

ANALISIS KESIAPAN TEKNOLOGI DALAM PENERAPAN TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI GENERASI KELIMA (5G)

ANALYSIS OF TECHNOLOGY READINESS FOR THE IMPLEMENTATION OF FIFTH GENERATION (5G) TELECOMMUNICATIONS TECHNOLOGY

Eddy Wijanto

**Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Universitas Kristen Krida Wacana – Jakarta
eddy.wiyanto@ukrida.ac.id**

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan telekomunikasi yang diiringi dengan perkembangan jenis layanan telekomunikasi mendorong lahirnya evolusi teknologi telekomunikasi. Evolusi dimulai dari teknologi telekomunikasi generasi nol (0G) hingga generasi kelima (5G) yang akan segera diimplementasikan. Di samping sejumlah keunggulan yang menjanjikan, teknologi generasi kelima (5G) juga masih menghadapi sejumlah tantangan. Untuk mempersiapkan implementasi teknologi generasi kelima (5G), dilakukan analisis awal terhadap sejumlah teknologi yang memiliki potensi untuk diterapkan pada generasi kelima (5G) dalam menjawab karakteristik dari generasi tersebut. Beberapa teknologi memiliki spesifikasi yang mendukung teknologi generasi kelima (5G), namun masih diperlukan penelitian dan pengembangan untuk optimalisasi dan meminimalkan kekurangan yang ada pada masing-masing teknologi.

Kata kunci: *bandwidth, data rate, generasi kelima, multiple access, massive MIMO*

Abstract

The increasing need of telecommunications, along with the development of telecommunication services led to the evolution of telecommunication technology. The evolution started from the zero-generation telecommunications technology (0G) to the fifth generation (5G) which will be implemented soon. In contrast to a number of promising advantages, the fifth generation technology (5G) is facing a number of challenges. To prepare for the implementation of fifth generation technology (5G), an analysis of some technologies having potentials to be applied to the fifth generation (5G) to answer the characteristics of the generation was performed. Although some technologies have specifications that support the fifth-generation technology (5G), research and development are still needed to optimize and minimize the deficiencies in each technology.

Keywords: *bandwidth, data rate, fifth generation, multiple access, massive MIMO*

Tanggal Terima Naskah : 09 Maret 2017
Tanggal Persetujuan Naskah : 02 Juni 2017

1. PENDAHULUAN

Perkembangan kebutuhan telekomunikasi yang semakin meningkat, disertai dengan peningkatan kebutuhan akan berbagai jenis layanan yang ada, mendorong teknologi komunikasi bergerak untuk terus melakukan evolusi. Dimulai dari teknologi 0G, sistem telekomunikasi bergerak terus melakukan perbaikan dari berbagai sisi hingga saat ini teknologi telah memasuki generasi keempat (4G). Kebutuhan yang semakin meningkat dan mendesak, mendorong evolusi sistem telekomunikasi menuju ke generasi kelima (5G), dengan berbagai potensi keunggulan yang menjanjikan. Namun, di samping keunggulan, beberapa tantangan yang muncul juga perlu untuk diteliti dan dicarikan solusinya. Kesiapan teknologi telekomunikasi yang ada saat ini perlu dianalisis untuk mempersiapkan penerapan teknologi generasi kelima (5G), yang diprediksi akan diterapkan mulai tahun 2020 [1].

1G	2G	3G	4G	5G
1981	1992	2001	2010	2020(?)
2 Kbps	64 Kbps	2 Mbps	100 Mbps	10 Gbps
Basic voice service using analog protocols	Designed primarily for voice using the digital standards (GSM/CDMA)	First mobile broadband utilizing IP protocols (WCDMA / CDMA2000)	True mobile broadband on a unified standard (LTE)	'Tactile Internet' with service-aware devices and fiber-like speeds
				

Gambar 1. Evolusi 0G-5G

2. EVOLUSI TEKNOLOGI TELEKOMUNIKASI

Teknologi telekomunikasi telah mengalami perkembangan yang panjang, dimulai dari generasi nol hingga generasi keempat yang sudah diimplementasikan saat ini.

a. Generasi Nol (0G)

Teknologi telekomunikasi dimulai dengan teknologi *mobile radio telephone*, yang diidentifikasi sebagai generasi nol (*zero generation/0G*). Teknologi ini muncul sebelum adanya sistem komunikasi selular. Beberapa teknologi yang digolongkan ke dalam generasi nol, diantaranya:

- 1) *Push to Talk* (PTT)
- 2) *Mobile Telephone System* (MTS)
- 3) *Improved Mobile Telephone System* (IMTS)
- 4) *Advanced Mobile Telephone System* (AMTS)



Gambar 2. *Push to Talk*

b. Generasi Pertama (1G)

Generasi pertama dari sistem telekomunikasi bergerak berbasis kepada sinyal analog. Sistem pada generasi ini hanya mengakomodasi suara dan menggunakan teknologi *circuit switched*. Sistem generasi pertama menggunakan *multiplexing* berbasis frekuensi, yaitu *Frequency Division Multiple Access* (FDMA). Generasi pertama memiliki sejumlah kekurangan, diantaranya kapasitas rendah, permasalahan pada proses *handoff*, serta masalah keamanan. Beberapa teknologi yang digolongkan ke dalam generasi pertama, diantaranya:

- 1) *Analog Mobile Phone System* (AMPS)
- 2) *Total Access Communication System* (TACS)



Gambar 3. AMPS

c. Generasi Kedua (2G)

Generasi kedua dari sistem telekomunikasi bergerak berbasis kepada sinyal digital. Sistem pada generasi ini masih berfokus kepada transmisi suara, dengan kelebihan pada fasilitas *short message services* (sms). *Bandwidth* yang digunakan pada generasi ini antara 20-200 kHz. Pada generasi ini, beberapa penelitian terkait *value added services* telah dimulai. Generasi ini menggunakan teknologi *multiplexing* berbasis waktu, yaitu *Time Division Multiple Access* (TDMA) dan teknologi *multiplexing* berbasis kode, yaitu *Code Division Multiple Access* (CDMA). Pada generasi kedua ini lahirlah teknologi *Global System for Mobile Communication* (GSM).



Gambar 4. GSM

d. Generasi Ketiga (3G)

Generasi ketiga dari sistem telekomunikasi bergerak dimulai pada tahun 2000, dengan kecepatan transmisi dari 144 kbps-2 Mbps. Generasi ketiga diimplementasikan pada *multimedia cell phone* atau yang lebih dikenal dengan *smart phone*, dengan berbagai fasilitas seperti *video call*, *Voice over IP* (VoIP), *Mobile TV*, *Online Gaming*. Beberapa teknologi yang digolongkan ke dalam generasi ketiga, diantaranya:

- 1) CDMA 2000
- 2) *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA)
- 3) *Time Division Synchronous Code Division Multiple Access* (TD SCDMA)



Gambar 5. Handphone 3G

e. Generasi Keempat (4G)

Generasi keempat menghadirkan berbagai layanan baru, seperti *multimedia message service* (mms), televisi digital, *video conference*. Generasi keempat berbasis kepada teknologi OFDM dan CDMA. Beberapa fitur didukung dengan adanya teknologi *Long Term Evolution* (LTE). Teknologi pada generasi ini berfokus kepada layanan data melalui berbagai *value added services* yang diberikan sesuai dengan kebutuhan konsumen.



Gambar 6. Handphone 4G

Walaupun teknologi yang ada saat ini telah mengalami perkembangan pesat jika dibandingkan dengan teknologi sebelumnya, namun kebutuhan yang semakin meningkat terhadap telekomunikasi mendorong munculnya usulan-usulan teknologi baru. Adapun kondisi teknologi telekomunikasi yang saat ini masih dianggap sebagai kekurangan dan memerlukan perbaikan adalah sebagai berikut:

1. Persoalan *latency*

Munculnya aplikasi dan kebutuhan layanan yang bersifat *realtime* dan resolusi tinggi, seperti *online gaming*, *video conferencing*, *high definition TV*, mendorong munculnya permintaan terhadap tingkat *latency* yang semakin baik. Persoalan *latency* saat ini masih merupakan salah satu kendala yang dihadapi sehingga diperlukan teknologi baru yang dapat meningkatkan kinerja dalam hal *latency*.

2. Aspek keamanan

Seiring dengan meningkatnya penggunaan dan layanan telekomunikasi, kebutuhan terhadap tingkat keamanan data juga semakin meningkat. Ancaman *hacker* dan pembobol data lainnya perlu diantisipasi dengan teknik enkripsi yang semakin handal.

3. Konsumsi daya

Salah satu persoalan yang dihadapi pengguna layanan telekomunikasi saat ini adalah konsumsi daya. Kebutuhan dan mobilitas pengguna yang semakin tinggi menuntut adanya peningkatan dalam penghematan konsumsi daya, terutama terkait dengan

ketahanan baterai. Untuk itu, diperlukan teknologi yang semakin mendukung efisiensi penggunaan daya.

