



**PEMODELAN SISTEM *MULTIPLEXING* PADA APLIKASI  
*THROUGH-WALL IMAGING* SEBAGAI SENSOR POSISI  
BERBASIS *WIRELESS NETWORK***

**SKRIPSI**

Oleh  
**Ahmad Fauzi**  
**NIM 131810201010**

**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2018**



**PEMODELAN SISTEM *MULTIPLEXING* PADA APLIKASI  
*THROUGH-WALL IMAGING* SEBAGAI SENSOR POSISI  
BERBASIS *WIRELESS NETWORK***

**SKRIPSI**

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Fisika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh

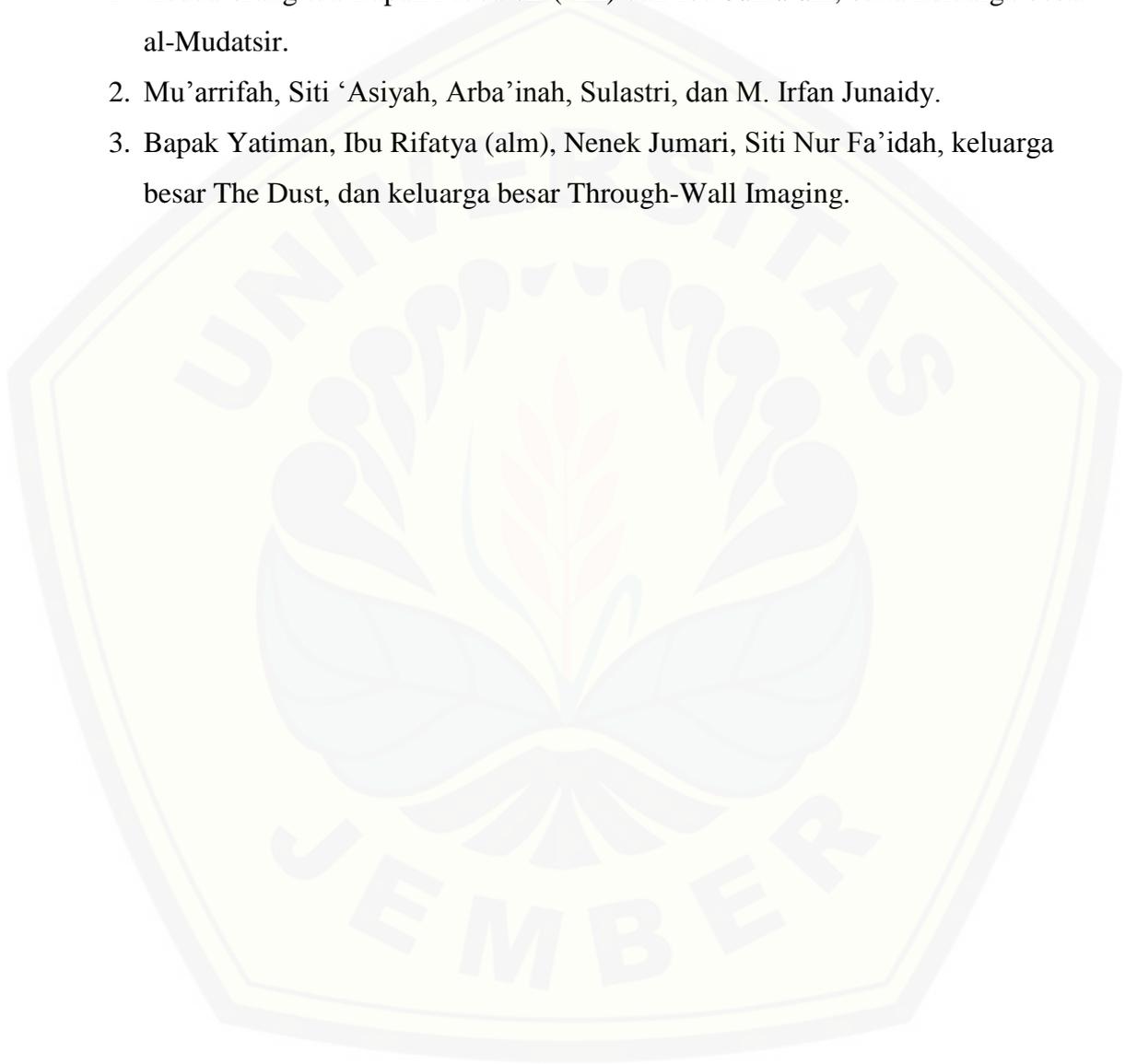
**Ahmad Fauzi**  
**NIM 131810201010**

**JURUSAN FISIKA**  
**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**  
**UNIVERSITAS JEMBER**  
**2018**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

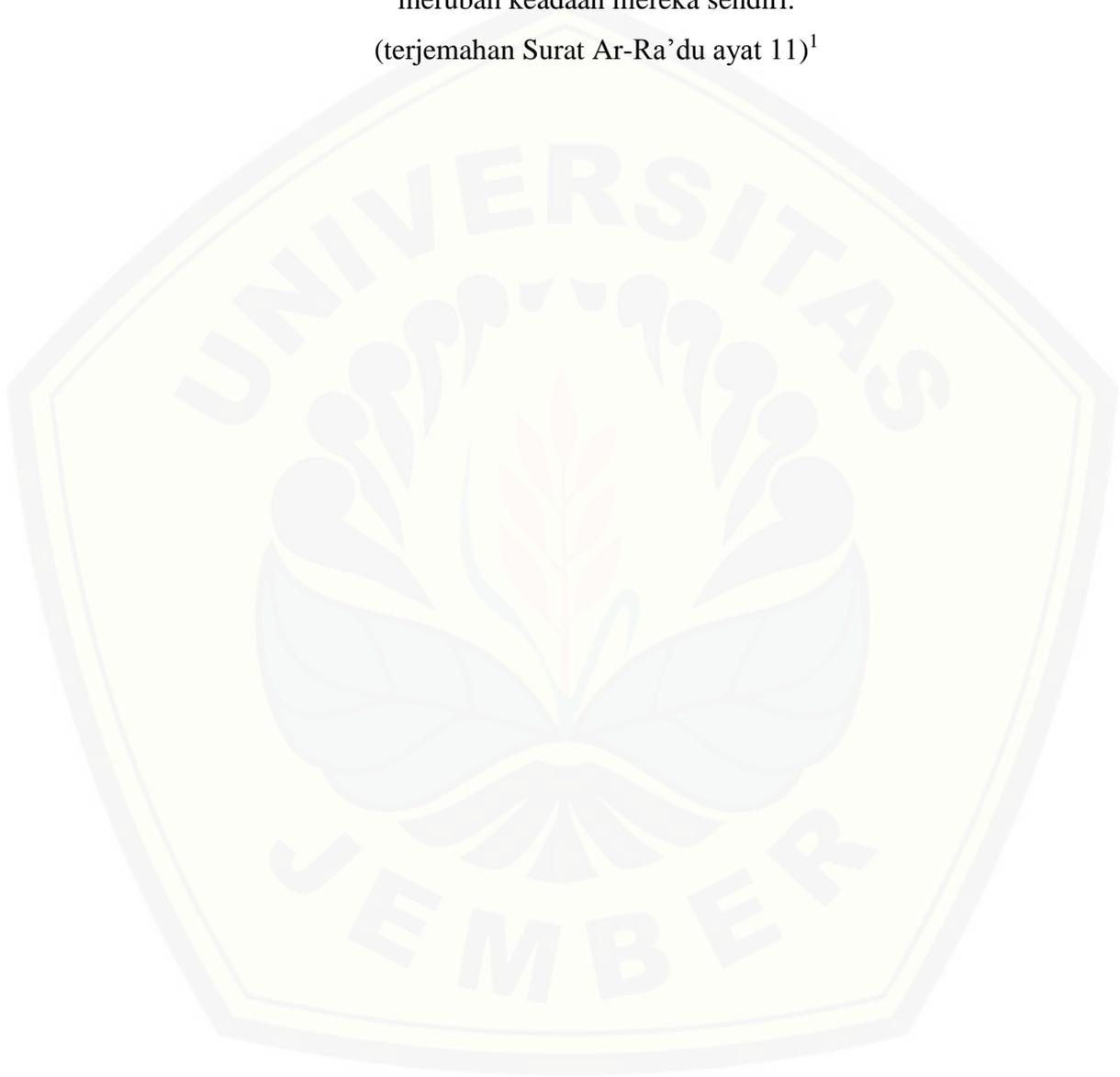
1. Kedua orang tua Bapak Mudatsir (alm) dan Ibu Juma'ani, serta keluarga besar al-Mudatsir.
2. Mu'arrifah, Siti 'Asiyah, Arba'inah, Sulastri, dan M. Irfan Junaidy.
3. Bapak Yatiman, Ibu Rifatya (alm), Nenek Jumari, Siti Nur Fa'idah, keluarga besar The Dust, dan keluarga besar Through-Wall Imaging.



**MOTO**

Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan suatu kaum sehingga mereka  
merubah keadaan mereka sendiri.

(terjemahan Surat Ar-Ra'du ayat 11)<sup>1</sup>



---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. Al Qur'an dan Terjemahannya. Semarang: PT. Kumudasmoro Grafindo.

**PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Fauzi

NIM : 131810201010

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Pemodelan Sistem *Multiplexing* pada Aplikasi *Through-Wall Imaging* sebagai Sensor Posisi Berbasis *Wireless Network*” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian bersama dosen dan mahasiswa dan hanya dapat dipublikasikan dengan mencantumkan nama dosen pembimbing.

Dengan demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 28 Juni 2018

Yang menyatakan,

Ahmad Fauzi

NIM 131810201010

**SKRIPSI**

**PEMODELAN SISTEM *MULTIPLEXING* PADA APLIKASI  
*THROUGH-WALL IMAGING* SEBAGAI SENSOR POSISI  
BERBASIS *WIRELESS NETWORK***

Oleh

Ahmad Fauzi  
NIM 131810201010

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.

Dosen Pembimbing Anggota : Supriyadi, S.Si., M.Si.

**PENGESAHAN**

Skripsi berjudul “Pemodelan Sistem *Multiplexing* pada Aplikasi *Through-Wall Imaging* sebagai Sensor Posisi Berbasis *Wireless Network*” karya Ahmad Fauzi telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat :

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phil., Ph.D.  
NIP 196812191994021001

Supriyadi, S.Si., M.Si.  
NIP 198204242006041003

Anggota II,

Anggota III,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.Si.  
NIP 197208201998021001

Mengesahkan  
Dekan,

Drs. Sujito, Ph.D.  
NIP 196102041987111001

## RINGKASAN

**Pemodelan Sistem *Multiplexing* pada Aplikasi *Through-Wall Imaging* Sebagai Sensor Posisi Berbasis *Wireless Network***; Ahmad Fauzi, 131810201010; 2018: 116 halaman; Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember.

Sensor posisi berbasis *through-wall imaging* merupakan pengembangan dari teknologi WiFi sebagai media citra. *Through-wall imaging* memungkinkan pemakainya untuk melacak objek dan mendapatkan informasi rinci di daerah yang tidak dapat dilihat menggunakan cara-cara konvensional. Salah satu kendala sensor posisi berbasis *through-wall imaging* adalah kecepatan akuisisi data citra. Kecepatan akuisisi data citra sangat menentukan keakuratan sensor mendeskripsikan posisi objek sesuai dengan keadaan *real-time*. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan desain sistem pengiriman yang cepat dan akurat dengan metode *Time Division Multiplexing* (TDM), sehingga diharapkan dapat memberikan solusi terhadap sistem pengiriman data citra sensor. TDM merupakan suatu metode *multiplexing* yang menggunakan fase pengiriman data berdasarkan interval waktu. Penggunaan dari TDM sebagai *multiplexer* pada penelitian ini dikarenakan TDM memiliki keuntungan diantaranya tidak lagi memerlukan filter-filter mahal dan *net-lose circuit* yang dihasilkan rendah. Akan tetapi dengan penggunaan sistem pengiriman informasi berdasarkan periode waktu tertentu menyebabkan sistem memerlukan *bandwidth* yang besar dan sering terjadi *time-slot* kosong. Dengan pembagian waktu yang telah ditentukan pada masing masing user memungkinkan terjadi *multipath distortion*.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem transmisi data yang efisien pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* dengan metode TDM. Kegiatan penelitian dilakukan dengan 2 tahapan, yaitu: pemodelan sistem transmisi data *through-wall imaging* sebagai sensor posisi dan analisis sistem transmisi data *through-wall imaging* sebagai sensor posisi. Pemodelan sistem transmisi data dilakukan dengan memodelkan format data aplikasi *through-wall imaging*, memodelkan teknik transmisi data, dan modelkan sistem TDM. Analisis sistem transmisi data *through-wall imaging* dilakukan dengan mengevaluasi efisiensi TDM sebagai sistem transmisi data pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Tahapan pemodelan format data aplikasi *through-wall imaging* dilakukan dengan mendesain format *frame* dan kontrol *frame* data yang ditransmisikan dengan teknik transmisi modulasi AM. Pemodelan sistem *multiplexing* jenis TDM dilakukan dengan dua model, yaitu: *synchronous* TDM (STDM) dan *asynchronous* TDM (ASTDM). Selanjutnya dilakukan analisis sistem transmisi dengan melakukan rekonstruksi data citra menggunakan teknik *Algebraic Reconstruction Technique* (ART). Sistem dianalisa dengan mengukur ketahanan sistem terhadap signal *noise*, akurasi sensor posisi, dan efisiensi sistem dengan berdasarkan persentase ketahanan terhadap data *lose*, akurasi sensor posisi, dan kecepatan maksimum gerak objek yang dapat direkonstruksi. Akurasi sensor posisi dinyatakan dalam besaran persentase kualitas

citra. Nilai presentase kualitas citra 100% menunjukkan posisi objek terdefinisi dengan sempurna.

