Uranus : Jurnal Ilmiah Teknik Elektro, Sains dan Informatika
Volume. 2, No. 4, Desember 2024
e-ISSN : 3031-996X; dan p-ISSN 3031-9951; Hal. 92-101
DOI: https://doi.org/10.61132/uranus.v2i4.461
Available online at: https://journal.arteii.or.id/index.php/uranus

Implementasi dan Pengaruh *Time Division Multiplexing (TDM)* terhadap Kualitas Transmisi Sinyal

Savira Rosa Ghozali[1], Andrijani Sumarahinsih[2]
Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang
[1,2] Universitas Merdeka Malang

Korespondensi penulis : savirarosa16@gmail.com

Abstract: *Time Division Multiplexing (TDM) is a multiplexing technique that enables the transmission of multiple signals over a single communication channel by allocating separate time slots for each signal stream. This study aims to analyze the working principles of TDM, examples of its implementation, as well as the benefits and drawbacks of TDM in communication networks. The findings show that TDM can enhance data transmission efficiency through flexible bandwidth allocation, minimizing signal interference and thereby improving signal quality. Due to these advantages, TDM is widely used in fiber optic communication systems, such as telephone and internet networks. Additionally, all data processing is conducted within integrated circuits utilizing Plastic Optical Fiber (POF), allowing TDM to be implemented at a low cost.*

Keywords : *Time Division Multiplexing*, *communication networks*, *transmission*, *time allocation*.

Abstrak : *Time Division Multiplexing* (TDM) adalah salah satu teknik multiplexing yakni teknik penggabungan data yang memungkinkan pengiriman beberapa sinyal melalui satu jalur komunikasi dengan cara membagi waktu transmisi untuk setiap aliran sinyal secara terpisah. Studi ini bertujuan untuk menganalisis prinsip kerja TDM, contoh implementasi, manfaat TDM dalam jaringan komunikasi serta kerugiannya. Hasil studi menunjukkan bahwa TDM mampu meningkatkan efisiensi transmisi data dengan alokasi bandwith yang fleksibel sehingga meminimalisir interferensi antar sinyal yang menjadikan kualitas sinyal lebih baik. Dengan kelebihan tersebut TDM banyak digunakan pada sistem komunikasi serat optik seperti jaringan telepon dan internet. Selain itu, seluruh pengolahan data dilakukan dalam rangkaian terpadu yang menggunakan serat optik jenis *Plastic Optical Fiber* (POF) membuat TDM dapat diemplementasikan dengan biaya rendah.

Kata Kunci : *Time Division Multiplexing*, jaringan komunikasi, transmisi, alokasi waktu.

1. PENDAHULUAN

Di era modern ini, teknologi komunikasi semakin berkembang pesat dan memegang peranan penting dalam setiap aktivitas kehidupan. Hal itu menyebabkan meningkatnya kebutuhan akan komunikasi data yang efektif dan efisien. Seiring dengan berkembangnya kebutuhan optimalisasi sistem komunikasi modern tersebut, maka diciptakan sebuah teknologi bernama *multiplexing*. *Multiplexing* adalah proses penggabungan beberapa sinyal menjadi satu jalur transmisi atau kanal sehingga memungkinkan alokasi *bandwidth* dan meningkatkan efisiensi transmisi data. Salah satu metode *Multiplexing* adalah *Time Division Multiplexing* (TDM). Dengan TDM, kapasitas kanal transmisi bisa dimaksimalkan dimana beberapa sinyal data dapat dikirimkan melalui satu jalur transmisi dengan membagi waktu transmisi untuk masing-masing sinyal.

Pada berbagai aplikasi telekomunikasi modern seperti jaringan telepon, sistem satelit, dan jaringan komputer, teknik TDM ini memiliki peranan penting dimana keunggulan utamanya yaitu untuk mengelola transmisi data dalam kanal terbatas dengan tetap menjaga

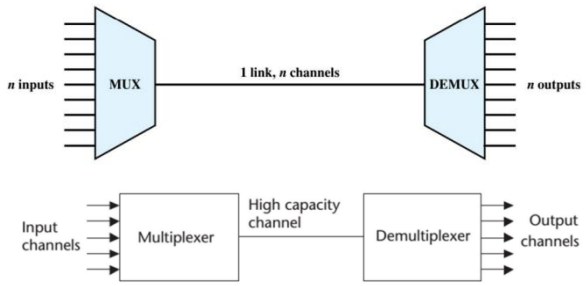
Received: Agustus 30, 2024; Revised: September 30, 2024; Accepted: Oktober 31, 2024;
Online Available: November 11, 2024;

kualitas sinyal yang diterima. Tidak hanya itu, TDM juga memberikan fleksibilitas dalam alokasi *bandwidth* sehingga penggunaan *bandwidth* dan sumber daya menjadi lebih hemat. (Buwana, 2014)

