

ANALISIS POTENSI KUNCI TEKNOLOGI 5G UNTUK IMPLEMENTASI OPTIMAL DI JAWA BARAT

KEY POTENTIAL ANALYSIS OF 5G TECHNOLOGY FOR OPTIMAL IMPLEMENTATION IN WEST JAVA

Rahmad Hidayat
Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Jalan Soekarno Hatta 597, Bandung, 40286
rhidayat4000@gmail.com

ABSTRACT

In the radio transmission system, there are several key technologies as research potential. The existence of strong antenna and propagation research foundation will become the main capital of the increasingly massive research of radio transmission in the country. This paper aims to analyze the potential of the research and to find a strategy for stepping up the implementation of the key technology for the adoption of 5th generation (5G) technology in the country using tracking, analyzing, imaging, deciding, acting (TAIDA) and strength, weakness, opportunity, threats (SWOT) methods. The result is the unearthed of spatial processing techniques potential in the combination of massive-multiple input multiple output (M-MIMO) and adaptive beamforming of smart antennas; millimeter wave spectrum exploration up to 100 GHz; network management to be selected; three dimension (3D) modeling and simulation for radio frequency (RF) level to antenna as well as transmission channel modeling; Also material technology in supporting of mass transceiver production especially handset architecture with typical feature of Indonesia based on regulation of domestic component level; and a energy harvesting technology. Regulatory support for research and increasing of inter-institution research collaborative have contributed strongly in supporting research efforts, especially radio transmission research in the context of adopting an upcoming 5G technology.

Keywords: 5G, Smart Antenna, beamforming, M-MIMO, mmWave, energy harvesting

ABSTRAK

Pada sistem transmisi radio terdapat beberapa teknologi kunci sebagai potensi riset. Adanya pondasi riset antena dan propagasi yang kuat akan menjadi modal utama semakin masifnya riset transmisi radio di tanah air. Tulisan ini bertujuan untuk menganalisis potensi riset tersebut dan menemukan strategi langkah penerapan teknologi kunci yang ada bagi adopsi teknologi 5th generation (5G) di tanah air dengan metode *tracking, analyzing, imaging, deciding, acting* (TAIDA) dan *strength, weakness, opportunity, threats* (SWOT). Hasilnya adalah tergalinya potensi teknik pengolahan spasial berupa kombinasi *massive-multiple input multiple output* (M-MIMO) dan *beamforming* adaptif antena cerdas; eksplorasi spektrum mmWave sampai 100 GHz; manajemen jaringan yang akan dipilih; pemodelan *three dimension* (3D) dan simulasi tingkat *radio frequency* (RF) sampai antena serta pemodelan kanal transmisi; juga teknologi material dalam mendukung produksi massal *transceiver* khususnya arsitektur *handset* dengan fitur khas Indonesia berdasar regulasi tingkat komponen dalam negeri; serta teknologi *energy harvesting*. Dukungan regulasi yang berpihak pada riset dan semakin meningkatnya kolaborasi penelitian antar institusi berperan sangat penting dalam mendukung geliat riset khususnya riset transmisi radio dalam rangka adopsi teknologi 5G yang segera hadir.

Kata kunci : 5G, Antena Cerdas, *beamforming*, M-MIMO, mmWave, *energy harvesting*

