan dalam metode pemodelan ini yaitu seperti hubungan spasial berdasarkan data geografis (*GIS / Geographical Information System*), hubungan dengan jaringan tetap, maupun hubungan aspasial berdasarkan keacakan pemilihan. Contoh ilustrasi untuk beragam bentuk topologi disediakan pada halaman berikutnya.

Elemen ketiga dalam metode ini yaitu lingkungan agen. Elemen ini menjadi penyedia informasi keberadaan agen, dan juga dapat menjadi regulator bagi agen, contohnya pada model jalan tol yang mana agen mengetahui lokasinya dan batasan kecepatannya. Lokasi spasial agen digunakan sebagai atribut dinamis, yang dapat menentukan pengambilan keputusan saat agen menghadapi situasi.



Gambar 2.4 Topologi interaksi agen

(sumber: Macal & North, 2010)

Dengan lengkapnya ketiga elemen dalam pemodelan berbasis agen ini, yaitu agen sebagai entitas otonom aktif, bentuk interaksi antar agen, serta lingkungannya dan juga bentuk interaksinya dengan agen, maka model sudah dapat dibangun dengan lancar. Adapun untuk proses pembuatan model, terdapat tiga hal yang perlu dibahas lebih lanjut, yaitu mengenai pembangunan desain model, bentuk implementasi model, dan penggunaan layanan-layanan data untuk memperlancar implementasi model berskala besar. Pembahasan ketiga hal ini menjadi dasar untuk pembuatan awal model dengan skala kecil, hingga ke pengembangan model untuk keperluan pengambilan keputusan korporasi yang berskala besar, memberikan langkah-langkah jelas bagi peneliti lainnya.

Secara umum, proses pembangunan desain model dalam metode berbasis agen ini sama dengan proses yang dilakukan pada metode lainnya. Bagian yang membedakan dalam proses ini yaitu pada detail data yang diperlukan bagi metode ini. Secara spesifik, proses pembangunan desainnya yaitu sebagai berikut.

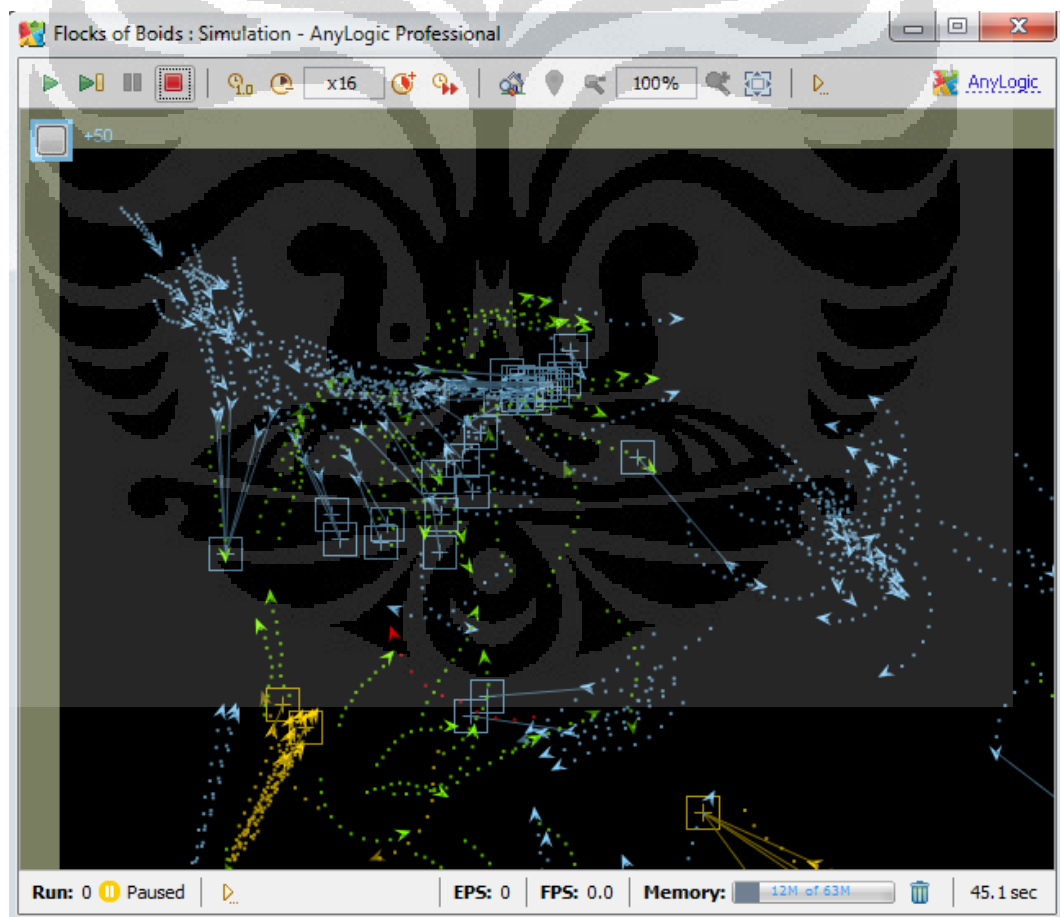
1. Penentuan masalah dan pertanyaan spesifik yang harus terjawab oleh model, penentuan tujuan pembuatan model.
2. Pendefinisian agen dalam model, penentuan perilakunya dan atributnya, pembagian atribut statis dan dinamis.
3. Penentuan lingkungan agen dan kebutuhan kebebasan pergerakan.
4. Penentuan perilaku yang ingin dipelajari pada agen, regulasi penentuan keputusannya, aktivitas yang dikerjakan oleh setiap agen.
5. Pendefinisian bentuk interaksi antar agen dan dengan lingkungannya.
6. Penentuan kemunculan data keluaran dari model.
7. Penentuan verifikasi dan validasi model, untuk aktivitas model secara umum dan perilaku agen secara khusus.

Untuk pembuatan model, cara paling efektif dan praktis adalah dengan menggunakan pendekatan bawah-ke-atas (*bottom-up*) dan sangat iteratif. Untuk pengembangan model sendiri disarankan bahwa pembuatan desain model menjadi independen terhadap pembuatan implementasi model, agar bentuk implementasi model tetap fleksibel pada dasar peranti lunak komputer apapun. Dan, diperlukan komunikasi model yang baik, pemahaman yang sama mengenai asumsi desain dan elemen detailnya, untuk memastikan pengertian model yang setara serta mampu diaplikasikan dengan tepat oleh pihak lainnya yang berkepentingan.

Untuk bentuk implementasi model, pemodelan berbasis agen ini memungkinkan penggunaan beragam jenis peranti lunak, sesuai dengan kebutuhan modelnya. Secara sederhana, pemodelan berbasis agen ini dapat menggunakan peranti lunak maupun bahasa pemrograman umum, maupun peranti lunak spesifik yang mampu menyediakan kebutuhan khusus model. Contoh bahasa pemrograman dan peranti lunak umum yaitu dengan *Microsoft Excel* dan program *macro* berbasis bahasa *VBA*, *MATLAB* untuk program komputasi umum, serta bahasa program *Java* dan juga *C++*. Untuk peranti dengan spesialisasi tertentu, misalkan yaitu program *STARLOGO*, *Repast Symphony* dan *AnyLogic*.

Untuk penggunaan layanan-layanan data, umumnya peneliti dan tim pengembangan model membutuhkan layanan-layanan pada bagian tertentu untuk dapat mengimplementasikan modelnya dalam skala besar maupun pada intensitas penggunaan tertentu. Contohnya adalah pada saat model menggunakan data nyata, maupun data langsung pada saat itu juga (*real-time*), dan data geospasial seperti saat mengimplementasikan GIS dalam model. Bentuk-bentuk layanan yang umumnya digunakan misalnya layanan pada spesifikasi proyek dan agen, kemudian spesifikasi dan penyimpanan data, dan juga distribusi akhir model.

Gambar dibawah ini menunjukkan ilustrasi mengenai implementasi model berbasis agen dengan menggunakan peranti lunak AnyLogic, yang mampu didistribusikan dengan basis Java, terlepas dari peranti lunak awalnya, dan menggunakan bahasa program HTML yang lumrah pada situs web di dunia.



Gambar 2.5 Contoh implementasi model dengan AnyLogic

(sumber: XJ Technologies 2010)

2.1.3 Aplikasi Pemodelan Berbasis Agen

Pemodelan berbasis agen merupakan metode pemodelan yang memiliki dasar beragam serta dapat diaplikasikan pada beragam bidang studi. Sebagai bentuk implementasi keingintahuan manusia pada sistem kompleks nonlinear, pemodelan berbasis agen menggunakan pendekatan dari segi entitasnya, dalam bentuk agen, untuk mendapatkan heterogenitas dan analisis dampak perilaku individu terhadap perilaku kolektif. Sistem kompleks nonlinear tersebut tersebar pada berbagai bidang studi, mulai dari bidang ilmu alam seperti biologi dan ekologi, hingga ilmu sosial seperti ekonomi, sosiologi, dan lainnya. Sehingga implementasi pemodelan berbasis agen pun tersebar pada bidang-bidang tersebut.

Pada bidang biologi, aplikasi pemodelan misalnya pada interaksi dan perilaku sel, sistem kerja imunitas, serta proses penyebaran epidemi. Aplikasi model ini umumnya berbasis logika selular automata, dan modelnya digunakan sebagai eksperimen elektronik untuk meminimalkan eksperimen dunia nyata. Dalam bidang ini, interaksi antar sel dan perpindahan substansi molekuler dapat dimodelkan dengan tepat oleh metode berbasis agen ini.

Dalam bidang ekologi, metode ini digunakan untuk memodelkan populasi individu yang beragam dan interaksinya, contohnya pada hubungan pemangsa dan yang dimangsa. Logika setiap agen, perilaku, dan interaksi agen dengan lingkungannya dimodelkan dengan jelas pada metode ini.

Untuk bidang sosial, yaitu ekonomi, sosiologi, antropologi, dan lainnya, implementasi pemodelan berbasis agen contohnya yaitu pada eksperimen fenomena sosial pada masyarakat serta studi mikroekonomi. Kemunculan kerjasama sosial, adanya kudeta, hingga hubungan antar tetangga menjadi contoh-contoh fenomena sosial yang dipelajari. Sedangkan analisis pasar baru, perilaku pembelian masyarakat, dan dinamika pasar menjadi studi yang dipelajari untuk mikroekonomi. Fokus model pada interaksi antar agen dan perubahan kondisinya.

Pemodelan berbasis agen menjadi semakin berkembang pada saat ini dengan adanya beberapa faktor, seperti berkembangnya peranti lunak dan komputer untuk metode ini, semakin banyaknya aplikasi, dan pengakuan keunggulan metode ini dalam memodelkan interaksi dan perilaku.

2.2 Transportasi Massal Urban Berbasis Rel

Transportasi massal urban merupakan sebuah sistem keterhubungan lokasi yang mampu memindahkan manusia sebagai penumpang dalam jumlah besar pada saat yang sama, dalam area kota dan daerah penyangganya. Bentuk transportasi ini muncul sebagai jawaban atas semakin tingginya tingkat kemacetan pada jalan-jalan di area kota, ditambah dengan pertumbuhan ekonomi wilayah kota dan peningkatan jumlah penduduk yang melaksanakan aktivitas tersebut. Transportasi massal urban bertujuan untuk menurunkan tingkat kemacetan tersebut, dan di saat yang sama meningkatkan jumlah penumpang yang mampu dipindahkan dalam sistem tersebut.

Transportasi massal urban pada umumnya terdiri atas dua jenis moda transportasi, yaitu dengan bus, dan dengan kereta. Dengan penekanan transportasi massal pada pemindahan orang dengan jumlah besar pada suatu waktu, maka diperlukan moda transportasi yang berkapasitas besar serta relatif cepat dan juga efisien. Bus dan kereta menjadi dua moda yang memenuhi seluruh hal tersebut. Operasional transportasi massal ini juga diarahkan untuk umum, dengan rute yang sudah dipastikan serta tempat singgah yang telah ditentukan.

Sebagaimana kota-kota besar lainnya di dunia, Jakarta juga memiliki masalah yang besar dan kompleks untuk transportasi. Tingkat kemacetan di Jakarta pada pagi hingga malam sudah sangat tinggi, kepadatan penduduk di Jakarta serta daerah penyangganya juga sangat tinggi, investasi pada infrastruktur maupun transportasi massal yang minim, serta ditambah lagi dengan pertumbuhan ekonomi yang terus berjalan lancar, menyebabkan persoalan kemacetan di Jakarta menjadi sangat parah. Dengan demikian, Jakarta membutuhkan solusi yang tepat untuk menyelesaikan masalah transportasi yang sangat parah ini.

Dalam bagian ini akan dijelaskan mengenai bentuk implementasi transportasi massal yang telah ada di dunia selama ini, kemudian dilanjutkan dengan penjelasan mengenai sistem transportasi yang telah dan yang akan ada di Jakarta, dan kemudian akan masuk kepada penjelasan mengenai sistem transportasi massal urban berbasis rel di Jakarta, yaitu mengenai kereta transit massal cepat (*MRT / Mass Rapid Transit*) yang menjadi bahan studi ini.

2.2.1 Implementasi Transportasi Massal Urban

Awal mula transportasi massal di dunia berasal dari pelayanan untuk umum pada wilayah urban. Dimulai dengan keberadaan Omnibus yang ditarik oleh kuda pada tahun 1828 di Perancis, transportasi massal tersebut bertujuan untuk melayani permintaan perjalanan oleh penumpang pada jalan-jalan sibuk berkondisi cukup buruk, sekaligus untuk memberikan benefit bagi wirausahawan yang menyediakan pelayanan tersebut. Keberadaan jumlah penumpang yang tinggi serta armada transportasi yang memadai membuat usaha transportasi massal ini mampu dimulai dari wilayah urban.

Moda transportasi massal yang digunakan terus diperbaharui seiring peningkatan jumlah penumpang serta kemunculan teknologi baru. Dengan Omnibus sebagai permulaan, moda transportasi berevolusi menjadi munculnya bus bermesin pembakaran dalam serta kereta bermesin uap, hingga menjadi kereta berpenggerak listrik. Sedangkan infrastruktur transportasi massal pun bertransformasi dari hanya menggunakan jalan raya yang telah ada, menjadi rel besi yang ditanam di jalan, kemudian menjadi rel konstruksi layang dan akhirnya menjadi rel konstruksi bawah tanah maupun sistem terowongan bawah tanah.

Sebagai bentuk terbaru pada evolusi moda transportasi massal di dunia, kereta listrik memiliki serangkaian keunggulan yang mendukung operasionalnya pada wilayah perkotaan. Kapasitas setiap gerbong kereta yang besar menjadi keunggulan utama moda ini, untuk melayani jumlah penumpang yang sangat besar terutama pada jam-jam sibuk. Kemudian dari segi energinya, penggunaan energi listrik menciptakan efisiensi pada biaya operasional serta menimbulkan dampak polusi lingkungan yang minim, yang mampu mendukung dalam mempertahankan kualitas hidup warga kota. Kecepatan pelayanan serta kenyamanan pengoperasian menjadi faktor terakhir yang mampu tetap mempertahankan ketertarikan masyarakat untuk menggunakan moda ini.

Keunggulan-keunggulan tersebut diatas didukung dengan pengembangan infrastruktur yang mengarah pada konstruksi bawah tanah maupun layang. Hal ini untuk memastikan tingkat pelayanan, serta meminimalkan gangguan pada sistem. Sehingga saat ini untuk transportasi massal urban, secara umum terwakili dengan moda kereta listrik bawah tanah atau layang.

Di dunia pada saat ini terdapat ratusan sistem kereta listrik sebagai sistem transportasi massal perkotaan. Sistem ini pertama kali dioperasikan di Inggris pada tahun 1863, dengan menggunakan kereta uap dan berkonstruksi bawah tanah., sehingga dinamakan *London Underground*. Kemudian sistem ini diadaptasikan oleh negara-negara lain, seperti Hungaria, Amerika Serikat, Jerman, Jepang, dan lainnya. Saat ini, sistem kereta bawah tanah di New York tercatat sebagai yang terpanjang, dan sistem di Tokyo sebagai yang tersibuk.

Kereta listrik bawah tanah maupun layang ini umumnya merupakan bagian dari sebuah sistem transportasi urban yang lebih komprehensif. Kereta listrik cepat sendiri (*urban rapid transit*) merupakan salah satu pembagian dari tiga jenis layanan kereta lainnya, yaitu kereta komuter (*commuter rail*) dan kereta ringan (*light rail*). Kereta komuter merupakan sistem kereta yang menghubungkan area pusat kota dengan kota-kota satelit di sekitarnya, sehingga memiliki stasiun perhentian relatif sedikit dan berjarak lebih jauh, serta berkecepatan relatif lebih tinggi, berfungsi untuk melayani penumpang yang umumnya adalah pekerja-pekerja dalam kota yang bertempat tinggal di kota penyangga tersebut. Sedangkan kereta ringan merupakan kereta yang beroperasi pada pusat kota, berkapasitas lebih kecil dengan pergerakan relatif sama cepatnya dengan kereta listrik cepat, berfungsi untuk mengantarkan penumpang menuju pada tujuan-tujuan berdekatan di dalam pusat kota, seperti pada pusat-pusat bisnis dalam kota. Kereta listrik cepat disini terposisikan sebagai tulang punggung transportasi wilayah kota besar, berkemampuan besar serta berkecepatan relatif tinggi.

Selain sistem kereta beragam jenis, terdapat juga moda lainnya yang mendukung sistemkereta listrik cepat, dengan fungsi-fungsi lebih spesifik. Moda lainnya tersebut yaitu bus, tram, serta taksi. Sistem transportasi berbasis bus terdiri dari beberapa jenis, diantaranya yaitu bus reguler dalam kota, bus reguler antarkota jarak dekat, dan bus khusus antarkota jarak jauh. Bus reguler dalam kota hanya melayani dalam area kota, mengutamakan kapasitas berdiri dan bergerak pada kecepatan relatif rendah akibat penggunaan jalan kota yang padat. Bus reguler antarkota jarak dekat menjadi pengisi untuk jalur komuter, bergerak pada kecepatan tingkat sedang. Bus antarkota jarak jauh menjadi penyedia layanan untuk keluar kota, seperti menuju kota di provinsi lain.

Sedangkan sistem tram mirip dengan sistem bus maupun kereta, yaitu terdiri dari tram dalam kota serta tram komuter. Tram merupakan kereta-kereta khusus yang umumnya berjalan pada rel yang ditempatkan di jalan biasa. Kapasitas tram cenderung kecil dan pergerakannya terbatas terkait dengan posisinya yang berada di jalan biasa. Untuk sistem taksi, merupakan transportasi umum bersifat personal, dan lebih merupakan sistem penyangga yang berfungsi khusus. Pada beberapa negara, kendaraan dengan layanan serupa taksi dapat menjadi yaitu motor beroda dua maupun kendaraan beroda tiga.

Pada negara-negara berkembang, terdapat sistem bus khusus yang berjalan seperti sistem kereta listrik cepat. Sistem bus khusus yang dinamakan bus transit cepat (*BRT / Bus Rapid Transit*) ini menjadi alternatif dalam pengembangan sistem transportasi massal cepat yang berbiaya murah serta mampu selesai dalam waktu cepat. Bus transit cepat ini dapat teregulasikan baik pada jalan-jalan biasa hingga menjadi disediakan jalur khusus. Beberapa contoh negara yang telah mengadaptasikan ini yaitu Brazil, Kolombia, Indonesia, hingga Cina dan Amerika Serikat, dengan berbagai jenis bus serta infrastruktur halte dan juga jembatannya.

Hal penting yang menjadi fokus masyarakat pengguna sistem transportasi massal terdiri dari poin-poin yaitu (1) ketepatan waktu, (2) kapasitas dan kenyamanan perjalanan, serta (3) fasilitas stasiun-stasiun pemberhentian. Perihal ketepatan waktu menjadi faktor utama, mengingat bahwa pengguna utama sistem kereta cepat urban ini adalah pekerja-pekerja yang melakukan perjalanan pada pagi serta sore hari. Ketepatan waktu juga menjadi perhatian utama operator sistem dalam tetap mengoptimalkan kapasitas keretanya, menunjukkan reabilitas sistem kereta ini untuk kemudian mampu menarik semakin banyak penumpang. Waktu juga menjadi poin keunggulan sistem ini bila dibandingkan dengan sistem transportasi masal lainnya.

Sedangkan perihal kapasitas dan kenyamanan perjalanan, hal ini terkait dengan jumlah penumpang maksimal yang mampu ditampung kereta, informasi langsung dalam kereta, dan performa kereta saat bergerak. Tingkat kepadatan serta performa tertentu menjadi target yang harus dipenuhi operator kereta, agar mampu menghasilkan pendapatan tinggi tanpa perlu membahayakan keselamatan penumpang. Informasi dalam kereta mempermudah perpindahan penumpang.

Faktor terakhir yaitu fasilitas stasiun, terkait erat dengan penciptaan permintaan penumpang secara mendasar, selain dengan faktor ketertarikan dari segi performa sistem. Lokasi stasiun menjadi faktor terpenting, yang mana jarak lokasi stasiun dengan wilayah komersial maupun residensial di sekitarnya akan berdampak pada besarnya keinginan masyarakat untuk menggunakan pelayanan tersebut. Keterkaitan antar lokasi dalam bentuk jalur layanan juga menentukan besar permintaan dari penumpang, untuk menentukan faktor kemudahan transportasi bagi penumpang. Kecepatan proses layanan dalam stasiun maupun ketersediaan informasi dan layanan dasar manusia menjadi faktor terakhir yang mampu mempengaruhi jumlah penumpangnya.

Dalam implementasinya di dunia, terkait dengan tingginya dana investasi serta strategisnya proyek sistem transportasi massal ini, maka operasional sistem tersebut dapat berupa penguasaan swasta sepenuhnya, pembentukan kerjasama swasta – pemerintah, hingga sepenuhnya dijalankan oleh pemerintah. Lebih spesifik lagi pada harga tiket, terdapat beberapa keadaan dimana dalam harga jual tersebut terdapat faktor subsidi oleh pemerintah. Dalam hal ini, tingkat strategis proyek serta proyeksi kontribusinya bagi rakyat membuat proyek sistem transportasi tetap dilaksanakan dengan memanfaatkan alternatif pembiayaan, serta menerapkan skema subsidi untuk tahun-tahun pertama operasionalnya.

Berikut ini merupakan contoh-contoh implementasi transportasi massal urban di dunia, dengan beragam sistem transportasinya.

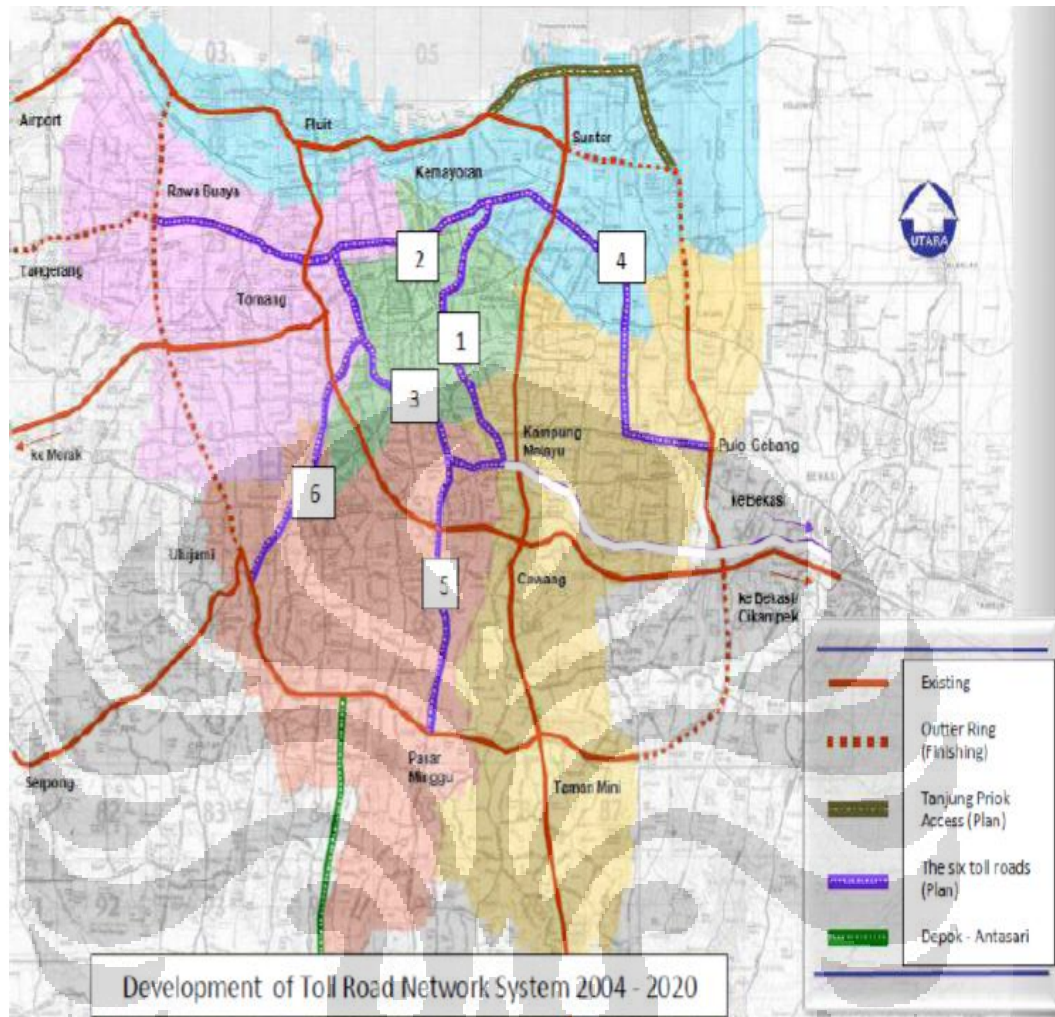
1. *Mass Rapid Transit* (MRT), Singapura. Sejak tahun 1987, melayani 89 stasiun dengan jarak sistem total 146,5 km. Terintegrasi dengan sistem bus dalam kota, *Light Rail Transit* (LRT), dan taksi dalam kota.
2. *Metro* dan *Municipal Subway* di Jepang. Paling awal pada tahun 1925 di Tokyo, dengan struktur saat ini mencapai ratusan stasiun dan ribuan KM. Terintegrasi dengan sistem bus dalam kota dan kereta komuter.
3. *Transmilenio* di Bogota, Kolombia. Sejak tahun 2000, melayani 9 koridor dengan jarak total rute mencapai 90 KM.
4. *Bus Rapid Transit* (BRT) di Cina. Paling awal pada tahun 1999 di Kunming, melayani ratusan stasiun dan ribuan KM untuk jarak tempuh.