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik sistem yang dimodelkan, penambahan jumlah penggunaan pasangan *transmitter-receiver* menyebabkan utilitas (kinerja) server semakin tinggi dengan utilitas tertinggi 31829 bit untuk model STDM dan 6684 bit untuk model ASTDM yang masing-masing bekerja dengan frekuensi sinkronisasi sebesar 2792 bps untuk STDM dan 2832 bps untuk model ASTDM. Peningkatan nilai utilitas server menyebabkan probabilitas terjadinya data *lose* semakin besar mengingat frekuensi sinkronisasi sistem terbatas. Hal ini dikarenakan semakin banyak jumlah penggunaan pasangan *transmitter-receiver* jumlah kanal yang dihasilkan akan semakin besar. Pengujian juga dilakukan dengan dengan memvariasi kecepatan gerak objek untuk mengukur kecepatan maksimum gerak objek yang dapat diakuisisi sistem dengan akurat. Kecepatan gerak objek maksimum untuk model STDM sebesar 6 *pixel/s* dan untuk model ASTDM sebesar 11 *pixel/s*. Nilai ini didapatkan untuk penggunaan 4 pasangan *transmitter-receiver* dengan akurasi sebesar 76.854 %. Akurasi tertinggi yang dapat dicapai untuk objek diam sebesar 98.299 % pada model STDM dan ASTDM pada penggunaan 40 pasangan *transmitter-receiver*. Sedangkan untuk objek bergerak sebesar 91.176 % untuk model STDM dengan kecepatan gerak objek 1 *pixel/s* pada penggunaan 8 pasangan *transmitter-receiver* dan 96.762 % dengan kecepatan gerak objek 2 *pixel/s* pada penggunaan 24 pasangan *transmitter-receiver* untuk model ASTDM.

Ketahanan teknik pengiriman data terhadap *noise* dilakukan dengan mengukur jumlah *Bit Error Ratio* (BER) dengan variasi nilai SNR dan jumlah pasangan *transmitter-receiver*. Berdasarkan hasil yang diperoleh, semakin rendah SNR maka semakin tinggi jumlah *error bit* yang ditransmisikan, sehingga nilai BER akan naik dan semakin banyak pasangan *transmitter-receiver* yang digunakan maka semakin signifikan pula kenaikan nilai BER pada level *noise* yang sama. Pada model STDM jumlah BER terendah didapatkan 0.051 % untuk 4 pasangan *transmitter-receiver* yang digunakan sedangkan pada model ASTDM jumlah BER terendah didapatkan 0.029% untuk 4 pasangan *transmitter-receiver* pada tingkat SNR *noise* 10 dB. Dengan demikian besar SNR *noise maksimal* yang mampu ditoleransi sistem transmisi pada penelitian ini adalah 10 dB atau daya *noise* 40% dari daya sinyal data. Dari hasil yang diperoleh disimpulkan bahwa model STDM lebih efisien sebagai sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* dengan persentase efisiensi akuisisi sistem sebesar 96.648 % berdasarkan ketahanan terhadap data *lose*, 96.762 % berdasarkan akurasi sensor posisi, dan kecepatan maksimum gerak objek yang mampu direkonstruksi sebesar 11 *pixel/s* yang didapatkan pada penggunaan 4 pasangan *transmitter-receiver*.

## PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT. atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemodelan Sistem *Multiplexing* pada Aplikasi *Through-Wall Imaging* sebagai Sensor Posisi Berbasis *Wireless Network*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Agung Tjahjo Nugroho, S.Si., M.Phill., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Supriyadi, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran dalam membantu penulisan skripsi ini;
2. Drs. Sujito, Ph.D. selaku Dosen Penguji Utama dan Dr. Lutfi Rohman, S.Si., M.S.i. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah memberikan kritik dan saran dalam penulisan skripsi ini;
3. Saudara-saudariku (Mu'arrifah, Siti 'Asiyah, Arba'inah, Sulastri, dan M. Irfan Junaidy, M. Rifa'i, M. Sony Afiandi, Abu Sakkar, dan Abdul Hadi) yang telah memberikan dukungan dan doa demi terselesaikannya skripsi ini;
4. Keluarga besar *Through-Wall Imaging* dan *The Dust* (Taufiqur Rahman, Muhammad David, Ahmad Imam Qulyubi, Jamaluddin, Muhamad Subhan Apriyanto, Siti Nur Fa'idah, Ratriana Dwi Aniza N, dan Lilis Fitrianing Tyas) yang telah memberikan dukungan semangat dan motivasi;
5. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dimanfaatkan sebagaimana mestinya.

Jember, Juni 2018

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL .....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iii
HALAMAN MOTO .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBINGAN.....	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN .....	viii
PRAKATA.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN .....	xvi
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Latar Belakang .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Rumusan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.3 Batasan Masalah .....</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Tujuan Penelitian.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Manfaat Penelitian.....</b>	<b>5</b>
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 <i>Frequency Division Multiplexing (FDM)</i> .....</b>	<b>7</b>
<b>2.2 <i>Synchronous Time Division Multiplexing (STDM)</i> .....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 <i>Asynchronous Time Division Multiplexing (ASTDM)</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>2.4 <i>Kinerja Time Division Multiplexing (TDM)</i>.....</b>	<b>15</b>
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1 Rancangan Penelitian.....</b>	<b>19</b>

<b>3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian .....</b>	<b>19</b>
3.2.1 Jenis Penelitian .....	19
3.2.2 Sumber Data Penelitian .....	20
<b>3.3 Devinisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran .....</b>	<b>25</b>
<b>3.4 Metode Analisis Data .....</b>	<b>26</b>
<b>3.5 Kerangka Pemecahan Masalah.....</b>	<b>28</b>
3.5.1 Kajian Pustaka.....	28
3.5.2 Mekanisme Simulasi .....	29
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Pemodelan Format dan Kontrol Data Aplikasi <i>Through-Wall Imaging</i> .....</b>	<b>33</b>
<b>4.2 Pemodelan Sistem <i>Multiplexing Data</i> .....</b>	<b>47</b>
4.3.4 <i>Synchronous Time Division Multiplexing (STDM)</i> .....	47
4.3.5 <i>Asynchronous Time Division Multiplexing (ASTDM)</i> .....	54
<b>4.3 Pemodelan Sistem Transmisi Data .....</b>	<b>57</b>
4.2.1 <i>Amplitude Modulation (Modulasi AM)</i> .....	57
4.2.2 <i>Signal to Noise Ratio (SNR)</i> .....	61
<b>4.4 Pemodelan Sistem <i>Demultiplexing Data</i> .....</b>	<b>64</b>
<b>4.5 Evaluasi Pemodelan <i>Time Division Multiplexing (TDM)</i> Sebagai Sistem Transmisi Data Aplikasi <i>Through-Wall Imaging</i> .....</b>	<b>69</b>
<b>BAB 5. PENUTUP.....</b>	<b>89</b>
<b>5.1 Kesimpulan.....</b>	<b>89</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>90</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>91</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>94</b>

**DAFTAR TABEL**

	Halaman
3.1 Variabel input pengujian model multiplexing sebagai sistem transmisi data aplikasi <i>through-wall imaging</i> sebagai sensor posisi berbasis <i>wireless network</i> .....	26
4.1 Hasil pengukuran pelemahan sinyal WiFi oleh 4 pasangan <i>transmitter-receiver</i> .....	34
4.2 Waktu pelayanan data dan pemakaian saluran pada <i>synchronous multiplexing</i> .....	50
4.3 Status <i>time-slot</i> yang disediakan untuk 16 host <i>transmitter</i> (4 pasangan <i>transmitter-receiver</i> ) .....	52
4.4 Waktu pelayanan data dan pemakaian saluran <i>asynchronous multiplexing</i> .....	55
4.5 Waktu yang dibutuhkan proses <i>time division demultiplexing</i> berdasarkan variasi jumlah pasangan <i>transmitter-receiver</i> .....	68
4.6 Waktu layanan dan kinerja server berdasarkan variasi jumlah pasangan <i>transmitter-receiver</i> .....	69
4.7 Data <i>lose</i> berdasarkan variasi frekuensi paket data .....	71
4.8 Uji kualitas hasil rekonstruksi ART pada objek diam .....	77
4.9 Efisiensi <i>Time Division Multiplexing</i> (TDM) sebagai sistem transmisi data aplikasi <i>through-wall imaging</i> .....	81
4.10 Uji kualitas hasil rekonstruksi ART dengan SNR noise 5dB .....	85

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Konsep dasar <i>multiplexing</i> .....	7
2.2 Konsep dasar FDM .....	8
2.3 Skema kinerja FDM .....	9
2.4 Skema kinerja TDM.....	11
2.5 Prinsip kerja <i>Asynchronous</i> TDM.....	13
2.6 Skema kinerja STDM dan ASTDM.....	14
2.7 Format bingkai STDM .....	15
3.1 Model arsitektur sistem <i>through-wall imaging</i> dengan <i>wireless smartphone</i> .....	21
3.2 Model arsitektur sistem <i>through-wall imaging</i> dengan <i>wireless smartphone</i> ketika diberi objek investigasi .....	23
3.3 Pemindaian objek investigasi oleh <i>smartphone</i> #1 .....	23
3.4 Pemindaian objek investigasi oleh <i>smartphone</i> #2 .....	24
3.5 Diagram alir ( <i>flow chart</i> ) simulasi pemodelan sistem <i>multiplexing</i> pada aplikasi <i>through-wall imaging</i> .....	32
4.1 Objek investigasi pada <i>host area investigation</i> .....	34
4.2 Format <i>frame Asynchronous</i> mode SPX.....	36
4.3 Format kode <i>frame</i> paket data pertama.....	38
4.4 Format <i>frame</i> data berlapis <i>Asynchronous</i> mode SPX .....	40
4.5 Format keseluruhan <i>frame</i> data pengukuran $T_{x1}-R_{x9}$ .....	40
4.6 Cara kerja sinkronisasi <i>frame</i> .....	41
4.7 Format pengalamatan data pada HDLC.....	42
4.8 Format kode addresss data $T_{x1}-R_{x1}$ .....	44
4.9 Model sistem antrian data berdasarkan <i>time-slot</i> .....	49
4.10Kedalaman sinyal termodulasi AM dengan variasi nilai indeks modulasi.....	59
4.11 Grafik hubungan BER dengan SNR .....	63

4.12 Keadaan sistem transmisi modulasi AM dengan nilai SNR di atas dan di bawah 10 dB .....	64
4.13 Model sistem <i>demultiplexing</i> data.....	66
4.14 Sistem register dengan prinsip D flip-flop.....	67
4.15 Grafik hubungan jumlah data <i>lose</i> dengan kecepatan gerak objek .....	72
4.16 Rekonstruksi ART objek investigasi dengan variasi pasangan <i>transmitter-eceiver</i> .....	76
4.17 Grafik hubungan kualitas citra dengan kecepatan gerak objek.....	78
4.18 Grafik hubungan kualitas citra dengan koordinat objek investigasi .....	80
4.19 Grafik hubungan BER dengan nilai SNR .....	83
4.20 Grafik hubungan kualitas citra dengan nilai SNR .....	84
4.21 Rekonstruksi ART objek investigasi pada model STDM dengan SNR 5 dB .....	87
4.22 Rekonstruksi ART objek investigasi pada model ASTDM dengan SNR 5 dB .....	88

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
1. <b>Data Sintetik Hasil Scaning Objek Investigasi pada Koordinat <math>x=32.5, y=32.5</math> .....</b>	95
2. <b>Luaran Multiplexing Data Sebagai Sistem Transmisi Data Aplikasi <i>Throgh-Wall Imaging</i> sebagai Sensor Posisi Berbasis <i>Wireless Network</i>.....</b>	103
3. <b>Analisa Sistem Multiplexing pada Aplikasi <i>Throgh-Wall Imaging</i> sebagai Sensor Posisi Berbasis <i>Wireless Network</i> .....</b>	107
4. <b>Hasil Rekonstruksi Aplikasi <i>Throgh-Wall Imaging</i> sebagai Sensor Posisi Berbasis <i>Wireless Network</i> .....</b>	112

## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sensor posisi berbasis *wireless network* merupakan sensor posisi dengan menggunakan prinsip kerja dari jaringan *Wireless Fidelity* (WiFi) yang mampu memancarkan gelombang elektromagnetik ke segala arah dan diterima oleh suatu *receiver* dengan sangat akurat (Homayoun dan Jonckheere, 2005). WiFi dapat diaplikasikan sebagai sensor posisi dengan menggunakan prinsip *through-wall imaging*. *Through-wall imaging* merupakan teknologi pendekatan pencitraan dengan cara menembakkan sejumlah sinyal WiFi pada suatu objek yang kemudian ditangkap oleh sejumlah *receiver*. *Through-wall imaging* memungkinkan pemakainya untuk melacak objek dan mendapatkan informasi rinci di daerah yang tidak dapat dilihat menggunakan cara-cara konvensional (Baranoski, 2008).