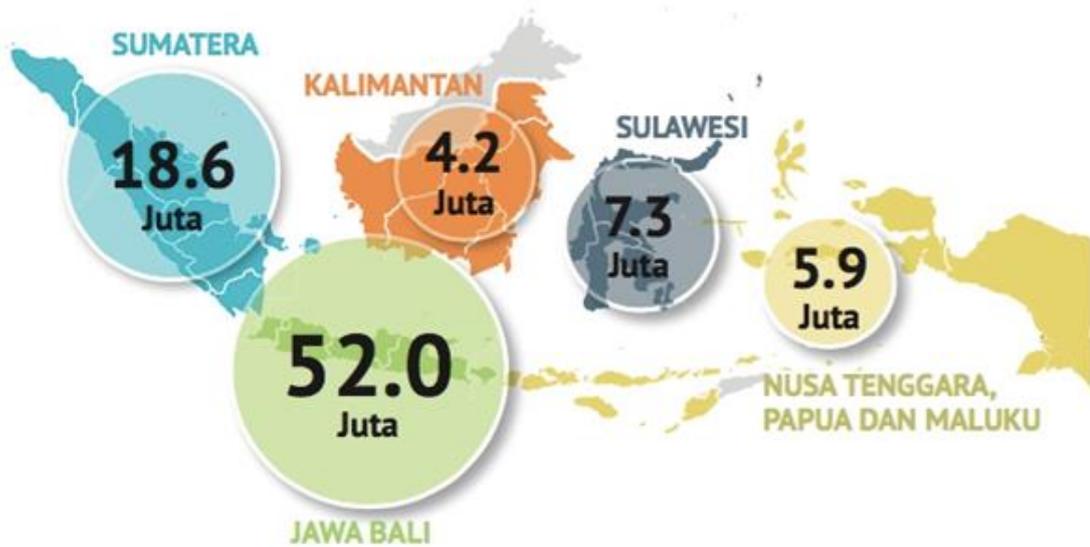
PENDAHULUAN

Seperti diketahui bahwa peran teknologi *wireless* modern demikian penting saat ini. Teknologi *wireless* seluler dari generasi ke generasi secara massal telah diterapkan di seluruh dunia. Kehadiran teknologi ini lebih mempermudah berbagai aktivitas sehari-hari dimana nampak dunia telah dikompresi akibat munculnya teknologi ini baik jenis *indoor* maupun *outdoor* yang telah berkembang sangat pesat (RF Wireless,

2017). Pergeseran teknologi 3G ke 4G di Indonesia berjalan mulus dan sejak diresmikan secara nasional pada Desember 2015, dalam waktu lima bulan saja jumlah pelanggan 4G di Indonesia sudah menyentuh angka 20 juta. Teknologi yang tak pernah berhenti, kini sudah mulai mempersiapkan dunia untuk masuk ke tahap selanjutnya, yaitu konektivitas teknologi 5G (Republika, 2017). Untuk tingkat global, Nokia telah melakukan prediksi sebagaimana pada Gambar 1. atas dasar latar belakang

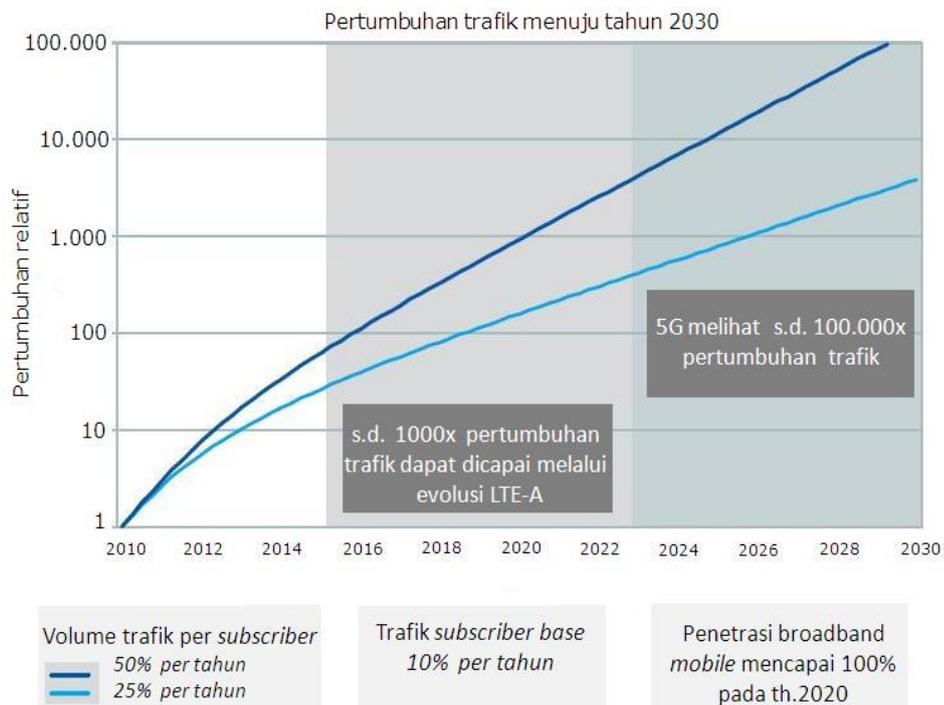
kebutuhan dukungan bagi pemetaan *key requirement* 5G yang sesuai dengan kondisi Indonesia sehingga ke depan dapat disusun *roadmap* 5G Indonesia maka penelitian ini dilakukan. Kontribusinya bagi Jawa Barat adalah dalam perluasan sinergitas riset kalangan akademisi, bisnis dan government di wilayah ini sekaligus pembukaan peluang lebih jauh fabrikasi perangkat *transceiver* khususnya *handset* 5G di Jawa Barat. Untuk