2.2.2 Sistem Transportasi Jakarta

Sebagai ibukota Indonesia, Jakarta menjadi pusat seluruh implementasi teknologi baru, tak terkecuali untuk transportasi. Peningkatan penduduk, pertumbuhan ekonomi, serta pemusatan aktivitas negara menjadi latar belakang yang mendukung pesatnya akselerasi perkembangan transportasi di Jakarta. Perubahan kebutuhan transportasi terus memaksa pemerintah, baik pusat maupun lokal Jakarta, untuk terus mengimplementasikan kebijakan-kebijakan baru, yang utamanya melibatkan teknologi-teknologi yang juga baru.

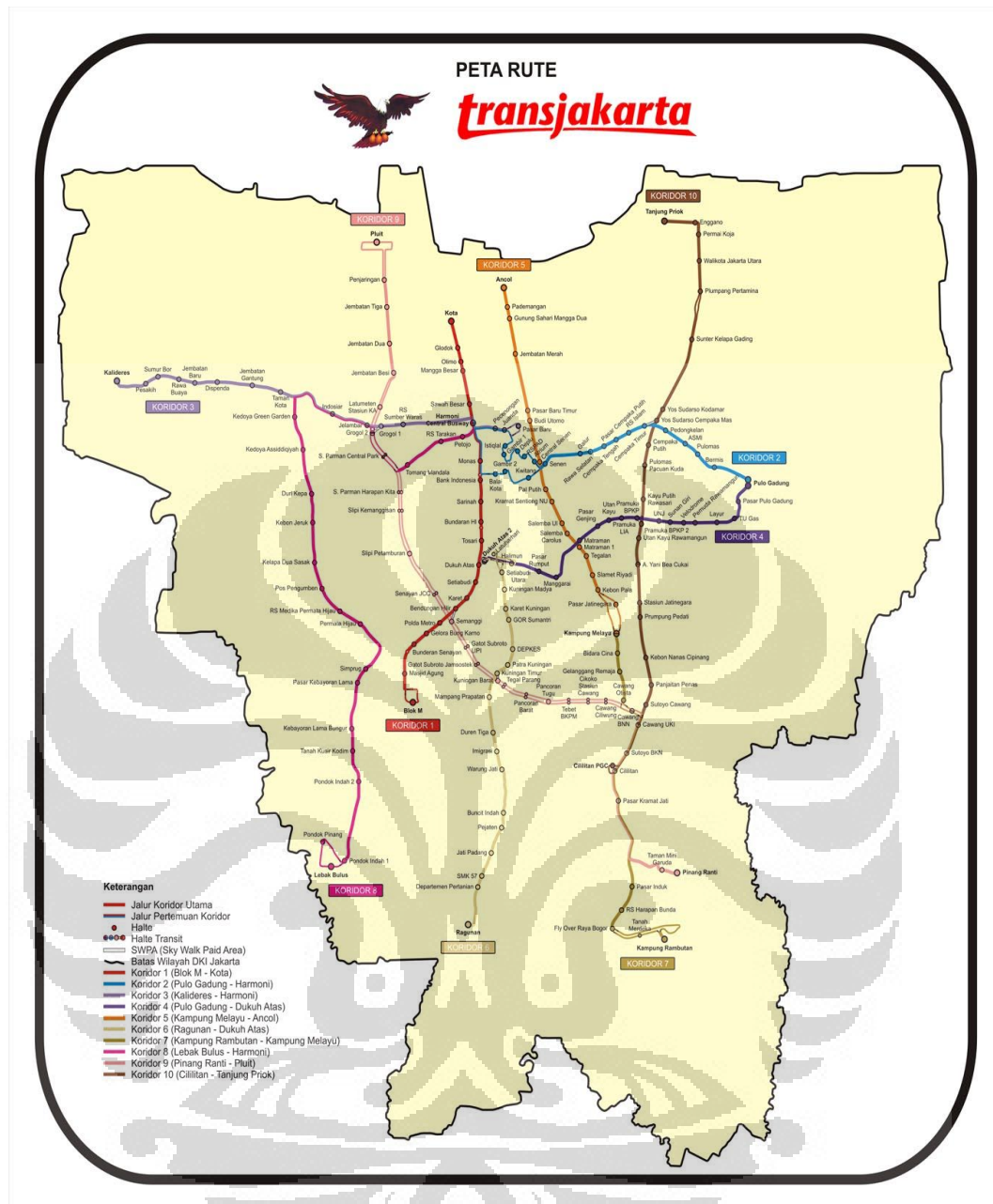
Dalam sistem transportasi Jakarta, terdapat beberapa klasifikasi berdasarkan moda transportasinya, yaitu kendaraan pribadi berupa mobil dan motor, kendaraan komersial usaha berupa mobil dan truk serta bus wisata, kendaraan umum resmi yaitu bus reguler dan angkutan kota serta taksi, angkutan umum nonformal yaitu bajaj dan ojek motor, hingga transportasi massal khusus yaitu kereta listrik dan bus transjakarta. Perkembangan setiap klasifikasi moda transportasi menggunakan teknologi masing-masing dan seringkali merupakan implementasi kebijakan baru pada masanya.

Dari seluruh moda transportasi tersebut, sebagian besar menggunakan infrastruktur yang sama, yaitu jalan raya. Sehingga hingga saat ini, pemerintah provinsi DKI Jakarta mengutamakan pembangunan jalan raya untuk mengimbangi pertumbuhan seluruh moda tersebut, terutama pertumbuhan kendaraan pribadi yang sangat pesat. Program pembangunan jalan raya ini terbagi menjadi jalan raya non tol, akses jalan pintas berupa terowongan (*underpass*) dan jembatan layang (*flyover*), hingga jalan tol. Jalan raya non tol dibangun untuk membuka akses baru pada daerah tertentu, maupun perluasan jalan yang telah ada, contohnya pada program Jalan Layang Non Tol yang menghubungkan wilayah Tanah Abang hingga Kampung Melayu. Sedangkan jalan pintas merupakan program untuk mengalihkan kepadatan arus pada suatu persimpangan, contohnya jembatan layang pada Jalan Gatot Subroto maupun terowongan pada Jalan Arteri Permata Hijau. Kemudian jalan tol merupakan jalan berbayar bebas hambatan, sebagai bentuk akses baru yang eksklusif bagi pengguna kendaraan beroda empat, misalkan pada proyek Jalan Tol LingkarLuar Jakarta (JORR / Jakarta Outer Ring Road) serta Jalan Tol Dalam Kota Jakarta.



Gambar 2.6 Jaringan jalan tol Jakarta
(sumber: Pola Transportasi Makro DKI Jakarta 2007)

Gambar diatas menunjukkan peta jaringan jalan tol di wilayah DKI Jakarta, mencakup jalan tol yang sudah ada, serta jalan tol yang sedang dibangun dan rencana jalan tol yang akan dibangun. Pada daerah pusat Jakarta terdapat rencana pembangunan 6 ruas jalan tol, sesuai yang tertera pada rencana Pola Transportasi Makro DKI Jakarta tahun 2007. Pada pembangunan jalan tol dalam kota, digunakan teknologi konstruksi terbaru yang mampu memenuhi persyaratan beban kerja jalan tol serta mudah dibangun dan tidak memakan area besar saat pembangunannya. Contohnya adalah teknologi Sosrobahu yang diimplementasikan pada jalur jalan tol Ir. Sedyatmo dalam ruas tol dalam kota.



Gambar 2.7 Peta rute Transjakarta

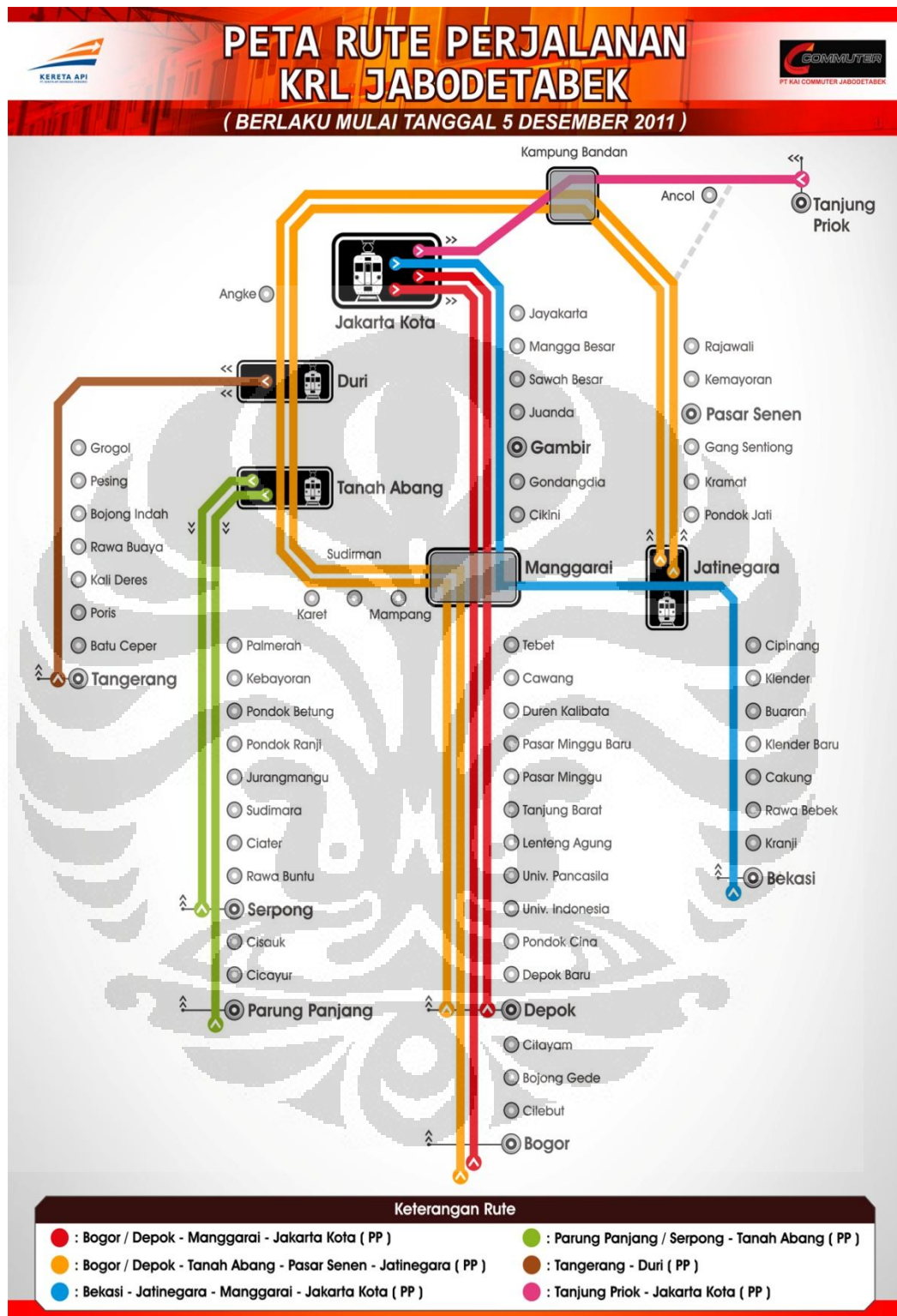
(sumber: Transjakarta 2011)

Terlalu pesatnya perkembangan kendaraan pribadi di Jakarta, membuat pemerintah melakukan peninjauan akan adanya solusi untuk moda transportasi massal yang cocok dengan kondisi Jakarta. Sehingga, digagaslah sistem transportasi berbasis bus khusus yaitu Transjakarta, dengan rute aktif seperti yang terlihat pada gambar diatas. Bus Transjakarta menjadi awal mula sistem transportasi massal di Jakarta, melayani rute khusus dengan bus frekuensi tinggi.

Sebagai salah satu sistem transportasi massal serta moda transportasi yang penting di Jakarta, Transjakarta terhubung dengan beragam sistem transportasi lainnya. Keterhubungan tersebut terutama untuk menciptakan kondisi transportasi intermoda, mendukung terciptanya keadaan yang mendukung perjalanan masyarakat menggunakan kendaraan umum saja, bukan kendaraan pribadi. Salah satunya yaitu sistem Bus Pengumpan (*feeder*) yang melayani dari luar wilayah Jakarta, seperti daerah Bogor, Tangerang, dan Bekasi. Sistem bus pengumpan ini dijalankan oleh pihak swasta seperti pihak pengembang perumahan di luar Jakarta, serta pihak pemerintah seperti pihak pemerintah daerah sekitar Jakarta. Sistem lainnya, yang lebih terjadwal dan berkapasitas tinggi, yaitu sistem kereta listrik komuter (KRL Commuter Line Jakarta) yang melayani daerah Bogor, Tangerang, serta Bekasi untuk menuju Jakarta, serta jalur lingkaran dalam wilayah Jakarta.

Sistem bus reguler serta angkutan kota sendiri telah berjalan di Jakarta selama bertahun-tahun dengan menggunakan regulasi yang ditentukan pemerintah provinsi DKI Jakarta. Tercatat adanya ratusan trayek atau jalur yang dilayani oleh sistem angkutan ini, tersebar mulai dari jalur dalam kota hingga jalur antar kota untuk melayani masyarakat komuter. Sistem ini dijalankan oleh pihak swasta serta melibatkan banyak pekerja baik secara formal maupun informal. Namun demikian, lemahnya kontrol serta tidak adanya penerapan standar kualitas membuat kondisi sistem ini semakin memburuk dan tidak dapat diandalkan.

Sehingga sampai saat ini, sistem transportasi Jakarta masih tetap bertumpu pada pertumbuhan kendaraan pribadi, baik mobil maupun motor, dengan menggunakan kapasitas jalan yang sudah ada. Sistem transportasi umum yang dapat diandalkan masih sebatas bus Transjakarta serta sistem bus pengumpannya, dan juga sistem kereta listrik Jabodetabek. Ketiga sistem ini tetap belum dapat menyediakan kapasitas serta standar kualitas yang mampu menarik pengguna kendaraan pribadi untuk berpindah menjadi menggunakan kendaraan umum. Diperlukan sistem baru yang mampu menyediakan standar kualitas yang tinggi, serta tetap berkapasitas besar dan dapat diandalkan, untuk dapat menarik pengguna kendaraan pribadi sepenuhnya berpindah menjadi pengguna kendaraan umum. Sistem tersebut menjadi tonggak untuk penerapan sistem transportasi massal di Jakarta yang komprehensif.



Gambar 2.8 Peta rute KRL Jabodetabek

(sumber: KRL Jabodetabek 2011)

2.2.3 Transportasi Massal Urban Berbasis Rel di Jakarta

Untuk menjawab kebutuhan akan sistem transportasi massal yang dapat diandalkan, berkapasitas besar, serta berstandar tinggi, maka diadakan studi-studi transportasi di wilayah DKI Jakarta. Seluruh studi telah dilaksanakan sejak tahun 1980an, berkoordinasi dengan berbagai pihak dan menghasilkan berbagai usulan maupun rencana. Studi-studi tersebut yaitu seperti misalnya studi ITSI tahun 1990, studi *Consolidated Network Plan* tahun 1993, hingga studi SITRAMP (*Study on Integrated Transportation Master Plan*) tahun 2003. Seluruh studi dilaksanakan oleh pemerintah provinsi DKI Jakarta.

Salah satu hasil studi yang menjadi jawaban untuk kebutuhan transportasi, perpindahan pengguna kendaraan pribadi, serta penyediaan transportasi terintegrasi, adalah mengenai implementasi transportasi massal urban berbasis rel. Secara spesifik dalam hal ini yaitu kereta listrik transit cepat (*MRT / Mass Rapid Transit*) dengan jalur baru yang dibangun terpisah dari jalur kereta listrik saat ini. Kereta rel listrik yang telah ada saat ini tidak memenuhi syarat sebagai sistem transportasi massal urban berbasis rel, lebih karena fungsi KRL yang berbeda dengan falsafah transportasi massal urban, yaitu fungsinya yang lebih kepada sebagai kereta komuter daerah penyangga ke daerah Jakarta. Pemisahan fungsi ini diperlukan untuk memastikan kelancaran perjalanan kedua sistem, serta pengkhususan sistem MRT ini pada transportasi massal urban yang sesungguhnya, terjadwal dan berkapasitas tinggi.

Persiapan matang dilakukan untuk mendukung perwujudan sistem MRT Jakarta ini serta kelancaran operasionalnya. Pada awalnya pemerintah bermaksud untuk mewujudkan sistem ini melalui inisiatif swasta, untuk aspek pembiayaan hingga operasionalnya. Namun dengan adanya krisis ekonomi tahun 1997, maka kebijakan tersebut dibatalkan. Implementasi MRT Jakarta dengan keseluruhan keperluan investasi yang besar untuk sarana dan prasarana, ditambahkan dengan kesulitan konstruksional dan keperluan akan teknologi terbaru dalam pembangunannya, serta kebutuhan tingkat operasional yang tinggi, membuat proyek MRT Jakarta menjadi sebuah proyek yang teramat besar dan serius, serta memerlukan kerjasama banyak pihak untuk mendorong keberlanjutannya. Pemerintah provinsi DKI Jakarta belum sanggup untuk mewujudkannya sepihak.

Mulai tahun 2002, pemerintah provinsi DKI Jakarta mengangkat kembali rencana implementasi MRT ini, dan pada tahun 2006 akhirnya mengadakan perjanjian dengan JICA (*Japan International Cooperation Agency*) dalam hal pembiayaan serta pengadaan logistik MRT Jakarta. Seluruh persiapan regulasi dan poin-poin kerjasama terus berlangsung sejak saat itu. Puncaknya pada 17 Juni 2008, dengan berdasarkan pada Perda DKI Jakarta No. 3 Tahun 2008, dibentuk BUMD (Badan Usaha Milik Daerah) untuk proyek ini, yaitu PT MRT Jakarta. Penyertaan modal investasi dari pemerintah provinsi DKI Jakarta juga diatur pada waktu yang sama, dengan diterbitnya Perda DKI Jakarta No. 4 Tahun 2008.

Pembentukan PT MRT Jakarta ini diikuti dengan pembentukan dewan komisaris, dewan direksi, serta pengisian struktur manajerial perusahaan. Aktivitas perusahaan ini secara spesifik adalah menjadi badan koordinator untuk implementasi sistem MRT Jakarta, mencakup segi konstruksi dan desain, segi operasional, serta segi perawatan sistem, agar mendukung kredibilitas sistem ini. Untuk menciptakan serta mempertahankan standar sistem ini, studi perbandingan dilakukan pada sistem MRT di Singapura, Jepang, dan beberapa negara lainnya.

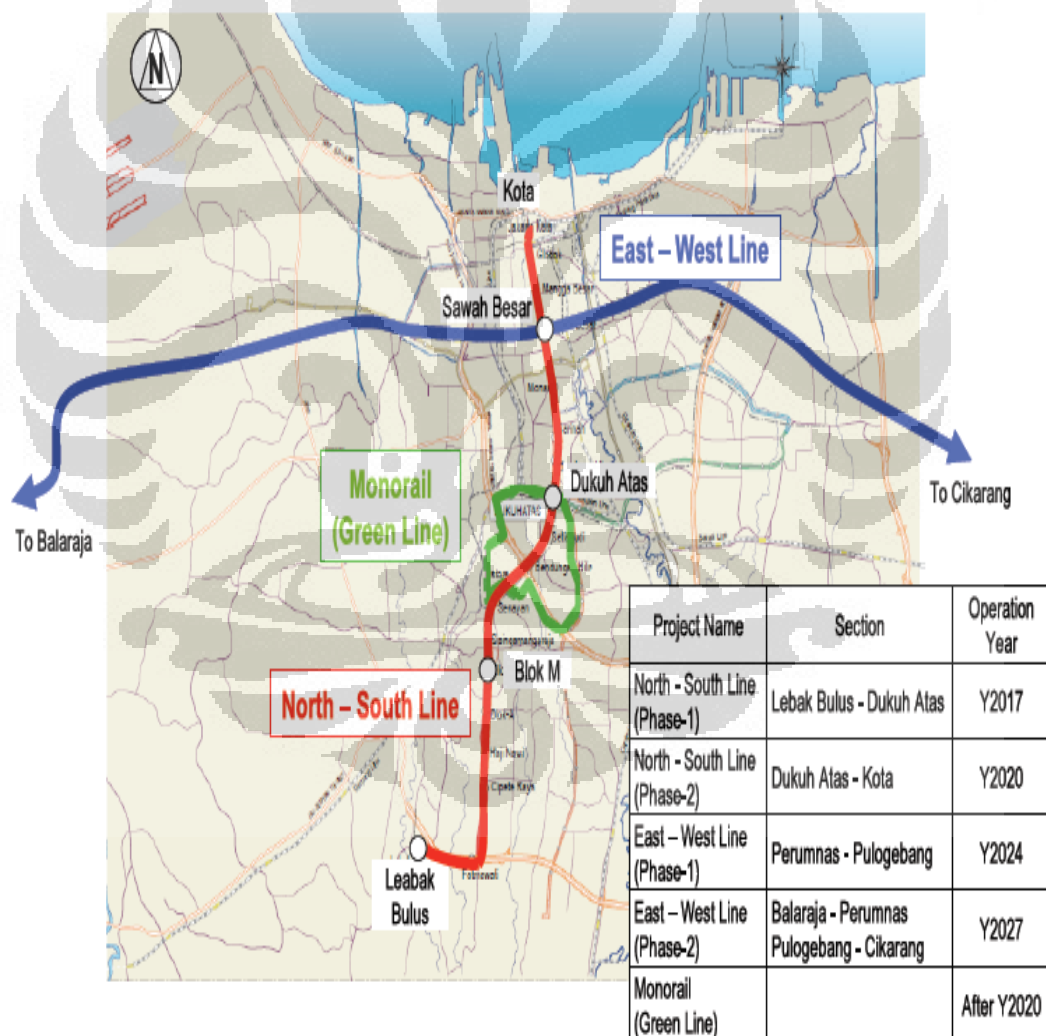
Proyek MRT Jakarta yang dikoordinasikan perusahaan ini mencakup aktivitas-aktivitas sebagai berikut :

- Desain & konstruksi infrastruktur, stasiun, dan depot.
- Pengadaan tender serta pembentukan kontrak kerjasama untuk penyediaan kereta dan gerbong serta seluruh suku cadang dan materialnya, serta fasilitas-fasilitas yang diperlukan dalam sistem.
- Pengadaan tender serta pembentukan kontrak kerjasama untuk kontraktor konstruksi, konsultan manajerial, konsultan operasional, dan pihak konsultansi lainnya yang diperlukan dalam aktivitas MRT Jakarta.
- Penyiapan lahan, mulai pengadaan, persiapan, dan pengerjaan lahan, serta pengaturan lalu lintas selama berlangsungnya konstruksi.
- Penciptaan tingkat penggunaan sistem MRT saat operasional, mencakup promosi, pembuatan sistem pengumpan dan sistem koneksi lingkungan sekitar stasiun, untuk dapat mendukung tingkat pendapatan perusahaan.
- Persiapan mulainya operasional MRT Jakarta, serta pengoperasionalan sistem MRT Jakarta, sebagai penyedia jasa transportasi darat berbasis rel.