Pemancaran gelombang WiFi ini dilakukan agar gelombang yang terpancar memenuhi suatu ruang sehingga *receiver* dapat mengukur amplitudo dari gelombang pancar. Ketika suatu objek investigasi berada pada *host area investigation*, objek investigasi akan menyerap, merefleksikan, menguraikan, atau menghamburkan sebagian daya yang ditransmisikan. Tujuan sistem ini adalah untuk menentukan vektor yang mendeskripsikan jumlah redaman daya yang terjadi karena objek dalam sejumlah *voxel* pada *host area investigation*. Karena lokasi *voxel* diketahui, maka dapat diketahui pula dimana pelemahan dalam jaringan sedang terjadi, sehingga lokasi objek dapat diketahui (Wilson dan Patwari, 2009).

Proses pencitraan pada *through-wall imaging* dilakukan melalui formulasi matematis terhadap perubahan kekuatan sinyal yang diterima *receiver*. Selanjutnya *receiver* akan mengenali sumber gelombang dari masing-masing pemancar berdasarkan IP *addres* yang sudah ditentukan (Perkins dan Royer, 1999). Data pengukuran amplitudo dikirim pada server melalui jaringan *wireless*. Dengan demikian kecepatan data yang dikirim oleh *receiver* sangat ditentukan oleh kanal transmisi yang disediakan server. Data perubahan nilai amplitudo gelombang dikirim tiap satuan waktu pada server yang memungkinkan sensor dapat merekam

posisi objek apabila suatu objek mengalami perubahan posisi. Oleh karena data pengukuran dikirim pada satu server, maka akan terjadi antrian data pada kanal transmisi. Dengan menggunakan selektor data, server akan memilih data sebagai satu output luaran yang akan diolah. Server akan menerima data secara bersamaan dengan menggunakan fungsi *multiplexing* data. *Multiplexing* adalah teknik menggabungkan beberapa sinyal untuk dikirimkan secara bersamaan pada satu kanal transmisi. Untuk melakukan teknik *multiplexing* pada suatu sinyal input dapat dilakukan dengan *multiplexer* (Stalling, 2000).

Sensor posisi yang akurat dapat merekam sedetail mungkin posisi dari objek untuk setiap perubahan posisi yang sekecil-kecilnya dengan akurasi sensor posisi dinyatakan dalam presentase kualitas citra. Namun yang sering menjadi kendala pada sensor posisi berbasis *wireless network* adalah kecepatan akuisisi data yang dilakukan server. Kecepatan server melakukan pengolahan data sangat berpengaruh terhadap data citra posisi objek yang terekam oleh sensor. Semakin cepat server melakukan pengolahan data citra, maka sensor yang dihasilkan memiliki akurasi yang tinggi atau semakin mendekati posisi *real-time* dari objek. Untuk meningkatkan kecepatan akuisisi data maka dalam desain sensor posisi berbasis *wireless network* dibutuhkan sistem pengiriman data yang secepat-cepatnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini fokus kajiannya pada pemodelan sistem pengiriman data oleh server yang cepat dan akurat melalui fungsi *multiplexing* dan *demultiplexing* data dengan metode *time division multiplexing*.

*Time Division Multiplexing* (TDM) merupakan suatu metode *multiplexing* yang menggunakan fase pengiriman data berdasarkan interval waktu (William, 2001). Dengan kata lain, TDM merupakan sebuah proses pentransmisian beberapa sinyal informasi yang hanya melalui satu kanal transmisi dengan masing-masing sinyal ditransmisikan pada periode waktu tertentu. Prinsip dasar dari metode TDM menerapkan prinsip penggiliran waktu pemakaian saluran transmisi dengan mengalokasikan satu *time-slot* (slot waktu) bagi setiap *receiver*. Artinya, *bandwidth* yang ada dipisahkan menjadi kanal-kanal kecil (*baseband*) berdasarkan waktunya.

Salah satu permasalahan utama dari TDM ini adalah *bandwith* yang dialokasikan ke sejumlah koneksi hanya dialokasikan ke koneksi tersebut, baik yang sedang digunakan maupun tidak (Wesley, 1998).

Terdapat dua jenis TDM yang pertama *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM) yaitu jenis *multiplexing* TDM yang mengalokasikan *time-slot* pada sumber-sumber tertentu dan *time-slot* untuk setiap sumber transmisi sehingga dapat mengendalikan sumber-sumber dengan kecepatan yang berbeda (Stern dan Samy, 2004). STDM ini memungkinkan penggabungan beberapa sinyal informasi meskipun rata-rata data yang dapat dicapai oleh media transmisi lebih besar dari pada rata-rata data digital yang akan dikirim. Jenis TDM yang kedua adalah *Asynchronous Time Division Multiplexing* (ASTDM) yaitu *multiplexing* jenis TDM sebagai bentuk alternatif dari jenis STDM. Karena pada kasus STDM sering terjadi *time-slot* kosong (tidak berisi data), ASTDM memanfaatkan fakta bahwa tidak semua terminal mengirim data setiap saat sehingga rata-rata data pada saluran output lebih kecil dari penjumlahan rata-rata data semua terminal (Mir, 2006). Untuk mengoptimalkan penggunaan saluran dengan cara menghindari adanya *time-slot* yang kosong akibat tidak adanya data (*user* tidak aktif) pada saat *sampling* setiap *input-line*, maka ASTDM hanya melakukan proses *sampling* pada *input-line* yang aktif saja. Konsekuensi dari hal tersebut adalah perlunya menambahkan informasi *address* data untuk setiap *time-slot*.

Penggunaan dari TDM sebagai *multiplexer* pada penelitian ini dikarenakan TDM memiliki banyak keuntungan dibandingkan dengan *multiplexer* yang lain. Keuntungan dari *multiplexer* jenis TDM tidak lagi memerlukan filter-filter yang mahal dan jumlah filter yang digunakan lebih sedikit (Stern dan Samy, 2004). Oleh karena itu harga peralatan sistem terminal yang digunakan memiliki harga yang murah. Perubahan level (*level fluctuation*) kanal hanya dipengaruhi oleh karakteristik peralatan terminal itu sendiri dan tidak tergantung sama sekali dari perubahan saluran. Hal ini menyebabkan *net-loss circuit* yang dihasilkan oleh sistem ini akan sangat rendah. Akan tetapi dengan penggunaan sistem pengiriman informasi berdasarkan periode waktu tertentu menyebabkan sistem memerlukan *bandwith* yang besar dan akan sering terjadi *time-slot* kosong. Dengan pembagian

waktu yang telah ditentukan pada masing masing *user* memungkinkan akan terjadi *multipath distortion* (Stalling, 2000).

Kecepatan server melakukan akuisisi data pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi sangat ditentukan oleh sistem pengiriman data citra, dalam hal ini menggunakan *multiplexing* dari dua jenis mode TDM (STDM dan ASTDM). Akan tetapi penggunaan kedua jenis *multiplexing* ini akan kurang maksimal ketika informasi yang ditransmisikan sangat banyak mengingat aplikasi *through-wall imaging* setiap saat akan menghasilkan data citra untuk setiap perubahan posisi objek dalam *host area investigation*. Untuk mendapatkan sistem *multiplexing* data yang efisien pada aplikasi *through-wall imaging* berbasis *wireless network*, maka pada penelitian ini akan dilakukan rekonstruksi pemodelan secara komputasi sistem *multiplexing* data dengan menggunakan dua jenis model TDM (STDM dan ASTDM). Model *multiplexing* yang telah dibangun akan diuji dengan menggunakan data sintetik dari aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang diangkat pada penelitian ini adalah bagaimana efisiensi dari model *multiplexing* yang dibangun dengan mode *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM) dan *Asynchronous Time Division Multiplexing* (ASTDM) pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*?

## 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan *multiplexing* yang digunakan adalah *Time Division Multiplexing* (TDM).
2. Akurasi sensor posisi dievaluasi menggunakan korelasi posisi yang dinyatakan dalam persentase kualitas citra.

3. Efisiensi dievaluasi berdasarkan kecepatan akuisisi data citra yang dinyatakan dalam sebuah persamaan persentase efisiensi. Nilai efisiensi yang diukur terdiri dari tiga parameter pengukuran, yaitu: ketahanan terhadap data lose, akurasi sensor posisi, dan kecepatan objek investigasi yang mampu direkonstruksi.
4. Frekuensi paket data yang akan dikirim tidak melebihi frekuensi batas terjadinya sinkronisasi data.

#### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang model *multiplexing* yang efisien pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* adalah sebagai berikut:

1. Sebagai pengembangan metode antrian data pada *time division multiplexing*.
2. Memberikan informasi untuk pengembangan sistem *multiplexing* data.
3. Sebagai pengembangan aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*.
4. Memberikan informasi untuk pengembangan ilmu pengetahuan di bidang fisika khususnya *through-wall effect*.

## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

Sensor posisi berbasis *wireless network* merupakan sensor posisi dengan menggunakan prinsip kerja dari jaringan WiFi yang mampu memancarkan gelombang elektromagnetik ke segala arah dan diterima oleh suatu *receiver* dengan sangat akurat. Sensor posisi yang akurat dapat merekam sedetail mungkin posisi dari objek untuk setiap perubahan posisi yang sekecil-kecilnya, sehingga yang sering menjadi kendala pada sensor posisi berbasis *wireless network* adalah kecepatan akuisisi data yang dilakukan server (Baranoski, 2008). Kecepatan server melakukan pengolahan data sangat berpengaruh terhadap data citra posisi objek yang terekam oleh sensor. Semakin cepat server melakukan pengolahan data citra maka sensor yang dihasilkan akan semakin mendekati posisi *real-time* dari objek. Dengan demikian akurasi data citra sensor posisi semakin tinggi. Untuk meningkatkan kecepatan akuisisi data yang dilakukan server maka dalam desain sensor posisi berbasis *wireless network* dibutuhkan sistem pengiriman data dengan kecepatan tinggi. Beberapa metode yang digunakan untuk melakukan pengiriman data dengan cepat dan akurat dilakukan dengan metode *multiplexing* data.

*Multiplexing* adalah proses untuk mengkombinasikan aliran-aliran data dari sejumlah kanal untuk ditransmisikan pada satu jalur transmisi yang sama (Freeman, 2005). *Multiplexing* juga diartikan sebagai proses penggabungan sinyal data dari  $n$  sumber untuk dikirim secara bersamaan melalui satu kanal transmisi (Gambar 2.1). *Multiplexer* akan mengombinasikan data dari kanal dan mengirimkannya melalui satu saluran transmisi yang sama. Pada sisi penerima, *demultiplexer* akan memisahkan data yang diterima sesuai dengan kanal pengirim dan mengirimnya ke kanal yang sesuai dengan *address* data pengirim (Stern dan Samy, 2004).



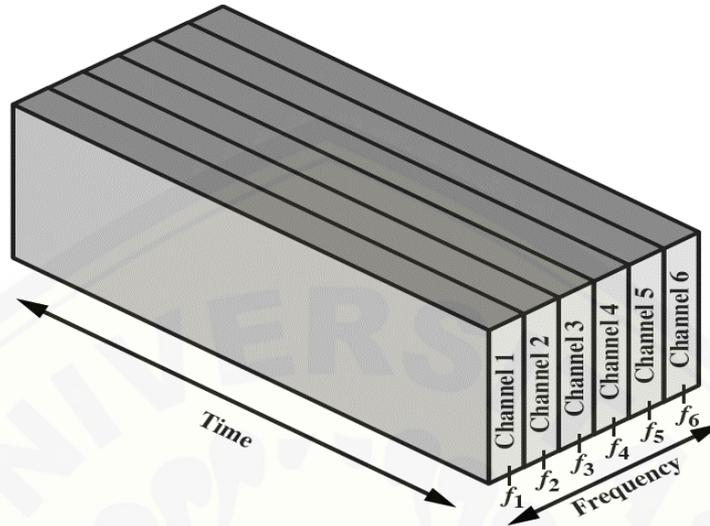
Gambar 2.1 Konsep dasar *multiplexing* (Sumber: Stern dan Samy, 2004)

Terdapat beberapa teknik *multiplexing* yang sering digunakan untuk melakukan transmisi data. Namun pada bab ini hanya akan membahas tiga teknik *multiplexing*, yaitu *Frequency Division Multiplexing* (FDM) dan *Time Division Multiplexing* (TDM), yang terbagi menjadi *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM) dan *Asynchronous Time Division Multiplexing* (ASTDM).