itu maka bagaimana menerapkan teknologi kunci pada sistem transmisi radio dengan tepat menjadi fokus perhatian penulis. Kemudian tulisan ini bertujuan untuk menganalisis potensi riset transmisi radio dengan melihat tantangan dan peluangnya serta dengan analisis SWOT menawarkan strategi langkah-langkah yang dapat diambil dalam mengantisipasi adopsi teknologi 5G dalam negeri yang segera hadir.



Gambar 1. Peta Penetrasi Internet di Indonesia Tahun 2014

Sumber: APJII-Puskakom UI, 2014



Gambar 2. Prediksi Pertumbuhan Trafik Global Sampai Tahun 2030

Sumber: Nokia, 2017

A. Visi Teknologi 5G

International Telecommunication Union (ITU) sebagai organisasi internasional yang didirikan untuk membakukan dan meregulasi radio dan telekomunikasi internasional telah mengeluarkan rekomendasi ITU-R M.2083-0 tentang visinya untuk tahun 2020 dan seterusnya yang tertuang dalam program *International Mobile Telecommunications* tahun 2020 dan seterusnya (IMT-2020). IMT-2020 akan memperluas dan mendukung beragam skenario penggunaan dan aplikasi yang akan berlanjut melampaui IMT saat ini. Selanjutnya, beragam kemampuan akan digabungkan secara mudah dengan skenario penggunaan dan aplikasi yang berbeda. Skenario penggunaan IMT untuk tahun 2020 dan seterusnya ini meliputi:

Enhanced Mobile Broadband

Di tengah permintaan akan *mobile broadband* yang akan terus meningkat, maka visi ini berupaya meningkatkan kemampuan *mobile broadband* dalam menangani kasus penggunaan *human-centric* untuk akses konten multimedia, layanan, dan data. Skenario penggunaan *broadband mobile* yang disempurnakan akan hadir dengan area aplikasi baru dan persyaratan tambahan aplikasi *broadband mobile* yang ada untuk meningkatkan kinerja dan pengalaman

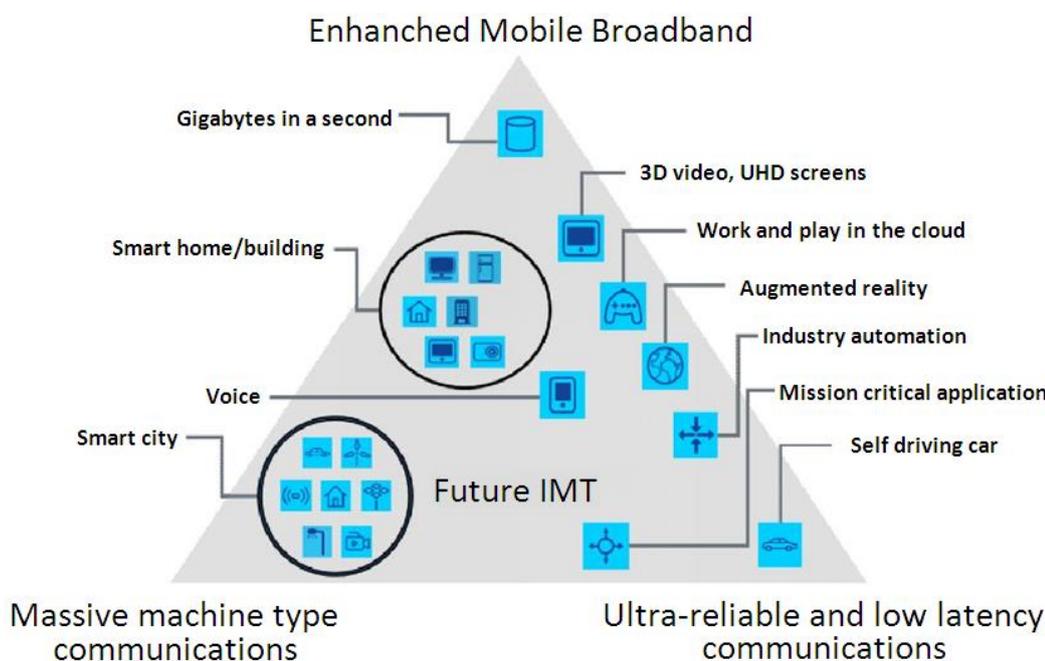
pengguna yang semakin baik. Skenario penggunaan ini mencakup berbagai kasus, termasuk cakupan area luas dan *hotspot* yang memiliki persyaratan berbeda. Untuk kasus *hotspot*, yaitu untuk area dengan kepadatan pengguna yang tinggi, dibutuhkan kapasitas lalu lintas yang sangat tinggi.