Gambar 2.9 Logo PT MRT Jakarta

(sumber: MRT Jakarta 2010)



Gambar 2.10 Rute MRT Jakarta

(sumber: MRT Jakarta 2010)

Dengan memanfaatkan modal dari pemerintah, serta pinjaman lunak dari JICA, PT MRT Jakarta bertugas untuk mewujudkan proyek MRT Jakarta serta menjalankan operasional hariannya. Proyek ini terbagi menjadi tiga tahapan, yaitu koridor Utara – Selatan fase pertama (Lebak Bulus – Bundaran HI) yang akan beroperasi tahun 2016, koridor Utara – Selatan fase kedua (Bundaran HI – Kampung Bandan) pada tahun 2018, dan koridor Timur – Barat (Cikarang – Balaraja) pada tahun 2020. Persiapan desain & rencana proyek telah dilakukan sejak 2008, sedangkan pengerjaan konstruksi proyek akan mulai pada tahun 2012.

Pada fase pertama koridor Utara-Selatan, terdapat 13 stasiun yang akan dikerjakan, yaitu 7 stasiun layang dengan panjang koridor 9,2 km terdiri dari Lebak Bulus, Fatmawati, Cipete Raya, Haji Nawi, Blok A, Blok M, dan Sisingamangaraja, serta 6 stasiun bawah tanah berpanjang koridor 6 km yang terdiri dari Bundaran Senayan, Istora, Bendungan Hilir, Setiabudi, Dukuh Atas, dan Bundaran HI. Antara stasiun Sisingamangaraja dengan stasiun Bundaran Senayan akan terdapat perpindahan posisi rel dari konstruksi layang menjadi konstruksi bawah tanah. Depot untuk sistem terdapat di stasiun Lebak Bulus.

Secara finansial, kerjasama antara PT MRT Jakarta, pemerintah provinsi DKI Jakarta, pemerintah Republik Indonesia, serta pihak JICA menghasilkan proporsi pembagian pembiayaan proyek hingga persyaratan penerimaan dan skema pembayarannya. Proyek senilai 14,4 triliun Rupiah ini mendapatkan pembiayaan dari JICA sebesar 12 triliun Rupiah, dan sisanya ditanggung tunai oleh pemerintah pusat (42%) serta DKI Jakarta (58%). PT MRT Jakarta bertindak sebagai pengguna uang, yang digunakan untuk mengimplementasikan koridor Utara – Selatan fase pertama, serta pembuatan studi kelayakan untuk koridor Utara – Selatan fase kedua dan juga koridor Timur – Barat.

Secara teknis, untuk menjaga tingkat pelayanan MRT Jakarta, diimplementasikan standar-standar keamanan, kenyamanan, dan keselamatan penumpang serta operasional yang tinggi. Teknologi yang digunakan diantaranya yaitu sistem ATP (*Automatic Train Protection*) untuk menjaga jarak antar kereta, AFC (*Automatic Fare Collection*) dan TVM (*Ticket Vending Machine*) untuk memperlancar transaksi dan pemeriksaan tiket, dan lainnya. Operasi sistem MRT Jakarta juga terkontrol terpusat pada OCC (*Operation Control Center*).

Hal-hal lainnya yang turut mendukung tingkat pelayanan tersebut berada pada implementasi sarana-prasarana baik menggunakan teknologi tinggi maupun cenderung pasif namun penting. Penggunaan pintu akses kereta pada peron (PSD / *Platform Screen Door*) mencegah penumpang jatuh ke rel kereta serta memberikan kepastian keberadaan kereta saat berhenti. Desain stasiun yang anti banjir, pembagian area pada stasiun untuk penumpang dan pengunjung non-penumpang, penerapan desain kereta yang ergonomis serta anti kebakaran, serta penggunaan sistem perawatan yang berkualitas, membuat sistem MRT Jakarta ini menjadi sistem transportasi massal urban berbasis rel yang dapat diandalkan.

Standar keamanan, keselamatan, serta kenyamanan ini juga berlaku untuk seluruh masyarakat pengguna MRT, termasuk kalangan dengan keterbatasan fisik. Penyediaan elevator, area kursi roda pada kereta, serta jarak kereta dengan peron yang seminim mungkin, menjadi bukti implementasi standar tersebut.

Tabel 2.2 Penjelasan proyek MRT Jakarta

	South - North Corridor Total Length : 23.3 Km		East - West Corridor Total Length : 87 Km
	1 st Phase Lebak Bulus - Bundaran HI	2 nd Phase Bundaran HI - Kampung Bandan	
Length of track	15.2 Km (9.2 Km elevated, 6 Km underground)	8.1 Km	In Pre-Feasibility Study
Station	13 (7 elevated, 6 Km underground)	+7 undergrounds between Bundaran HI - Kota, +1 at grade (Kampung Bandan)	
Travel Time	30 minutes	22.5 minutes (Lebak Bulus - Kampung Bandan : 52.5 minutes)	
Distance between station	0.5 - 2.0 Km	0.8 - 2.4 Km	
Headway	5 minutes (2016)	5 minutes (2018)	
Target passenger/ day	412.700 (2020/ after 3 years operation)	629.900 (2037)	
	With traffic Demand Management (TDM) and Transit Oriented Development (TOD)	With Traffic Demand Management (TDM) and Transit Oriented Development (TOD)	
Operation Target	2016	2018	2024 - 2027

(sumber: MRT Jakarta 2010)

Menurut Perda DKI Jakarta No. 3 Tahun 2008, sistem MRT diterapkan di Jakarta dengan tujuan yaitu (1) meningkatkan pelayanan angkutan massal, (2) menyediakan jalur khusus kereta api berdaya angkut tinggi, (3) memberikan waktu perjalanan lebih terjadwal dan dapat diperkirakan, serta (4) meningkatkan kenyamanan, keamanan, dan keselamatan bagi pengguna angkutan umum, secara spesifik yaitu untuk MRT Jakarta. Seluruh tujuan ini juga telah terwakilkan pada moto PT MRT Jakarta, yaitu *mobility* (mobilitas) dan *life quality* (kualitas hidup), serta pada visi dan misinya. MRT Jakarta terdesain sebagai solusi termutakhir DKI Jakarta dalam memecahkan masalah kemacetan serta masalah turunannya.

Visi PT MRT Jakarta adalah “Menggerakkan Jakarta menjadi salah satu kota modern yang unggul di Asia dengan standar operasional tingkat dunia.” Sedangkan misi PT MRT Jakarta yaitu “Menyediakan layanan MRT berkelanjutan serta prima dalam hal keamanan dan keselamatan, kenyamanan, serta kehandalan operasional sistem.”

Dari PT MRT Jakarta, tujuan perusahaan yang ingin dicapai dengan implementasi sistem MRT Jakarta ini adalah yaitu (1) memitigasi kemacetan lalu lintas yang sudah parah, (2) mendorong dan mempercepat pertumbuhan ekonomi Jakarta dengan menggunakan sistem transportasi yang efisien, (3) memperbaiki lingkungan kota Jakarta dengan berkontribusi mengurangi dampak negatif transportasi umum pada lingkungan, dan (4) menjadi simbol perkembangan ekonomi Indonesia dengan mewujudkan sistem kereta listrik modern yang pertama di Jakarta serta di negara ini. Tujuan ini menjadi hasil akhir yang mampu diberikan PT MRT Jakarta, serta sesuai dengan tujuan implementasi MRT dari pemerintah provinsi DKI Jakarta dan juga nilai visi misi perusahaan sendiri.

Parameter hasil tersebut tersajikan pada ekspektasi dampak langsung maupun tidak langsung MRT Jakarta pada Jakarta, dengan poin-poin yaitu (1) peningkatan kapasitas penumpang pada koridor Utara – Selatan menjadi lebih dari 300.000 penumpang, (2) pengurangan waktu perjalanan dari Lebak Bulus ke Bundaran HI menjadi hanya 30 menit, (3) penciptaan lapangan kerja hingga 48.000 lowongan kerja baru dalam kurun waktu 5 tahun, (4) pengurangan emisi CO₂ sebesar 30.000 ton pada tahun 2020, dan (5) pengurangan angka kecelakaan lalu lintas, peningkatan perkembangan ekonomi serta sosial pada wilayah Jakarta.

Sebagai solusi teranyar & berkualitas tertinggi pada saat operasionalnya, MRT Jakarta berpotensi mendapatkan jumlah penumpang yang cukup tinggi. Ditambahkan dengan faktor pertumbuhan penduduk Jakarta dan daerah penyangganya, maka jumlah penumpang yang potensial menjadi semakin tinggi. Serta, adanya juga faktor peningkatan standar hidup masyarakat, maupun peningkatan aktivitas ekonomi di pusat kota akibat adanya MRT Jakarta. Kombinasi ini menciptakan tantangan lebih lanjut pada kapasitas MRT Jakarta dalam memenuhi kebutuhan transportasi publik DKI Jakarta dan sekitarnya.

Dengan memperhatikan data populasi Jabodetabek saat ini yang telah mencapai 25 juta orang, serta kombinasi faktor-faktor lainnya seperti yang telah disebutkan sebelumnya, maka diperkirakan pada saat operasional MRT Jakarta akan melayani minimal 173 ribu penumpang per hari pada tahun 2017, yang kemudian terus meningkat hingga mencapai minimal 785 ribu penumpang per hari pada tahun 2037 (Laporan JMEC, 2010).

Tantangan yang dihadapi PT MRT Jakarta bukan hanya berdasarkan pertumbuhan penduduk maupun ekonomi. Tantangan lainnya adalah mengenai perkembangan wilayah sekitar sistem MRT Jakarta, yang juga turut menjadi pendukung sistem ini. Perkembangan tersebut terwujud dalam 3 konsep besar, yaitu konsep Perkembangan Permukaan (*Interface Development*), Perkembangan Lingkungan Berbasis Transit (*Transit Neighborhood Development*), dan Perkembangan Sistem Pengumpan (*Feeder System Development*).

Konsep perkembangan antarmuka menekankan pada integrasi stasiun MRT dengan wilayah lingkungan di sekitarnya, baik wilayah residensial maupun komersial, menciptakan keterhubungan tanpa batas antar kedua lokasi tersebut, untuk memudahkan pergerakan penumpang yang juga adalah basis konsumen daerah tersebut. Konsep perkembangan lingkungan berbasis transit mengutamakan penciptaan destinasi baru pada setiap stasiun MRT Jakarta, maupun penguatan citra destinasi yang telah ada, dengan MRT Jakarta sebagai pihak yang memperlancar atraktivitas destinasi tersebut. Sedangkan konsep sistem pengumpan menjadi integrator untuk seluruh moda transportasi yang ada. Ketiganya berpotensi meningkatkan arus penumpang untuk sistem MRT Jakarta.

2.3 Manajemen Keramaian

Manajemen keramaian (*crowd management*) merupakan sebuah bidang studi yang berhubungan dengan dinamika pejalan kaki (*pedestrian dynamics*), dalam hal studi mengenai perilaku pejalan kaki secara kolektif. Studi empiris ini mengamati perilaku dinamis pada pejalan kaki secara langsung dengan observasi, mempelajari bagaimana perilaku dari individu-individu mampu mempengaruhi kondisi tren secara kolektif pada saat berada di area publik dan bergerak. Objek utama yang diperhatikan dalam studi ini yaitu pejalan kaki, masyarakat umum yang melakukan aktivitas berjalan kaki pada area publik.

Studi ini telah berlangsung selama lebih dari 50 tahun, dengan jurnal pertama disusun oleh B.D. Hankin dan R.A. Wright pada tahun 1958, dengan judul *Passenger Flow in Subways*, yang membahas mengenai aliran penumpang dalam sistem kereta bawah tanah di Amerika Serikat. Perkembangan studi ini terus berlanjut dengan area penelitian berkisar pada fasilitas publik yang dilewati oleh pejalan kaki, seperti misalnya pada trotoar, stasiun kereta, stadion sepakbola, hingga tempat-tempat ziarah peribadahan.

Dalam studi ini, manajemen keramaian erat kaitannya dengan penentuan kesesuaian perilaku individu dan kolektif pada model. Dengan fokus model terletak pada penelitian mengenai kelancaran pergerakan penumpang, maka diperlukan bidang studi yang mampu menganalisis hal tersebut serta memberikan parameter yang tepat. Dari segi bidang studi sendiri, manajemen keramaian telah mengungkapkan mengenai dibutuhkannya pemahaman lebih lanjut pada pengaruh keputusan individu dalam tren pergerakan secara kolektif, sejalan dengan pemodelan berbasis agen yang mampu memodelkan heterogenitas individual untuk dianalisis dampak kolektifnya. Sehingga dalam hal ini, manajemen keramaian memiliki kecocokan implementasi pada pemodelan berbasis agen.

Dalam bagian ini, akan dijelaskan mengenai perkembangan pada bidang ilmu manajemen keramaian ini, kemudian dilanjutkan dengan penjelasan mengenai dinamika dan perilaku pejalan kaki yang telah menjadi hasil studi ini hingga sekarang, dan terakhir akan dipaparkan aplikasi-aplikasi studi manajemen keramaian ini pada beberapa kasus dengan pendekatan-pendekatan tertentu.

2.3.1 Perkembangan Studi Manajemen Keramaian

Studi manajemen keramaian telah dilaksanakan sejak lebih 50 tahun yang lalu, dengan salah satu bukti yaitu hasil studi Hankin & Wright mengenai aliran pergerakan penumpang pada sistem kereta bawah tanah di Amerika Serikat, serta bukti lainnya yaitu studi SJ Older pada tahun 1968 mengenai pergerakan manusia pada jalur pejalan kaki di sepanjang jalan pusat perbelanjaan. Studi manajemen keramaian ini berfokus pada pergerakan pejalan kaki di area publik.

Dalam kurun waktu ini, poin-poin penelitian yang dilakukan dalam manajemen keramaian tetap bertahan pada ketiga poin ini, yaitu (1) pengkajian tingkat pelayanan fasilitas publik, (2), analisis desain secara umum serta elemen-elemen desainnya, dan (3) rekomendasi perencanaan untuk fasilitas publik. Area dan fasilitas publik yang umum menjadi fokus penelitian antara lain jalur pejalan kaki di pinggir jalan, stasiun dan halte maupun terminal, serta gedung-gedung publik. Studi ini dilakukan untuk meningkatkan efektivitas dan keamanan fasilitas publik, meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pejalan kaki, serta mencari desain serta tingkat pelayanan terbaik untuk mengakomodasi kebutuhan yang ada.

Studi manajemen keramaian dilakukan secara empiris, menggunakan observasi-observasi baik secara langsung maupun dengan menggunakan foto dan video. Dari observasi tersebut, didapatkan 2 jenis data, yaitu data kualitatif mengenai identifikasi perilaku individual dan perilaku kolektif pejalan kaki serta kondisi lingkungan dalam kemunculan perilaku tersebut, kemudian data kuantitatif yang memperhitungkan nilai-nilai parametrik untuk perilaku serta keadaan terobservasi tersebut.

Beberapa parameter yang muncul dalam studi ini yaitu kepadatan pejalan kaki per luasan wilayah, kemudian kecepatan pergerakan maupun waktu tempuh pejalan kaki pada suatu jarak, serta luasan area maupun jarak ruang kosong yang diciptakan setiap individu pejalan kaki terhadap pejalan kaki lainnya. Parameter-parameter tersebut menunjukkan keleluasaan pejalan kaki pada pergerakannya.

Parameter kuantitatif tersebut kemudian dikombinasikan dengan parameter kualitatif, untuk menciptakan hubungan regresional antara keduanya, menciptakan kesimpulan-kesimpulan serta membangun dasar teori baru. Hubungan regresional juga dilakukan pada bentuk desain fasilitas publik yang dikaji.



Gambar 2.11 Contoh hasil observasi dengan foto

(sumber: Helbing & Johansson, 2010)

Namun demikian, hasil studi yang berupa pengenalan perilaku, perhitungan parametrik, serta keterkaitan hubungan antara parameter dengan kondisi serta perilaku pejalan kaki tersebut belum mampu untuk memberikan hasil maupun rekomendasi yang berbobot, mengingat bahwa rekomendasi serta hasil tersebut diaplikasikan secara langsung dan kembali memerlukan analisis yang memakan waktu lama. Kemudian, keberagaman kondisi lingkungan turut menciptakan kesulitan penggunaan hasil rekomendasi studi. Kondisi evakuasi dan kepanikan juga menimbulkan kesulitan tersendiri pada peneliti bidang ini.

Perkembangan teknologi yang pesat membuat kesulitan-kesulitan tersebut mampu dicarikan solusinya, yaitu dengan simulasi komputer. Kemampuan komputasi yang cepat dan intensif membuat simulasi mampu diandalkan untuk mempelajari kondisi-kondisi lingkungan pejalan kaki yang beragam, sekaligus mengujicobakan rekomendasi desain untuk mendapatkan hasil yang lebih sesuai dengan kondisi aslinya. Penggunaan simulasi komputer juga memunculkan kemampuan untuk mengobservasi kembali secara kualitatif, dengan menggunakan visualisasi model yang disimulasikan.

Metode-metode simulasi yang digunakan yaitu mulai dari model sederhana seperti model antrian, model stokastik matematis, model pemilihan rute, hingga pada model Selular Automata dan juga model berbasis agen. Sedangkan analogi-analogi yang digunakan untuk membuat model contohnya yaitu analogi fluida pada pergerakan pejalan kaki, serta analogi agen otonom pada pergerakan dan pengambilan keputusan untuk pejalan kaki. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dan metode berbasis agen (*Agent-Based Modeling*) menjadi metode terkini serta paling memenuhi kebutuhan ilmu ini.

Adapun studi mengenai evakuasi dan kepanikan telah dilakukan sejak lama, dengan memperhatikan kondisi ekstrem tersebut pada area publik seperti antrian penonton di stadion olahraga, antrian penonton juga di teater konser musik, hingga antrian jemaah pada saat beribadah dan berziarah di tempat-tempat suci. Tingkat kematian dan kecelakaan yang relatif tinggi membuat studi kepanikan tersebut menjadi penting, dan menguatkan posisi manajemen keramaian ini dalam mengatur aliran orang-orang dalam jumlah besar. Studi kepanikan dan evakuasi ini membantu menciptakan kondisi evakuasi serta manajemen aliran yang lebih aman dan efektif, meminimalkan bahkan menghilangkan potensi kematian dan kecelakaan saat pergerakan massa dalam jumlah besar dan padat tersebut.

Saat ini, manajemen keramaian dengan ilmu pendukungnya yaitu dinamika pejalan kaki serta dinamika keramaian tetap berjalan sesuai dengan fokus-fokus penelitian semula. Perkembangannya terletak pada meningkatnya studi mengenai dampak perilaku dan interaksi individu terhadap perilaku kolektif, melihat kontribusi seorang individu pada pergerakan sekelompok orang sekitarnya.

2.3.2 Dinamika dan Perilaku Pejalan Kaki

Dalam studi manajemen keramaian ini, dinamika serta perilaku pejalan kaki terbagi menjadi dua jenis, yaitu perilaku individual dan perilaku kolektif. Sedangkan untuk kondisi studi, terdapat kajian untuk kondisi normal yang dapat menunjukkan kedua jenis perilaku diatas, dan kondisi panik yang hanya memperhatikan kondisi kolektif, untuk mengkaji situasi evakuasi keadaan khusus.

Seroang pejalan kaki bergerak dengan mengkaji beberapa aspek dalam pikirannya, baik secara sengaja maupun tidak sengaja, yaitu aspek tujuan dan navigasi menuju tujuannya, tingkat urgensi tujuan, dan kondisi lingkungan pada arah tujuan pergerakannya. Seluruh aspek ini secara dinamis dapat terus berubah dan terus dikaji, untuk kemudian muncul secara nyata pada pejalan kaki dalam bentuk perilaku yang dapat diobservasi, serta parameter yang dapat diukur.

Secara sederhana, perilaku navigasi seorang pejalan kaki sebagai hasil ketiga aspek tersebut, dapat dikategorikan kembali pada 4 komponen, yaitu (1) komponen perubahan kecepatan, (2) komponen perubahan arah, (3) komponen strategi melewati halangan, dan (4) komponen jarak dengan obyek lain. Masing-masing dari keempat komponen ini memiliki perilaku spesifik yang umum dilakukan oleh setiap pejalan kaki, serta telah memiliki dasar penelitiannya. Perilaku-perilaku ini dapat berubah pada saat kapanpun, dengan tetap berdasarkan pada perubahan 3 aspek kajian pergerakan individu.

Pada komponen perubahan kecepatan, diketahui bahwa seorang pejalan kaki memiliki kecepatan maksimal tertentu, serta kecepatan spesifik yang dikehendakinya dan cenderung konstan. Perubahan kecepatan konstan umumnya terjadi bila terdapat kondisi eksternal yang menghalangi, seperti adanya rintangan objek lain di arah gerakan individu, maupun perubahan kepadatan orang-orang.

Pada komponen perubahan arah, diketahui bahwa orang cenderung untuk mencari jarak terpendek dengan menggunakan arah navigasi yang nonlinear halus seperti kurva, serta akan cenderung mempertahankan arah tersebut. Kemudian komponen strategi melewati halangan mendapati preferensi arah melewati objek tersesuaikan dengan kondisi arah gerak objek lain tersebut. Dan untuk komponen jarak, individu cenderung menjaga jarak minimal dengan objek-objek sekitarnya.

Tabel 2.3 Daftar perilaku pejalan kaki

Category	Behavior	Source
Changes in speed	A Each pedestrian has a current, maximum, and preferred speed	Haklay, O'sullivan, and Thurstain-Goodwin (2001)
	B Pedestrian speed is constant unless conditions for a change exist	Willis, Kukla, Kerridge, and Hine (2002)
	C Speed change is the preferred method of collision avoidance	Blue, Embrechts, and Adler (1997)
	D Speed decreases with an increase in crowd density	Daamen and Hoogendoorn (2003b) and Fruin (1971)
	E Decisions regarding speed change are dependent upon an individual's goals	Helbing and Molnar (1997)
Changes in direction	F Preference is given to maintaining their current direction	Antonini, Bierlaire, and Weber (2006)
	G Once a trajectory change has been made, pedestrians tend to return to moving in the direction of their original path	Goffman (1971)
	H Pedestrians choose paths that minimize the need for angular displacements	Turner and Penn (2002)
	I Pedestrians prefer a smooth non-linear trajectory to an acute linear trajectory.	Bierlaire et al. (2003)
Passing strategies	J Pedestrians tend to pass on the right in opposite-direction passing	Goffman (1971)
	K Pedestrians pass on both the left and right with equal probability in uni-directional flow	Daamen and Hoogendoorn (2003b)
	L If a head-on collision is imminent, both pedestrians tend to make a side-step	Helbing, Molnar, Farkas, and Bolay (2001)
Distance between objects	M Pedestrians keep minimum distance from others in crowds ("territorial effect")	Bierlaire et al. (2003)
	N Distance depends on type of pedestrian and type of obstruction	Willis et al. (2002)

(sumber: Usher & Strawderman, 2010)

Aspek tujuan dan navigasi serta aspek urgensi menuju tujuan merupakan faktor internal seorang individu untuk bergerak. Perubahan kedua aspek ini merupakan intensi pribadi masing-masing individu, tidak terpengaruh oleh lingkungan sekitar maupun oleh orang lain. Aspek eksternal yang menciptakan dinamika pergerakan seorang individu, adalah aspek terakhir yaitu aspek kondisi lingkungan pada arah tujuan pergerakannya. Seorang individu akan tetap berusaha untuk mempertahankan dan mendukung kelancaran pencapaian tujuan aspek internalnya, dengan terus beradaptasi pada kondisi aspek eksternalnya.