### 2.1 *Frequency Division Multiplexing* (FDM)

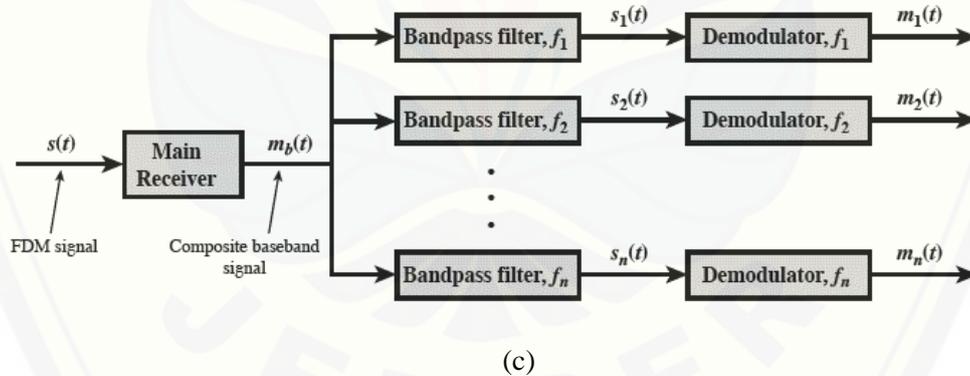
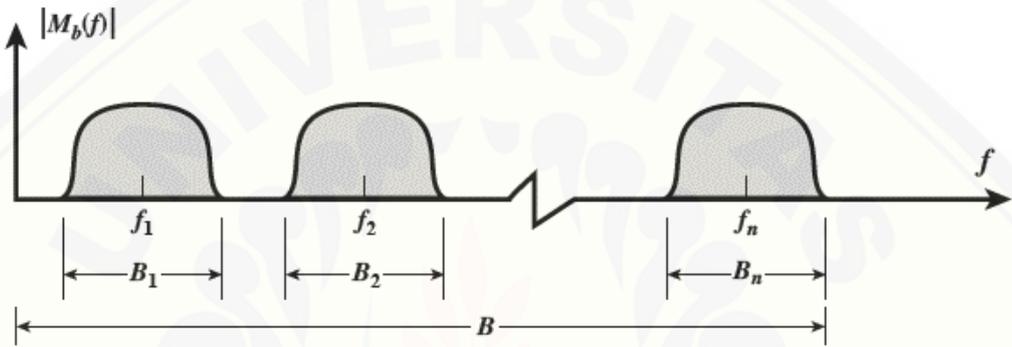
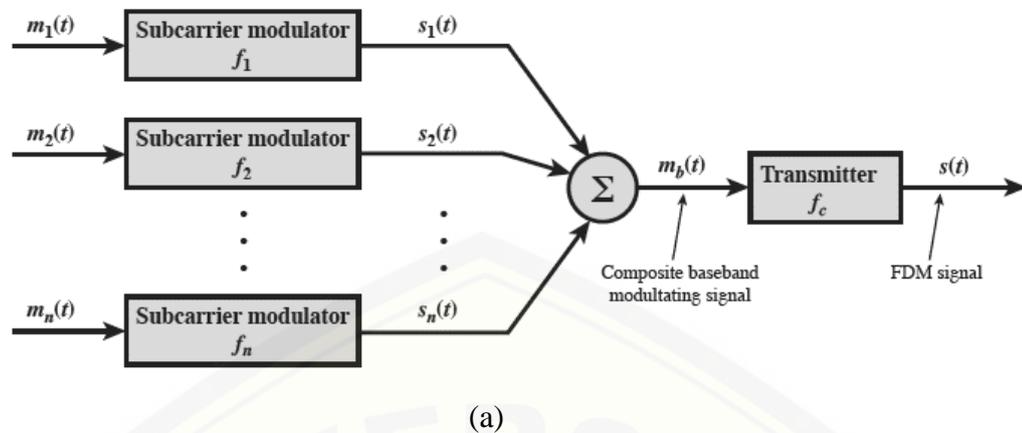
*Frequency Division Multiplexing* (FDM) merupakan teknik penggabungan banyak saluran *input* menjadi sebuah saluran *output* dengan berdasarkan pada pembagian frekuensi. Pada sistem ini, sejumlah sinyal data secara simultan akan dibawa menuju satu kanal transmisi dengan cara mengalokasikan *band* frekuensi yang berbeda untuk setiap sinyal input (Stern dan Samy, 2004). Masing-masing sinyal input yang dimodulasi akan memerlukan *band* frekuensi yang berbeda beda, sehingga FDM dimungkinkan apabila *bandwidth* dari media transmisi yang digunakan lebih besar dari *bandwidth* kombinasi sinyal-sinyal yang ditransmisikan. Permasalahan umum yang sering terjadi pada sistem FDM yaitu terjadinya interferensi sinyal input (Stalling, 2000). Interferensi ini terjadi dikarenakan sejumlah sinyal input dengan *bandwidth* tertentu dipusatkan di sekitar pita frekuensi pembawa, yang disebut sebagai kanal. Untuk mencegah terjadinya interferensi maka dibutuhkan sejumlah *band* pemisah (*guard band*) di luar spektrum yang digunakan untuk melindungi suatu kanal dari kanal lainnya. Dengan adanya penambahan *guard band*, menyebabkan beban *bandwidth* yang harus disediakan oleh FDM semakin besar. Secara umum konsep dasar FDM seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.2 dengan enam sumber sinyal input dimasukkan ke dalam *multiplexer*

yang memodulasi setiap sinyal ke dalam frekuensi yang berbeda ( $f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6$ ).



Gambar 2.2 Konsep dasar FDM (Sumber: Mir, 2006)

Gambaran umum dari kinerja sistem FDM ditunjukkan pada Gambar 2.3. Sejumlah sinyal di-*multiplexing* menuju pada satu kanal transmisi. Masing-masing sinyal  $m_n(t)$  dimodulasi ke frekuensi sub-pembawa  $f_n$  yang kemudian dijumlahkan (dicampur) sehingga menghasilkan sinyal *baseband* campuran  $m_b(t)$ . Istilah *baseband* dipergunakan untuk menunjukkan *band* frekuensi dari sinyal yang dikirim oleh sumber dan berpotensi untuk digunakan sebagai sinyal pemodulasi. Untuk menghasilkan satu sinyal termodulasi maka spektrum sinyal  $m_n(t)$  digeser ke tengah dari *band* frekuensi pembawa  $f_n$ . Agar tidak terjadi lebar pita dari masing-masing sinyal  $m_n(t)$  saling tumpang tindih, harga  $f_i$  harus dipilih sesuai dengan rentang *band* frekuensi yang disediakan oleh sinyal pembawa (Mir, 2006).



(a) Transmitter; (b) Spektrum campuran *baseband* sinyal modulasi; (c) Receiver  
 Gambar 2.3 Skema kinerja FDM (Sumber: Mir, 2006)

Sisi penerima dari FDM akan melakukan fungsi *demultiplexing* sinyal pembawa (sinyal FDM). Sinyal FDM  $s(t)$  dengan total *bandwidth* yang disediakan sebesar  $B$ , dimana  $B > \sum_i^n B_i$  akan dimodulasi kembali untuk menghasilkan sinyal data  $m_b(t)$  yang dikirim sumber. Untuk memperoleh sinyal data  $m_b(t)$  secara utuh, sinyal  $m_b(t)$  yang telah dimodulasi kembali disalurkan melalui *bandpass filter*  $n$ , dengan masing-masing filter dipusatkan di  $f_n$  dan memiliki *bandwidth*  $B_i$ , dimana

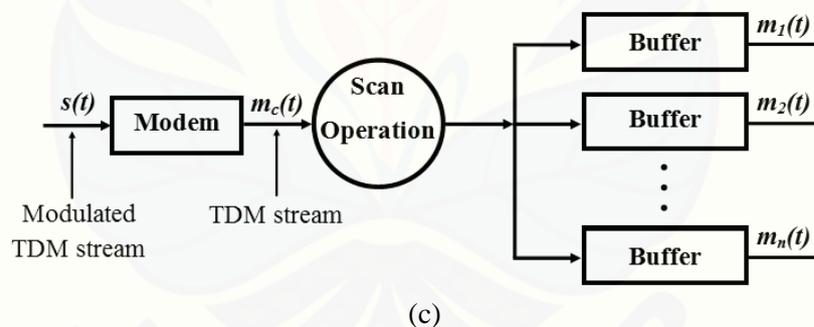
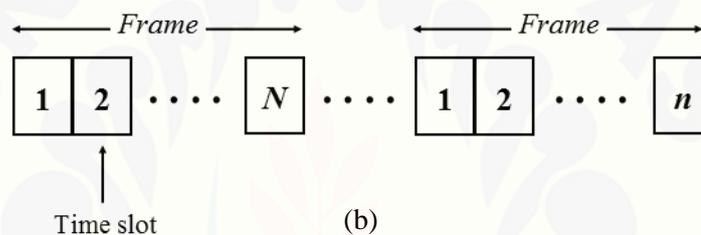
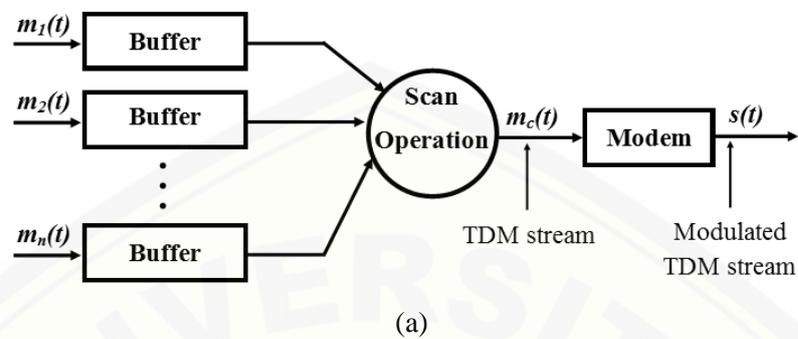
$1 \leq i \leq n$ . Dengan cara ini, maka sinyal dapat dipisahkan kembali menjadi komponen-komponennya. Setiap komponen ini kemudian didemodulasi lagi untuk memperoleh sinyal yang asli sesuai dengan kanal pengirim (Mir, 2006).

## 2.2 Synchronous Time Division Multiplexing (STDM)

*Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM) merupakan proses pentransmisian beberapa sinyal dengan menerapkan prinsip penggiliran waktu pemakaian saluran transmisi (*round-robin time-slicing*) dengan mengalokasikan satu *time-slot* (slot waktu) bagi setiap pemakai saluran. Pengalokasian waktu dilakukan dengan proses *interleaving* data yang datang dari sejumlah terminal dan mengirimkan sekelompok aliran data secara serial melalui jalur berkecepatan tinggi (Mir, 2006). *Interleaving* dapat dilakukan pada level bit atau pada level karakter.

Gambaran umum dari prinsip dasar sistem *synchronous* TDM disajikan pada Gambar 2.4. Sejumlah sinyal data  $m_n(t)$  di-*multiplexing* pada media transmisi yang sama. Data yang dibangkitkan dari setiap terminal sumber akan dilewatkan pada sebuah penyangga (*buffer*). Setiap penyangga biasanya memiliki panjang satu bit atau satu karakter. Penyangga ini dapat berupa sistem register data atau media penyimpanan lainnya yang kemudian secara berturut-turut di-*scan* untuk menghasilkan deretan data digital campuran  $m_c(t)$  (Balaban dkk., 2002). Proses *scanning* ini berlangsung dengan sangat cepat untuk mencegah terjadinya penumpukan antrian data pada setiap penyangga. Dengan proses *scanning* yang cepat memungkinkan setiap penyangga sudah dikosongkan sebelum data dari sumber tiba lebih banyak. Sinyal digital  $m_c(t)$  yang telah terbentuk kemudian ditransmisikan dalam format bingkai data (Gambar 2.4.b.). Setiap bingkai berisikan siklus *time-slot* dengan satu atau lebih *time-slot* yang ditujukan untuk masing-masing alamat sumber terminal. Masing-masing bingkai berisikan siklus dari *time-slot*. Rangkaian *time-slot* yang ditujukan untuk satu sumber dari bingkai ke bingkai dengan *time-slot* tertentu disebut dengan *channel*. Oleh karena *time-slot* ditentukan oleh berapa karakter yang dapat ditahan atau disimpan oleh penyangga, maka *time-*

*slot* setara dengan panjang dari penyangga, umumnya satu bit atau satu karakter (Stalling, 2000).



(a) *Transmitter*; (b) Bingkai data TDM; (c) *Receiver*  
Gambar 2.4 Skema kinerja TDM (Sumber: Stalling, 2000)

Data yang diterima sisi *receiver* akan di-*demultipleing* dan diarahkan pada kanal sesuai dengan *address* data. Untuk menghindari terjadinya “loncatan waktu”, data dilewatkan pada sebuah penyangga sehingga paket data akan sesuai dengan komponen yang dikirim sumber. Setiap terminal sumber  $m_n(t)$  dengan siklus *time-slot* yang sudah ditentukan, terdapat terminal tujuan yang akan menerima data pada laju yang sama seperti saat dibangkitkan. *Time-slot* dari setiap sumber diatur dengan mengaktifkan kanal sumber berdasarkan penggiliran waktu pemakaian

saluran transmisi. Setiap *time-slot* dari masing masing sumber  $m_n(t)$  tetap akan ditransmisikan baik sumber memiliki data untuk ditransmisikan atau tidak, sebagai konsekuensinya kapasitas saluran kerap terbuang. TDM jenis ini disebut *synchronous* karena *time-slot* sudah ditetapkan terlebih dahulu untuk setiap sumber. Di sisi lain *asynchronous* TDM menawarkan keuntungan kompresi data, deteksi dan koreksi kesalahan, dan kontrol lalu lintas data yang baik (Law dan William, 1991).