4. Biaya

Aspek biaya komponen pada cell tower juga menjadi salah satu konsen dalam riset di bidang telekomunikasi.

Adapun kebutuhan teknologi Telekomunikasi ke depan meliputi hal-hal berikut:

1. Tingkat *latency* yang cukup rendah
2. *Datarate* yang tinggi
3. Aspek keamanan yang semakin meningkat
4. Konsumsi daya yang semakin rendah
5. Biaya komponen yang semakin rendah

3. KONSEP 5G

Teknologi generasi kelima (5G) masih dalam tahap penelitian, diperkirakan akan diterapkan mulai tahun 2020. Berbagai pelaku industri Telekomunikasi di dunia telah memulai sejumlah persiapan untuk menyongsong era 5G. Agar tidak tertinggal dari negara lain, Indonesia, yang saat ini baru memasuki era teknologi generasi keempat (4G), perlu melakukan analisis terhadap kesiapan teknologi dan infrastruktur, serta regulasi untuk mempersiapkan masuknya era generasi kelima (5G). Teknologi generasi kelima menawarkan berbagai keunggulan dibandingkan dengan teknologi sebelumnya, walaupun sejumlah kendala juga masih muncul [2].



Gambar 7. Ilustrasi *Handphone* 5G

Adapun fitur-fitur dari teknologi generasi kelima (5G) adalah sebagai berikut:

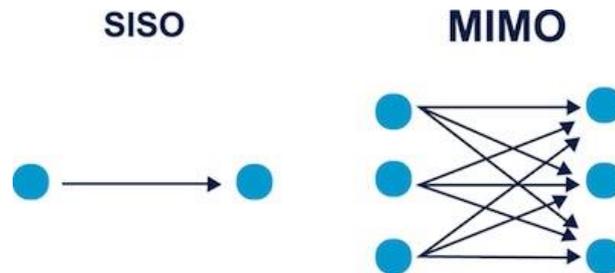
1. kecepatan yang lebih tinggi (hingga 1Gbps)
2. *bandwidth* yang lebih besar (hingga 10 Gbps)
3. tingkat *latency* yang cukup rendah (< 1ms)
4. keamanan tingkat tinggi
5. konsumsi daya rendah

4. TEKNOLOGI PENDUKUNG

Adapun beberapa teknologi yang masuk dalam kriteria untuk dapat diterapkan pada teknologi generasi kelima (5G), diantaranya:

a. *Massive MIMO*

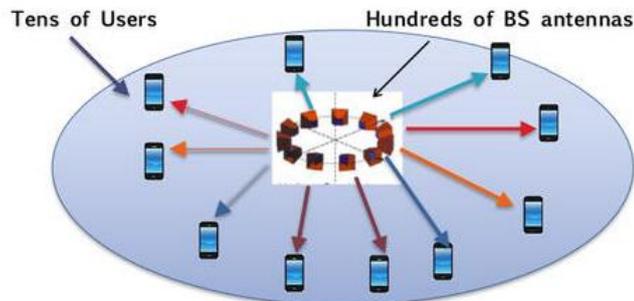
Sistem *Multiple Input Multiple Output* (MIMO) merupakan sistem yang terdiri atas sejumlah antena pengirim dan penerima [3]. Sistem MIMO bekerja dengan baik pada komponen *multipath*. *Massive MIMO* merupakan teknologi MIMO dimana jumlah terminal jauh lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah antena *mobile station*. *Massive MIMO* dapat meningkatkan kapasitas hingga 15 kali, serta meningkatkan efisiensi energi radiasi hingga 100 kali [4]. Peningkatan efisiensi energi didukung dengan penggunaan antena dalam jumlah besar [5].



Gambar 8. Konsep SISO Vs. MIMO

Massive MIMO memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut:

- 1) Peningkatan *datarate*
- 2) Peningkatan reliabilitas
- 3) Peningkatan efisiensi energi
- 4) Penurunan tingkat interferensi
- 5) Tingkat keamanan yang cukup tinggi
- 6) Koneksi yang stabil