Dalam hal hubungan internal-eksternal ini, elemen interaksi menjadi terlibat, yang mana seorang individu memunculkan sebuah perilaku sebagai respon atas kondisi eksternal tersebut. Sedangkan kondisi eksternal dapat berupa objek pasif seperti rintangan konstruksional (dinding, kondisi jalan, pagar) serta objek aktif seperti makhluk hidup (hewan dan manusia lain). Pada saat manusia lain menerima informasi perubahan perilaku tersebut, dan mempengaruhi pemenuhan aspek internalnya, maka ia akan kembali memunculkan respon. Timbal balik respon ini menciptakan interaksi antar individu dalam pergerakan pejalan kaki, yang kemudian memunculkan perilaku kolektif pejalan kaki.

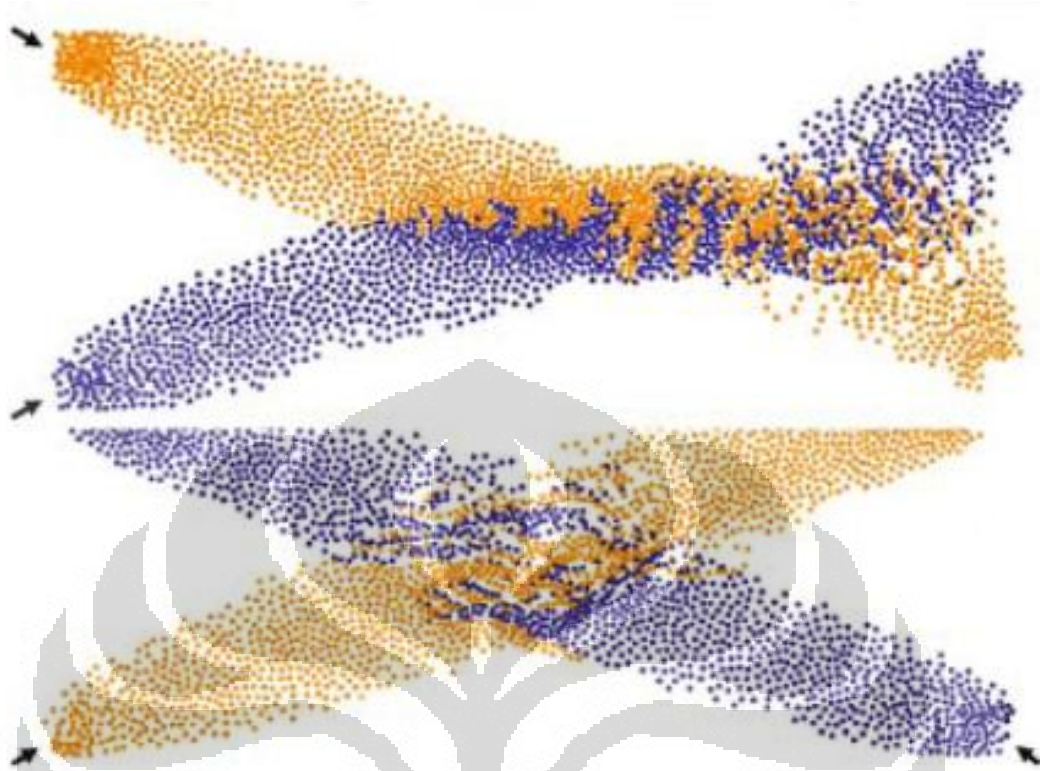
Sebagai hasil interaksi antar individu, perilaku kolektif berkondisi relatif terhadap arah tujuan individu-individu tersebut. Hingga saat ini terdapat 3 perilaku yang telah dipelajari, yaitu (1) pembentukan jalur otomatis, (2) aliran osilatif pada pertemuan jalur menyempit, dan (3) pembentukan formasi garis pada alur bersilangan. Seluruh perilaku kolektif ini terjadi secara otomatis, yang diistilahkan oleh peneliti sebagai pengaturan mandiri (*self-organization*), dan melibatkan individu-individu yang sama sekali tidak saling mengenal.

Selain ketiga perilaku tersebut, terdapat kemungkinan akan perilaku kolektif lainnya, namun demikian rentan bergantung pada latar sosial budaya masyarakat tersebut, yang akhirnya dapat menjelaskan mengenai perbedaan perilaku kolektif pejalan kaki sebuah negara terhadap negara-negara lainnya. Ketiga perilaku diatas merupakan perilaku umum yang dapat ditemui pada sekelompok pejalan kaki dimanapun di dunia, sebagai hasil interaksi perilaku individu tingkat dasar pada manusia.

Perilaku pembentukan jalur otomatis merupakan perilaku yang mana kelompok pejalan kaki akan secara otomatis membentuk jalur jalannya saat berhadapan dengan kelompok pejalan kaki dari arah berlawanan. Pembentukan jalur ini muncul untuk menyederhanakan gerakan pejalan kaki, meminimalkan perubahan mendadak, serta menjaga kecepatan konstan. Pemilihan jalur sendiri ditentukan oleh kebiasaan masyarakat di negara tersebut, namun bagi pejalan kaki secara umum, jalur yang dipilih tetap adalah jalur yang berarah sama dengannya.

Aliran osilatif pada pertemuan jalur menyempit merupakan pembentukan pola garis-garis bergantian pada saat dua jalur bergerak searah berpotongan akhirnya bertemu pada sebuah jalur sempit, untuk kemudian melanjutkan arah masing-masing. Pergantian kelompok gerak dalam ruang sempit tersebut terjadi sebagai dampak dari dinamika tekanan kolektif untuk bergerak, yang akhirnya terobservasikan sebagai pergerakan bergantian.

Formasi garis pada alur bersilangan juga merupakan dampak dari pergantian tekanan kolektif serta pembentukan barisan, dalam hal ini setiap barisan yang saling bergerak ke arah berlawanan akan tetap mempertahankan barisannya selagi mempertahankan arah gerakannya, dan pembentukan barisan baru terjadi saat memutuskan barisan dari arah berlawanan.



Gambar 2.12 Contoh visualisasi perilaku kolektif normal

(sumber: Helbing & Johansson, 2010)

Pada saat seorang individu mendapati kenaikan urgensi yang sangat tinggi untuk mencapai tujuannya, maka kemampuan serta determinasi individu tersebut untuk mewujudkan tujuannya akan menjadi sangat besar. Dalam kondisi ini, yang diistilahkan sebagai kondisi panik, seorang individu dapat melakukan hal apapun yang terkadang di luar batas normal kemampuan fisik maupun melawan etika dirinya. Kondisi panik membuat seorang individu langsung beraksi.

Seorang individu yang terkondisikan panik, dengan kondisi orang-orang lain masih normal, akan membuat individu tersebut mampu mewujudkan urgensi aktivitasnya dengan normal. Lain halnya pada saat kumpulan individu menjadi panik pada saat bersamaan, maka akan terjadi kondisi panik secara kolektif, menimbulkan perilaku-perilaku kolektif yang sama sekali berbeda dengan perilaku kolektif normal. Kondisi ini memicu studi baru yang spesifik, yaitu dinamika keramaian (*crowd dynamics*) serta turunannya yaitu dinamika evakuasi (*evacuation dynamics*), yang tetap berada dibawah ranah manajemen keramaian.

Dalam kondisi panik secara kolektif, terdapat beberapa aktivitas serta kondisi yang dapat teramati dengan mudah, yaitu (1) orang cenderung beraksi secara fisik dan sembarangan, (2) orang mencoba untuk bergerak lebih cepat dari keadaan normal, (3) terdapat kemacetan dan kepadatan melebihi kondisi normal pada akses keluar, (4) perubahan tekanan arah sangat cepat dan besar, dan lainnya. Aktivitas-aktivitas tersebut merupakan hasil dari perilaku individu.

Beberapa perilaku kolektif dalam kondisi panik yang teramati dalam observasi secara umum yaitu sebagai berikut :

- Pengelompokan dan pengabaian alternatif jalan keluar

Individu akan secara otomatis mengikuti individu lain untuk memenuhi tujuan mereka yang sama, misalkan saat mau keluar dari sebuah ruangan. Dan umumnya kelompok tersebut akan keluar melalui sebuah tujuan yang mereka identifikasikan sebagai jalan keluar, tidak mengindahkan alternatif jalan keluar lain yang sudah tersedia.

- Penghentian jalur berlawanan arah

Pada saat dua jalur bertemu dan sama-sama panik, keduanya akan berusaha mengoptimalkan lebar jalannya untuk bergerak, yang kemudian justru menghambat jalur berlawanan. Penghambatan ini menciptakan kondisi tabrakan dan berhenti sepenuhnya, menghambat gerakan kedua jalur secara bersamaan.

- Penghambatan jalur keluar

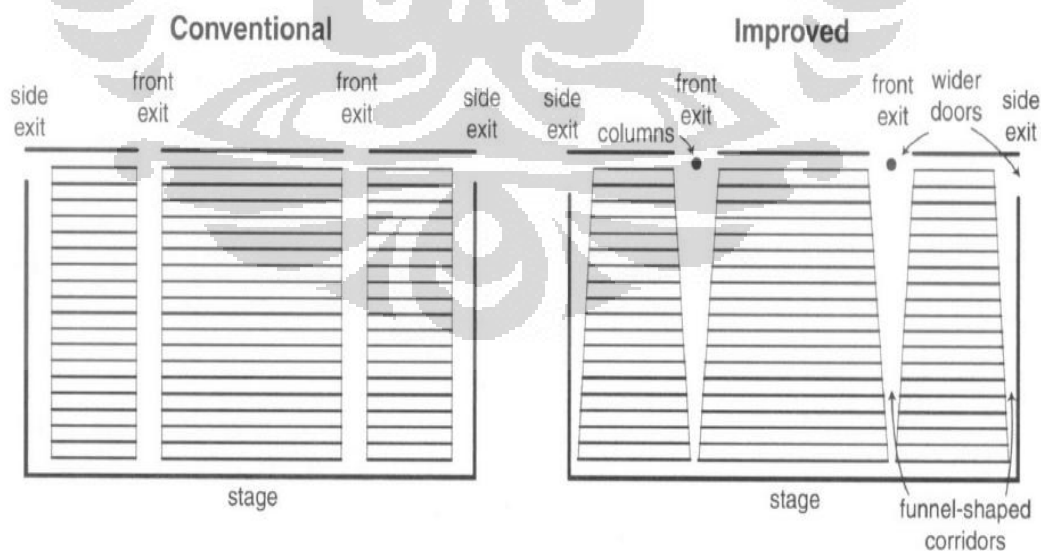
Ketika sebuah akses keluar yang sempit diperebutkan oleh sekelompok orang dalam jumlah sangat besar, maka yang terjadi justru adalah penghambatan gerakan keluar pada orang-orang yang sudah berada di akses keluar, akibat tekanan berlebihan dari orang-orang di belakangnya. Peningkatan tekanan dari belakang ini selain menunda keluarnya orang paling depan, juga berbahaya bagi orang-orang yang berada di dalam kelompok, karena mendapat tekanan berlebih dan tidak dapat melawannya.

Seluruh perilaku panik diatas dapat dicegah dengan mengidentifikasi tanda-tanda kemunculan perilaku tersebut, seperti dengan mengetahui kepadatan orang serta tingkat tekanan dalam kelompok tersebut seiring perubahan waktunya.

2.3.3 Aplikasi Manajemen Keramaian

Dengan adanya faktor penambahan jumlah penduduk serta peningkatan pertimbangan pada tingkat pelayanan suatu usaha, maka ilmu manajemen keramaian terus mendapatkan perhatian lebih. Dampak positif ilmu ini terhadap kenyamanan, keamanan, serta keselamatan pejalan kaki menjadikannya salah satu ilmu yang penting untuk melengkapi analisis kelayakan fasilitas-fasilitas publik. Mengacu pada poin-poin penelitian dalam bidang ilmu ini, maka manajemen keramaian hingga saat ini tetap berfungsi untuk mengkaji tingkat pelayanan fasilitas publik, analisis desain dan elemen desain tersebut, serta penetapan rekomendasi standar dalam perencanaan fasilitas publik.

Aspek baru pada penelitian ini, yaitu mengenai dampak perilaku serta interaksi individu pada perilaku kolektif, membuat kedalaman analisis ilmu ini menjadi berubah, yang kemudian meningkatkan peranan ilmu ini dalam aplikasinya. Kemampuan mengidentifikasi perilaku dalam kondisi normal maupun kondisi panik, serta dilengkapi dengan simulasi untuk memvalidasi hasil rekomendasi berdasarkan analisis, membuat aplikasi manajemen keramaian semakin berdampak positif bagi performa fasilitas publik. Sehingga, ilmu ini mampu menyediakan rekomendasi lengkap pada fasilitas-fasilitas publik.



Gambar 2.13 Contoh aplikasi rekomendasi pada koridor teater

(sumber: Helbing et al., 2005)

Dalam melakukan analisis serta memberikan rekomendasi dengan menggunakan ilmu ini, maka hal-hal yang perlu diperhatikan pada fasilitas publik yang ditinjau tersebut yaitu (1) lokasi dan bentuk fasilitas, (2) pengaturan jalan, tangga, akses keluar masuk, dan koridor yang ada, (3) bentuk ruangan, koridor, dan aksesnya, serta (4) jadwal serta fungsi pemakaiannya. Keempat hal tersebut mencerminkan kapasitas, kemampuan, dan kebutuhan dasar fasilitas publik tersebut, serta proyeksi beban penggunaannya, untuk kemudian salah satu aspek disesuaikan untuk dapat memenuhi kebutuhan aspek lainnya.

Hingga saat ini manajemen keramaian telah diaplikasikan pada berbagai fasilitas publik, seperti pada stadion sepakbola untuk memperlancar akses keluar penonton saat terjadi evakuasi, kemudian juga pada teater dan gedung bertingkat untuk tujuan yang sama. Aplikasi khusus terjadi pada Jembatan Jamarat di Mina, Arab Saudi, yang mana ilmu ini digunakan untuk memungkinkan arus ribuan orang melaksanakan aktivitas peribadahnya tanpa melukai maupun menghambat orang lain.

Selain perubahan fasilitas, ilmu ini juga merekomendasikan serangkaian parameter sebagai kontrol untuk kepadatan arus pejalan kaki dan perilakunya, untuk mencegah terjadinya kondisi yang tidak diinginkan. Parameter ini menjadi bentuk kepastian keamanan dan keselamatan kelompok orang-orang pengguna fasilitas publik tersebut, sekaligus sebagai penjaga kapasitas dan tingkat performa pelayanan fasilitas publik terhadap pengguna-penggunanya.

BAB 3

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bagian bab 3 ini, akan dijelaskan mengenai seluruh langkah pengumpulan dan pengolahan data yang digunakan dalam penelitian ini. Data-data yang dikumpulkan untuk penelitian ini mencakup data spesifikasi stasiun MRT Jakarta, data proyeksi jumlah penumpang, data persebaran dan perilaku serta interaksi penumpang. Penentuan keperluan data ini sesuai dengan kebutuhan metode pemodelan berbasis agen yang digunakan dalam studi.

Sedangkan langkah pengolahan data dilaksanakan dengan pendefinisian tujuan model dan penentuan model alternatif, kemudian dilanjutkan dengan pembahasan pembuatan model dasar serta batasan-batasannya, kemudian langkah verifikasi dan validasi model, dan terakhir yaitu pengembangan model alternatif sebagai solusi masalah yang ada. Kedua tahapan penelitian ini menjadi dasar bagi analisis model pada tahapan selanjutnya, dan juga untuk pengambilan kesimpulan.

3.1 Pengumpulan Data Awal

Dalam tahap awal pelaksanaan penelitian ini, dengan merefleksikan kembali pada tujuan awal yaitu untuk memperoleh model desain stasiun bawah tanah MRT Jakarta, yang diberikan tantangan dari segi jumlah penumpang, interkoneksi, dan peningkatan utilisasi, serta menggunakan metode pemodelan berbasis agen, maka kebutuhan data untuk penelitian ini cenderung terfokus pada desain stasiun dan detail data tantangan-tantangannya. Urutan kebutuhan data juga disesuaikan dengan urutan penggunaan pada pemodelan berbasis agen.

Dengan demikian, pada bagian ini akan dijelaskan mengenai proses pengumpulan data serta hasil data-data yang ada, berdasarkan tiga elemen utama model berbasis agen. Elemen pertama yaitu data spesifikasi stasiun bawah tanah MRT Jakarta, dalam hal ini stasiun Bendungan Hilir, sebagai data lingkungan pada model serta pengaturan data dasarnya. Kemudian data proyeksi dan persebaran jumlah penumpang sebagai tantangan utama. Elemen kedua dan ketiga terwakili pada data perilaku dan interaksi penumpang, sebagai kelompok akhir.

3.1.1 Data Spesifikasi Stasiun MRT Jakarta

Sebagai data dasar, spesifikasi stasiun MRT Jakarta berguna untuk mendefinisikan lingkungan yang dapat dijelajahi oleh agen dalam model. Data spesifikasi stasiun ini memberikan batasan area stasiun, gambaran sarana serta fasilitas yang tersedia dan dapat diakses oleh agen, serta batasan pergerakan menurut waktu. Data spesifikasi inilah yang pada penelitian ini akan dikaji dengan tantangan berupa data jumlah serta persebaran penumpang.

Sebagai gambaran awal, stasiun yang digunakan dalam penelitian ini adalah stasiun Bendungan Hilir, yang berada pada koridor Utara – Selatan fase pertama. Stasiun ini berkonstruksi bawah tanah (*underground*) dengan lokasi berada dibawah persimpangan Jalan Jendral Sudirman dan jembatan layang penghubung Jalan KH. Mas Mansyur – Jalan Prof. Dr. Satrio, tepat berada pada posisi halte Karet saat ini dalam sistem Transjakarta koridor 1, Blok M – Kota. Stasiun ini merupakan urutan keempat dari arah utara, dengan stasiun pengapitnya yaitu stasiun Setiabudi di utara dan stasiun Istora di selatan.

Area sekitar stasiun merupakan kombinasi dari area residensial dan area komersial, dengan konektivitas antar moda transportasi yang juga tinggi. Bangunan ternama di sekitar stasiun Bendungan Hilir ini yaitu Sampoerna Strategic Square, Kompleks World Trade Center dan Wisma Metropolitan, Hotel Le Meridien, serta Intiland Tower. Sedangkan area sekitar stasiun sendiri merupakan area residensial pusat kota, yaitu Bendungan Hilir dan Karet. Moda transportasi yang melewati jalur tersebut diantaranya berarah pada Terminal Kampung Melayu, Terminal Blok M, serta Terminal Tanah Abang, dengan jenis moda transportasi bervariasi seperti angkutan kota, bus sedang, hingga bus besar.

3 komponen utama stasiun MRT, yaitu tentakel, area penumpang (*Concourse*), serta area peron (*Platform*). Tentakel merupakan akses penghubung antara stasiun ke trotoar jalan diatas atau dibawah stasiun tersebut, sebagai pintu masuk dan keluar ke stasiun dengan fasilitas akses vertikal. Area penumpang merupakan area umum yang menjadi tempat penumpang diperiksa tiketnya saat keluar dan masuk, serta area transfer dari tentakel menuju peron. Dan, area peron merupakan area transfer penumpang dari dan ke dalam kereta MRT.



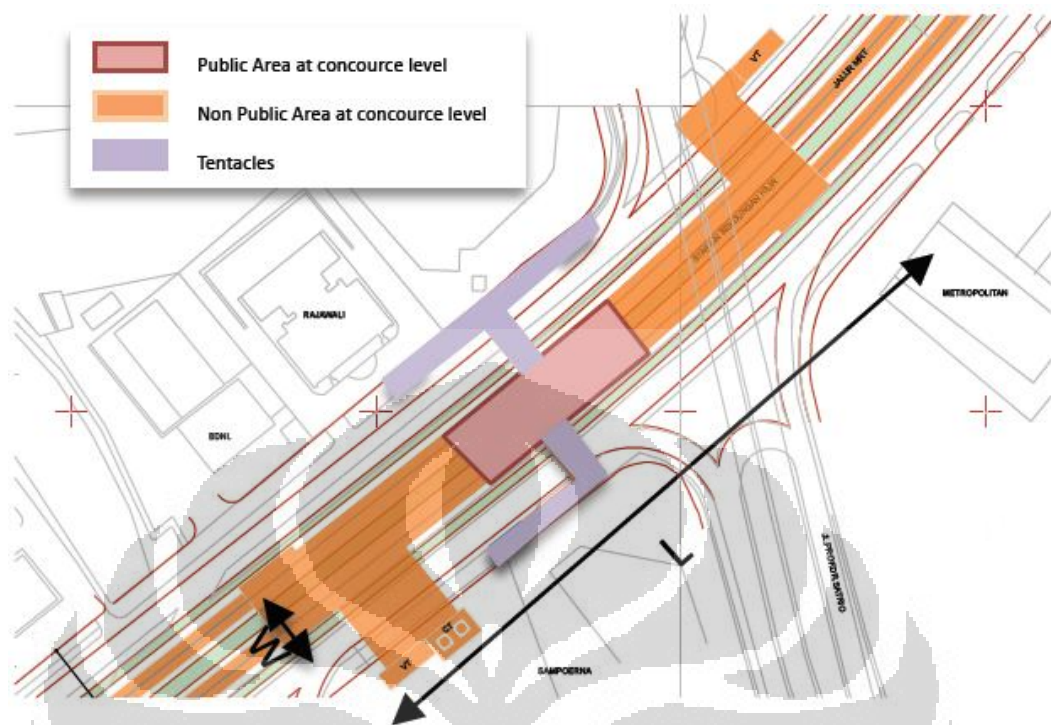
Gambar 3.1 Peta lokasi stasiun Bendungan Hilir

(sumber: www.streetdirectory.co.id)



Gambar 3.2 Ilustrasi stasiun MRT bawah tanah

(sumber: MRT Jakarta 2010)



Gambar 3.3 Ilustrasi 3 komponen stasiun Bendungan Hilir

(sumber: MRT Jakarta 2010)

Pada stasiun Bendungan Hilir, terdapat 2 tentakel penghubung stasiun ke trotoar Jl. Jend. Sudirman, yaitu tentakel barat laut dan tentakel tenggara. Tentakel barat laut memiliki 2 akses vertikal, sedangkan tentakel tenggara hanya memiliki 1 akses vertikal. Setiap akses vertikal dilengkapi dengan 1 eskalator dan 1 tangga. Pada tentakel barat laut, terdapat 1 elevator untuk memfasilitasi penumpang yang berketerbatasan fisik. Tentakel berada dibawah tanah dan sejajar stasiun, dan akses vertikal baru ada saat tentakel telah berada sejajar trotoar jalan.

Stasiun ini didesain 2 lantai, dengan lantai pertama dibawah tanah sebagai area penumpang, dan lantai kedua dibawah lantai pertama sebagai area peron. Akses kedua lantai dilakukan dengan 2 pasang eskalator dan tangga, masing-masing pasangan di sisi utara dan sisi selatan. Akses elevator juga tersedia pada bagian tengah stasiun. Sehingga total dalam stasiun ini terdapat 5 pasang eskalator dan tangga, serta 2 buah elevator. Luas serta spesifikasi ketiga komponen stasiun ini telah disediakan oleh MRT Jakarta untuk pembuatan model.

Area penumpang (*Concourse*) pada lantai 1 mencakup area gratis (*free concourse*) dan area berbayar (*paid concourse*). Pembatas kedua area ini adalah gerbang pemeriksa tiket untuk penumpang keluar dan masuk, dengan tempat pembelian tiket terdapat diantara kedua gerbang tersebut. Dengan gerbang pemeriksa tiket berada pada dua sisi stasiun, maka penempatan gerbang keluar dan masuk untuk sisi berlawanan diatur berhadapan, untuk mengarahkan penumpang keluar-masuk tersebut ke tentakel yang paling dekat dengannya. Pada area gratis juga terdapat 2 area komersial, yang dapat menarik penumpang MRT untuk berhenti serta bertransaksi pada area tersebut.

Area peron (*Platform*) pada lantai 2 berisikan area tunggu kereta MRT serta area transfer dari dan ke kereta MRT. Panjang peron setara dengan 6 gerbong kereta MRT, dan terdapat 2 jalur yang dilayani oleh peron ini. Akses ke area ini hanyalah dari akses vertikal pada stasiun, atau melalui kereta MRT itu.

Data spesifikasi konstruksi stasiun telah tersedia dari pihak MRT Jakarta, mencakup secara detail dimensi stasiun, bentuk area, dan rintangan konstruksional yang ada, sehingga dengan demikian langsung digunakan pada model. Sedangkan data tambahan yang penting yaitu spesifikasi sarana dan fasilitas pada stasiun, serta batasan waktu pergerakan agen dalam stasiun tersebut.