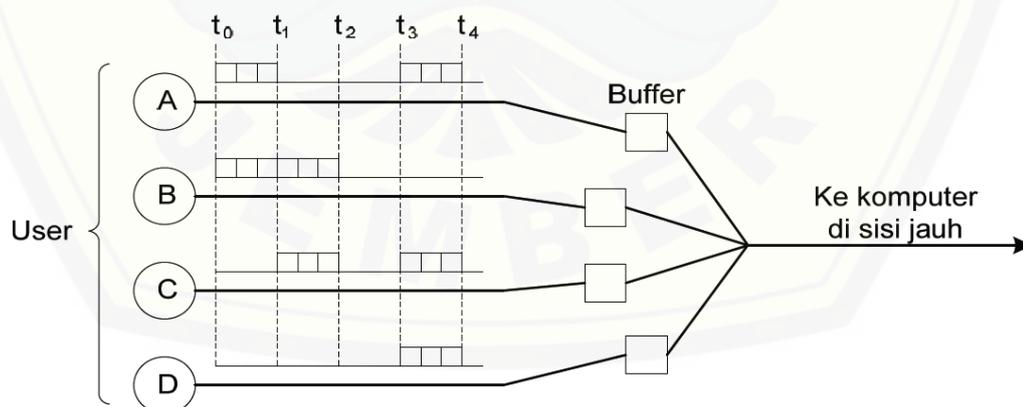
### 2.3 *Asynchronous Time Division Multiplexing (ASTDM)*

*Asynchronous Time Division Multiplexing (ASTDM)* merupakan pengembangan dari sistem STDM. Pada STDM prinsip transmisi data dilakukan dengan pembagian waktu pemakaian media transmisi tanpa memedulikan sumber memiliki data atau tidak. Hal ini menyebabkan pada sistem *synchronous* TDM sering terjadi *time-slot* dalam sebuah bingkai terbuang. Menurut Jianwey dkk. (2000), prinsip dasar sistem *synchronous* TDM melibatkan penyaluran sejumlah terminal menuju *port* komputer yang ditentukan sudah terbagi-bagi, sehingga meskipun semua terminal sedang aktif digunakan sesungguhnya sering kali tidak ada transfer data yang terjadi pada salah satu terminal.

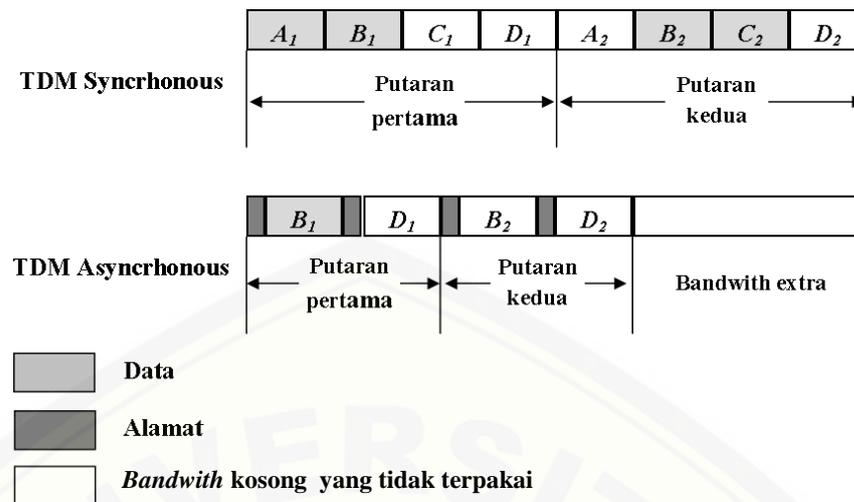
Menurut Buchanan (2001), agar *time-slot* dari bingkai yang disediakan digunakan dengan optimal, ASTDM mencoba untuk mengalokasikan waktu penggunaan *time-slot* yang disediakan kanal transmisi. *Asynchronous multiplexer* bekerja dengan cara mengalokasikan *time-slot* secara dinamis sesuai dengan permintaan *user*. Sebagaimana halnya dengan ASTDM, *asynchronous multiplexer* memiliki sejumlah *I/O* pada salah satu sisi serta saluran *multiplexing* pada sisi yang lain. Masing-masing saluran *I/O* memiliki sebuah penyangga. Pada sisi *input multiplexer* berfungsi untuk melakukan *scanning* penyangga input. Data yang di-*scan* dari penyangga dikumpulkan sampai bingkai data terisi penuh, kemudian dikirim pada kanal transmisi yang disediakan. Di sisi *output*, *demultiplexer* digunakan untuk menerima bingkai data dan mendistribusikan *slot* data pada penyangga yang sudah ditentukan dengan tepat.

ASTDM melakukan prinsip pengalokasian *time-slot* yang digunakan sehingga hanya akan mengaktifkan *time-slot* yang dibutuhkan. Dengan demikian perangkat yang terpasang tidak semuanya melakukan transmisi sepanjang waktu. Hal ini menyebabkan penghematan penggunaan *bandwith* yang tersedia dengan laju data pada saluran *multiplex* menjadi lebih kecil dibandingkan dengan jumlah laju data dari perangkat yang terpasang (Homayoun dan Edmond, 2005). Oleh karena itu, *multiplexer asynchronus* dapat menggunakan laju data yang lebih rendah untuk mendukung perangkat dalam jumlah yang sama dengan *multiplexer synchronous*.

Prinsip dasar yang membedakan sistem STDM dan ASTDM disajikan pada Gambar 2.6. Dengan memberikan empat sumber data akan dihasilkan empat interval waktu ( $t_1, t_2, t_3, t_4$ ) yang dilakukan dengan pembagian *time-slot* oleh *multiplexer* untuk setiap interval waktu  $t$ , STDM akan mengumpulkan semua data dari setiap sumber untuk kemudian dikirim secara bersamaan. Misalkan pada interval waktu pertama sumber C dan D tidak memiliki data untuk dikirim, maka dua dari empat *time-slot* yang dikirim oleh *multiplexer* adalah *time-slot* kosong. Dengan respon yang tinggi terhadap siklus *time-slot* yang diberikan untuk setiap *input*, sistem *synchronous* memiliki laju data *output* efektif sebesar empat kali laju data dari masing-masing *input* (Ray, 2007).



Gambar 2.5 Prinsip kerja *Asynchronous TDM* (Sumber: Mir, 2006)



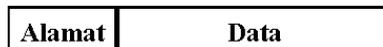
Gambar 2.6 Skema kinerja STDM dan ASTDM (Sumber: Stalling, 2000)

*Asynchronous multiplexer* tidak akan mengirimkan *time-slot* kosong bila ada data yang dikirim. *Synchronous multiplexer* akan menahan data sampai seluruh frame terisi penuh oleh data dengan peluang waktu pertama pengiriman hanya pada  $A$  dan  $B$ . Konsekuensinya posisi penting dari *slot* akan hilang sehingga tidak dapat mengindikasikan *address* sumber data dari suatu *slot* tertentu. Oleh karena *address* data yang diterima tidak dapat diperkirakan maka dibutuhkan sistem pengalamatan data untuk memastikan bahwa data terkirim pada saluran  $I/O$  dengan tepat. Dengan demikian akan lebih banyak *bit-overhead* dikarenakan setiap *slot* selain membawa data juga membawa informasi pengalamatan (Stalling, 2000).

Kinerja dari ASTDM sangat dipengaruhi struktur bingkai data yang digunakan. Gambar 2.7 (b) menunjukkan bingkai data yang digunakan satu sumber data untuk setiap bingkai dengan tujuan meminimumkan jumlah *bit-overhead* untuk meningkatkan proses transmisi. Identifikasi sumber data dapat dikenali dengan melakukan *scanning* terhadap pengalamatan yang dibawa bingkai. Panjang bidang data dapat bervariasi bergantung dari *part* data yang dikirim, dengan ujung bingkai ditandai dengan kode akhir bingkai. Skema ini dapat bekerja dengan baik pada beban yang ringan, tetapi kurang efisien dengan beban yang berat (Enderes dkk., 2000).



(a)



(b)



(c)

- (a) Keseluruhan bingkai; (b) Subbingkai dengan satu sumber per bingkai;  
 (c) subbingkai dengan banyak sumber perbingkai

Gambar 2.7 Format bingkai STD (Sumber: Stalling, 2000)

Salah satu cara untuk meningkatkan efisiensi kinerja ASTDM adalah dengan memungkinkan beberapa sumber data dipaketkan ke dalam sebuah bingkai. Untuk itu perlu ditentukan panjang data dari setiap sumber. Dengan demikian, subbingkai ASTDM terdiri dari beberapa rangkaian data, yang masing-masing diberi label alamat dan panjangnya. Homayoun (2000), mengusulkan penggunaan pendekatan sistem pengisian air untuk menetapkan antara *bandwidth server* yang tersedia dengan sumber data. Dengan demikian server akan melakukan pembagian *bandwith* berdasarkan pola siklus *time-slot* sumber.

#### 2.4 Kinerja *Time Division Multiplexing* (TDM)

Seperti diketahui laju data *output* dari *asynchronous multiplexer* lebih kecil dari jumlah keseluruhan laju data input atau jumlah rata-rata input lebih kecil dari kapasitas saluran *multiplexing*. Apabila rata-rata input lebih kecil dari kapasitas saluran *mutiplexing*, maka akan muncul periode dimana rata-rata input tersebut melebihi kapasitas. Pemecahan untuk masalah ini adalah dengan memasukkan sebuah *buffer* ke dalam *multiplexer* untuk menahan kelebihan input sementara (Haffes dan Lucantoni, 1986). Terdapat kaitan yang sangat erat antara ukuran dari *buffer* yang digunakan dengan laju data dari saluran.

Berikut ini adalah parameter-parameter yang digunakan :

$I$  = Jumlah sumber *input*

$R$  = Laju data setiap sumber (bps)

$M$  = Kapasitas efektif dari saluran yang di-*multiplexing* (bps)

$\alpha$  = Pecahan rata-rata dari waktu, saat setiap sumber melakukan transmisi

$K$  = Rasio kapasitas saluran yang di-*multiplexing* terhadap total input maksimum

Parameter  $K$  adalah ukuran pemadatan yang dapat dicapai oleh *multiplexer*.

Misalkan, untuk suatu kapasitas kanal tertentu, apabila nilai  $K = 0.25$ , *multiplexer* dapat menangani perangkat empat kali lebih banyak dari STDM pada kapasitas saluran yang sama. Nilai  $K$  dapat dibatasi menjadi:

$$\alpha < K < 1$$

Nilai  $K = 1$  berkaitan dengan ASTDM, dimana sistem memiliki kapasitas untuk melayani semua input pada saat bersamaan. Sedangkan bila  $\alpha > K$ , berarti input akan melebihi kapasitas *multiplexer* (Stalling, 2000).

Penggunaan *time-slot* yang digunakan sebuah *multiplexer* sangat menentukan efisiensi *bandwith* yang digunakan. Untuk menghindari terjadinya *slot* kosong maka diperlukan pemberian batas tunggu antrian pada data yang akan dikirim. Kondisi antri akan meningkat apabila data yang datang menemukan server dalam kondisi sibuk, sehingga data harus menunggu (Jianwei dkk., 2000). Penundaan yang dilakukan oleh data adalah waktu yang dihabiskan untuk menunggu antrian ditambah waktu pelayanan. Kedatangan data dari *transmitter* ini akan ditentukan dengan melakukan pendekatan distribusi poisson dengan waktu pelayanan yang diberikan konstan (Stalling, 2000).

$$\rho = \lambda T_s \quad (2.1)$$

dengan,

$\rho$  = Kinerja server (bit)

$\lambda$  = Jumlah rata-rata kedatangan per detik (bps)

$T_s$  = Waktu layanan untuk setiap kedatangan (s)

Sehingga jumlah rata-rata data dalam sistem dapat didekati dengan persamaan

$$N = \frac{\rho^2}{2(1 - \rho)} + \rho \quad (2.2)$$

dengan,

$N$  = Jumlah rata-rata data di dalam sistem (yang menunggu dan sedang dilayani)

$\rho$  = Kinerja server (bit)

Oleh karena data yang akan ditransfer oleh *multiplexer* menunggu *time-slot* terisi semua maka ada sebagian data yang akan ditahan oleh *buffer*. Dengan demikian waktu rata rata yang dihabiskan data di dalam sistem adalah

$$T_r = \frac{T_s(2 - \rho)}{(1 - \rho)} \quad (2.3)$$

Dengan,

$T_r$  = Waktu rata-rata yang dihabiskan data di dalam sistem (s)

$T_s$  = Waktu layanan untuk setiap kedatangan (s)

$\rho$  = Kinerja server (bit)

Menurut Ali dan Farhad (2003), model ini dapat dihubungkan dengan mudah dengan *asynchronous multiplexer* dengan rata-rata laju kedatangan yang terjadi adalah:

$$\lambda = \alpha IR \quad (2.4)$$

Dengan,

$\lambda$  = Rata-rata laju kedatangan (bps)

$I$  = Jumlah sumber input

$\alpha$  = Pecahan rata-rata dari waktu, saat setiap sumber melakukan transmisi

$R$  = Laju data setiap sumber (bps)

Sedangkan untuk mencari waktu layanan, yaitu waktu untuk mentransmisikan satu bit dapat digunakan persamaan (2.5) (Stalling, 2000) :

$$T_s = \frac{1}{M} \quad (2.5)$$

dengan,

$T_s$  = Waktu pelayanan (s)

$M$  = Kapasitas efektif saluran *multiplexing* ( $s^{-1}$ )

Selanjutnya, kinerja dari server atau *multiplexer* akan dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\rho = \lambda T_s = \frac{\alpha I R}{M} = \frac{\lambda}{M} \quad (2.6)$$

Dengan,

$\rho$  = Kinerja dari server atau *multiplexer* (bit)

$\lambda$  = Rata-rata laju kedatangan (bps)

$I$  = Jumlah sumber input

$\alpha$  = Pecahan rata-rata dari waktu, saat setiap sumber melakukan transmisi

$R$  = Laju data setiap sumber (bps)

Perlu diingat bahwa akan lebih sedikit jumlah *buffer* per sumber yang diperlukan oleh *multiplexer* yang menangani sumber dalam jumlah yang besar dan rata-rata penundaan akan semakin kecil bila kapasitas jalur meningkat untuk penggunaan yang konstan.