Dengan berbagai kelebihan tersebut, tentunya TDM juga mempunyai tantangan serta aspek-aspek lain yang masih perlu diperhatikan dan dipertimbangkan. Interferensi antar sinyal, adanya *bending* atau bengkokan pada media transmisi, keterbatasan kapasitas transmisi sering kali menjadi masalah yang timbul dalam pengaplikasian *Time Division Multiplexing* ini. Studi ini bertujuan untuk mempelajari lebih dalam mengenai cara kerja/ prinsip kerja TDM, contoh implementasi, manfaat TDM dalam jaringan komunikasi serta kerugiannya sehingga dengan memahami lebih dalam, diharapkan studi ini dapat memberikan kontribusi untuk pengembangan maupun penerapan salah satu teknik *Multiplexing* yaitu *Time Division Multiplexing* (TDM).

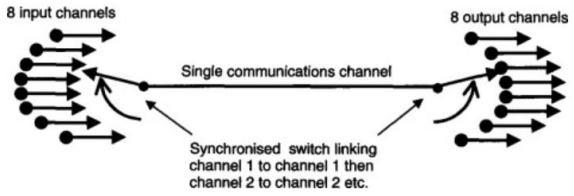
2. TEORI DASAR

Multiplexing merupakan proses penggabungan beberapa sinyal menjadi satu jalur transmisi atau kanal untuk mempercepat transmisi data dengan sumber daya dan biaya terjangkau tanpa mengurangi kualitas sinyal yang diterima. Pada dasarnya, pengirim menjalankan proses *Multiplexing*, sedangkan alat yang melakukan proses *Multiplexing* disebut *Multiplexer*. Selain itu, pada penerima dijalankan proses *demultiplexing* dan alatnya disebut *demultiplexer*.(Fauzi, 2018)



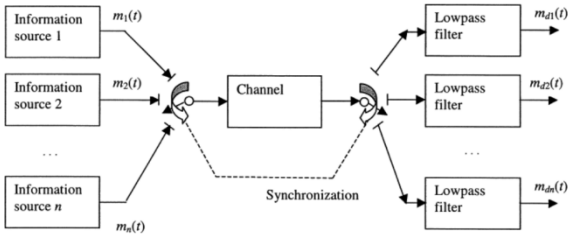
Gambar 1. visualisasi *Multiplexing*

Teknik *Multiplexing* yang paling banyak digunakan yaitu *Time Division Multiplexing* (TDM). Metode TDM ini memungkinkan *pembagian* domain waktu menjadi sejumlah slot waktu tetap. Konsep TDM dapat lebih mudah dipahami dengan membayangkannya sebagai dua sakelar putar mekanis yang masing-masing ditempatkan di setiap ujung saluran. Berbagai sirkuit terhubung ke sisi lain dari setiap sakelar yang berputar dalam pola yang tersinkronisasi satu sama lain, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. visualisasi TDM

Saat sakelar berpindah dari satu sirkuit ke sirkuit lainnya, sambungan kabel terbentuk antara kedua ujung sakelar, sehingga setiap sirkuit memiliki kesempatan untuk terhubung pada gilirannya. Sakelar tersebut berputar dengan kecepatan yang jauh lebih tinggi daripada perubahan data pada jalur input agar tidak ada data yang hilang. Kecepatan data total pada saluran adalah penjumlahan dari kecepatan data pada masing-masing jalur input. (Elliot, 2000)