Sarana yang terlibat dalam stasiun yaitu eskalator, elevator, loket pembelian tiket, dan gerbang pemeriksaan tiket. Untuk eskalator, data menggunakan standar spesifikasi umum yaitu 0,5 m/s. Kecepatan elevator sendiri standarnya adalah 1 m/s. Kemudian, untuk loket pembelian tiket, diasumsikan akan berlangsung selama 8 – 13 detik, sedangkan pada gerbang pemeriksaan tiket akan berlangsung selama 2 – 3 detik. Penggunaan data-data ini merupakan hasil pembahasan asumsi dengan pihak MRT Jakarta.

Spesifikasi stasiun dalam hal ini juga menentukan frekuensi kedatangan kereta MRT dan waktu berhentinya kereta. Hal ini ditentukan sebagai sebuah ketetapan dari sistem, sebuah standar operasional yang sudah mutlak. Sehingga, frekuensi kedatangan kereta MRT (*headway*) adalah setiap 5 menit, dan waktu berhenti kereta adalah 30 detik untuk jam tidak sibuk (*non-peak hours*) serta 40 detik untuk jam sibuk (*peak hours*), seperti saat jam berangkat dan pulang kerja.

3.1.2 Data Proyeksi dan Persebaran Jumlah Penumpang

Data proyeksi dan persebaran penumpang merupakan data yang menjadi input bervariasi pada model, bentuk dasar analisis terhadap performa model saat disimulasikan. Data ini menjadi parameter pengujian model, yang akan menentukan hasil akhir rekomendasi desain untuk stasiun Bendungan Hilir ini.

Data proyeksi penumpang dalam penelitian ini menggunakan data hasil proyeksi JMEC (*Jakarta Metro Engineering Consultants*) tahun 2010. Data ini dihasilkan dengan mengkalkulasi faktor-faktor penting munculnya permintaan dan arus penumpang pengguna MRT Jakarta, seperti kemampuan membayar, jumlah penumpang potensial pada rute, banyaknya perjalanan MRT, kondisi dan rencana pengembangan moda transportasi lain, serta faktor-faktor lainnya. Pada MRT Jakarta, data ini digunakan untuk memproyeksikan pendapatan potensial sistem ini, serta menciptakan standar kemampuan minimal sarana-prasarananya untuk memfasilitasi potensi penumpang tersebut.

Data proyeksi penumpang tersedia pada 4 tahun, yaitu tahun 2017, 2020, 2027, dan 2037. Pada tahun 2027 dan 2037, terdapat perbedaan kondisi khusus, yaitu antara terdapatnya implementasi MRT koridor Timur – Barat (kondisi B) maupun tidak (kondisi A). Kemudian, terdapat 4 skenario yang diimplementasikan pada proyeksi setiap tahun, yaitu skenario dasar, skenario penerapan TDM, skenario penerapan TOD, serta penerapan TDM dan TOD.

TDM (*Traffic Demand Management*) merupakan konsep penataan kepadatan lalu lintas dengan penerapan kebijakan-kebijakan yang spesifik ditujukan pada pengguna kendaraan. Contoh penerapan TDM pada Jakarta adalah kebijakan 3 in 1 pada jalan-jalan utama seperti jl. Jend. Sudirman serta jl. Gatot Subroto, yang mewajibkan kendaraan diisi oleh minimal 3 orang pada jam-jam tertentu, utamanya pada jam sibuk. Pada rencana kedepannya, kebijakan TDM lain yang akan diterapkan adalah ERP (*Electronic Road Pricing*), yang membebankan pajak jalan langsung pada pengguna kendaraan bermotor di ruas jalan tertentu pada jam-jam sibuk, mirip dengan sistem pembayaran jalan tol. Seluruh kebijakan TDM ini bertujuan untuk menekan maupun mengatur arus lalu lintas yang membebani ruas jalan tertentu, yang kemudian memaksa masyarakat menggunakan moda transportasi lain yang lebih efisien, yaitu kendaraan umum.

TOD (*Transit Oriented Development*) merupakan konsep lain yang berfokus pada perkembangan tingkat pelayanan transportasi umum, dengan meningkatkan konektivitas area-area lain pada stasiun dan terminal transportasi umum tersebut. Konsep integrasi ini dilakukan untuk meminimalkan jarak perpindahan masyarakat tanpa transportasi umum, yang kemudian akan meningkatkan preferensi masyarakat untuk menggunakan transportasi umum.

Bentuk implementasi TOD antara lain yaitu (1) menghubungkan area residensial serta area komersial dalam kota pada infrastruktur transportasi didekat area tersebut, (2) mengembangkan kembali area komersial dalam stasiun maupun sekitar stasiun untuk menjadi pusat area transportasi – komersial terintegrasi, serta (3) menyediakan fasilitas parkir (*park and ride*) bagi penumpang transportasi umum yang mengendarai kendaraan pribadinya ke stasiun. Konsep TOD meningkatkan daya tarik transportasi umum bagi konsumen potensialnya.

Berikut ini adalah daftar data proyeksi jumlah penumpang berdasarkan tahun, kondisi implementasi, serta skenario-skenario yang diaplikasikan.

Tabel 3.1 Proyeksi jumlah penumpang

Demand Projection Data (JMEC Report Appendix 2)

Total / day		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	In	2,944	2,973	6,483	6,512
	Out	16,087	18,237	18,206	20,356
	Total	19,031	21,210	24,689	26,868
2020	In	8,262	8,665	11,179	11,582
	Out	30,187	33,489	35,592	38,894
	Total	38,449	42,154	46,771	50,476
2027 (A)	In	16,534	16,969	22,195	22,477
	Out	24,940	27,107	35,196	37,363
	Total	41,474	44,076	57,391	59,840
2037 (A)	In	19,569	20,103	26,895	27,429
	Out	29,517	32,173	43,341	45,997
	Total	49,086	52,276	70,236	73,426
2027 (B)	In	16,534	16,969	22,195	22,477
	Out	52,723	57,681	65,771	67,937
	Total	69,257	74,650	87,966	90,414
2037 (B)	In	19,569	20,103	26,895	27,429
	Out	62,400	68,383	76,224	82,207
	Total	81,969	88,486	103,119	109,636

Data proyeksi jumlah penumpang tersebut menunjukkan banyaknya penumpang yang naik ke kereta MRT (*in / boarding*) dan turun dari kereta MRT (*out / alighting*) di stasiun Bendungan Hilir dalam sistem MRT Jakarta. Dari data tersebut, kemudian didistribusikan lagi menjadi data per jam, dengan memanfaatkan data distribusi penumpang per jam pada sistem Transjakarta koridor 1, yang juga tersedia pada laporan JMEC.

Tabel 3.2 Distribusi jumlah penumpang per jam

AM Peak		Non-Peak		PM Peak	
Jam	%	Jam	%	Jam	%
5	1.45%	10	4.65%	16	9.56%
6	5.01%	11	4.64%	17	13.49%
7	6.40%	12	4.92%	18	8.53%
8	6.98%	13	5.15%	19	7.03%
9	5.54%	14	4.02%	20	4.74%
		15	4.89%	21	3.01%
Σ	25.38%	Σ	28.27%	Σ	46.36%

Dengan mendapatkan data per jam untuk setiap set data, baik naik maupun turun, maka kemudian data dibagikan sama rata pada setiap titik masuk penumpang, baik pada 3 tangga di 2 tentakel untuk penumpang masuk, serta 2 set kereta MRT masing-masing 6 gerbong untuk penumpang keluar. Sehingga dengan demikian didapatkan data yang sudah siap untuk dimasukkan ke dalam model.

Dengan penelitian ini dimaksudkan untuk mengkaji kemampuan stasiun berdasarkan data penumpang yang ada, maka terdapat kondisi-kondisi spesifik yang mampu mewakili kemampuan stasiun secara keseluruhan, dalam hal isian data-data yang diujikan ke dalam model. Hal ini dimaksudkan untuk mengefisiensikan penelitian serta mendapatkan hasil yang tetap sesuai. Dengan memperhatikan distribusi data berdasarkan pembagian jangka waktu, yaitu waktu sibuk pagi (*AM Peak*), waktu standar (*Non-Peak*) dan waktu sibuk sore (*PM Peak*), maka data yang dapat digunakan untuk mewakili ketiga waktu tersebut adalah data jam dengan proporsi penumpang terbanyak, yaitu pada jam 8 untuk pagi, jam 13 untuk siang, dan jam 17 untuk sore.

Tabel 3.3 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2017 skenario 1

Jam	%	In	Out	Jumlah
5	1.45%	43	233	276
6	5.01%	147	806	953
7	6.40%	188	1,030	1,218
8	6.98%	205	1,123	1,328
9	5.54%	163	891	1,054
10	4.65%	137	748	885
11	4.64%	137	746	883
12	4.92%	145	791	936
13	5.15%	152	828	980
14	4.02%	118	647	765
15	4.89%	144	787	931
16	9.56%	281	1,538	1,819
17	13.49%	397	2,170	2,567
18	8.53%	251	1,372	1,623
19	7.03%	207	1,131	1,338
20	4.74%	140	763	902
21	3.01%	89	484	573
Σ	100%	2,944	16,087	19,031

Tabel 3.4 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2027 A skenario 3

Jam	%	In	Out	Jumlah
5	1.45%	322	510	832
6	5.01%	1,112	1,763	2,875
7	6.40%	1,420	2,253	3,673
8	6.98%	1,549	2,457	4,006
9	5.54%	1,230	1,950	3,179
10	4.65%	1,032	1,637	2,669
11	4.64%	1,030	1,633	2,663
12	4.92%	1,092	1,732	2,824
13	5.15%	1,143	1,813	2,956
14	4.02%	892	1,415	2,307
15	4.89%	1,085	1,721	2,806
16	9.56%	2,122	3,365	5,487
17	13.49%	2,994	4,748	7,742
18	8.53%	1,893	3,002	4,895
19	7.03%	1,560	2,474	4,035
20	4.74%	1,052	1,668	2,720
21	3.01%	668	1,059	1,727
Σ	100%	22,195	35,196	57,391

Tabel 3.5 Contoh distribusi jumlah penumpang tahun 2037 B skenario 4

Jam	%	In	Out	Jumlah
5	1.45%	398	1,192	1,590
6	5.01%	1,374	4,119	5,493
7	6.40%	1,755	5,261	7,017
8	6.98%	1,915	5,738	7,653
9	5.54%	1,520	4,554	6,074
10	4.65%	1,275	3,823	5,098
11	4.64%	1,273	3,814	5,087
12	4.92%	1,350	4,045	5,394
13	5.15%	1,413	4,234	5,646
14	4.02%	1,103	3,305	4,407
15	4.89%	1,341	4,020	5,361
16	9.56%	2,622	7,859	10,481
17	13.49%	3,700	11,090	14,790
18	8.53%	2,340	7,012	9,352
19	7.03%	1,928	5,779	7,707
20	4.74%	1,300	3,897	5,197
21	3.01%	826	2,474	3,300
Σ	100%	27,429	82,207	109,636

Tabel 3.6 Data distribusi untuk kondisi jam sibuk pagi

Total / hour		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	In	205	208	453	455
	Out	1,123	1,273	1,271	1,421
	Total	1,328	1,481	1,724	1,876
2020	In	577	605	780	808
	Out	2,107	2,338	2,484	2,715
	Total	2,684	2,943	3,264	3,523
2027 (A)	In	1,154	1,184	1,549	1,569
	Out	1,741	1,892	2,457	2,608
	Total	2,895	3,076	4,006	4,177
2037 (A)	In	1,366	1,403	1,877	1,915
	Out	2,060	2,246	3,025	3,211
	Total	3,426	3,649	4,902	5,126
2027 (B)	In	1,154	1,184	1,549	1,569
	Out	3,680	4,026	4,591	4,742
	Total	4,834	5,210	6,140	6,311
2037 (B)	In	1,366	1,403	1,877	1,915
	Out	4,356	4,773	5,320	5,738
	Total	5,722	6,176	7,197	7,653

Tabel 3.7 Data distribusi untuk kondisi jam bukan sibuk

Total / hour		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	In	152	153	334	335
	Out	828	939	938	1,048
	Total	980	1,092	1,272	1,383
2020	In	425	446	576	596
	Out	1,555	1,725	1,833	2,003
	Total	1,980	2,171	2,409	2,599
2027 (A)	In	852	874	1,143	1,158
	Out	1,284	1,396	1,813	1,924
	Total	2,136	2,270	2,956	3,082
2037 (A)	In	1,008	1,035	1,385	1,413
	Out	1,520	1,657	2,232	2,369
	Total	2,528	2,692	3,617	3,782
2027 (B)	In	852	874	1,143	1,158
	Out	2,715	2,971	3,387	3,499
	Total	3,567	3,845	4,530	4,657
2037 (B)	In	1,008	1,035	1,385	1,413
	Out	3,214	3,522	3,926	4,234
	Total	4,222	4,557	5,311	5,647

Tabel 3.8 Data distribusi untuk kondisi jam sibuk sore

Total / hour		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	In	397	401	875	878
	Out	2,170	2,460	2,456	2,746
	Total	2,567	2,861	3,331	3,624
2020	In	1,115	1,169	1,508	1,562
	Out	4,072	4,518	4,801	5,247
	Total	5,187	5,687	6,309	6,809
2027 (A)	In	2,230	2,289	2,994	3,032
	Out	3,364	3,657	4,748	5,040
	Total	5,594	5,946	7,742	8,072
2037 (A)	In	2,640	2,712	3,628	3,700
	Out	3,982	4,340	5,847	6,205
	Total	6,622	7,052	9,475	9,905
2027 (B)	In	2,230	2,289	2,994	3,032
	Out	7,112	7,781	8,873	9,165
	Total	9,342	10,070	11,867	12,197
2037 (B)	In	2,640	2,712	3,628	3,700
	Out	8,418	9,225	10,283	11,090
	Total	11,058	11,937	13,911	14,790

3.1.3 Data Perilaku dan Interaksi Penumpang

Data perilaku dan interaksi penumpang merupakan kelompok data terakhir serta menjadi pengaturan dasar pada model. Dalam hal ini, ketentuan data ini tidak berubah selama model disimulasikan serta selama model diubah-ubah inputnya sesuai urutan pengujian. Data ini berisikan pengaturan perilaku penumpang, serta interaksi penumpang dengan penumpang lainnya maupun dengan lingkungan stasiun, yang perlu didefinisikan terlebih dahulu serta disesuaikan dengan kebiasaan maupun kondisi sosial budaya di Indonesia.

Dalam stasiun, penumpang menunjukkan perilaku bernavigasi untuk mencapai tujuannya. Diketahui terdapat 3 arah gerak utama penumpang dalam stasiun Bendungan Hilir ini, yaitu sebagai berikut.

1. Penumpang Masuk

Masuk dari Tentakel – Area *Free Concourse* – Pilihan antara beli tiket atau tidak – Masuk ke area *Paid Concourse* dengan pemeriksaan tiket – Perpindahan ke area Peron – Menunggu MRT – Masuk MRT.

2. Penumpang Keluar

Masuk dari MRT – Area Peron – Perpindahan ke area *Paid Concourse* – Pemeriksaan tiket keluar – Area *Free Concourse* – Keluar Tentakel.

3. Pejalan Kaki

Masuk dari Tentakel – Area *Free Concourse* – Keluar Tentakel.

Perilaku ini juga berfungsi sebagai pembatasan kerja model, untuk mengeliminasi pilihan-pilihan arah gerak lain yang tidak signifikan pada tujuan model maupun tujuan penelitian yang sebenarnya.

Data mengenai performa penumpang juga penting, yaitu kecepatan penumpang saat berjalan baik di area datar maupun di area miring seperti saat melewati tangga. Berdasarkan referensi akademik dari studi kecepatan pejalan kaki di Indonesia, maka kecepatan jalan penumpang yang diatur dalam model adalah 0,9 – 1,3 m/s pada keadaan normal. Sedangkan pada saat menuruni tangga kecepatannya menjadi 0,6 – 0,8 m/s dan pada saat menaiki tangga kecepatannya yaitu 0,5 – 0,7 m/s, sesuai dengan kondisi aslinya. Untuk dimensi penumpang, pada model diatur menjadi berdiameter 0,4 – 0,5 meter. Kecepatan dan dimensi penumpang ini menentukan pergerakan serta keleluasaan penumpang di stasiun.

Dalam hal standar perilaku dan interaksi antar penumpang, secara umum penelitian ini menggunakan acuan hasil penelitian sesuai dengan yang telah dijelaskan pada bagian dasar teori. Dalam mengobservasi perilaku penumpang dan pejalan kaki di Jakarta, ditemukan bahwa penumpang dan pejalan kaki bergerak dengan kecepatan normal ke arah tujuannya, dengan arah yang cenderung untuk mencari jarak terpendek dan nyaman, serta bila terdapat penumpang lain yang menghalangi maka akan dilewati dari sisi kanan maupun kiri secara bebas. Seluruh hal ini sesuai dengan daftar perilaku yang telah ditampilkan pada bagian dasar teori.

Adapun perilaku kolektif secara umum juga menunjukkan hal yang sama, terutama untuk perilaku pembentukan jalur otomatis yang mudah serta lumrah terjadi. Sedangkan interaksi antar penumpang pada kondisi Jakarta cenderung minimal, bahwa sesama penumpang cenderung untuk tidak saling kenal satu sama lain. Walaupun di Indonesia terdapat kondisi sosial budaya yang cenderung ramah pada orang lain, dengan penelitian mengenai MRT yang berada di Jakarta, serta kondisi pangsa pasar yang adalah kalangan pekerja, maka interaksi sosial tersebut akan menjadi minimal. Hal ini juga membuat tidak diperlukannya pembentukan kelompok-kelompok penumpang saat masuk dalam model, seluruh penumpang merupakan entitas mandiri dan otonom, tidak terkelompokkan. Selain itu, penyebaran informasi antar penumpang juga tidak ada, sesuai dengan minimalnya interaksi antar penumpang tersebut. Sehingga munculnya perilaku kolektif pada model ini lebih merupakan hasil organisasi otomatis antar agen.

Dengan interaksi antar penumpang yang hanya sebatas adaptasi navigasi perjalanan, kondisi setiap penumpang yang otonom, serta kemunculan perilaku kolektif yang lebih berarah pada organisasi otomatis, maka faktor perilaku penumpang paling dipengaruhi oleh interaksinya pada lingkungannya. Interaksi pada lingkungan disini selain mencakup kepatuhannya pada batasan-batasan pergerakan seperti batas kecepatan serta pemeriksaan tiket, juga mencakup penyesuaian pada bentuk lingkungan dan penghindaran pada rintangan-rintangan yang ada pada jalur yang diinginkannya. Dinamika penerimaan informasi mengenai lingkungan dan agen lain inilah yang menciptakan perilaku agen.

3.2 Pengolahan Data

Dengan lengkapnya data yang tersedia untuk membangun sebuah model berbasis agen, maka langkah selanjutnya adalah pengolahan data, yaitu mencakup pembangunan desain model serta langkah implementasinya. Proses pembangunan model ini mengacu pada proses pemodelan yang digunakan untuk metode berbasis agen ini, yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Pada bagian awal, akan dijelaskan mengenai desain awal model dasar dan model alternatif, sebagai definisi arah akhir model. Kemudian dijelaskan mengenai langkah pembuatan model dasar, berikut batasan dan skenario yang diterapkan pada model, menggunakan data-data yang telah tersedia. Selanjutnya adalah langkah verifikasi dan validasi model, untuk memastikan keabsahan model secara spesifik, sebagai syarat penggunaan model. Dan terakhir akan dijelaskan mengenai pembuatan model alternatif yang mengacu pada model dasar tersebut, dengan menggunakan variabel ubahan yang tersedia.

3.2.1 Desain Awal Model Dasar dan Model Alternatif

Menilik kembali kepada tujuan awal penelitian ini, yaitu untuk memperoleh sebuah model desain stasiun bawah tanah pada MRT Jakarta, dengan menggunakan pemodelan berbasis agen, serta diujikan dengan tantangan-tantangan pada jumlah penumpang, interkoneksi dengan lingkungan, serta standar kualitas tinggi, maka model dasar didesain untuk dapat memenuhi seluruh kriteria tujuan penelitian ini. Model dasar dibangun dengan berbasis pada pemodelan berbasis agen, mulai dari struktur model hingga pengumpulan dan penyesuaian datanya, untuk kemudian terbentuk menjadi sebuah model stasiun bawah tanah Bendungan Hilir pada sistem MRT Jakarta yang lengkap dan sesuai aslinya, serta mampu dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan data jumlah penumpang, penyesuaian interkoneksi dengan lingkungan sekitar, serta penerapan parameter standar kualitas yang tinggi. Model dasar, dengan seluruh data-datanya yaitu seperti data lingkungan, data perilaku agen, hingga data jumlah agen yang dimasukkan, diarahkan agar dapat menunjukkan sebuah model berbasis agen yang lengkap bagi stasiun Bendungan Hilir, mampu mensimulasikan proyeksi keadaan stasiun bawah tanah tersebut senyata mungkin.

Sehingga, model dasar terbentuk untuk dapat memberikan visualisasi area publik pada stasiun dengan lengkap, berikut dengan sarana-prasarana yang ada pada stasiun tersebut. Kemudian model dasar juga telah terlengkapi dengan agen otonom berperilaku dan berinteraksi selayaknya penumpang dan pejalan kaki di Jakarta, Indonesia. Kondisi ini yang menjadi tujuan akhir model dasar.

Pemberian jumlah agen yang dimasukkan pada model dasar merupakan bentuk analisis terhadap model dasar, sehingga lebih dikategorikan sebagai penggunaan model dasar, bukan bagian dari desainnya. Klasifikasi data jumlah penumpang dapat ditentukan sebagai data masukan (*input*) untuk pengujian.

Model alternatif sendiri merupakan bentuk perubahan pada model dasar, dengan tetap mempertahankan tujuan model dasar mengenai pemodelan stasiun. Model alternatif menjadi pilihan pada saat model dasar tidak lulus pengujian kelompok-kelompok data yang ada, yang mana model alternatif akan langsung masuk pada titik dimana model dasar mengalami kegagalan performa.

Kedua model, baik model dasar maupun model alternatif, akan dikategorikan berhasil diuji pada saat model tersebut mampu menunjukkan performa sesuai standar yang telah ditentukan, mulai dari data masukan paling awal hingga yang paling akhir. Dan dengan demikian, maka model tersebut telah memenuhi tujuan akhirnya yang mampu mengakomodasi seluruh tantangan itu.

3.2.2 Pembuatan Model Dasar, Batasan, dan Skenario

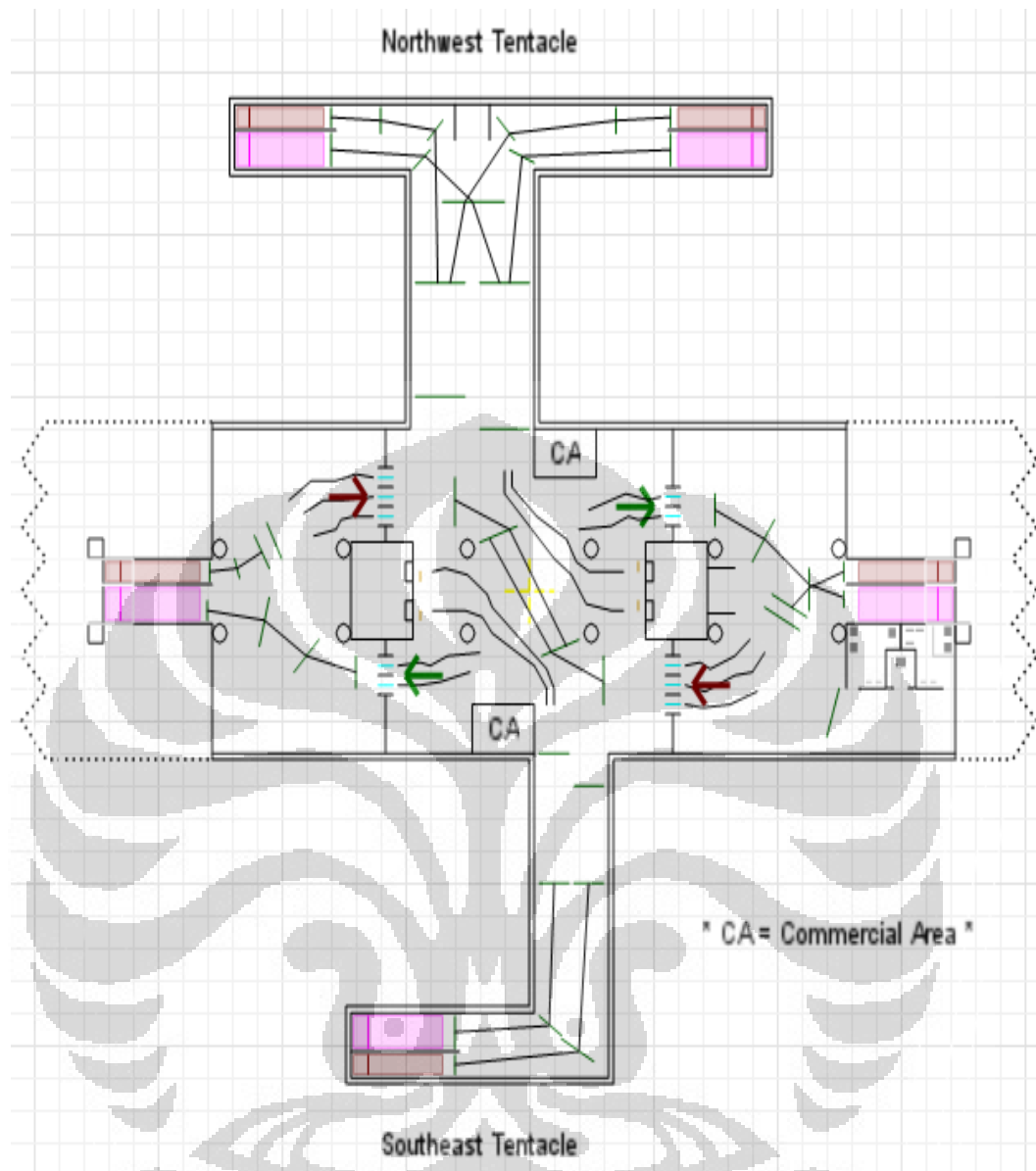
Langkah pembuatan model dasar adalah sama dengan langkah pada pengumpulan data, yaitu mulai dari data lingkungan, kemudian data agen dan interaksi antar agen tersebut. Model dasar dibangun berdasarkan data spesifikasi stasiun yang ada, untuk menciptakan lingkungan stasiun. Kemudian lingkungan tersebut diisi dengan sarana yang ada serta pengaturannya. Pada tahap ini, model dasar telah menghasilkan visualisasi area publik stasiun secara lengkap.