## BAB 3. METODE PENELITIAN

### 3.1 Rancangan Kegiatan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Jember. Pelaksanaan kegiatan penelitian dimulai pada tanggal 5 Oktober 2017 sampai dengan tanggal 14 Februari 2018. Penelitian yang dilakukan adalah pemodelan *multiplexing* sebagai sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Metode pemodelan dilakukan menggunakan *Time Division Multiplexing* (TDM). Alat yang digunakan untuk simulasi adalah laptop dengan spesifikasi processor intel(R) Celeron(R) CPU 847 @ 1.10GHz RAM 4.00 GB, dan tipe *operating system* 64-bit. Permasalahan yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah pemodelan *Time Division Multiplexing* (TDM) yang efisien dengan memanfaatkan penggunaan *bandwith* secara maksimal dan mengurangi terjadinya *time-slot* kosong pada sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Penelitian diawali dengan melakukan studi pustaka dari berbagai sumber yang merupakan observasi awal terhadap topik kegiatan yang diteliti. Kemudian dilanjutkan dengan melakukan instalasi *software* pada laptop yang digunakan. Selanjutnya dilakukan proses pemodelan matematis sistem *multiplexing* secara komputasi kemudian dilakukan pengujian model dengan menggunakan data sintetik yang dihasilkan aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Hasil pengujian model sistem *multiplexing* data dianalisis dan menjadi dasar untuk menarik kesimpulan.

### 3.2 Jenis dan Sumber Data Penelitian

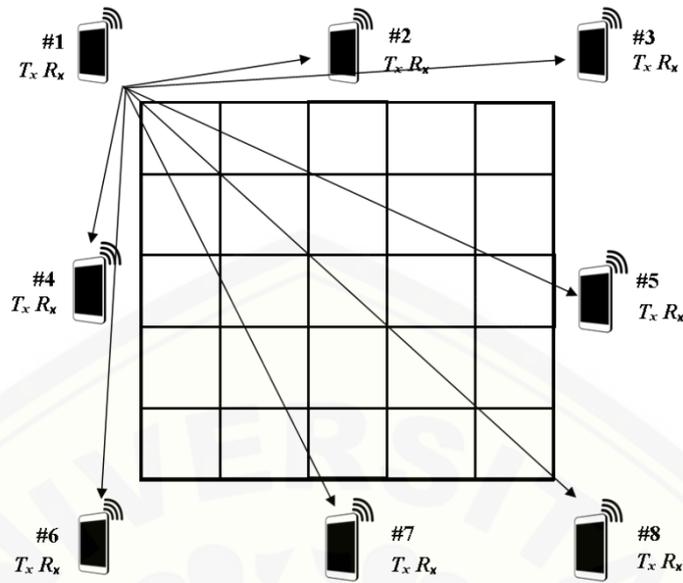
#### 3.2.1 Jenis Penelitian

Penelitian direalisasikan dengan membuat model matematis sistem *multiplexing* menggunakan prinsip *Time Division Multiplexing* (TDM) untuk aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Pemodelan dibuat untuk dua jenis TDM yaitu *Synchrhonous Time Division*

*Multiplexing* (STDM) dan *Asynchrhonous Time Division Multiplexing* (ASTDM). Kedua model diuji dengan menggunakan data sintetik dari hasil simulasi posisi suatu objek berdasarkan pelemahan amplitudo yang terekam *receiver* pada aplikasi *through-wall imaging*. Pengujian dilakukan dengan memberikan perlakuan yang sama terhadap kedua model untuk mengetahui efisiensi model. Perlakuan yang diberikan adalah daya *noise* transmisi, frekuensi paket, dan kecepatan gerak objek investigasi. Pengukuran efisiensi model berdasarkan jumlah data *lose* dan kecepatan akuisisi data citra mendeteksi objek. Dengan demikian didapatkan suatu model *multiplexing* yang efisien sebagai sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* dengan memanfaatkan penggunaan *bandwith* secara maksimal dan mengurangi terjadinya data *lose*.

### 3.2.2 Sumber Data Penelitian

Data yang digunakan untuk melakukan pengujian terhadap model *multiplexing* berupa data sintetik yang dibangun berdasarkan pelemahan amplitudo sinyal WiFi oleh objek investigasi. Pelemahan amplitudo sinyal WiFi terukur oleh *receiver* melalui suatu penampang lintang dengan melakukan pemindaian objek investigasi. Pemindaian objek investigasi dilakukan dengan metode *fan-beam mode*. Metode *fan-beam mode* memungkinkan untuk melakukan pemindaian objek dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dengan intensitasnya terukur secara simultan oleh suatu susunan *receiver* pada sisi lain dari suatu bidang penglihatan (Anton dan Rorres, 2005). Variasi sudut rotasi pemindaian dilakukan dengan menggunakan multi fungsi dari *smartphone* sebagai *transmitter* dan *receiver* yang diposisikan mengelilingi *host area investigation*. Fungsi *transmitter* dan *receiver smartphone* dikendalikan secara bergantian dengan memberikan pengalamatan pada setiap *smartphone* yang digunakan (Gambar 3.1).



Gambar 3.1 Model arsitektur sistem *through-wall imaging* dengan *wireless smartphone*

Oleh karena gelombang elektromagnetik ketika melewati bahan akan mengalami pelemahan daya yang sebanding dengan tebal bahan (Griffiths, 1999), maka sinyal sebelum dan setelah melewati objek dapat dirumuskan mengikuti hukum Beer-Lambert :

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \tag{3.1}$$

dengan  $I_0$  adalah intensitas sinyal sebelum melewati objek,  $I$  adalah intensitas sinyal yang ditransmisikan setelah melewati jarak  $x$  melalui objek. Dengan koefisien atenuasi linier  $\alpha$  tergantung pada koefisien atenuasi linier dari objek.

Sehingga untuk  $T_{x_1}$  diperoleh  $\begin{bmatrix} I_{R_1} \\ I_{R_1} \\ \vdots \\ I_{R_N} \end{bmatrix}$  selanjutnya untuk  $T_{x_2}$  diperoleh  $\begin{bmatrix} I_{R_1} \\ I_{R_1} \\ \vdots \\ I_{R_N} \end{bmatrix}$

seterusnya hingga  $T_{x_N}$ . Dengan melakukan perbandingan nilai intensitas sinyal pancar dengan intersitas sinyal yang terukur *receiver* maka didapatkan nilai

pelemahan amplitudo gelombang pancar. Sehingga untuk  $T_{x_1}$  diperoleh  $\begin{bmatrix} \alpha x_1 \\ \alpha x_2 \\ \vdots \\ \alpha x_N \end{bmatrix}$

selanjutnya untuk  $T_{x_2}$  diperoleh  $\begin{bmatrix} \alpha x_1 \\ \alpha x_2 \\ \vdots \\ \alpha x_N \end{bmatrix}$  seterusnya hingga  $T_{x_N}$ . Dari pengukuran

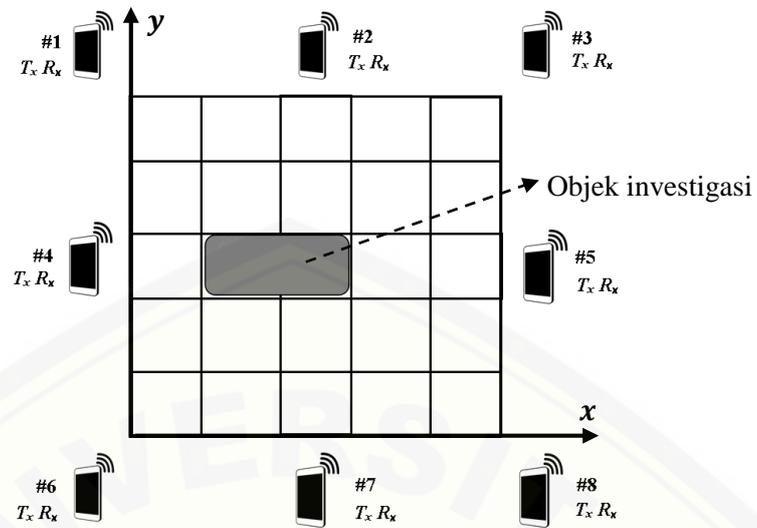
tersebut diperoleh data proyeksi sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \dots & P_{1,M} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \dots & P_{2,M} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{N,1} & P_{N,2} & \dots & P_{N,M} \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

dengan  $P$  adalah posisi proyeksi benda yang dideteksi dengan pelemahan amplitudo gelombang WiFi.

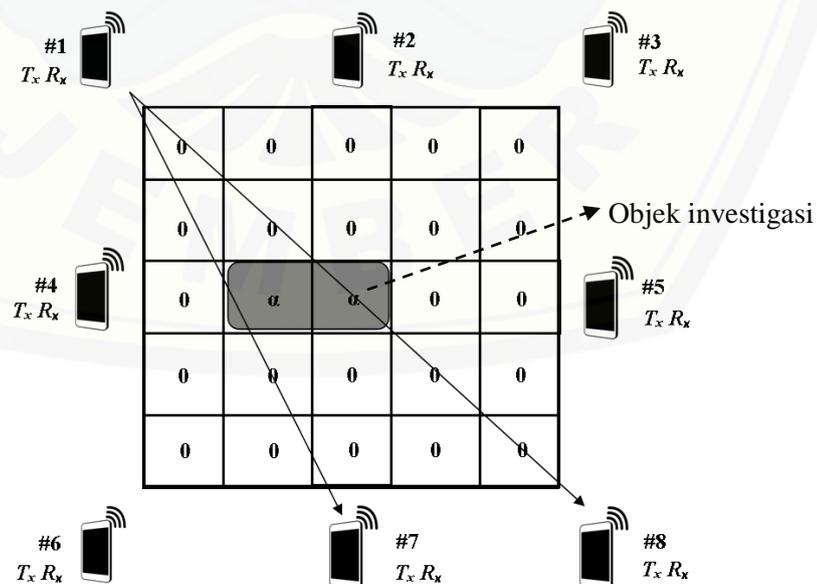
#### A. Paket Data *Through-Wall Imaging*

Paket data *through-wall imaging* dibangun dengan mengukur pelemahan amplitudo gelombang WiFi ketika mengenai objek investigasi. Satu paket data rekonstruksi *through-wall imaging* berisikan matriks pelemahan amplitudo yang diterima semua *receiver*  $R_n$  untuk setiap *transmitter*  $T_{x_i}$ . Dimisalkan suatu objek investigasi ditempatkan pada koordinat  $(x_1, y_1 = 2,3 \text{ pixel})$  dan  $(x_2, y_2 = 3,3 \text{ pixel})$  dalam *host area investigation* dari sensor (Gambar 3.2). *Smartphone* yang berfungsi sebagai *transmitter* akan memindai objek dengan cara memancarkan gelombang WiFi secara simultan yang kemudian diukur intensitas pancar oleh *smartphone* lainnya yang berfungsi sebagai *receiver*. Data pengukuran pelemahan gelombang pancar yang terukur *receiver* kemudian diberi pengalamatan sesuai *host* sumber.

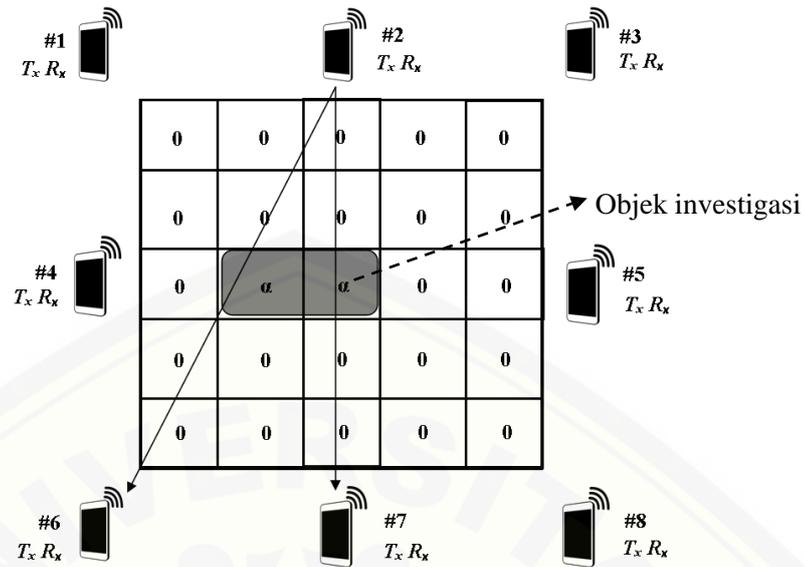


Gambar 3.2 Model arsitektur sistem *through-wall imaging* dengan *wireless smartphone* ketika diberi objek investigasi

Dengan membagi *host area investigation* menjadi beberapa *pixel* akan memudahkan untuk mengindikasi posisi objek investigasi. Posisi dari objek ditentukan berdasarkan pusat koordinat setiap *pixel* dimana gelombang WiFi mengalami pelemahan intensitas gelombang pancar. Jika diasumsikan bahwa pelemahan intensitas gelombang WiFi yang diakibatkan oleh objek sebesar  $\alpha$  maka akan didapatkan posisi proyeksi benda yang terdeteksi (Gambar 3.3 dan 3.4).