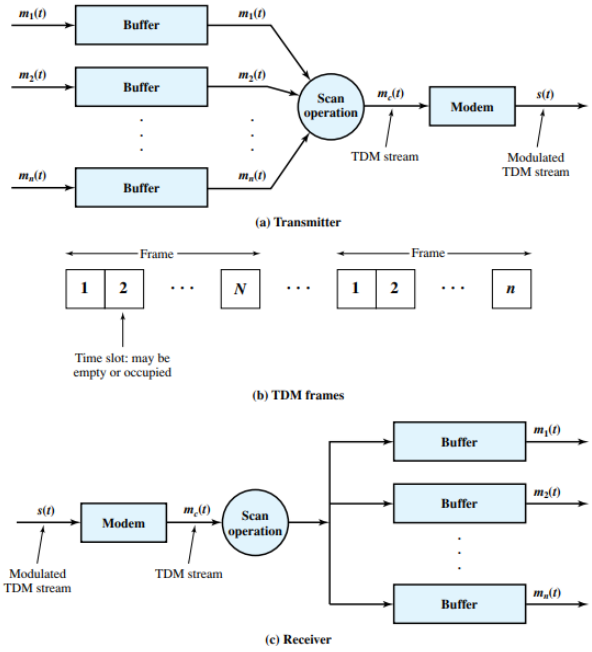
Gambar 3. TDM

TDM dapat diterapkan ketika pesan diwakili dalam format modulasi pulsa. Gambar 3 menunjukkan skema dimana modulasi amplitudo pulsa digunakan untuk mewakili pesan $m_1(t), m_2(t), \ldots, m_n(t)$, yang diasumsikan semuanya memiliki bandwidth sebesar W Hz. Kemudian, komutator mengambil sampel setiap pesan secara bergantian, yang sesuai dengan teorema pengambilan sampel yaitu harus dilakukan pada kecepatan minimum $2W$ sampel per detik untuk setiap pesan. Pada sisi penerima, komutator kedua yang disinkronkan dengan komutator di sisi pengirim akan memisahkan sampel untuk setiap pesan. *Filter low-pass* (FLP) kemudian digunakan untuk memulihkan setiap pesan dari sampelnya.

TDM dapat menggunakan format modulasi pulsa analog apa pun dan tidak ada batasan terkait pulsa yang mewakili pesan analog. Namun untuk pesan digital, diperlukan tambahan pembingkaian. TDM menghindari masalah *crosstalk* yang dapat terjadi pada FDM. Meski demikian, sinkronisasi antara sampel dari setiap pesan dan penyelarasan komutator di sisi penerima dengan sisi pengirim harus dijaga. TDM juga memungkinkan integrasi pesan dengan *bandwidth* berbeda melalui teknik pengambilan sampel yang fleksibel. Sebagai contoh, untuk tiga pesan m_1, m_2dan m_3 dengan bandwidth masing-masing W, W, dan $2W$, komutator dapat diatur dengan pola urutan seperti $m_1, m_3, m_2, m_3,\ m_1, m_3, m_2, m_3, \ldots$. (Ziemer, 2002)

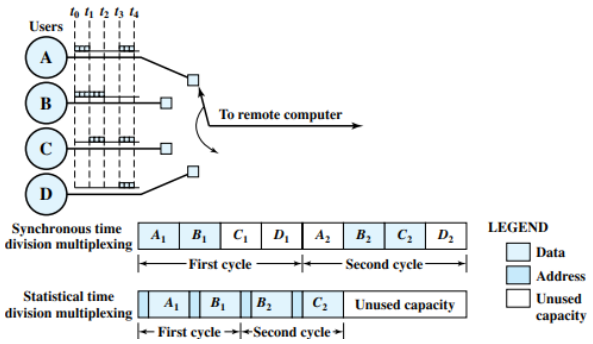
Time Division Multiplexing (TDM) terbagi menjadi beberapa jenis utama berdasarkan cara alokasi slot waktu dan karakteristik transmisinya. Berikut adalah macam-macam TDM:

a) *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM): Pada TDM sinkron, slot waktu dialokasikan untuk setiap kanal secara tetap dan berurutan, terlepas dari apakah kanal tersebut mengirimkan data atau tidak. STDM banyak digunakan dalam telekomunikasi, namun kurang efisien karena slot waktu yang tidak digunakan oleh kanal tetap disisakan, sehingga bandwidth bisa terbuang.



Gambar 4. Sistem *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM)

b) *Asynchronous Time Division Multiplexing* (ATDM) atau *Statistical Time Division Multiplexing* (Statistical TDM): Berbeda dengan TDM sinkron, ATDM hanya memberikan slot waktu kepada kanal yang aktif atau memerlukan transmisi data. Ini membuat ATDM lebih efisien dalam penggunaan bandwidth, karena setiap slot waktu hanya dialokasikan ketika ada data yang akan dikirim. Teknik ini biasanya digunakan dalam jaringan yang memiliki pola lalu lintas data yang tidak tetap.