Gambar 9. *Massive MIMO*

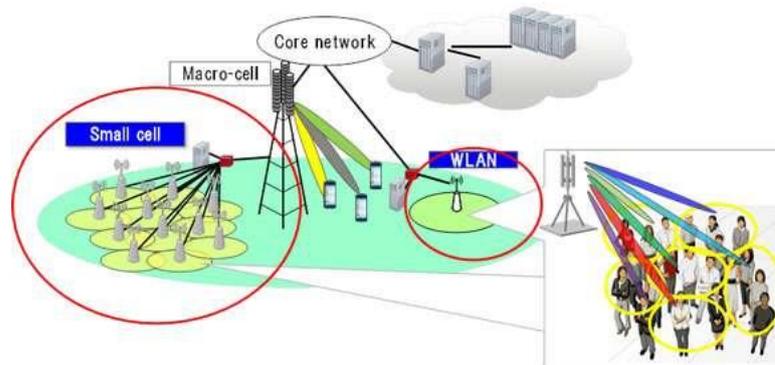
Di samping keunggulan, *Massive MIMO* juga memiliki beberapa kendala sebagai berikut:

- 1) Diperlukan *Signal Processing* yang cepat dan terdistribusi
- 2) Diperlukan Komponen *hardware* yang berbiaya rendah
- 3) Konsumsi daya internal masih cukup tinggi
- 4) Karakteristik kanal
- 5) Perlu adanya kalibrasi resiprositas
- 6) Masalah *Pilot Contamination*

b. *Millimeter Wave Small Cell Network*

Frekuensi yang digunakan saat ini memerlukan penataan untuk penggunaan di masa mendatang. Frekuensi yang memiliki potensi untuk pemanfaatan masa mendatang adalah frekuensi di panjang gelombang millimeter, yang dikenal sebagai *mm wave*. *Millimeter wave* berada pada spektrum frekuensi 30-300 GHz. Frekuensi tinggi

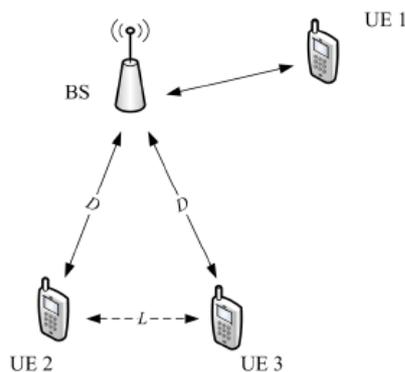
memiliki keunggulan dalam hal *bandwidth* yang lebih besar dan ukuran antenna yang lebih kecil [6]. Dengan *bandwidth* yang lebih besar akan mendukung *datarate* yang lebih tinggi. Untuk 5G, diperlukan *datarate* yang tinggi dan *bandwidth* yang besar, sehingga frekuensi yang cocok digunakan adalah *mm wave*. Millimeter wave yang digunakan pada *Small Cell Network (SCN)* mendukung efisiensi *spectral*. Dari hasil penelitian sebelumnya, diperoleh bahwa SCN memerlukan *transmit power* yang lebih sedikit. *Energy efficiency* pada SCN juga cukup besar karena ketika *traffic* rendah sistem akan masuk ke dalam *sleep mode*.



Gambar 10. SCN

c. *Device to Device (D2D)*

Device to Device (D2D) menggunakan koneksi lokal sehingga memiliki kapasitas yang besar dan *seamless* [7]. Yang perlu diperhatikan pada *Device to Device* adalah koneksi D2D tidak boleh mengganggu atau menimbulkan interferensi terhadap jaringan seluler. Untuk mencegah terjadinya interferensi dari komunikasi D2D, *base station* harus mengontrol daya transmisi maksimum. Pada gambar terlihat bahwa pengguna 2 (UE 2) dan pengguna 3 (UE3) berkomunikasi secara langsung (D2D) sedangkan *base station* (BS) mengendalikan daya transmisi maksimum, untuk mencegah terjadinya interferensi terhadap *user* lain (UE1) yang menggunakan koneksi jaringan seluler [8].

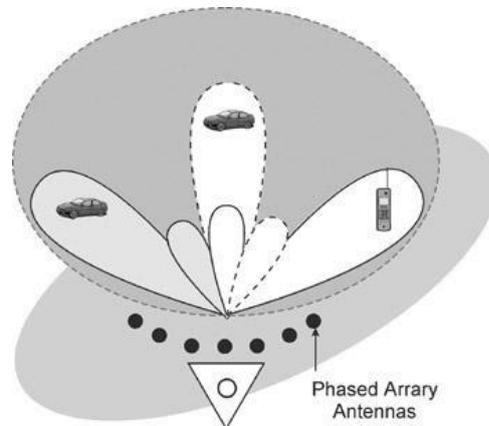


Gambar 11. *Device to Device Communication*

d. *Beam Division Multiple Access (BDMA)*

Adapun prinsip dari *Beam Division Multiple Access* adalah jika *mobile stations* berada pada lokasi yang sama, mereka menggunakan *beam* yang sama, dengan menggunakan frekuensi/waktu yang tersedia untuk *multiple access*. Ketika *base station* berkomunikasi dengan *mobile station*, *orthogonal beam* dialokasikan untuk setiap *mobile stations*. *Mobile stations* dan *base stations* berada pada kondisi *Line of Sight*