Selanjutnya model dasar diisikan dengan proses pergerakan agen, sesuai dengan ketentuan pergerakan yang telah ditentukan. Proses ini membutuhkan penempatan titik-titik penentu pada lingkungan model, unit-unit logika proses yang menghubungkan berurutan, serta unit-unit pengaturan agen model yang terpisah. Pada tahap ini, model telah mampu menciptakan simulasi stasiun itu.

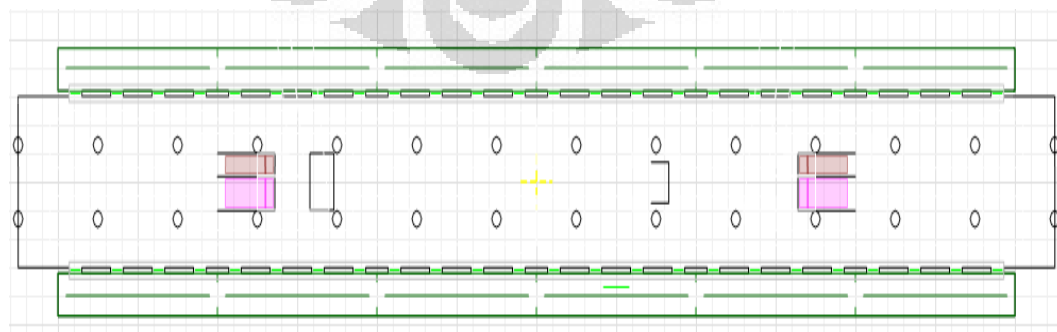
Pada tahap akhir, model diperkaya baik dengan penyesuaian pengaturan pada logika proses, seperti pengaturan input agen dan pewarnaan maupun spesifikasi agen, maupun juga dengan penambahan fitur-fitur yang memudahkan untuk mengubah pengaturan input agen serta hal-hal lainnya. Tahap ini merupakan tahapan yang lebih diarahkan untuk mempermudah pelaksanaan simulasi model dan analisis modelnya. Dengan selesainya tahap ini, maka model sudah sangat siap untuk dianalisis dan dijalankan simulasinya.

Model dasar stasiun Bendungan Hilir ini dibentuk menjadi 2 lantai sesuai spesifikasinya, yaitu lantai pertama untuk area penumpang (*Concourse*) dan lantai kedua untuk area peron (*Platform*). Spesifikasi koneksi antar lantai serta koneksi via tentakel disamakan dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Penempatan sarana seperti eskalator dan tangga, maupun fasilitas seperti area komersial dan elevator, disesuaikan dengan spesifikasi yang ada. Logika pergerakan dan unit pengaturan juga disesuaikan dengan urutan-urutan maupun opsi yang mampu disediakan bagi agen, sesuai dengan keadaan aslinya. Seluruh pengaturan ini dilakukan dengan berbasis pada peranti lunak AnyLogic ® 6 Professional tahun 2009, yang diproduksi oleh XJ Technologies. Fitur yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Pedestrian Library*, yang secara otomatis telah menyediakan pengaturan agen khusus untuk menjadi pejalan kaki. Fitur ini tetap terklasifikasikan sebagai pemodelan berbasis agen, dengan pendekatan yang mirip dengan pemodelan diskrit (*discrete-event modeling*).

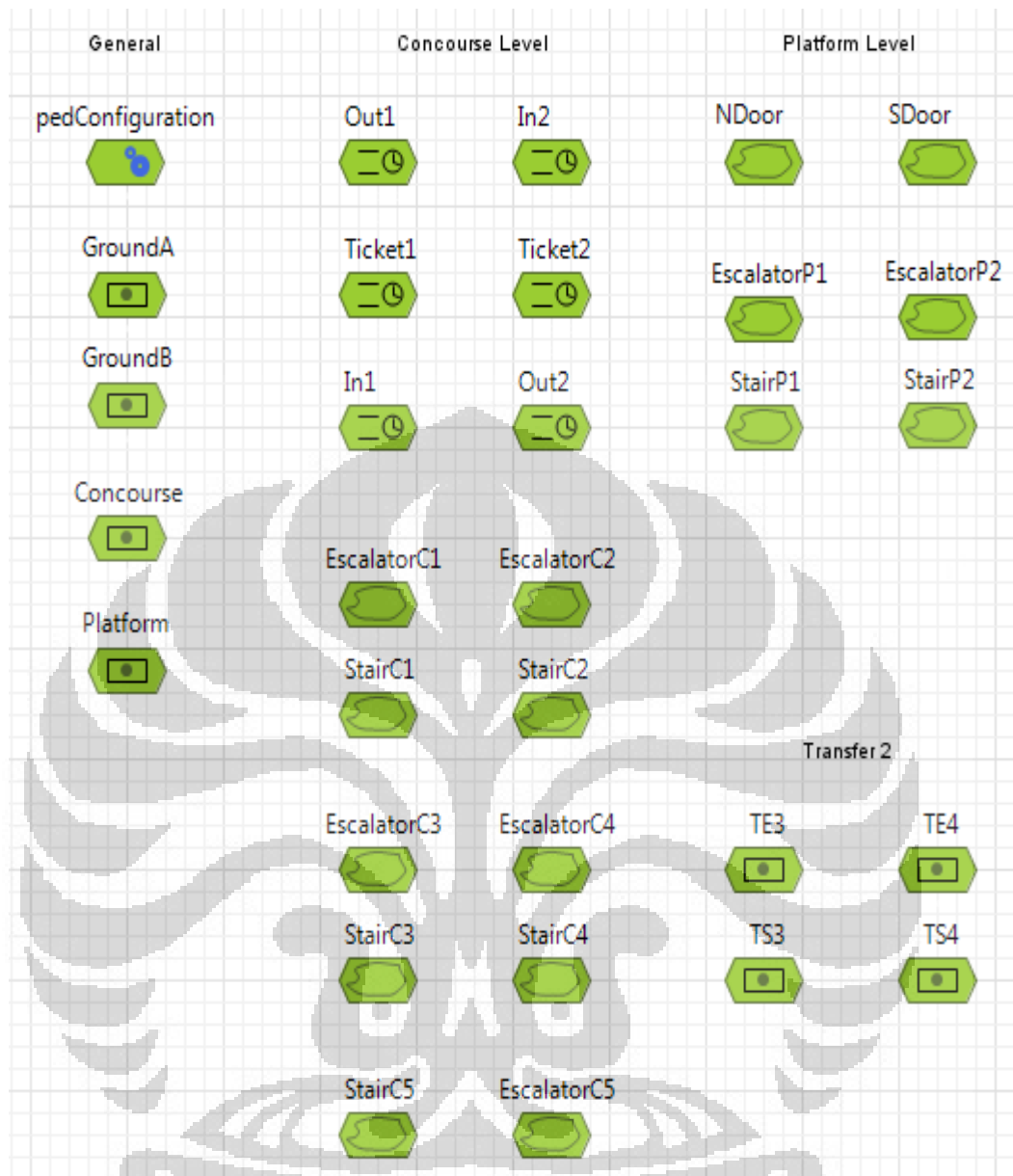
Spesifik pada penggunaan fitur ini, terdapat beberapa pengaturan yang menjadi poin utama dalam model ini. Pengaturan pertama adalah mengenai keberadaan dan kemunculan pejalan kaki, yang juga digunakan untuk mengatur jumlah dan dimensinya. Pengaturan kedua adalah mengenai area model, untuk dapat memisahkan antara area lantai pertama dengan area lantai lainnya, serta batasan dinding yang ada. Pengaturan ketiga adalah tujuan pejalan kaki serta pilihan-pilihan yang ada, untuk mendistribusikan arah pejalan kaki. Pengaturan selanjutnya yaitu fasilitas dan sarana pada model, yang menjadi pembatas gerakan pejalan kaki pada model saat menggunakan fasilitas tersebut. Keseluruhan fitur ini membangun model dasar sepenuhnya hingga selesai.



Gambar 3.4 Model dasar lantai 1

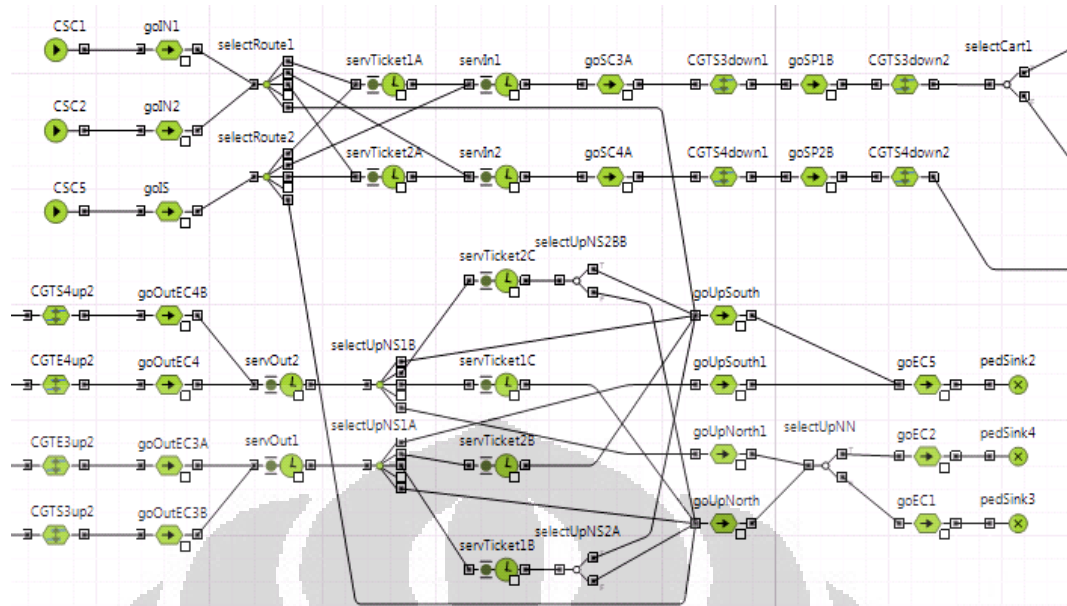


Gambar 3.5 Model dasar lantai 2

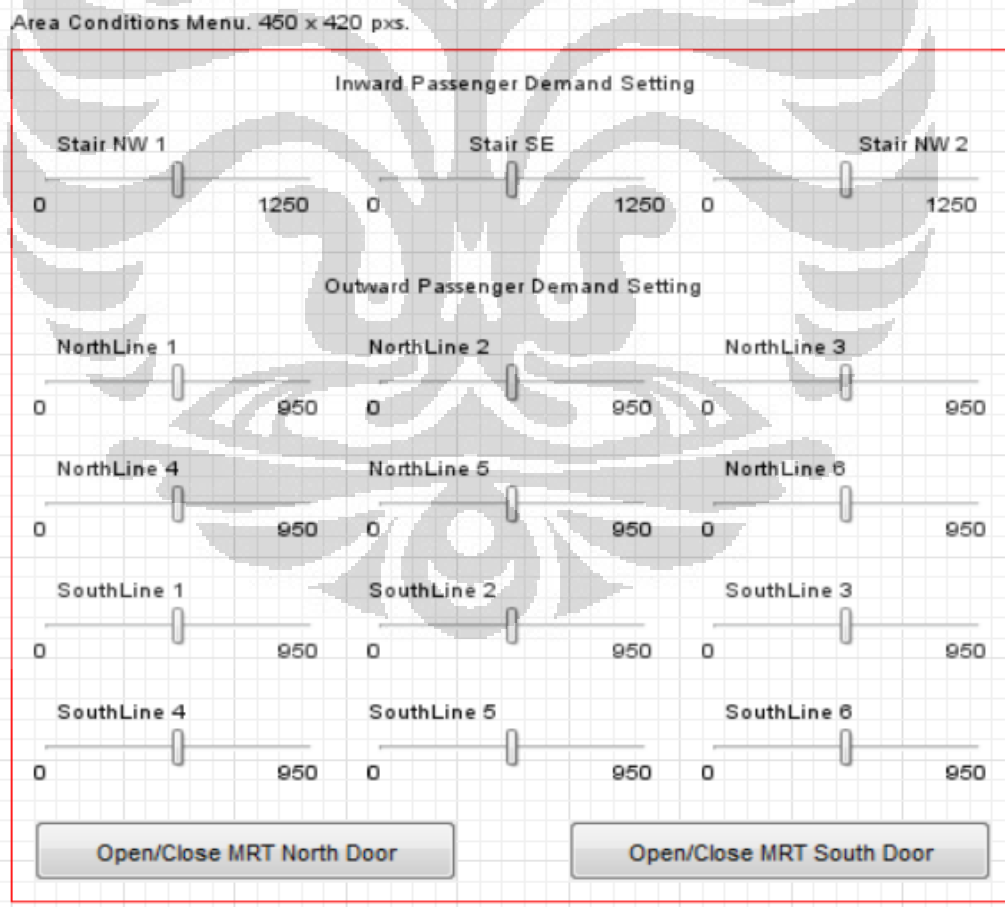


Gambar 3.6 Contoh logika pengaturan model

Pada gambar-gambar berikut, dapat terlihat 5 bagian penting dalam model yang dibangun untuk kepentingan penelitian ini. 2 bagian awal yaitu bangunan lingkungan model, spesifikasi lantai pertama dan kedua pada stasiun. Bagian ketiga dan keempat merupakan mesin pada model, yaitu logika pengaturan model serta logika proses pergerakan agen dalam model. Bagian kelima merupakan bagian pengaturan bagi pelaksanaan simulasi model, mencakup pengaturan jumlah penumpang dari setiap akses masuk dan juga buka-tutup pintu kereta.



Gambar 3.7 Contoh logika proses kerja model



Gambar 3.8 Pengaturan pelaksanaan simulasi model

Adapun dalam pembuatan model dasar ini, terdapat beberapa batasan yang diaplikasikan, untuk tetap mengarahkan pembuatan dan penggunaan model sesuai dengan tujuan penelitian yang ada. Batasan model terbagi menjadi 3 klasifikasi, yaitu batasan pada lingkungan stasiun, batasan mengenai agen, serta batasan pada interaksi agen. Bagian ini memaparkan batasan-batasan ini, sekaligus untuk memperjelas pembahasan pada bagian-bagian sebelumnya.

Batasan pada lingkungan stasiun mencakup desain dan fasilitas stasiun. Dengan menggunakan kajian pada stasiun Bendungan Hilir yang adalah salah satu stasiun bawah tanah pada sistem MRT Jakarta, maka desain serta fasilitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sesuai dengan yang berada pada spesifikasi awal untuk stasiun tersebut. Spesifikasi konstruksional mengikuti gambar teknik untuk stasiun Bendungan Hilir dari MRT Jakarta, mencakup bentuk dan dimensi ruang-ruangnya. Sedangkan fasilitas yang ada yaitu eskalator, tangga, dan elevator untuk pergerakan vertikal, kemudian area komersial dan toilet, lalu ada loket penjualan tiket serta gerbang pemeriksaan tiket masuk dan keluar. Terdapat juga ilustrasi kereta MRT dan pintu pembatasnya untuk akses naik-turun kereta.

Spesifik pada fasilitas stasiun, untuk eskalator dan tangga telah terdapat batasan kecepatannya sesuai referensi yang digunakan. Performa loket penjualan tiket dan gerbang pemeriksaan tiket juga telah ditentukan sesuai standar dari MRT Jakarta. Sehingga fasilitas dasar stasiun telah ditentukan seluruhnya.

Penelitian ini berfokus pada pergerakan penumpang di dalam stasiun, pada saat penumpang masuk / keluar kereta, serta saat penumpang masuk / keluar stasiun, dan juga pergerakan perpindahan diantara kedua kejadian tersebut. Dalam hal ini, penelitian berfokus pada fasilitas dasar stasiun, yang paling dominan digunakan. Sehingga batasan penelitian ini terletak pada ditiadakannya evaluasi pada area komersial serta toilet, yang adalah fasilitas tambahan untuk pelayanan pada stasiun. Batasan yang sama juga menyebabkan dinonaktifkannya elevator.

Batasan pada agen mencakup jumlah agen dan pengaturan dasarnya. Pada jumlah agen, digunakan data hasil studi JMEC, seperti yang telah ditunjukkan pada bagian sebelumnya. Data jumlah agen bervariasi dan digunakan sebagai variabel input penelitian. Sedangkan pengaturan dasar agen mencakup kecepatan berjalan seorang agen pejalan kaki orang Indonesia, dan dimensi diameter agen.

Batasan pada interaksi agen mencakup perilaku agen, bentuk interaksi antar agen, dan juga interaksi agen dengan lingkungannya. Dengan menggunakan pengaturan dari internal peranti lunak, maka perilaku agen telah tersesuaikan dengan perilaku pejalan kaki pada umumnya di dunia. Perilaku navigasi yang umum ini tidak mempengaruhi efektivitas hasil penelitian pada MRT Jakarta, karena pendekatan yang digunakan dalam perilaku ini adalah acak, serta sesuai pada kondisi yang dihadapi setiap agen secara spesifik.

Interaksi antar agen dalam penelitian ini terbatas pada interaksi kontak fisik, seperti pada interaksi agen dengan batasan dimensional lingkungannya. Sehingga perilaku respon yang akan ditunjukkan agen adalah perilaku navigasinya saja, tidak memerlukan perilaku sosial seperti bercengkerama maupun membentuk kelompok. Sedangkan bentuk interaksi lain agen dengan lingkungannya adalah ikut sertanya agen dalam pengaturan area yang ada pada daerah spesifik di lingkungan stasiun tersebut. Misalnya saat agen sedang menggunakan eskalator, maupun saat agen sedang diperiksa tiketnya.

Pembuatan model dasar juga disesuaikan dengan penerapan skenario yang diaplikasikan pada model tersebut. Dalam penelitian ini, jumlah penumpang menjadi variabel utama yang menunjukkan perubahan skenario tersebut. Variasi jumlah penumpang ditentukan berdasarkan tahunnya (2017, 2020, 2027, 2037), keberadaan koridor Timur-Barat pada tahun 2027 dan 2037 (ada, tidak ada), kondisi regulasi transportasi yang diimplementasikan (kondisi standar, ada TDM, ada TOD, ada TDM dan TOD), serta pembagian waktu yang digunakan (Jam sibuk pagi, jam bukan sibuk, jam sibuk sore). Sehingga total terdapat 72 jenis data jumlah penumpang yang perlu dimasukkan ke dalam model untuk diujikan.

Dalam 72 jenis data tersebut, data dengan jumlah penumpang terendah merupakan data tahun 2017 kondisi standar pada jam bukan sibuk. Sedangkan data dengan jumlah penumpang tertinggi merupakan data tahun 2037 dengan implementasi koridor Timur-Barat serta regulasi TDM & TOD, pada jam sibuk sore. Data mencakup jumlah penumpang dari tiap tentakel dan tiap gerbong MRT.

Dari segi operasional MRT, skenario yang digunakan adalah seluruhnya kondisi normal, sehingga tidak ada kondisi anomali yang tidak diperlukan seperti telat datangnya MRT atau adanya area komersial liar di peron, atau lainnya.

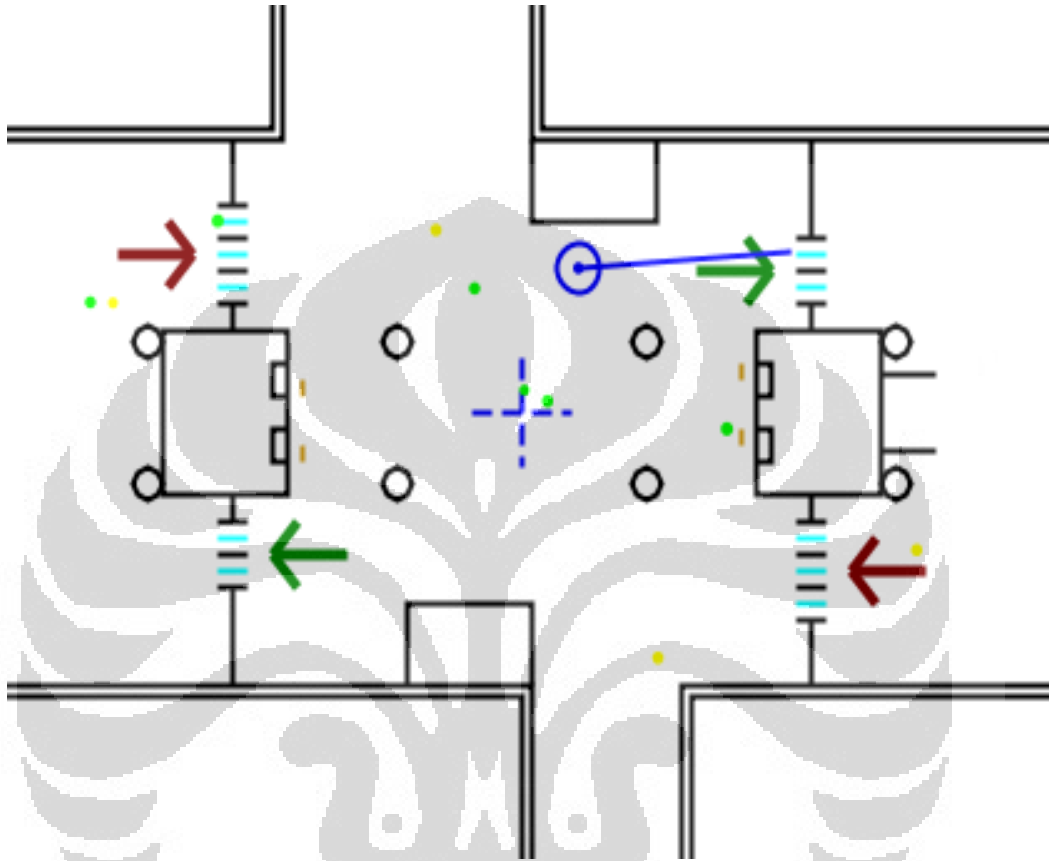
3.2.3 Verifikasi dan Validasi Model

Proses verifikasi dan validasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model telah merepresentasikan kondisi sistem yang sebenarnya. Pada pemodelan stasiun MRT Jakarta ini, karena stasiun ini pada kenyataannya belum ada, maka proses verifikasi dan validasi model dilakukan berdasarkan konsep model yang dibangun serta kesesuaiannya dengan kondisi stasiun kereta yang berkonsep serupa. Pada penelitian ini, verifikasi dan validasi dilakukan hanya pada model dasar, dengan kondisi bahwa penerapan model alternatif hanya akan mengubah posisi maupun menambahkan unit pengaturan baru, tanpa mengubah logika dasar model serta urutan proses pergerakannya. Perubahan minimal tersebut akan mengubah performa model, namun tidak akan mengubah logika modelnya.