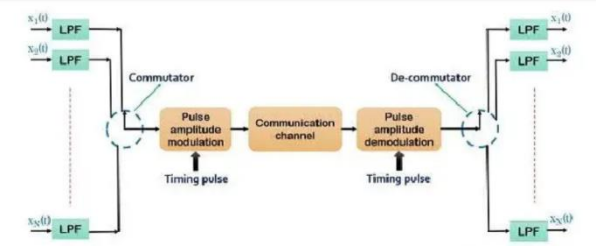


Gambar 5. Sistem *Synchronous Time Division Multiplexing* (STDM)

Setiap jenis TDM memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, serta aplikasi yang berbeda sesuai dengan kebutuhan jaringan atau sistem komunikasi yang digunakan. (Stalling, 2000)

3. CARA KERJA

Sebuah *frame* dianggap telah ditransmisikan ketika semua bagian dari sinyal yang berbeda telah melewati saluran kanal transmisi. *Multiplexing* memungkinkan beberapa sinyal dikirim melalui saluran yang sama, tetapi penting untuk memisahkan setiap sinyal agar data dapat ditransmisikan dengan akurat. Oleh karena itu, dalam *Time Division Multiplexing*, setiap sinyal sepenuhnya ditransmisikan dengan menggunakan slot waktu yang berbeda. Diagram di bawah ini menunjukkan blok sistem TDM yang meliputi bagian pemancar dan penerima. (Stern, 2004)



Gambar 6. Bagian pemancar dan penerima pada sistem TDM

Teknik TDM memaksimalkan pemanfaatan saluran penuh untuk transmisi data, sehingga kadang-kadang disebut sebagai PAM/TDM karena sistem TDM menggunakan modulasi pulsa amplitudo. Dalam modulasi ini, jeda pengiriman antar sinyal berlangsung singkat, memungkinkan penggunaan saluran secara optimal. Pada tahap awal, sistem menggunakan beberapa *Low-Pass Filters* (LPF), sesuai dengan jumlah input data. LPF ini berfungsi sebagai filter anti-aliasing yang menghilangkan aliasing pada sinyal input.

Keluaran dari LPF kemudian masuk ke komutator. Berdasarkan putaran komutator, sampel data input dikumpulkan. Frekuensi rotasi komutator, yang disebut f_s menentukan frekuensi pengambilan sampel sistem. Jika terdapat n input data, maka data ini sesuai dengan urutan rotasi dikirimkan melalui saluran bersama setelah proses *multiplexing*. Pada sisi penerima, terdapat de-komutator yang tersinkronisasi dengan komutator di sisi pengirim. De-komutator ini berfungsi memisahkan sinyal *multiplex* TDM pada sisi penerima. Agar sinyal dapat didemultipleks dengan akurat, kecepatan rotasi komutator dan de-komutator harus sama. Berdasarkan rotasi de-komutator, sampel-sampel ini dikumpulkan oleh LPF, sehingga data asli berhasil dipulihkan di sisi penerima.

Berikut adalah hubungan antara frekuensi sampel f_s dengan frekuensi maksimal f_m :

$$f_s \geq 2f_m$$

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m}$$

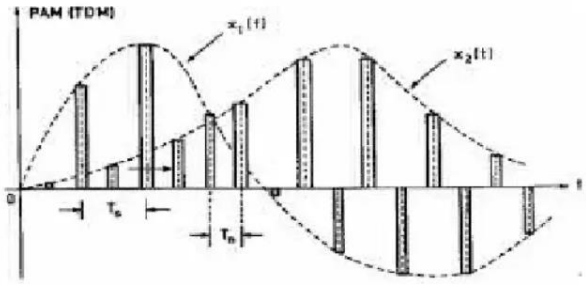
Dimana :

f_s adalah frekuensi sampel (Hz)

f_m adalah frekuensi maksimal (Hz)

T_s adalah periode sampel (s)

Dilihat dari persamaan tersebut selaras dengan bentuk gelomang TDM seperti gambar berikut:



Gambar 7. Gelombang TDM

Jadi, cara kerja TDM terdiri dari beberapa langkah berikut:

a) Pembagian Slot Waktu: TDM membagi waktu transmisi ke dalam sejumlah slot waktu yang tetap dan teratur. Setiap slot waktu ini akan dialokasikan untuk transmisi data dari satu sumber tertentu. Misalnya, jika ada tiga sumber data (A, B, dan C), maka setiap slot waktu akan secara berurutan dialokasikan untuk data dari A, B, dan C.