Ultra-reliable and low latency communications

Untuk mencapai kemampuan komunikasi yang sangat handal dan latensi (rugi-rugi *jitter*) yang rendah, pada visi ini diperlukan persyaratan ketat seperti adanya *throughput* yang baik, latensi rendah dan ketersediaan yang tinggi. Beberapa contoh di sini seperti kontrol nirkabel terhadap proses produksi atau industri, operasi medis jarak jauh, otomasi distribusi pada suatu smart grid, keamanan transportasi, dan lain-lain.

Massive machine type communications

Kemampuan komunikasi ini ditandai oleh terhubungnya sejumlah besar perangkat dengan pengiriman data sensitif tanpa delay pada volume relatif rendah. Untuk mencapai visi ini, perangkat terminal harus diproduksi dengan biaya rendah dan harus memiliki masa pakai baterai yang sangat lama.



Gambar 3. Visi 5G ITU-R

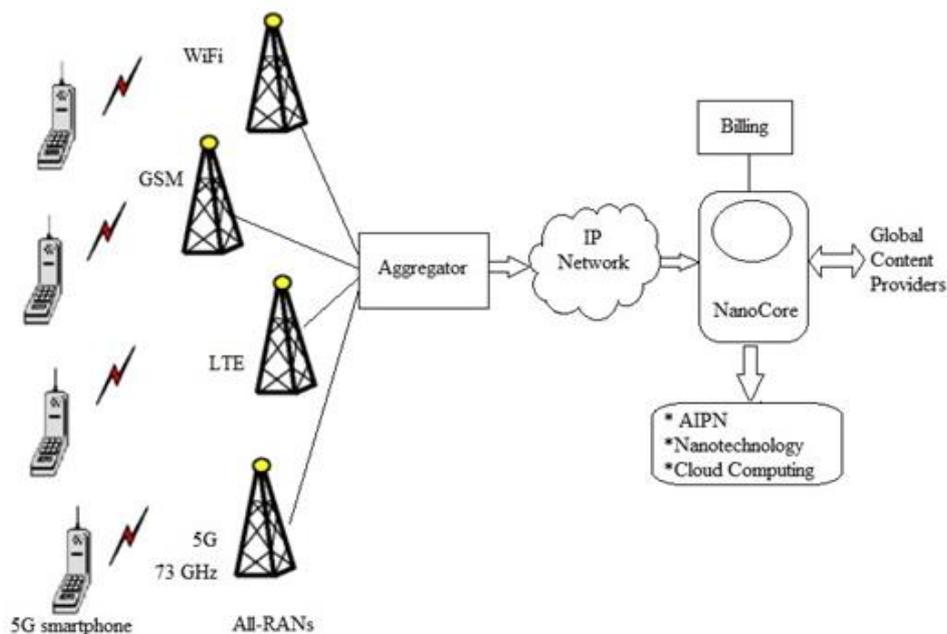
Sumber: ITU-R, 2015

Kemudian sebuah proyek andalan Uni Eropa untuk menentukan pondasi teknologi bagi sistem 5G telah dirintis dengan nama *Mobile and wireless communications Enablers for the Twenty-twenty Information Society* (METIS) berupa pendekatan terhadap teknologi 5G. Caranya dengan mengikuti perkembangan teknologi eksisting yang dirangkum dengan konsep radio telekomunikasi terbaru, sesuai tantangan atas segala kebutuhan atas akses telekomunikasi yang tidak/ belum dapat terpenuhi (Atmaja, 2015). Dengan demikian tujuan utama proyek METIS adalah untuk merespon tantangan sosial menuju tahun 2020 dengan menyediakan dasar seluruh dunia komunikasi dan melapis pondasi bagi akses radio bergerak (*mobile*) dan sistem komunikasi nirkabel. Visinya kedepan berupa terwujudnya akses informasi dan sharing

data dengan konsep “*anywhere and anytime to anyone and anything*” (METIS, 2013).