Gambar 3.3 Pemindaian objek investigasi oleh smartphone #1



Gambar 3.4 Pemindaian objek investigasi oleh smartphone #2

Untuk memudahkan perhitungan data, dilakukan dua aproksimasi yaitu bahwa penjalaran gelombang bersifat linier dan luasan sel akan bernilai satu apabila garis tinjauan melewati setengah panjang sisi sel. Dari dua aproksimasi tersebut akan didapat data sintetik berupa matriks posisi proyeksi objek sebagai berikut :

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & \alpha \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & \alpha & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 2\alpha & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 2\alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \alpha & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Matriks di atas merupakan satu paket data *through-wall imaging* yang akan direkonstruksi untuk mendeteksi posisi dari objek investigasi.

#### B. Paket Data Sintetik

Paket data sintetik yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dengan menyimulasikan vektor posisi dari objek investigasi yang berada pada *host area investigation* sebagai aplikasi *through-wall imaging*. Objek investigasi dipindai secara simultan dengan metode *fan-beams mode*. Pemindaian objek investigasi dilakukan secara simulasi dengan memberikan garis proyeksi dari *transmitter*  $T_{x_i}$  menuju  $n$  jumlah *receiver*  $R_{x_n}$  yang digunakan. Dengan menentukan parameter dari

*host area investigation* dan konstanta atenuasi  $\alpha$  dari objek, didapatkan paket data *through-wall imaging* seperti pada persamaan (3.2). Dengan satu paket data yang akan dikirim berisikan pengukuran pelemahan amplitudo oleh masing-masing *receiver*. Misalkan satu paket data pengukuran oleh  $n$  *receiver*  $R_{x_n}$  dari sinyal yang dipancarkan *transmitter*  $T_{x_1}$  dinyatakan dengan

$$\begin{bmatrix} P_{1,1} \\ P_{1,1} \\ P_{1,1} \\ \vdots \\ P_{1,1} \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Matriks (3.4) merupakan paket pertama yang akan dikirim dengan menggunakan TDM.

Model *multiplexing* yang dibangun kemudian diuji dengan variasi jumlah *smartphone*, frekuensi paket data serta perlakuan objek investigasi pada saat diam dan pada saat bergerak dengan kecepatan konstan. Variasi kecepatan gerak objek didapatkan dengan memberikan perubahan posisi objek dalam *pixel* setiap satuan waktu tertentu saat dilakukan *scanning*. Pengujian dilakukan untuk dua jenis model *multiplexing* yaitu STDM dan ASTDM.

### 3.3 Definisi Operasional Variabel dan Skala Pengukuran

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah jumlah *transmitter* (*smartphone*) yang digunakan untuk mengirim data dan frekuensi paket data. Sedangkan sub variabel bebas yang merupakan bagian dari variabel bebas adalah kecepatan gerak objek investigasi pada *host area investigation* dan daya sinyal *noise* sistem transmisi. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah efisiensi sistem berdasarkan kecepatan akuisisi data untuk mendeteksi objek investigasi yang terdiri dari 3 parameter pengukuran, yaitu: jumlah data *lose*, akurasi sensor posisi, dan kecepatan objek investigasi yang mampu direkonstruksi. Variabel terikat dalam penelitian ini terfokuskan pada *real-time* sistem dapat mendeteksi posisi objek investigasi dengan akurat. Pengujian keakuratan hasil pengukuran dilakukan dengan membandingkan data hasil pengukuran sensor dengan keadaan *real* posisi objek investigasi pada suatu waktu tertentu dengan merekonstruksi posisi objek

menggunakan metode *Algebraic Reconstruction Technique* (ART). Menurut Nurgiyatna (2013), ART merupakan metode rekonstruksi dengan memberikan nilai sembarang sebagai citra dugaan awal yang kemudian digunakan untuk menghitung nilai-nilai proyeksi semu untuk dibandingkan dengan proyeksi terukur. Berikut variabel input pada penelitian pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*:

Tabel 3.1 Variabel input pengujian model *multiplexing* sebagai sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*

Variabel input	Nilai
<i>Carrier frequency</i>	2.5 GHz
Frekuensi paket	0.5 kbps, 1 kbps, 2 kbps, 2.792 kbps, 2.832 kbps
Jumlah pasangan <i>transmitter-receiver</i>	4, 8, 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36, 40
Kecepatan objek	0 <i>pixel/s</i> sampai dengan 15 <i>pixel/s</i>
<i>Signal to Noise Ratio</i>	0 dB sampai dengan 15 dB

### 3.4 Metode Analisis Data

Analisis data yang digunakan pada pemodelan sistem *multiplexing* untuk aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* dilakukan dengan membandingkan dua model TDM yaitu STDM dan ASTDM. Berikut analisis data model TDM sebagai sistem transmisi data aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*:

#### 3.4.1 Kinerja Sistem *Multiplexing*

Kinerja dari sistem *multiplexing* ( $\rho$ ) ditentukan dengan menggunakan persamaan

$$\rho = \lambda T_s = \frac{\alpha I R}{M} = \frac{\lambda}{M} \quad (3.5)$$

dengan

$\rho$  = Kinerja dari server atau *multiplexer*

$\lambda$  = Rata-rata laju kedatangan (bps)

$T_s$  = Waktu pelayanan (s)

$I$  = Jumlah sumber input

$\alpha$  = Pecahan rata-rata dari waktu, saat setiap sumber melakukan transmisi

$R$  = Laju data setiap sumber (bps)

$M$  = Kapasitas efektif saluran *multiplexing* ( $s^{-1}$ )

### 3.4.2 Data Lose

Tingkat kerugian atau *losing* data dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$L(i) = \sum_{k=1}^K I^{(i)}[k] - \sum_{k=1}^K O^{(i)}[k] \quad (3.6)$$

Dengan  $I^{(i)}[k]$  adalah rata-rata input data dari sumber ke- $i$  pada waktu  $k$  dan  $O^{(i)}[k]$  adalah rata-rata output data dari sumber ke- $i$  pada waktu  $k$ .

### 3.4.3 Lama Proses *Multiplexing* dan *Demultiplexing* Data

Waktu yang dibutuhkan server untuk melakukan fungsi *multiplexing* atau *demultiplexing* dihitung dengan persamaan

$$t = t_f - t_s \quad (3.7)$$

Dengan  $t_s$  adalah waktu mulai akuisisi dan  $t_f$  adalah waktu selesai akuisisi.

### 3.4.4 Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem *multiplexing* yang dibangun ditentukan berdasarkan kecepatan akuisisi data untuk mendeteksi objek investigasi yang terdiri dari 3 parameter pengukuran, yaitu: ketahanan terhadap data *lose*, akurasi sensor posisi, dan kecepatan objek investigasi yang mampu direkonstruksi.

#### A. Ketahanan Terhadap Data Lose

Persentase efisiensi dari sistem *multiplexing*  $D$  (%) berdasarkan ketahanan terhadap data *lose* dihitung dengan menggunakan persamaan

$$D(\%) = \frac{O_{demux}}{\lambda T_s} \times 100\% \quad (3.8)$$

dimana  $O_{demux}$  adalah output data dari *demultiplexing*. Pada persamaan 3.8 apabila nilai efisiensi  $D = 100\%$  menunjukkan bahwa tidak terjadi data *lose* yang dihasilkan sistem *multiplexing* dan  $D = 0\%$  menunjukkan bahwa keseluruhan data yang dihasilkan sistem *multiplexing* hilang (*lose*).

#### B. Akurasi Sensor Posisi

Persentase efisiensi dari sistem *multiplexing*  $R$  (%) berdasarkan akurasi posisi hasil rekonstruksi yang dinyatakan dengan kualitas citra dihitung dengan menggunakan persamaan

$$R(\%) = \frac{\sum_i (x_i - x_m) \sum_i (y_i - y_m)}{\sqrt{\sum_i (x_i - x_m)^2} \sqrt{\sum_i (y_i - y_m)^2}} \times 100\% \quad (3.9)$$

Dengan  $x_i$  adalah nilai *pixel* ke- $i$  pada objek asli dan  $y_i$  adalah nilai *pixel* ke- $i$  pada hasil rekonstruksi. Sedangkan  $x_m$  adalah nilai rata rata pada objek asli dan  $y_m$  adalah nilai rata rata rekonstruksi. Pada persamaan 3.9 apabila nilai korelasi posisi  $R = 100\%$  maka posisi dan bentuk objek hasil rekonstruksi sama persis dengan objek asli dan jika nilai  $R = 0\%$  maka posisi dan bentuk objek hasil rekonstruksi tidak sesuai dengan objek asli.

### C. Kecepatan Objek Investigasi

Persentase efisiensi dari sistem *multiplexing*  $K$  (%) berdasarkan kecepatan akuisisi yang dinyatakan dengan kecepatan benda yang mampu direkonstruksi sistem dihitung dengan menggunakan persamaan

$$K(\%) = \frac{v_{mr}}{v_{mo}} \times 100\% \quad (3.10)$$

Dengan  $v_{mr}$  adalah kecepatan maksimum objek yang dapat direkonstruksi dan  $v_{mo}$  adalah kecepatan maksimum yang dapat diberikan pada objek investigasi yaitu sebesar 16 *pixel/s*. Pada persamaan 3.10 apabila nilai efisiensi  $K = 100\%$  menunjukkan bahwa kecepatan maksimum objek yang mampu direkonstruksi sama dengan kecepatan maksimum yang dapat diberikan pada objek investigasi.

## 3.5 Kerangka Pemecahan Masalah

### 3.5.1. Kajian Pustaka

Kegiatan penelitian ini diawali dengan melakukan kajian pustaka terhadap berbagai literatur untuk mendapatkan informasi yang berhubungan dengan desain sistem *multiplexing* dengan berbagai kelebihan dan kekurangan dari sistem *multiplexing* data. Dari pemodelan *multiplexing* dapat dibuat persamaan matematis untuk memprediksikan sistem *multiplexing* dengan kecepatan dan akurasi pengiriman yang tinggi. Sistem *multiplexing* yang dipilih dalam penelitian ini adalah mode *Time Division Multiplexing* (TDM)

### 3.5.2. Mekanisme Simulasi

Kegiatan simulasi dilakukan untuk menguji dan menganalisa efisiensi sistem *multiplexing* yang dibangun. Langkah awal yang dilakukan dalam simulasi adalah dengan merancang sistem *multiplexing* data jenis *Time Division Multiplexing* (TDM) menggunakan model sederhana dengan *selector* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. Dari model *multiplexing* yang sederhana kemudian diuji dengan beberapa input masukannya untuk mempelajari karakteristik dari sistem yang dibangun. Dengan demikian akan diperoleh suatu pendekatan matematis untuk dikembangkan kedalam sistem yang lebih besar dengan kapasitas pengiriman yang luas. Pemodelan matematis sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* ini menggunakan metode STDM dan ASTDM dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan masing-masing metode secara simulasi.

Penelitian ini dibangun sebuah server yang bertugas sebagai *multiplexer* untuk mengumpulkan data posisi objek dalam bentuk matriks nilai pelemahan amplitudo yang terukur *receiver*. Data tersebut kemudian ditempatkan berdasarkan *time-slot* pengiriman dengan menggunakan *selector*. Pembagian *time-slot* ini dimaksudkan untuk mengatur sistem antrian data yang akan dikirim dalam satu kanal transmisi dengan menggunakan *Amplitude Modulation* (AM). AM merupakan jenis modulasi dengan mengubah amplitudo sinyal *carier* sesuai dengan sinyal informasi (Tjia, 1994). *Selector* dibangun dengan memanfaatkan divisi waktu yang dibangkitkan oleh rangkaian pendetak. Selanjutnya data yang terkirim dengan pembagian *time-slot* dipisah oleh sebuah server yang berfungsi sebagai *demultiplexer*. Selanjutnya data dikelompokkan sesuai dengan definisi *time-slot* yang sudah ditentukan oleh *selector*. Pada proses pemisahan data oleh *demultiplexer* ada beberapa batasan yang perlu diperhatikan bahwa *bandwith* yang digunakan disesuaikan dengan jumlah bit yang digunakan dan frekuensi yang digunakan tidak sampai melebihi batas terjadinya sinkronisasi data.

Keakuratan pengukuran data yang diperoleh pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* sangat ditentukan oleh kecepatan pengiriman data yang dilakukan server. Kecepatan pengiriman data ini

sangat ditentukan oleh sistem *multiplexing* yang digunakan dengan memanfaatkan *time-slot* dan penggunaan *bandwith* secara maksimal. Untuk mengantisipasi terjadinya kekosongan *slot* pada sistem *multiplexing* yang dibangun dilakukan sinkronisasi pada kecepatan rata-rata input dengan kapasitas saluran *multiplexing*. Pemecahan untuk masalah ini adalah dengan memasukkan sebuah *buffer* ke dalam *multiplexer* untuk menahan kelebihan input sementara.

Secara umum rancangan pemodelan sistem *multiplexing* pada penelitian ini terbagi menjadi 6 bagian sebagai berikut :

A. Identifikasi objek investigasi dan proses *scanning*

Proses mendefinisikan objek investigasi dilakukan untuk menentukan posisi objek investigasi sebagai objek *real* yang akan direkonstruksi. Posisi objek investigasi ditentukan pada suatu koordinat *pixel* dalam *host area investigation*. Objek investigasi kemudian di-*scan* dengan metode *through-wall imaging* untuk memperoleh data citra.