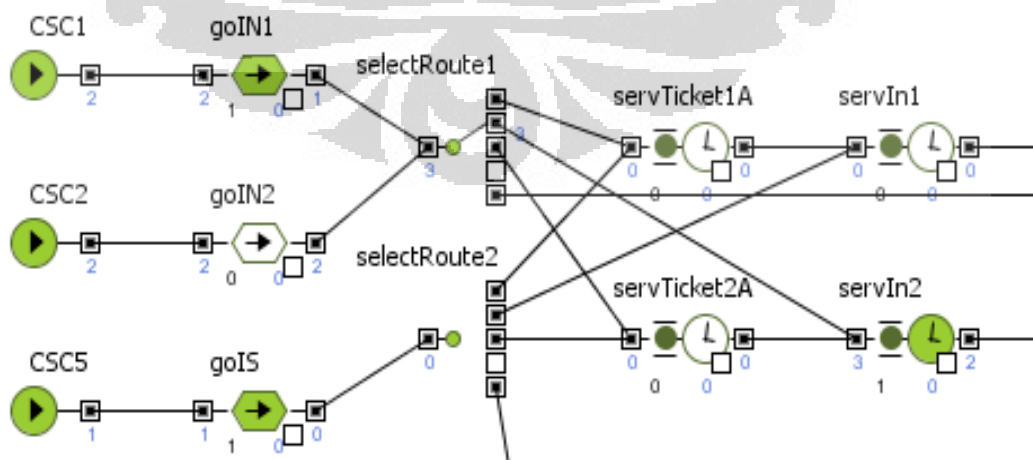
Proses verifikasi model dilakukan dengan mengkaji pergerakan agen dalam model, memeriksa kesesuaian pergerakan agen untuk memenuhi salah satu dari 3 rute gerak yang telah ditentukan secara visual, serta diselaraskan dengan pemeriksaan secara logika proses kerja. Pada peranti lunak ini, hal ini dimungkinkan dengan dapatnya diperiksa keberadaan agen tersebut pada kuasa logika kerja tertentu serta secara visual dalam lingkungan model. Proses verifikasi dinyatakan selesai apabila seluruh rute yang ditentukan telah berhasil dipenuhi, baik untuk yang masuk ke kereta MRT maupun yang keluar dari kereta MRT.

Proses validasi dilakukan untuk menguji kesesuaian model terhadap kondisi sebenarnya, yang mencakup kemunculan perilaku individu dan kolektif serta interaksinya, lama waktu pergerakan agen dalam model, dan juga jumlah agen yang muncul. Kemunculan perilaku dan interaksi pada agen-agen merupakan validasi secara perilaku agen. Sedangkan lama waktu pergerakan serta jumlah agen merupakan validasi secara kerja model. Bila muncul fenomena-fenomena perilaku individu dan kolektif, serta interaksi antar agen dan juga interaksi agen dengan lingkungannya, maka model ini sudah valid secara perilaku agen. Sedangkan bila lama waktu pergerakan serta jumlah agen sesuai dengan pengaturan pada awal dijalankannya model, maka model telah valid secara kinerja.

Dalam penelitian kali ini, model dasar stasiun Bendungan Hilir ini telah terverifikasi dan tervalidasi sesuai dengan persyaratan yang telah ditentukan. Sehingga model ini layak untuk dilanjutkan dan digunakan dalam analisis.

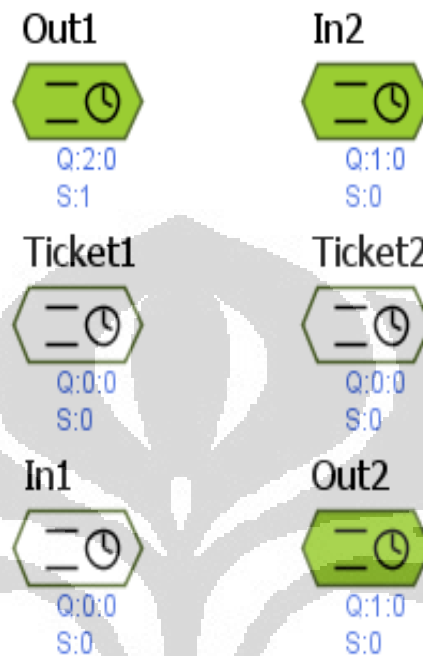


Gambar 3.9 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi perilaku secara visual



Gambar 3.10 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi jumlah agen secara logika pergerakan

Concourse Level



Gambar 3.11 Proses verifikasi pergerakan agen dan validasi waktu dari pengaturan kerja model

3.2.4 Pengembangan Model Alternatif

Pada saat analisis model dasar, bila terdapat kondisi dimana model dasar tidak dapat menunjukkan performa yang sesuai standar, maka model dasar dinyatakan gagal dan tidak dapat direkomendasikan untuk digunakan melebihi tahun dan skenario pengujian tersebut. Pada saat demikian, maka model alternatif digunakan langsung dan melanjutkan ujicoba pada kondisi input tersebut.

Dalam hal ini, model alternatif dibangun sesuai ketentuan alternatif perubahan yang telah ditentukan sebelumnya. Proses pembangunan model menjadi lebih mudah, karena tidak perlu mengikuti proses pembuatan model dari awal. Ubahan pada model alternatif hanya perlu diimplementasikan langsung pada model dasar, kemudian setelah seluruh proses berjalan dengan lancar, maka proses analisis dilanjutkan kembali.

Bila pada akhir analisis model alternatif tetap dapat bertahan, maka alternatif yang digunakan itulah yang menjadi rekomendasi akhir penelitian ini. Sedangkan bila hingga nilai ujicoba terakhir pun model dasar tetap dapat berperforma dengan baik, maka model dasar yang tetap direkomendasikan, dengan juga ditambahkan beberapa masukan hasil observasi bila ada.

Adapun ubahan-ubahan yang dimungkinkan dalam model alternatif ini yaitu sebagai berikut, berdasarkan urutan implementasinya.

1. Perubahan sarana pergerakan vertikal bagi penumpang, dari 1 eskalator dan 1 tangga, menjadi seluruhnya berupa eskalator sebanyak 2 unit yang dioperasikan berlawanan arah. Perubahan ini dilakukan untuk memperlancar pergerakan vertikal pada seluruh koneksi vertikal.
2. Perubahan desain secara masif, dari 2 tentakel dengan area *free concourse* terapat area *paid concourse*, menjadi 4 tentakel dengan area *free concourse* mengapit area *paid concourse*. Perubahan desain ini menjadi langkah besar untuk meningkatkan kapasitas dan luasan area stasiun.
3. Penambahan jalur interkoneksi bawah tanah ke area komersial yang terletak di sekitar stasiun, dengan memperpanjang tembusan terowongan tentakel melebihi area dengan koneksi vertikal ke trotoar. Alternatif ini dilakukan untuk meningkatkan kelancaran pergerakan penumpang keluar stasiun dari lantai pertama. Alternatif ini secara teoritis juga berpotensi meningkatkan jumlah penumpang masuk maupun keluar stasiun.

Tujuan ubahan-ubahan alternatif ini adalah untuk meningkatkan kelancaran pergerakan vertikal penumpang, memperlancar arus penumpang keluar-masuk stasiun, serta meningkatkan faktor kenyamanan dan keselamatan penumpang saat berada dalam stasiun MRT Jakarta.

BAB 4

ANALISIS

Dengan telah terselesaikannya bagian pengumpulan dan pengolahan data, maka pada bab ini akan dipaparkan mengenai langkah serta analisis hasil model-model yang dikeluarkan pada penelitian ini. Hasil akhir dari bab ini adalah pemaparan mengenai desain stasiun terbaik untuk stasiun Bendungan Hilir pada sistem MRT Jakarta, serta latar belakang analisisnya secara lengkap. Bab ini menjadi pendukung data bagi bab selanjutnya, yaitu kesimpulan dan saran.

Langkah pemaparan hasil analisis pada bab ini yaitu sebagai berikut. Pada bagian pertama, dijelaskan terlebih dahulu mengenai parameter yang digunakan untuk menganalisis model-model yang ada, serta batasan yang ditentukan untuk menilai sebuah model dapat diterima. Kemudian, akan dijelaskan mengenai hasil masing-masing model, baik model dasar pada kondisi beragam skenario hingga model alternatifnya bila memang diimplementasikan. Kemudian bagian selanjutnya membahas mengenai perbandingan hasil antar model, untuk mendapatkan hasil desain terbaik antara model dasar dengan model alternatifnya. Dan pada bagian akhir, akan dipaparkan mengenai desain yang tepat untuk stasiun Bendungan Hilir tersebut, serta penjelasan sesuai hasil penelitian ini.

4.1 Parameter Analisis dan Batasan Penerimaan Hasil

Pembentukan parameter analisis dilakukan dengan mempertimbangkan kembali tujuan penelitian serta dasar teori yang digunakan. Dalam hal ini, pemodelan berbasis agen serta manajemen keramaian digunakan untuk mendasari penelitian mengenai model desain stasiun bawah tanah MRT Jakarta ini, agar dapat memunculkan sebuah desain stasiun yang mampu melayani proyeksi penumpang pada masa depan sesuai dengan skenario dan kondisinya, mampu terintegrasi dengan lingkungan sekitarnya secara ideal, serta mampu tetap mempertahankan standar kualitas pelayanan operasional, keselamatan, keamanan, dan kenyamanan bagi penumpangnya. Fokus parameter analisis disini adalah pergerakan penumpang, yaitu tingkat kepadatan dan masalah yang terjadi selama pergerakan, serta lama waktu pergerakannya.

Poin-poin parameter analisis yang digunakan, berdasarkan fokus yang telah ditetapkan tersebut, yaitu sebagai berikut.

1. Parameter Kualitatif

- a. Munculnya kondisi macet (*jammed*) pada wilayah dalam stasiun akibat terhambatnya keramaian penumpang untuk bergerak.
- b. Munculnya kondisi naik-turun penumpang yang tidak kondusif saat MRT berhenti, mengakibatkan minimnya pergerakan transfer penumpang saat itu.

2. Parameter Kuantitatif

- a. Lama waktu pergerakan penumpang dari awal hingga tujuan.
- b. Kepadatan penumpang (*density*) pada area tertentu.

Penggunaan parameter kuantitatif serta kualitatif dimaksudkan untuk menyeimbangkan antara observasi simulasi secara visual dengan penggunaan data angka yang muncul dari simulasi tersebut. Mengambil dasar analisis dari ilmu manajemen keramaian, observasi visual tetap diperlukan untuk dapat mengetahui serta mengamati munculnya perilaku-perilaku maupun interaksi antar individu yang tidak terbaca secara kuantitatif.

Parameter kondisi macet sebagai parameter kualitatif digunakan bersamaan dengan parameter kepadatan penumpang sebagai parameter kuantitatif, hal ini dimaksudkan agar identifikasi kondisi macet dapat tetap terjadi walaupun pada parameter kepadatan penumpang belum mencapai titik berbahaya. Hal ini dikarenakan potensi kejadian macet yang dapat berada di mana saja, terutamanya pada pertemuan arus penumpang yang besar dan menuju wilayah sempit. Identifikasi kepadatan dihitung relatif terhadap luas area yang dicakupnya, sehingga tidak dapat mengukur kepadatan lokal yang terjadi akibat kemacetan tersebut.

Kondisi naik-turun penumpang yang tidak kondusif merupakan suatu hal yang tetap harus diperhatikan, karena untuk mendukung tujuan operasional sistem MRT Jakarta yaitu agar penumpang dapat menikmati transportasi umum berbasis rel ini dengan nyaman dan aman. Bila terjadi hambatan pada titik transfer, maka akan menimbulkan dampak negatif bagi penumpang, sekaligus dapat mengakibatkan penumpukan penumpang pada waktu-waktu sesudah itu, dan hanya mengakibatkan masalah menjadi semakin memburuk.

Lama waktu pergerakan penumpang dalam stasiun merupakan parameter kuantitatif yang khusus untuk mengkaji efisiensi stasiun bagi pergerakan penumpang. Bila arus penumpang tetap dapat bergerak dalam stasiun pada suatu waktu tertentu, dan menyelesaikan arah pergerakannya, maka stasiun dikategorikan tetap efisien dan memenuhi syarat standar operasional. Namun bila ternyata terlalu lama dibandingkan waktu standar, maka stasiun perlu kajian lebih lanjut mengenai titik-titik yang menghambat pergerakan penumpang tersebut.

Seluruh parameter tersebut digunakan pada setiap skenario dan setiap set data, untuk kemudian dibandingkan hasilnya serta dianalisis tren perubahannya, yang kemudian dapat menciptakan asumsi lebih lanjut mengenai kondisi stasiun setelah periode tahun yang tersedia pada data model ini. Kemudian, hasil analisis juga menjadi bahan rekomendasi lengkap bagi pihak MRT Jakarta.

Untuk dapat mengkategorikan sebuah simulasi model sebagai diterima, maka diperlukan batasan yang jelas pada setiap parameter, baik kualitatif maupun kuantitatif. Batasan ini ditentukan sesuai standar pelayanan & keselamatan pada MRT Jakarta, sejalan dengan penentuan parameter-parameter diatas. Batasan ini berlaku pada seluruh desain stasiun yang digunakan, serta pada setiap jenis skenario jumlah penumpang yang diimplementasikan pada simulasi model, menjadi dasar rekomendasi desain stasiun pada skenario spesifik tersebut.

Pada parameter kualitatif pertama yaitu mengenai kondisi macet akibat terhambatnya arus penumpang, serta parameter kedua mengenai kelancaran proses naik-turun penumpang, terdapat 5 pembagian kondisi, yaitu OK, Relatif Padat, Padat, Sangat Padat, dan Berhenti Total. Dengan berdasarkan pada observasi visual, dapat ditentukan perbedaan kondisi-kondisi tersebut, mulai dari kondisi stasiun yang sangat lengang hingga kondisi terlalu padat dan mudah menimbulkan berhentinya pergerakan penumpang.

Dalam parameter kualitatif ini, batasan maksimal yang dapat diterima yaitu kondisi Padat. Bila kondisinya sudah mencapai Sangat Padat, maka desain stasiun yang digunakan pada model tersebut tidak direkomendasikan, dan segera digantikan dengan model alternatif untuk kembali mencoba skenario yang diujicobakan tersebut pada saat itu. Kondisi padat sendiri menunjukkan bahwa desain stasiun berpotensi untuk gagal dan membutuhkan perhatian khusus.

Untuk parameter kuantitatif pertama yaitu lama pergerakan penumpang, batasan yang ditetapkan berada pada 2 jalur utama yang dilewati oleh penumpang, yaitu jalur masuk dari tentakel menuju ke MRT dan naik ke dalam kereta, dan jalur keluar dari MRT menuju ke tentakel dan keluar stasiun. Keduanya melewati wilayah serta berjarak tempuh yang setara, namun dengan keadaan yang berbeda, terutama terpengaruh pada kepadatan agen-agen yang searah.

Parameter kuantitatif tersebut memiliki besar maksimal yaitu 5 menit. Nilai ini berdasarkan perhitungan jarak tempuh maksimal dari tentakel terjauh menuju ke gerbang pemeriksaan loket yang memungkinkan, kemudian juga dari eskalator / tangga menuju ke tengah-tengah rangkaian kereta MRT, dan dibagi dengan kecepatan jalan kaki terlambat yang mungkin. Nilai waktu ini juga bertepatan dengan selisih waktu kedatangan antar kereta (headway) yang ditentukan sebagai standar. Sehingga bila saat simulasi model diketahui terdapat agen yang melewati batas 5 menit secara normal, maka model dikategorikan gagal.

Parameter kuantitatif kedua adalah mengenai kepadatan penumpang. Dalam hal ini pada area penumpang (*Concourse*) di lantai pertama dan area peron (*Platform*) di lantai kedua. Kepadatan maksimal secara umum adalah 1 orang / m². Sedangkan kepadatan pada batas nyaman adalah 0,5 orang / m². Pada kedua nilai kepadatan ini, pergerakan penumpang tetap dapat terjadi, terutama pada kepadatan terbatas nyaman tersebut yang mampu mengakomodasi pergerakan penumpang tanpa hambatan yang besar.

Sehingga pada area penumpang, dengan menggunakan asumsi luas area yaitu 1000 m², didapatkan batas maksimal yaitu 1000 agen dan batas nyaman yaitu 500 orang. Sedangkan pada area peron, dengan asumsi luas area mencapai 1200 m², maka batas maksimalnya yaitu 1200 agen, serta batas nyamannya yaitu mencapai 600 orang. Nilai 500 dan 600 orang menjadi batasan yang diimplementasikan pada parameter kepadatan ini.

Sehingga bila saat disimulasikan, sebuah model mencatatkan hasil parameter kualitatif OK hingga Padat, dengan waktu pergerakan agen lebih kecil dari 5 menit, dan jumlah agen kurang dari 500 di lantai 1 serta kurang dari 600 pada lantai 2, maka batasan terpenuhi dan model lolos uji skenario tersebut.

4.2 Hasil Seluruh Model

Dengan tersedianya parameter analisis serta batasan penerimaan hasil simulasi model, maka kemudian dimulai langkah analisis model dasar, dengan memasukkan data yang telah tersedia ke dalam model. Data tersebut merupakan hasil data proyeksi penumpang harian yang didistribusikan menjadi data penumpang per jam, yang kemudian disederhanakan lagi menjadi data yang mewakili periode waktu jam sibuk pagi, jam tidak sibuk, dan jam sibuk sore. Distribusi data bagi model dilakukan dengan adanya pembagian data untuk ketiga tangga turun pada tentakel serta 12 gerbong MRT yang ada pada area peron. Total terdapat 24 set data untuk masing-masing periode. Sehingga total data jumlah penumpang sesuai dengan pernyataan pada bagian awal, yaitu 72 jenis data.

Dalam pelaksanaan penelitian ini, seluruh jenis data penumpang diujicobakan pada model dasar, dengan hasil perbandingan dengan batasan yang selalu dapat diterima. Sehingga tidak diperlukan implementasi model alternatif, yang menandakan bahwa secara fundamental tidak diperlukan perubahan desain stasiun Bendungan Hilir. Desain stasiun yang awal, dengan konfigurasi area *free concourse* diapit oleh 2 area *paid concourse*, tetap dapat diterima dan tetap dapat diutilisasikan hingga skenario jumlah penumpang terberat di tahun 2037.

Dalam penelitian ini, setiap data input yang dimasukkan ke dalam model dan disimulasikan, data output maupun hasil observasinya tetap tercatat dan terverifikasi kesesuaiannya dengan batasan maupun parameter yang ditentukan. Kumpulan data hasil tersebut tersajikan dalam 3 tabel besar, yaitu tabel hasil untuk data seluruh tahun dan skenario pada waktu sibuk pagi, waktu bukan sibuk, dan waktu sibuk sore. Adapun data input yang digunakan telah tercantumkan sebelumnya pada bab pengumpulan dan pengolahan data.

Dalam data tabel tersebut, terdapat 6 baris data untuk masing-masing tahun dan skenario. Keenam baris tersebut secara berurutan yaitu (1A) hasil observasi visual untuk kemacetan, (1B) hasil observasi visual untuk naik-turun penumpang, (2A1) waktu tempuh masuk MRT dalam menit, (2A2) waktu tempuh keluar MRT dalam menit, (2B1) jumlah orang di area lantai pertama, dan (2B2) jumlah orang di area lantai kedua. Seluruhnya sesuai parameter yang ditentukan.

Tabel 4.1 Data hasil untuk jam sibuk pagi

		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	1.93	1.93	1.94	1.94
	2A2	2.41	2.40	2.45	2.45
	2B1	48	49	52	53
	2B2	25	26	27	27
2020	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.22	2.23	2.32	2.32
	2A2	2.45	2.44	2.49	2.50
	2B1	81	95	100	112
	2B2	40	55	57	63
2027 (A)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.24	2.26	2.40	2.38
	2A2	2.51	2.51	2.53	2.55
	2B1	91	95	121	135
	2B2	49	50	52	53
2037 (A)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.29	2.31	2.47	2.50
	2A2	2.50	2.51	2.56	2.56
	2B1	98	100	158	164
	2B2	45	45	72	73
2027 (B)	1A	OK	OK	OK	Relatif Padat
	1B	OK	OK	OK	Relatif Padat
	2A1	2.48	2.50	2.67	2.70
	2A2	2.45	2.46	2.61	2.67
	2B1	142	150	198	209
	2B2	58	79	95	104
2037 (B)	1A	OK	OK	Relatif Padat	Relatif Padat
	1B	OK	OK	Relatif Padat	Relatif Padat
	2A1	2.60	2.62	2.84	2.86
	2A2	2.56	2.61	2.88	2.89
	2B1	172	185	221	234
	2B2	90	95	110	118

Tabel 4.2 Data hasil untuk jam bukan sibuk

		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	1.92	1.92	1.92	1.93
	2A2	2.40	2.40	2.41	2.41
	2B1	42	43	49	50
	2B2	23	23	24	25
2020	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	1.95	2.01	2.20	2.22
	2A2	2.45	2.44	2.45	2.45
	2B1	56	60	78	80
	2B2	29	31	36	39
2027 (A)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.11	2.13	2.25	2.26
	2A2	2.44	2.45	2.47	2.48
	2B1	68	70	92	96
	2B2	34	35	48	50
2037 (A)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.22	2.23	2.30	2.32
	2A2	2.45	2.46	2.49	2.50
	2B1	81	82	95	101
	2B2	39	40	46	47
2027 (B)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.30	2.31	2.46	2.46
	2A2	2.47	2.47	2.48	2.48
	2B1	96	100	130	135
	2B2	45	47	55	55
2037 (B)	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.44	2.46	2.57	2.59
	2A2	2.48	2.48	2.52	2.55
	2B1	132	140	160	170
	2B2	52	58	80	87

Tabel 4.3 Data hasil untuk jam sibuk sore

		Base Case	TDM	TOD	TDM & TOD
2017	1A	OK	OK	OK	OK
	1B	OK	OK	OK	OK
	2A1	2.21	2.23	2.29	2.31
	2A2	2.44	2.46	2.49	2.50
	2B1	79	82	103	109
	2B2	39	42	58	62
2020	1A	OK	OK	OK	Relatif Padat
	1B	OK	OK	OK	Relatif Padat
	2A1	2.50	2.52	2.79	2.82
	2A2	2.55	2.57	2.85	2.86
	2B1	163	172	201	219
	2B2	72	77	103	109
2027 (A)	1A	OK	OK	Relatif Padat	Relatif Padat
	1B	OK	OK	Relatif Padat	Relatif Padat
	2A1	2.60	2.62	2.83	2.87
	2A2	2.55	2.58	2.87	2.90
	2B1	171	182	217	238
	2B2	89	96	109	120
2037 (A)	1A	Relatif Padat	Relatif Padat	Relatif Padat	Relatif Padat
	1B	Relatif Padat	Relatif Padat	Relatif Padat	Relatif Padat
	2A1	2.75	2.80	2.92	2.98
	2A2	2.73	2.75	2.90	2.97
	2B1	212	215	248	251
	2B2	106	108	141	145
2027 (B)	1A	Relatif Padat	Relatif Padat	Padat	Padat
	1B	Relatif Padat	Relatif Padat	Padat	Padat
	2A1	2.92	2.99	3.11	3.12
	2A2	2.89	2.97	3.20	3.20
	2B1	246	274	290	290
	2B2	139	165	172	173
2037 (B)	1A	Padat	Padat	Padat	Padat
	1B	Padat	Padat	Padat	Padat
	2A1	3.10	3.11	3.20	3.25
	2A2	3.18	3.21	3.28	3.33
	2B1	288	289	305	316
	2B2	170	173	180	187

Dari ketiga tabel tersebut, dapat terlihat dengan jelas bahwa untuk parameter kuantitatif, yaitu lama pergerakan penumpang masuk ke MRT serta keluar dari MRT, kemudian kepadatan penumpang di area penumpang dan juga peron, seluruhnya berada dibawah batasan maksimalnya. Tidak ada lama waktu yang mencapai angka 5 menit. Tidak ada kepadatan area penumpang yang mencapai angka 500 orang, serta tidak ada kepadatan area peron yang mencapai angka 600 orang. Sehingga secara kuantitatif, desain stasiun di model dasar ini mampu digunakan hingga tahun 2037 skenario terburuk.

Namun demikian, pada aspek parameter observasi visual, yang mencakup kemacetan dan kesulitan keluar-masuk penumpang di pintu MRT, terdapat perubahan kondisi dari OK menjadi relatif padat, kemudian berubah lagi menjadi padat. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama, kondisi stasiun menjadi semakin sesak dan memberikan luasan area makin terbatas bagi penumpang. Hal ini lumrah terjadi, namun memerlukan perhatian khusus untuk jangka panjang.