Perkembangan Teknologi 5G

Standar telekomunikasi bergerak 5G hadir untuk kemajuan generasi kelima yg dibuat dalam bidang komunikasi *mobile*. Ini terdiri *packet switched* sistem nirkabel menggunakan *orthogonal frequency division multiplexing* (OFDM) dengan cakupan wilayah yang luas, throughput yang tinggi pada gelombang milimeter (10 mm sampai 1 mm) yang mencakup rentang frekuensi 30 GHz sampai 300 GHz, dan memungkinkan tingkat kecepatan data 20 Mbps sampai jarak 2 km. Band gelombang milimeter adalah solusi yang paling efektif untuk lonjakan terbaru dalam penggunaan internet nirkabel. Spesifikasi ini mampu memberikan aplikasi ‘*world wide web wireless*’ (www) (Electronicsforu, 2017).

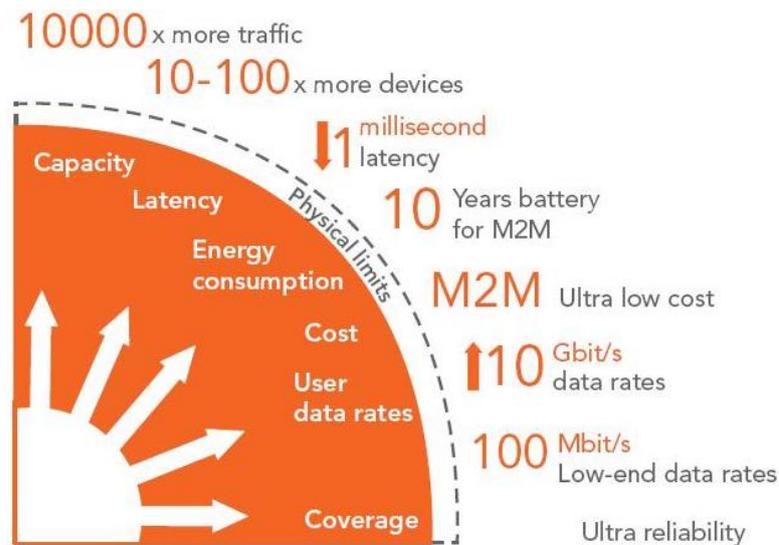


Gambar 4. Arsitektur Jaringan 5G

Sumber: RF Wireless,2017

5G adalah singkatan dari 5th Generation yang digunakan untuk menunjuk generasi kelima dari teknologi *mobile*. 5G telah memungkinkan untuk menggunakan ponsel dengan *bandwidth* yang lebih besar. 5G ini adalah sebuah sistem nirkabel *packet switched*. 5G digunakan untuk menutupi area yang luas dan digunakan untuk memberikan *throughput* yang lebih tinggi. 5G menggunakan CDMA, BDMA dan juga

gelombang milimeter (untuk konektivitas nirkabel *backhaul*). 5G menggunakan teknik *Data coding/* modulasi maju yang ditingkatkan. 5G ini memberikan sekitar 100 Mbps pada mobilitas penuh dan 1 Gbps untuk mobilitas rendah. 5G menggunakan teknik antena cerdas untuk mendukung data rate dan cakupan yang lebih tinggi (RF Wireless, 2017).