b) Pengambilan Sampel (Sampling): Setiap sinyal dari sumber data diambil sampelnya pada interval waktu yang tetap, sesuai dengan teorema pengambilan sampel (*sampling theorem*). Pengambilan sampel ini dilakukan oleh komutator di sisi pemancar, yang secara bergantian mengumpulkan data dari masing-masing sumber untuk ditempatkan pada slot waktu yang telah dialokasikan.

c) Penggabungan Data dalam Frame: Data yang diambil dari setiap sumber kemudian digabungkan dalam sebuah frame. Sebuah frame berisi data dari semua sumber, di mana

setiap sumber menempati slot waktu masing-masing di dalam frame tersebut. Frame ini akan dikirimkan melalui saluran komunikasi.

d) Transmisi Frame: Frame yang telah terbentuk kemudian ditransmisikan melalui saluran komunikasi bersama. Frame akan berisi data dari berbagai sumber dalam slot waktu yang berbeda sehingga memerlukan sinkronisasi yang tepat antara pemancar dan penerima untuk memastikan data diterima pada slot waktu yang benar.

e) Pemulihan Data di Penerima: Pada sisi penerima, sebuah komutator lain yang disinkronisasikan dengan komutator di sisi pemancar akan mengambil sampel data dari setiap slot waktu dalam frame yang diterima. Data kemudian dipisahkan kembali sesuai slot waktu yang dialokasikan, memungkinkan pemisahan data untuk setiap sumber.

f) Penggunaan Filter Low-Pass: Setelah data dipisahkan kembali, filter low-pass (LPF) digunakan untuk memulihkan sinyal asli dari masing-masing sumber berdasarkan sampel yang telah dikumpulkan. Dengan demikian, sinyal dari setiap sumber dapat dipulihkan dengan tepat di sisi penerima.

g) Sinkronisasi yang Presisi: Agar data dapat diterima dan dipisahkan secara akurat, TDM membutuhkan sinkronisasi antara pemancar dan penerima. Sinkronisasi ini memastikan bahwa komutator di sisi penerima dan pengirim bekerja pada frekuensi yang sama sehingga setiap sinyal dikembalikan ke sumber yang benar.

Prinsip utama TDM adalah efisiensi dalam pemanfaatan satu jalur komunikasi untuk mentransmisikan data dari beberapa sumber secara bergantian berdasarkan waktu. Sistem ini sangat cocok untuk komunikasi yang membutuhkan transmisi data secara simultan tanpa perlu menambah jalur fisik tambahan, seperti jaringan telepon dan sistem komunikasi digital lainnya.

4. IMPLEMENTASI TDM

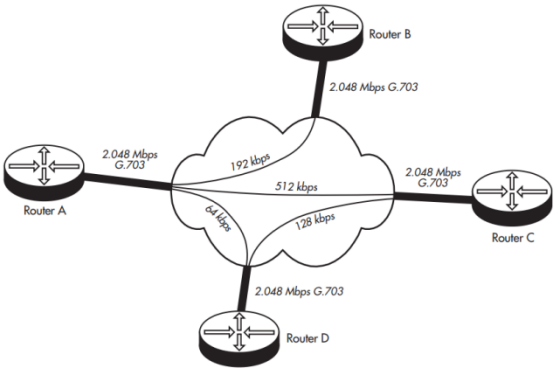
Time Division Multiplexing (TDM) banyak digunakan dalam setiap sistem komunikasi modern ini yang membutuhkan transmisi data dari banyak sumber melalui satu kanal. Dalam dunia telekomunikasi pada jaringan telepon, TDM digunakan untuk mengirimkan percakapan suara beberapa pengguna melalui satu saluran dimana setiap pengguna mendapat slot waktu masing-masing dalam sastu frame yang kemudian data suaranya akan dikirim secara bergilir sesuai slot waktu tersebut. Hal ini memungkinkan banyak data dapat dikirimkan dari banyak pengguna sekaligus.

Penerapan TDM tidak hanya di jaringan telepon yang media transmisinya menggunakan serat optik, namun juga diterapkan dalam teknologi jaringan seluler 2G GSM (*Global System for Mobile Communications*). Dalam teknologi GSM, TDM digunakan untuk mengalokasikan

saluran bagi banyak pengguna dengan membagi sinyal pada pita frekuensi tertentu yang memungkinkan komunikasi simultan dan tanpa interferensi.