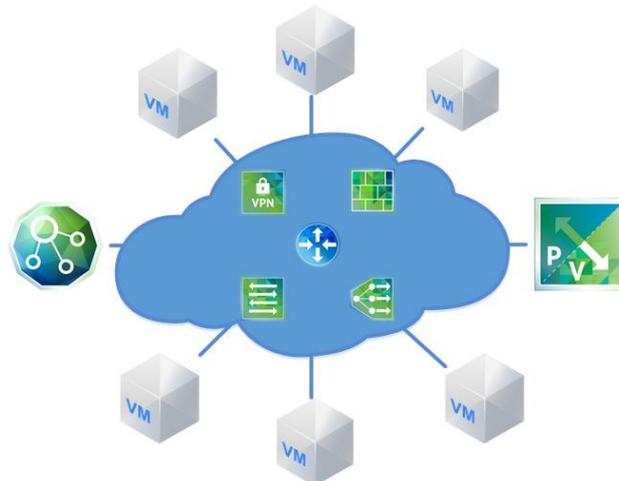
(LOS), cahaya dipancarkan satu sama lain untuk berkomunikasi, tanpa menimbulkan interferensi kepada *mobile stations* yang berada di sekeliling.



Gambar 12. BDMA

e. *Software Define Network (SDN)*

SDR merupakan kesatuan dari teknologi *hardware* dan *software* dimana sebagian atau semua fungsi operasional radio diimplementasikan dalam *software* yang dapat dimodifikasi. *Software-radio* adalah sebuah teknologi yang muncul untuk membangun sistem radio yang fleksibel, dapat menerapkan berbagai fungsi dan layanan, dapat dioperasikan pada berbagai standar dan frekuensi kerja yang berlainan. Di samping itu, dengan *Software Define Network*, konfigurasi sistem radio dapat diubah, menyesuaikan dengan standar yang akan digunakan.

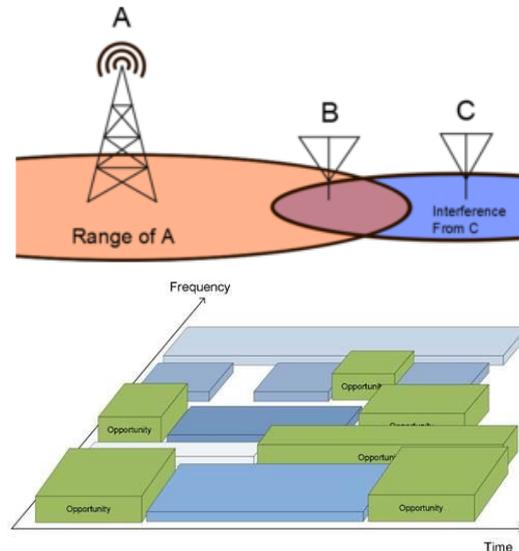


Gambar 13. Konsep SDN

f. *Cognitive Radio Network (CRN)*

Dalam komunikasi *wireless*, spektrum frekuensi merupakan sumber daya yang penting mengingat jumlahnya yang terbatas. Pada umumnya, regulator mengalokasikan spektrum frekuensi tertentu kepada penyedia jasa telekomunikasi. Pola ini tidaklah efisien, mengingat banyaknya frekuensi yang tidak terpakai pada waktu tertentu. Frekuensi yang tidak terpakai pada waktu-waktu tertentu tersebut pada dasarnya dapat digunakan oleh pengguna lainnya. Radio kognitif merupakan sebuah sistem yang bersifat adaptif. Radio kognitif dapat meningkatkan pemanfaatan spektrum dengan cara mencari secara terus menerus frekuensi yang kosong atau tidak terpakai [9].