B. *Multiplexing* data

Proses *multiplexing* melakukan penggabungan data dalam satu kanal masukan. Penggabungan data oleh *multiplexer* didasarkan pada *time-slot* yang telah didefinisikan berdasarkan *address* data. Langkah awal dengan memberikan definisi pada sistem tentang jumlah data masukan ( $I$ ), laju data setiap sumber ( $R$ ), dan kapasitas efektif saluran *multiplexing* yang bisa digunakan ( $M$ ). Sebelum data dieksekusi, sistem secara komputasi akan melakukan *monitoring* data sesuai dengan *slot* yang sudah ditentukan. *Monitoring* data dilakukan untuk memastikan bahwa *slot* sudah terisi data dengan benar dengan jumlah bit yang tersedia

C. Transmisi data

Proses transmisi data dilakukan dengan sistem transmisi modulasi AM. Pada sistem transmisi AM dilakukan pengujian ketahanan terhadap gangguan sinyal *noise*. Langkah awal dengan memberikan parameter kuat daya sinyal *noise* yang dinyatakan dalam *Signal to Noise Ratio* (SNR). Selanjutnya dilakukan pentransmisian data dengan memodulasi AM data hasil *multiplexing* kemudian dicampur sinyal *noise* dengan nilai SNR yang sudah ditentukan.

#### D. *Demultiplexing* data

Sebelum data tersimpan sesuai alamat sumber data, data “dipilah-pilah” dengan menggunakan fungsi *demultiplexing* data. Proses *demultiplexing* bertugas untuk memilah data yang diterima dalam satu kanal transmisi menjadi paket-paket data sesuai dengan alamat data pengirim. Pengalamatan data dilakukan berdasarkan *time-slot* yang diberikan pada saat proses *multiplexing* data.

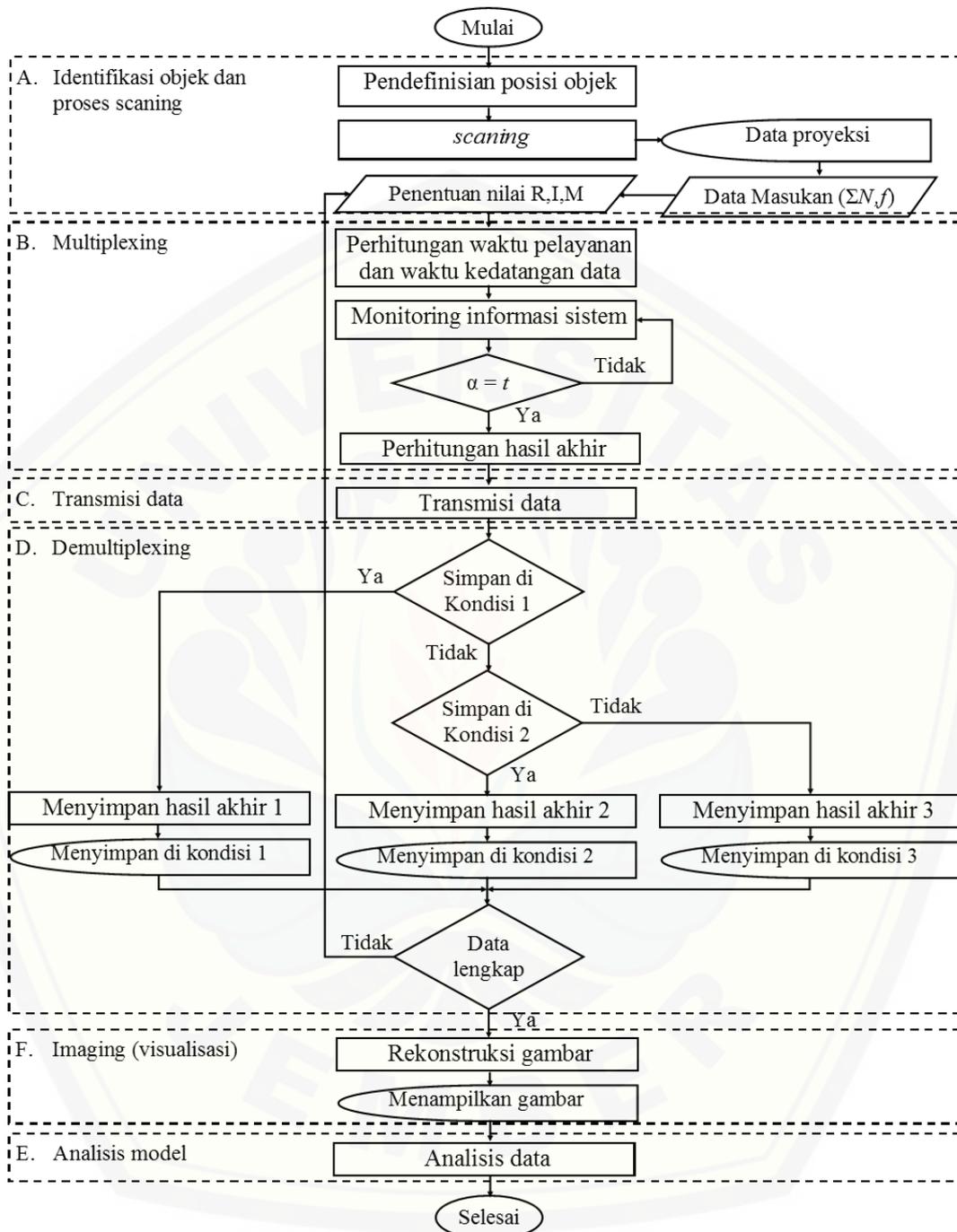
#### E. *Imaging*

Sistem *multiplexing* yang dimodelkan digunakan pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Untuk menguji akurasi akuisisi data sensor diperlukan proses visualisasi terhadap posisi objek investigasi pada saat waktu tertentu. Visualisasi ini dilakukan untuk membandingkan posisi objek investigasi yang direkonstruksi dengan posisi objek investigasi yang dipindai dengan metode *through-wall imaging* pada saat tertentu. Dengan melakukan analisa ini akan didapatkan nilai efisiensi dari sistem *multiplexing* melakukan pengiriman data citra untuk direkonstruksi dalam bentuk gambar posisi *real-time* objek investigasi.

#### F. Analisis sistem

Kinerja model *multiplexing* akan dianalisa dengan menggunakan pendekatan karakteristik model STDM dan ASTDM yang dinyatakan ke dalam persamaan (3.5). Efisiensi sistem dianalisa untuk aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network*. Efisiensi sistem *multiplexing* yang dibangun ditentukan berdasarkan kecepatan akuisisi data untuk mendeteksi objek investigasi yang terdiri dari tiga parameter pengukuran, yaitu: ketahanan terhadap data *lose*, akurasi posisi, dan kecepatan objek investigasi yang mampu direkonstruksi.

Berikut diagram alir dari simulasi pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging* berbasis *wereless network*:



Gambar 3.5 Diagram alir (*flow chart*) simulasi pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging*

## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari pemodelan sistem *multiplexing* pada aplikasi *through-wall imaging* sebagai sensor posisi berbasis *wireless network* yang dibangun dengan model *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM) dan *Asynchronous Time Division Multiplexing* (ASTDM) adalah sebagai berikut:

1. Besar frekuensi sinkronisasi yang dimiliki model STDM adalah 2792 bps dan 2832 bps untuk model ASTDM. Nilai ini berada pada frekuensi paket data tertinggi yang dapat diakuisisi sistem *multiplexing* tanpa adanya data *lose* yang dihasilkan.
2. Akurasi sensor posisi yang mampu direkonstruksi model STDM sebesar 98.299 % untuk objek diam dan 91.176 % untuk objek bergerak. Sedangkan pada model ASTDM akurasi sensor posisi yang mampu direkonstruksi sebesar 98.299 % untuk objek diam dan 96.762 % untuk objek bergerak.
3. Kecepatan gerak objek tertinggi yang mampu direkonstruksi dengan baik oleh model STDM sebesar 6 *pixel/s* sedangkan pada model ASTDM sebesar 11 *pixel/s*. Nilai ini didapatkan untuk penggunaan 4 pasangan *transmitter-receiver* dengan akurasi sebesar 76.854 %.
4. Model STDM memiliki nilai efisiensi akuisisi sistem *multiplexing* sebesar 82.187 % berdasarkan jumlah data *lose*, 91.176 % berdasarkan akurasi sensor posisi, dan 37.370 % berdasarkan kecepatan gerak objek yang mampu direkonstruksi. Sedangkan pada model ASTDM nilai efisiensi akuisisi sistem *multiplexing* yang didapatkan sebesar 96.648 % berdasarkan jumlah data *lose*, 96.762 % berdasarkan akurasi sensor posisi, dan 68.750 % berdasarkan kecepatan gerak objek yang mampu direkonstruksi.
5. Besar SNR *noise maksimal* yang mampu ditoleransi sistem transmisi pada penelitian ini adalah 10 dB atau daya *noise* 40% dari daya sinyal data.

6. Semakin rendah nilai SNR akan meningkatkan jumlah *error* bit yang ditransmisikan sistem sehingga nilai BER akan naik dan semakin banyak pasangan *transmitter-receiver* yang digunakan maka semakin signifikan pula kenaikan nilai BER pada level noise yang sama.

## 5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu mencari model *buffer* yang tepat sehingga frekuensi sinkronisasi yang dicapai lebih maksimal. Selain itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada sistem TDM dengan frekuensi paket melebihi frekuensi sinkronisasi untuk mengetahui ketahanan dari TDM sebagai sistem pengiriman data aplikasi *through-wall imaging*. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menggunakan teknik enkripsi data. Selain itu teknik TDM dapat dijadikan dasar analisis sistem pengiriman barang. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang TDM pada aplikasi yang lebih luas.

**DAFTAR PUSTAKA**

Ain, K., dan U. Nuri. 2004. *Algebraic Iteration as Accurate Reconstructions Method in Computer Tomography System*. Yogyakarta: Prosiding SFN XX-HFI.

Ali, R., dan H. Farhad. 2003. *Time Constraint M/M/1 Queue*. Teheran: Faculty of Electrical and Computer Departemen of School of Engineering University of Tehran.

Anton, H., dan C. Rorres. 2005. *Aljabar Linier Elementer Versi Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.

Balaban, P., M. C. Jeruchim., dan K. S. Shanmugan. 2002. *Simulation of Communication System*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Kluwer Academic Publisher.

Baranoski, E. J. 2008. Through wall imaging: historical perspective and future directions. *Journal of the Franklin Institute*. 345(6): 556–569.

Connolly, T., dan C. Begg. 2010. *Database Systems a Practical Approach to Design, Implementation and Management*. 5<sup>th</sup> ed. Boston: Person Education.

Enderes, T., S. C. Khoo., C. A. Somerville., dan K. Samaras. 2000. Impact of statistical multiplexing on voice quality in cellular networks. *Journal MSWIM Boston MA USA*. 1-58113-304-9(8): 9-13.

Freeman, R. L. 2005. *Fundamental of Telecommunication*. 4<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley and Son.

Griffiths, D. J. 1999. *Introduction to Electrodynamics*. New Jersey: Prentice Hall.

Heffes, H., dan D. M. Lucantoni. 1986. A markov modulated characterization of packetized voice and data traffic and related statistical multiplexer performance. *Communications IEEE Journal* 6(4): 3-7.

Homayoun, Y. 2000. *A Neuro-Forecast Water-Filling Scheme of Server Scheduling*. California: Department of EECS University of California.

Homayoun, Y., dan E. A. Jonckheere. 2005. Dynamic neural-based buffer management for queuing systems with self-similar characteristics, *IEEE Transactions on Neural Networks*: 25-30.

Jianwei, H., C. W. Tan., M. Ciang., dan R. Cendrillon. 2000. *Statistical Multiplexing over DSL Networks*. New Jersey: Prentice Hall Publishers.

Karistanto, A. 2008. *Perancangan Sistem Informasi*. Yogyakarta: Gava Media.

Law, A. M., dan W. D. Kelton. 1991. *Simulation Modeling and Analysis*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: McGraw-Hill.

Mir, N. F. 2006. *Computer and Communication Network*. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall.

Mulyanto, A. 2009. *Sistem Informasi Konsep dan Aplikasi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Nurgiyatna. 2013. Tomography Imaging Based On Plastic Optical Fiber. *Disertasi*. Manchester: The University of Manchester.

O'Brien., dan Marakas. 2010. *Management System Information*. New York: McGraw Hill.

Perkins, C. E., dan E. M. Royer. 1999. Ad hoc on-demand distance vector routing. *IEEE Transactions on Mobile Computing*: 20-33.

Ray, H. 2007. *Telecommunication and Data Communication Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Stalling, W. 2000. *Data and Computer Communication*. 6<sup>th</sup> ed. New Jersey: Prentice Hall.

Stern, H. P. E., dan A. M. Samy. 2004. *Communication Systems: Analysis and Design*. London: Pearson Education Inc.

Tjia, M. O. 1994. *Gelombang*. 1<sup>st</sup> ed. Solo: Dabara Publishers.

Wesley, W. C. 1998. Design Considerations of Statistical Multiplexers. *Tesis*. California: Science Departement University of California.

William, B. 2001. *Distributed Systems and Networks*. New York: McGraw-Hill Publishing Company.

Wilson, J., dan N. Patwari. 2009. Radio Tomographic Imaging with Wireless Networks. *IEEE Transactions on Mobile Computing*: 1-13.