Selain itu, TDM juga dimaanfaatkan pada jaringan komunikasi satelit untuk mentransmisikan data dari berbagai sumber melalui saluran uplink dan downlink sehingga berbagai stasiun bumi dapat dikirim ke satelit dengan slot waktu msing-masing dan dapat disaluran kembali ke penerima secara akurat. Teknologi *Time Division Multiplexing* (TDM) juga digunakan dalam sistem transmisi data seperti *Synchronous Optical Network* (SONET) atau *Synchronous Digital Hierarchy* (SDH) yang memungkinkan pengiriman data dengan kecepatan tinggi terutama pada jaringan telekomunikasi dan internet. Pada Bidang komunikasi Radio dan Televisi Digital, TDM juga dimanfaatkan untuk mentransmisikan beberapa saluran melalui satu frekuensi dengan memberi setiap saluran satu slot waktu tertentu sehingga beberapa saluran dapat dijalankan secara efektif dan efisien.

Berikut contoh implementasi *Time Division Multiplexing* (TDM) lebih detail yakni G.703 *network.* G.703 *network* adalah kumulan jalur yang masing-masing memiliki *bandwidth* berbeda dalam kelipatan 64 kbps untuk tujuan berbeda tapi menggunakan satu pengiriman.



Gambar 8. G.703 *network*

5. KEUNTUNGAN DAN KERUGIAN

Keuntungan *Time Division Multiplexing* (TDM) antara lain :

a) Hemat sumber daya : TDM memungkinkan mengirimkan beberapa sinyal dalam satu kanal akan sangat menghemat sumber daya dan memaksimalkan penggunaan *bandwidth* yang ada.
b) Minim interferensi antar sinyal karena setiap sinyal memiliki slot waktu masing-masing untuk dikirimkan
c) Kemudahan dalam pengelolaan data karena data yang dikirim sudah memiliki slot waktu tertentu, maka memudahkan penjadwaldan dan pengaturan aliran data.
d) Kecepatan transmisi yang konsisten.

e) Kompatibel dengan sistem digital

Kerugian *Time Division Multiplexing* (TDM) diantaranya :

a) Tidak efisien dalam penggunaan data yang tidak tetap karena terdapat slot yang kosong.
b) Keterlambatan pengiriman data sangat mungkin terjadi seiring dengan bertambahnya jumlah pengguna atau slot waktu
c) Keterbatasan *bandwidht* maksimal karena *bandwidht* dibagi secara tetap berdasarkan slot waktu, jika kebutuhan *bandwidht* meningkat maka TDM mungkin tidak bisa menyesuaikan.
d) Sensitif terhadap sinkronisasi dan kondisi media transmisi : interferensi antar sinyal, adanya *bending* atau bengkokan pada media transmisi, keterbatasan kapasitas transmisi akan berpengaruh pada proses TDM.

6. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi dan analisis yang dilakukan, dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. *Multiplexing* adalah proses penggabungan data yang memungkinkan pengiriman beberapa sinyal melalui satu jalur komunikasi.
2. *Time Division Multiplexing* (TDM) adalah salah satu jenis *Multiplexing* dengan cara membagi waktu transmisi untuk setiap aliran sinyal menjadi slot-slot waktu tertentu.
3. *Time Division Multiplexing* (TDM) membagi data sesuai slot waktu masing-masing, lalu menggabungkan data dalam frame yang akan ditransmisikan pada waktu tertentu dan kemudian data tersebut dipulihkan di penerima menggunakan *filter Low Pass* dengan sinkronisasi yang presisi.
4. TDM banyak digunakan pada berbagai teknologi yakni bermanfaat pada teknologi jaringan komunikasi, jaringan 2G GSM, jaringan satelit, SONET dan SDH, serta jaringan komunikasi Radio dan TV digital.
5. TDM sangat efektif dan efisien dalam hal kecepatan pengiriman data serta hemat sumber daya, namun perlu diperhatikan perihal kondisi dan kapasitas sistem transmisinya.

DAFTAR PUSTAKA

Buwana, Mahendra Wisnu. 2014. Analisis Pengaruh *Macrobending Losses* Terhadap Performansi Sistem *Time Division Multiplexing* Dengan Media Transmisi *Plastic Optical Fiber*. Malang: Universitas Brawijaya.

Elliott, Barry J. 2000. *Cable Engineering for Local Area Networks*. English: Woodhead Publishing.

Fauzi, Ahmad. 2018. Pemodelan Sistem *Multiplexing* pada Aplikasi *Through-Wall Imaging* sebagai Sensor Posisi Berbasis *Wireless Network*. Jember: Universitas Jember.

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

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

Ziemer, Rodger. 2002. *Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition)*. Michigan: the University of Michigan.