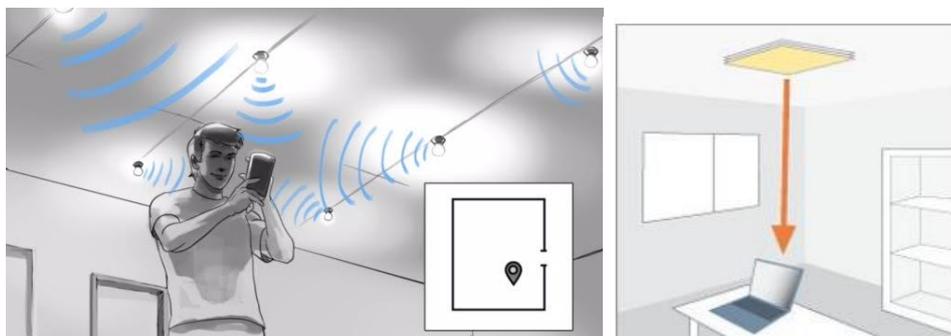
Ketika pengguna pertama tidak sedang menggunakan frekuensi yang dialokasikan kepadanya, maka pengguna kedua dapat menggunakannya. Ketika pengguna pertama kemudian akan menggunakan kembali frekuensi tersebut, maka pengguna kedua mencari dan berpindah ke frekuensi kosong lainnya. Di samping adaptif dalam aspek frekuensi, *Cognitive Radio* juga dapat bersifat adaptif dalam aspek daya pancar, skema modulasi, penggunaan prosesor, dan sebagainya. Sifat adaptif diperoleh dari pola kondisi real yang terjadi secara berulang-ulang. Yang perlu diperhatikan dalam penerapan *Cognitive Radio Network* terkait dengan *spectrum sensing*, manajemen spektrum dan *handoff*, alokasi spektrum dan *sharing* spektrum sehingga tidak menimbulkan interferensi.



Gambar 14. CRN

g. Visible Light Communication (VLC)

Cahaya tampak (*visible light*) adalah bentuk dimana radiasi elektromagnetik dengan panjang gelombang dalam kisaran tertentu diinterpretasikan oleh otak manusia [10]. Spektrum yang terlihat mencakup panjang gelombang dari 380 nm sampai 750 nm. *Visible Light Communication* (VLC) adalah sebuah sistem komunikasi yang memanfaatkan cahaya tampak sebagai media dalam komunikasi antar perangkat. Frekuensi tinggi akan memberikan *datarate* yang tinggi (maksimum 1 Gbps) [11]. VLC memiliki keunggulan dalam efisiensi energi dan *bandwidth* yang besar, namun memiliki keterbatasan dalam jangkauan transmisi dan transmisi pada daerah berpenghalang. Dengan teknologi VLC, selain untuk penerangan lampu ruangan, LED juga dapat digunakan sebagai media transmisi [12].



Gambar 15. Ilustrasi VLC

Berikut adalah perbandingan kelebihan dan kekurangan dari masing-masing teknologi sebagai kandidat teknologi yang akan diimplementasikan pada teknologi generasi kelima (5G):

Tabel 1. Perbandingan kelebihan dan kekurangan masing-masing teknologi

Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Massive MIMO</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Peningkatan <i>datarate</i> • Peningkatan reliabilitas • Peningkatan efisiensi energi • Penurunan tingkat interferensi • Tingkat keamanan yang cukup tinggi • Koneksi yang stabil 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperlukan <i>Signal Processing</i> yang cepat dan terdistribusi • Komponen hardware yang berbiaya rendah • Konsumsi daya internal • Karakteristik kanal • Kalibrasi resiprositas • <i>Pilot Contamination</i>
<i>Millimeter Wave Small Cell Network</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Bandwidth</i> yang lebih lebar sehingga tahan terhadap serangan <i>jamming</i> • <i>Datarate</i> tinggi • Panjang gelombang yang lebih kecil mengurangi ukuran perangkat • <i>Spectral efficiency</i> lebih baik • Efisiensi energi lebih tinggi • Atenuasi dan <i>loss</i> lebih rendah 	<ul style="list-style-type: none"> • Ukuran perangkat yang lebih kecil memerlukan perangkat yang lebih presisi, menyebabkan biaya lebih mahal • <i>Narrow beamwidth</i> lebih sulit dalam pencarian target dan akuisisi • Antena lebih kecil menyebabkan sensitifitas lebih rendah karena menyerap energi lebih kecil • Pentrasi lebih buruk, terutama di area padat
<i>Beam Division Multiple Access</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sumber daya frekuensi dan waktu dapat dimanfaatkan secara optimal sehingga kapasitas meningkat • Dapat mencegah <i>inter-cell interference</i> • Efisiensi radiasi antena dapat dioptimalkan 	<ul style="list-style-type: none"> • Memerlukan tingkat presisi tinggi • Kompleksitas