Gambar 5. Fitur Teknologi 5G

Sumber: Anritsu, 2017

B. Teknologi Sub Transmisi Radio 5G Frekuensi Gelombang Milimeter (mmWave)

Pita frekuensi yang terletak antara 30 GHz sampai 300 GHz dikenal sebagai gelombang milimeter. Gelombang milimeter memiliki kelebihan/ manfaat sehingga menjadi calon kuat bagi aplikasi komunikasi *mobile wireless* masa depan. Karena kelebihan/manfaat ini maka gelombang mm cocok untuk komunikasi mobile 5G melebihi teknologi nirkabel sub-6GHz. Kelebihan tersebut meliputi:

- Menyediakan *bandwidth* yang lebih besar dan karenanya jumlah pelanggan dapat ditampung lebih.
- Karena *bandwidth* yang kurang dalam kisaran milimeter, lebih menguntungkan untuk pengembangan sel yang lebih kecil.
- Cakupan tidak terbatas pada kondisi *line of sight* (LOS) sebagai urutan pertama jalur pencah yang layak.
- Adanya fitur *channel sounding* yang dikembangkan untuk mengurus berbagai jenis rugi-rugi gelombang frekuensi mm sehingga jaringan 5G bekerja memuaskan. *Channel sounding* mengacu pada pengukuran atau estimasi karakteristik kanal yang membantu keberhasilan desain, dan pengembangan jaringan 5G sesuai syarat kualitas yang diperlukan.
- Ukuran antena secara fisik kecil dan karenanya sejumlah besar antena dikemas dalam ukuran kecil. Hal ini memungkinkan penggunaan M-MIMO di

eNode B/ Access Point untuk meningkatkan kapasitas.

- *Beamforming* dinamis digunakan sehingga menghindarkan *path loss* lebih tinggi pada frekuensi gelombang mm.
- Jaringan gelombang milimeter 5G mendukung *backhaul* multi-gigabit sampai 400-meter dan akses seluler sampai 200-300 meter.

Di samping itu, gelombang mm 5G juga memiliki kekurangan/ kelemahan. Kekurangan ini perlu dipertimbangkan untuk perhitungan *link budget* gelombang milimeter 5G. Ini sangat penting untuk suksesnya penerapan gelombang milimeter 5G.

Berikut ini adalah kekurangan dari gelombang milimeter 5G:

- Gelombang milimeter melewati redaman berbeda seperti penetrasi, redaman hujan dll. Hal ini membatasi syarat cakupan jarak gelombang mm dalam penyebaran *mobile* seluler 5G. *Path loss* apalagi di mm sebanding dengan kuadrat frekuensi. Gelombang ini menjangkau jarak 2 meter di dalam ruangan dan sekitar 200-300 meter di luar berdasarkan kondisi kanal dan tinggi AP/ eNB di atas tanah.
- Hanya mendukung kondisi propagasi LOS. Oleh karena cakupan terbatas akibat LOS.
- Redaman dedaunan sangat signifikan pada frekuensi gelombang mm tersebut.
- Konsumsi daya lebih tinggi pada gelombang milimeter karena lebih banyak

jumlah modul RF sebagaimana banyaknya jumlah antena. Untuk menghindari kelemahan ini, arsitektur hibrid yang memiliki rantai RF lebih sedikit dari jumlah antena harus digunakan pada penerima. Apalagi sirkuit pengolahan analog berdaya rendah dirancang dalam perangkat keras gelombang mm (RF Wireless, 2017).

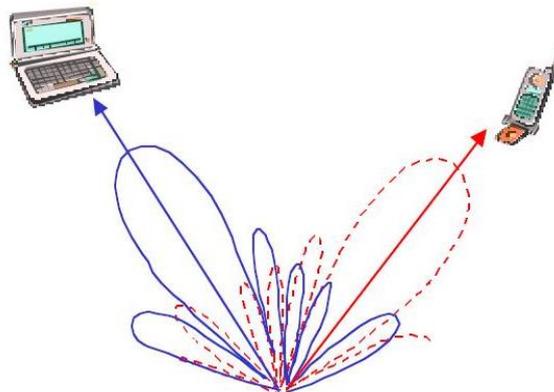
Antena Cerdas

Sistem antena cerdas dapat membedakan sinyal yang diinginkan dan kanal interferensi yang berdekatan secara normal. Antena cerdas terdiri dari susunan dua atau N buah antena dengan jarak spasi sama, bersama-sama bekerja untuk mencapai pola radiasi yang spesifik. Pola radiasi ini akan menentukan pengarah dan penguatan antena yang dihasilkan. Sistem antena cerdas memiliki kemampuan untuk mengubah pola radiasi guna memberikan reaksi terhadap perubahan lingkungan sehingga dapat meningkatkan kapasitas dan

S/N sistem *wireless*. Manfaat lain dari antena cerdas adalah bahwa efek dari *multipath* diatasi dengan menekan pengguna yang tidak diinginkan dan memaksimalkan *beam* pancaran ke arah sudut yang diinginkan (Hidayat, 2017).