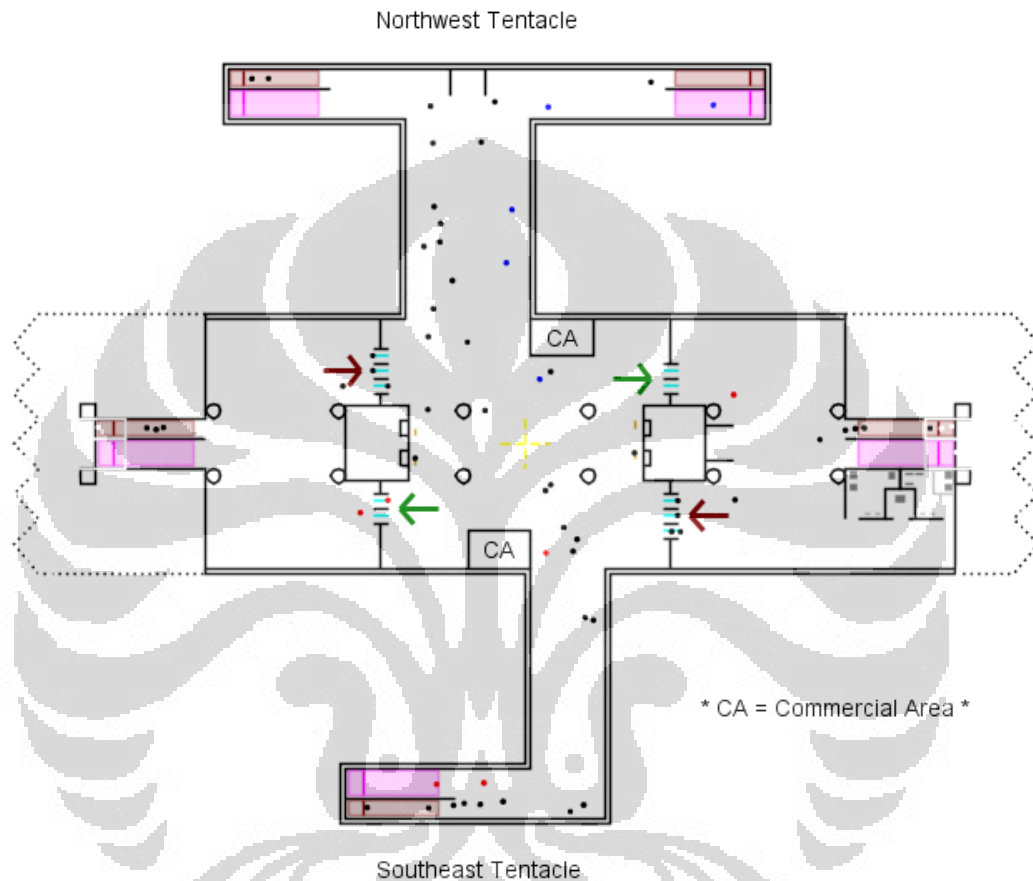
Secara kuantitatif juga terdapat tren serupa, yakni kecenderungan stasiun untuk menjadi semakin sesak dan padat. Berdasarkan lama pergerakan, terdapat peningkatan lebih dari 1 menit pada kedua jalur, sebagai dampak kepadatan pada kedua lantai stasiun. Kepadatan penumpang pada suatu waktu juga menunjukkan tren semakin meningkat, 5 hingga 6 kali lipat dari nilai awalnya untuk masing-masing kategori waktu. Tren ini sesuai dengan tren jumlah penumpang yang memang terus meningkat seiring laju pertumbuhan pemakai MRT Jakarta.

Dari segi kategori waktu, secara jelas telah terlihat bahwa stasiun mendapatkan beban terberatnya pada saat jam sibuk sore. Hal ini sesuai dengan realitas yang diterima sistem transportasi massal di Jakarta pada saat ini, maupun juga menurut data yang tersedia bagi penelitian ini. Pada jam bukan sibuk, kondisi stasiun tetap lengang pada skenario apapun.

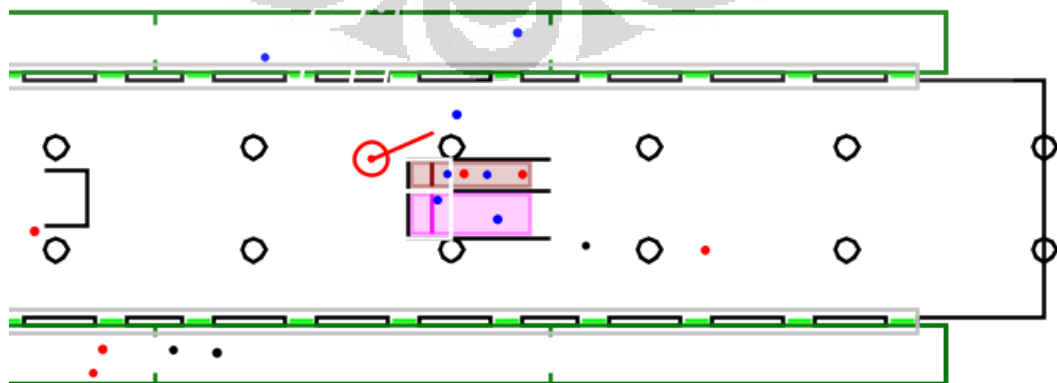
Dengan tersedianya data hasil keluaran simulasi model ini, maka selanjutnya dapat dilaksanakan perbandingan hasil untuk seluruh model, yang juga mencakup perbandingan hasil observasional dan hasil pengukuran kuantitatif. Perbandingan ini akan pada akhirnya memberikan rekomendasi akhir pada penelitian ini, sesuai dengan temuan-temuan saat dilakukannya perbandingan.

4.3 Perbandingan Hasil Seluruh Model

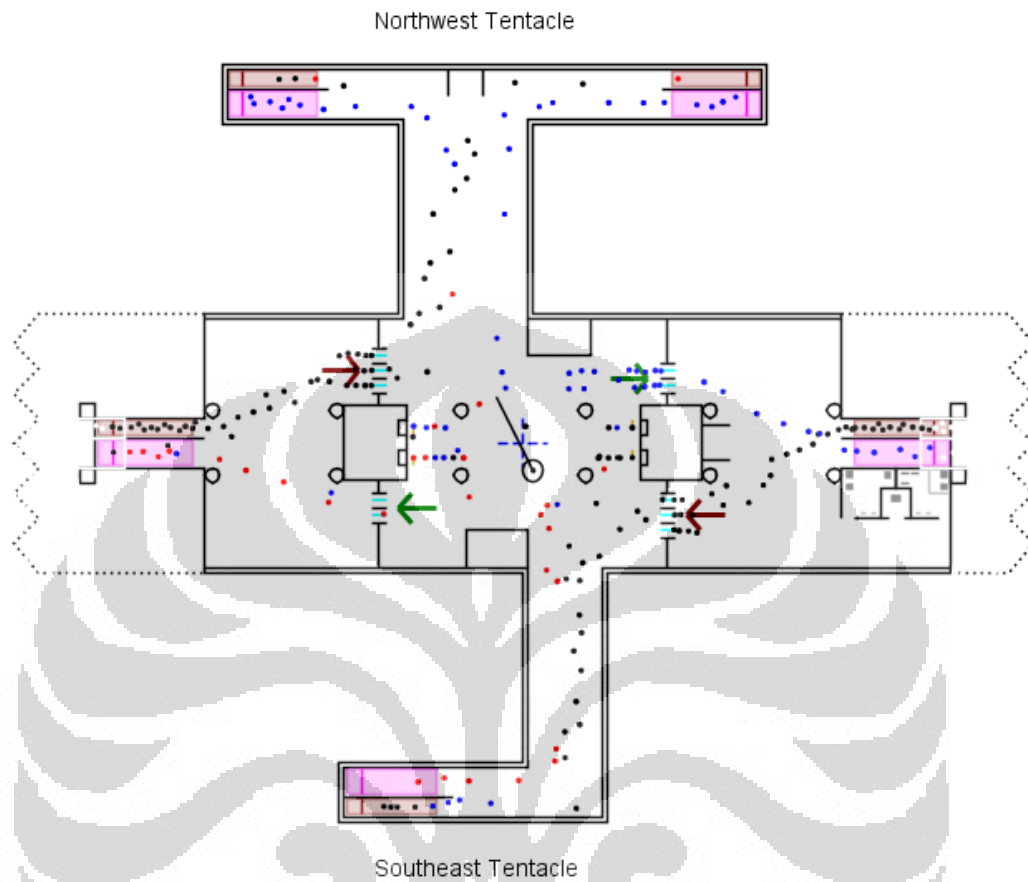
Kelima gambar berikut ini menunjukkan hasil simulasi model pada data 2017 skenario TDM pagi serta data 2037B skenario TDM & TOD sore, untuk lantai pertama, lantai kedua, dan khusus data kedua juga terdapat logika modelnya.



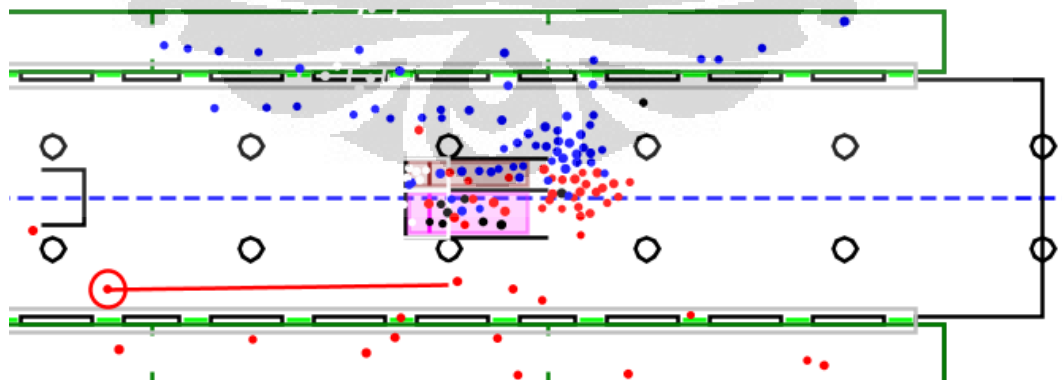
Gambar 4.1 Hasil model dasar lantai 1 - tahun 2017 skenario TDM pagi



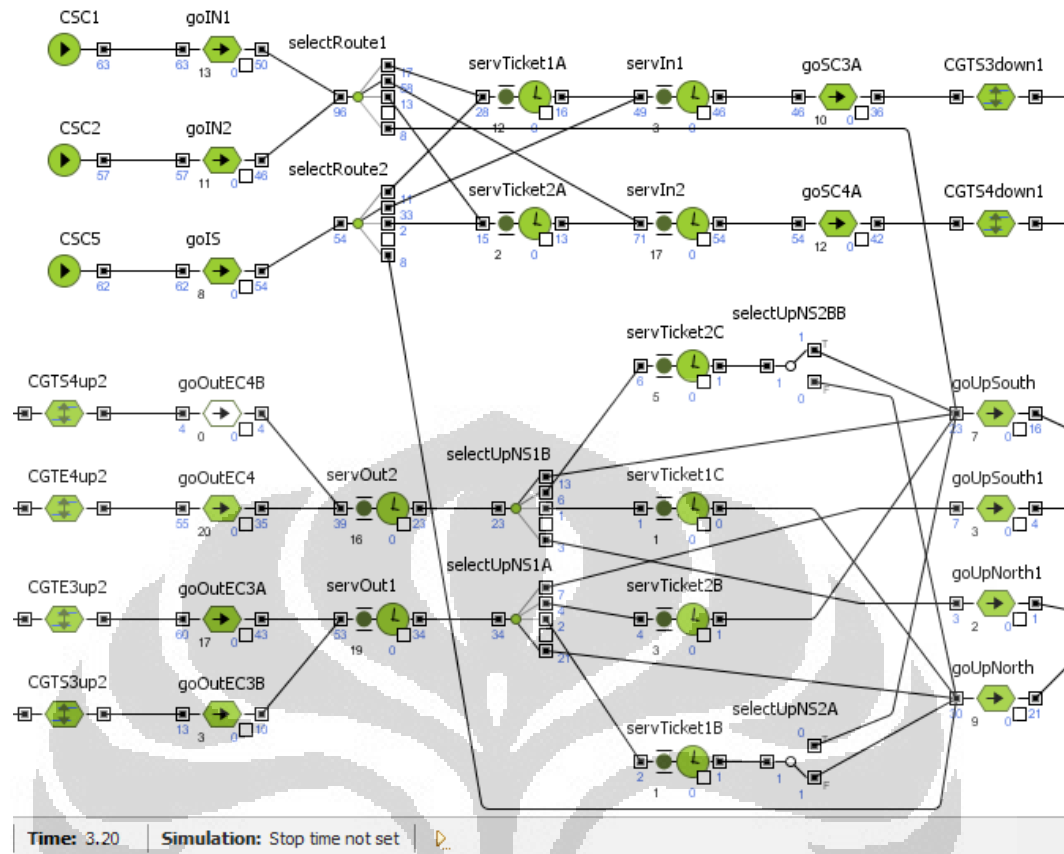
Gambar 4.2 Hasil model dasar lantai 2 - tahun 2017 skenario TDM pagi



Gambar 4.3 Hasil model dasar lantai 1 - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore



Gambar 4.4 Hasil model dasar lantai 2 - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore



Gambar 4.5 Potongan logika model dasar - tahun 2037B skenario TDM & TOD waktu sibuk sore

Dari kelima gambar tersebut, terlihat dengan jelas perbedaan hasil observasi visual antara skenario data input yang berjumlah penumpang sedikit, dengan skenario data input berjumlah penumpang sangat banyak. Parameter kualitatif menjadi penting dalam melengkapi analisis parameter kuantitatif, dalam menunjukkan kondisi nyata stasiun pada saat menampung jumlah penumpang itu.

Dari gambar rantai pertama, dapat terlihat bahwa dari kondisi ringan yang seluruhnya tetap berjalan standar dan tidak ada antrian dimanapun, menjadi terdapat antrian pada seluruh titik yang mungkin untuk mengantri, seperti pada pemeriksaan tiket dan pembelian tiket. Tingkat kepadatan arus juga meningkat pesat dan semakin berkelanjutan, menciptakan arus penumpang pada aliran arah manapun cenderung semakin deras dan intens. Kondisi ini menimbulkan keperluan peningkatan performa pada pemeriksaan tiket, pembelian tiket, dan pengarahannya yang harus semakin lancar.

Pada gambar lantai kedua, terlihat dengan jelas perbedaan antara skenario jumlah penumpang yang ringan dengan skenario jumlah penumpang yang padat. Jumlah penumpang yang keluar dari MRT sangat besar untuk skenario tahun 2037B, dan pada gambar tersebut aliran penumpang dari lantai pertama belum deras seperti seharusnya. Namun demikian, sudah terbentuk kepadatan lokal pada area masuk eskalator naik, kombinasi dari penumpukan penumpang dalam jumlah besar serta kapasitas area eskalator yang kecil. Hal-hal ini tidak terlihat sama sekali pada skenario tahun 2017, dimana jumlah penumpang masih sedikit serta alirannya masih sangat lancar. Dari kondisi ini dapat diketahui bahwa diperlukan perhatian khusus pada eskalator naik, untuk dapat mengalirkan penumpang lebih lancar lagi saat terjadi kenaikan jumlah penumpang pada tahun-tahun berikutnya.

Potongan logika proses pergerakan agen menunjukkan kondisi beban kerja yang ditampung oleh mesin model pada saat melakukan simulasi. Setiap bagian dalam proses kerja tersebut tetap menunjukkan data kuantitatif, yaitu jumlah agen yang telah diproses, serta jumlah agen yang sedang diproses. Hal ini memastikan jumlah agen dan proses yang dijalani tetap sesuai dengan kaidah yang ada. Seiring meningkatkan jumlah penumpang, maka kinerja mesin proses ini semakin berat dan intens, rentan menimbulkan kegagalan simulasi model.

Dengan merujuk pada perbandingan hasil-hasil keluaran model menurut 72 data input skenario, serta observasi visual lengkap pada setiap setiap simulasi, maka dapat tetap disimpulkan bahwa desain stasiun yang awal, yang diimplementasikan terlebih dahulu pada model dasar, dapat bertahan dari tahun 2017 hingga 2037 pada skenario dan keadaan terberat. Seluruh parameter dan batasan penerimaan model menunjukkan kondisi lolos uji.

Namun demikian, seiring peningkatan jumlah penumpang, terdapat kondisi-kondisi yang rentan memburuk, seperti misalnya pada area masuk eskalator naik pada peron, kemudian lama proses kerja pada pemeriksaan tiket maupun pembelian tiket di loket, dan juga pergerakan arus penumpang di area lantai pertama. Untuk keluar-masuk penumpang pada pintu MRT juga memerlukan perhatian khusus, terkait waktu yang tersedia adalah tetap, sedangkan jumlah penumpang terus meningkat seiring waktu.

4.4 Rekomendasi Desain Akhir

Dari hasil perbandingan keluaran model secara kualitatif maupun kuantitatif secara lengkap dan sesuai parameter batasan yang telah ditentukan, maka desain awal stasiun bawah tanah Bendungan Hilir pada sistem MRT Jakarta telah sukses bertahan hingga tahun 2037, saat telah terimplementasikannya koridor Timur-Barat dan juga regulasi TDM & TOD, pada kategori waktu sibuk pagi, tidak sibuk, hingga waktu sibuk sore yang paling padat. Sehingga penelitian ini mendukung digunakannya desain awal sebagai desain final stasiun ini.

Namun demikian, diperlukan perhatian lebih pada pergerakan penumpang yang keluar dari MRT menuju tentakel, yaitu pergerakan arus naik. Seiring peningkatan proyeksi penumpang, terdapat kondisi penumpang keluar MRT yang jauh lebih besar daripada jumlah penumpang masuk MRT. Hal ini membuat diperlukannya peningkatan kapasitas pada eskalator naik, peningkatan kecepatan maupun jumlah gerbang pemeriksaan tiket keluar, serta pengarahannya yang lebih lancar, untuk mendukung pergerakan arus penumpang naik ini.

Sedangkan untuk penumpang masuk, masalah yang mengancam ada pada antrian pembelian tiket di loket yang semakin panjang. Hal ini dapat diatasi dengan mengurangi waktu pembelian tiket, dengan mengoptimalkan mesin penjual tiket elektronik yang mudah digunakan. Untuk pergerakan turun menggunakan tangga, tidak terdapat masalah berarti pada pergerakan ini.

Dengan kondisi kepadatan penumpang yang periodik menurut kedatangan kereta MRT, maka diperlukan fokus pada penguraian dan pembentukan aliran arus penumpang yang lancar pada saat penumpang keluar dari MRT untuk keluar dari stasiun. Sedangkan bagi penumpang naik, maka diperlukan pengaturan arus penumpang saat pintu kereta MRT terbuka, agar kelancaran arus kedua arah tetap dapat terjaga, dan sisi keselamatan serta keamanan tetap terpertahankan.

Dengan ketiadaan implementasi model alternatif, maka tidak terdapat perubahan desain. Namun dengan memperhatikan aliran pada tentakel yang tetap lancar pada kondisi terberat sekalipun, maka implementasi interkoneksi bawah tanah dengan gedung sekitar stasiun akan tetap dapat berjalan lancar, tidak mempengaruhi pergerakan penumpang di stasiun. Kondisi koridor tentakel tetap kondusif untuk mengakomodasi aliran penumpang interkoneksi tersebut.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dalam penelitian ini, dengan melakukan analisis pada desain stasiun bawah tanah Bendungan Hilir dalam sistem MRT Jakarta menggunakan simulasi model berbasis agen, dapat disimpulkan bahwa desain dasar yang ada akan dapat bertahan hingga tahun 2037, dengan kondisi adanya koridor Timur-Barat serta adanya regulasi TDM & TOD, dan juga pada kondisi operasional yang tetap normal selama tahun 2017 hingga tahun 2037. Tidak dibutuhkan perubahan desain sesuai dengan ketentuan yang ada pada alternatif yang tersedia. Rekomendasi ini merupakan hasil analisis dengan perbandingan pada batasan parameter stasiun MRT secara kualitatif menurut observasi visual, serta secara kuantitatif menurut lama pergerakan dan kepadatan penumpang per area.

Bagian-bagian dalam desain dasar yang perlu diperhatikan untuk menjaga utilisasi stasiun yaitu pada eskalator naik, gerbang pemeriksaan tiket, serta loket pembelian tiket. Sedangkan interkoneksi bawah tanah stasiun dengan gedung sekitar tetap dapat terakomodasi tanpa mempengaruhi arus penumpang di stasiun.

Analisis dengan pemodelan berbasis agen ini menyediakan pendekatan analisis yang berfokus pada entitas aktif sebagai pelaku dalam sistem, memunculkan perilaku-perilaku natural yang dapat terobservasi secara nyata.

5.2 Saran

Penelitian mengenai pengkajian fasilitas publik menggunakan pemodelan berbasis agen ini dapat dikembangkan pada berbagai fasilitas publik yang ada, khususnya yang melibatkan pejalan kaki secara intens. Fokus kajian dapat berkembang menjadi pada pengaruh area-area spesifik seperti misalnya area komersial dan area tunggu dalam stasiun MRT ini.

Penelitian juga dapat diintensifkan dengan pengembangan dari segi perilaku agen, dengan meneliti perilaku pejalan kaki Indonesia, maupun juga dari segi lingkup pemodelan, dengan meningkatkan kompleksitas model secara efektif, agar didapatkan kondisi natural fasilitas publik tersebut dari segala aspek.

DAFTAR REFERENSI

- Agah, Heddy R. (2009). Evaluation of pedestrian characteristics for different type of facilities and its uses; case study in the area of Jakarta Indonesia. *QiR FTUI International Conference - Pedestrian Facilities*.
- Chen, X & Zhan, FB. (2008). Agent-based modeling and simulation of urban evacuation: relative effectiveness of simultaneous and staged evacuation strategies. *Journal of the Operational Research Society*, 59, 25-33.
- Crooks, A., Castle, C., & Batty, M. (2008). Key challenges in agent-based modeling for geo-spatial simulation. *Computers, Environment, and Urban Systems*, 32, 417-430.
- Heath, BL & Hill, RR. (2010). Some insights into the emergence of agent-based modeling. *Journal of Simulation*, 4, 163-169.
- Helbing, D. & Johansson, A. (2010). Pedestrian, crowd, and evacuation dynamics. *Encyclopedia of Complexity and Systems Science*, 6476-6495.
- Helbing, D., Johansson, A., & Al-Abideen, H.Z. (2007). The dynamics of crowd disasters: an empirical study. *Physical Review E*, 75, 046109.
- Helbing, D., et al. (2005). Self-organized pedestrian crowd dynamics: experiments, simulations, dan design solutions. *Transportation Science*, 39, 1-24.
- Jakarta Metro Engineering Consultants. (2010). Demand forecast report.
- Macal, CM & North, MJ. (2010). Tutorial on agent-based modeling and simulation. *Journal of Simulation*, 4, 151-162.
- Miguel, AF. (2009). Constructal theory of pedestrian dynamics. *Physics Letters A*, 373, 1734-1738.
- Pemerintah Provinsi DKI Jakarta. (2008). Perda no.3/2008 tentang Pembentukan BUMD PT MRT Jakarta.
- Qiu Fasheng. (2010). A framework for group modeling in agent-based pedestrian crowd simulations. *Computer Science Dissertations Georgia State University*, 56.
- Shi Congling, et al. (2012). Modeling and safety strategy of passenger evacuation in a metro station in China. *Safety Science*, 50, 1319-1332.

- Syahri, Ikromi. (2010). Analisa efektifitas jalur pejalan kaki pada rencana proyek pengembangan trotoar dan landscape Jalan Basuki Rakhmat Surabaya. *Undergraduate Thesis Civil Engineering Department ITS Surabaya*.
- Usher, John C. & Strawderman, Lesley. (2010). Simulating operational behaviors of pedestrian navigation. *Computers & Industrial Engineering*, 59, 736-747.
- Winaya, Putu Preantjaya. (2010). Analisis fasilitas pejalan kaki pada ruas jalan gajah mada, Denpasar, Bali. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14, 1-14.
- Zhang Qi & Han Baoming. (2011). Simulation model of pedestrian interactive behavior. *Physica A*, 390, 636-646.
- Zhang Qi, Han Baoming & Li Dewei. (2008). Modeling and simulation of passenger alighting and boarding movement in Beijing metro stations. *Transportation Research Part C*, 16, 635-649.