Tabel 1. Perbandingan kelebihan dan kekurangan masing-masing teknologi (lanjutan)

Teknologi	Kelebihan	Kekurangan
<i>Software Define Radio</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Sentralisasi jaringan mempermudah manajemen • Sistem keamanan terpusat • Biaya operasi lebih rendah (efisiensi administrasi, utilisasi <i>server</i>) • Penghematan perangkat keras (<i>hardware</i>) • Fleksibilitas • Ukuran perangkat lebih kecil 	<ul style="list-style-type: none"> • Skalabilitas • Interoperabilitas dan reliabilitas • Peletakan kontroler • Kompleksitas sistem pengolahan data dan transmisi
<i>Cognitive Radio Network</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisasi <i>spectral</i> sehingga meningkatkan kapasitas • Peningkatan <i>coverage</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>spectrum sensing</i> • Manajemen spektrum dan <i>handoff</i> • Alokasi spektrum dan <i>sharing</i> spektrum
<i>Visible Light Communication</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Aman untuk manusia • Konsumsi daya rendah • <i>Datarate</i> tinggi • <i>Bandwidth unlicensed</i> besar • Keamanan lebih baik 	<ul style="list-style-type: none"> • Jangkauan terbatas • Infrastruktur <i>existing</i> perlu diubah
<i>Device to Device Communication</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Performansi tinggi (<i>latency</i> rendah) karena jarak dekat • Penggunaan kembali frekuensi (<i>Frequency Reuse</i>), kapasitas besar • Mengurangi beban jaringan (pengiriman data besar langsung D2D) • Efisiensi Energi (komunikasi jarak dekat) • Tingkat keamanan lebih baik 	<ul style="list-style-type: none"> • Mekanisme kontrol daya (kompleksitas) • Jaringan seluler dan D2D tidak dapat melakukan transmisi secara bersamaan

5. POTENSI PENGEMBANGAN

Berbagai teknologi telah tersedia dengan keunggulan dan kelemahannya masing-masing. Untuk dapat mendukung teknologi generasi kelima, perlu dilakukan pengembangan lanjutan untuk menyempurnakan teknologi yang sudah ada tersebut. Adapun beberapa penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan persiapan implementasi 5G:

- a. Sk. Saddam Hussain, Shaik Mohammad Yaseen, dan Koushik Barman dalam penelitiannya mengenai “An Overview of Massive MIMO System in 5G” telah menghasilkan kesimpulan bahwa *Massive* MIMO berpotensi sebagai teknologi pendukung dalam menjawab berbagai kebutuhan telekomunikasi generasi kelima, diantaranya peningkatan kapasitas dan efisiensi energi yang tinggi [4].
- b. Eric G. Larsson, Ove Edfors, Fredrik Tufvesson, dan Thomas L. Marzetta dalam penelitiannya mengenai “Massive MIMO for Next Generation Wireless System” telah melakukan analisis terhadap potensi *Massive* MIMO, diantaranya efisiensi energi, reliabilitas, yang dapat mendukung teknologi generasi kelima [5].
- c. Wenjia Liu, Shengqian Han, Chenyang Yang, Chengjun Sun dalam penelitiannya mengenai “Massive MIMO or Small Cell Network: Who is More Energy Efficient?” telah melakukan perbandingan antara *Massive* MIMO dan *Small Cell Network* dalam aspek efisiensi energi untuk mendukung teknologi generasi kelima, dimana masing-masing dari kedua sistem tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan [3].
- d. Osman N. C. Yilmaz, Zexian Li, Kimmo Valkealahti, Mikko A. Uusitalo, Martti Moision, Petteri Lundén, Carl Wijting dalam penelitiannya mengenai “Smart Mobility Management for D2D Communications in 5G Networks” telah melakukan analisis terhadap komunikasi D2D sebagai salah satu alternatif teknologi pendukung generasi kelima [8].
- e. Xueming Hong, Jing Wang, Cheng-Xiang Wang dalam penelitiannya mengenai “Cognitive Radio in 5G: A Perspective on Energy-Spectral Efficiency Trade-Off” telah melakukan analisis terhadap potensi *Cognitive Radio* untuk teknologi generasi kelima, terutama dalam aspek *energy-spectral efficiency* [9].
- f. Shaoen Wu, Honggang Wang, dan Chan-Hyun Youn dalam penelitiannya “Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: From Fixed to Mobile Communications” telah melakukan analisis penerapan VLC untuk mendukung generasi kelima, baik *fixed* maupun *mobile*, dari hasil analisis diperoleh beberapa masalah dan pada penelitian ini juga sudah diberikan alternatif solusi [12].

Untuk dapat menyempurnakan teknologi pendukung generasi kelima (5G), hal-hal yang dapat dikembangkan melalui penelitian lanjutan, diantaranya:

- a. Perbandingan dan analisis kinerja dari masing-masing teknologi yang berpotensi untuk mendukung kebutuhan telekomunikasi masa depan
- b. Analisis terhadap keunggulan dan kelemahan dari masing-masing teknologi yang berpotensi untuk mendukung generasi kelima, disertai dengan alternatif solusi terhadap tantangan yang dihadapi
- c. Analisis terhadap kondisi infrastruktur dan kesiapan industri saat ini dalam penerapan teknologi pendukung generasi kelima
- d. Analisis terhadap berbagai regulasi terkait, dalam mendukung penerapan teknologi generasi kelima

6. KESIMPULAN

Dari hasil analisis terhadap beberapa teknologi yang menjadi kandidat untuk diimplementasikan di teknologi telekomunikasi generasi kelima (5G), dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. *Massive MIMO* memiliki peluang besar untuk dikembangkan dalam mendukung teknologi generasi kelima (5G) dimana *massive MIMO* dapat meningkatkan *datarate*, kapasitas, serta tingkat keamanan yang tinggi, yang merupakan karakteristik yang diperlukan untuk teknologi generasi kelima (5G)
- b. *Device to Device Communication (D2D)* dapat dikembangkan untuk mendukung teknologi generasi kelima (5G) dimana konsep D2D mendukung pengembangan *Internet of Things* yang merupakan kebutuhan di masa mendatang.

REFERENSI

- [1]. Mehta, Haard, Darpit Patel, Bhaumik Joshi, Hardik Modi. "0G to 5G Mobile Technology: A Survey". *Journal of Basic and Applied Engineering Research* Vol. 01 No. 06 (October 2014): 56-60.
- [2]. Kumar, Suneel, Tarun Agrawal, Prasant Singh. "A Future Communication Technology: 5G". *International Journal of Future Generation Telecommunication and Networking* Vol. 09 No. 01 (2016): 303-310.
- [3]. Liu, Wenjia, Shengqian Han, Chenyang Yang, Chengjun Sun. "Massive MIMO or Small Cell Network: Who is More Energy Efficient?". *IEEE WCNC on Future Green End to End Wireless Network* (2013): 24-29.
- [4]. Hussain, Saddam Sk., Shaik Mohammed Yaseen, Koushik Barman. "An Overview of Massive MIMO System in 5G". *IJCTA* (2016): 4.957-4.968.
- [5]. Larsson, Eric, ISY, Linkoping. "Massive MIMO for Next Generation Wireless System". *IEEE* (2014): 1-19.
- [6]. Choudhury, Ramya Ranjan. "A Network Overview of Massive MIMO for 5G Wireless Cellular: System Model and Potentials". *International Journal of Engineering Research and General Science* Vol. 02 No. 04 (June-July 2014): 338-247.
- [7]. Janis, Pekka, Chia Hao Yu, Klaus Doppler, Cassio Ribeiro, Carl Wijting, Klaus Hugel, Olav Tirkkonen, Visa Koivunen. "Device-to-Device Communication Underlying Cellular Communication System". *International Journal of Communications, Network, and System Sciences* (2009): 169-178.
- [8]. Osman N. C. Yilmaz, Zexian Li, Kimmo Valkealahti, Mikko A. Uusitalo, Martti Moision, Petteri Lundén, Carl Wijting. "Smart Mobility Management for D2D Communications in 5G Networks". *IEEE WCNC* (2014): 219-224.
- [9]. Hong, Xue Min, Jing Wang, Cheng-Xiang Wang, Jiang Hong Shi. "Cognitive Radio in 5G: A Perspective on Energy-Spectral Efficiency Trade-Off". *IEEE Communications Magazine* Vol. 52 No. 7 (July 2014): 46-53.
- [10]. Sagotra, Rajan, Reena Aggarwal. "Visible Light Communication". *International Journal of Computer Trends and Technology (IJCTT)* Vol. 04 No. 04 (April 2013): 906-910.
- [11]. Afgani, Mostafa Z., Harald Haas, Hany Elgala, Dietmar Knipp. "Visible Light Communication Using OFDM". *IEEE* (2016).
- [12]. Wu, Shaoen, Honggang Wang, and Chan-Hyun Youn. "Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: From Fixed to Mobile Communications". *IEEE Network* (November/December 2014): 41-45.