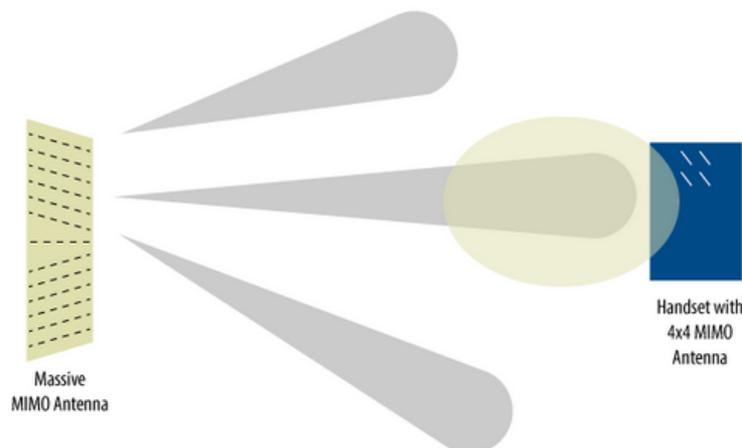
Sistem ini meliputi:

- *Antena Switch Beam*, antena jenis ini mendukung *positioning* radio melalui sudut datang (AOA). Informasi dikumpulkan dari perangkat dekatnya.
- *Antena Adaptive Array* (Samsung telah menggunakan 64 elemen antena). Pada jenis antena tertentu peningkatan kapasitas sistem nirkabel dilakukan dengan menyediakan peningkatan keamanan melalui kemampuan posisi-lokasi. Teknik ini mencegah interferensi melalui *spatial-altering* posisi lokasi melalui pengukuran arah akhir dan mengembangkan peningkatan model kanal melalui pengukuran sudut datang (AOA) (Electronicsforu, 2017).



Gambar 6. Beamforming pada Antena Cerdas.

Sumber : Arefi,R., 2002

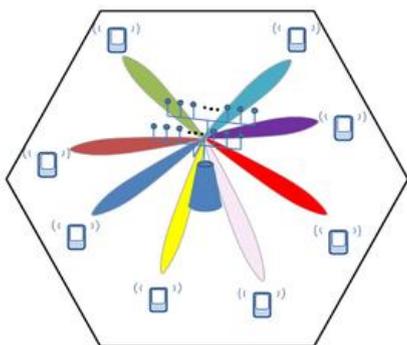


Gambar 7. Massive-MIMO.

Sumber: Altera, 2017

Massive MIMO

M-MIMO adalah sebuah pengembangan dari teknologi MIMO saat ini dimana pada suatu akses poin, stasiun pusat atau stasiun basis. Terdapat sejumlah susunan antena yang banyak untuk dapat memenuhi kecepatan data tinggi dan kualitas layanan yang baik (Cwc-Ucsd, 2017). Elemen antena yang jumlahnya banyak berada pada susunan (*array*) aktif dengan target benefit berupa kapasitas lebih untuk pengguna densitas tinggi dan mobilitas rendah (Mayer, 2014).



Gambar 8. Peningkatan Kapasitas M-MIMO.

Sumber: Cwc-ucsd, 2017

Susunan antena M-MIMO dapat mengarahkan beam sempit di setiap *endpoint* (titik ujung) dan perangkat *endpoint* dapat menggunakan lebih banyak mode pilihan bentuk *beam* sesuai sensitivitas tiap penerima dan pengiriman energi yang ada (Altera, 2017). Dengan M-MIMO maka efisiensi spektrum dapat ditingkatkan 20 kali dengan menggunakan 256 antena di sisi pengirim dan penerima dibanding sistem dengan 4 antena. Menurut Monserrat, et.al (2016) bahwa penguatan (*gain*) *beamforming* mencapai 15 dB untuk kemampuan multiplexing spasial yang sama sebagaimana sistem sebelumnya.

C. Riset Terdahulu di Dalam Negeri

Menurut Atmaja (2015), bahwa Indonesia perlu memetakan *key requirement* 5G yang sesuai dengan kondisi di Indonesia sehingga dapat disusun *roadmap* 5G Indonesia. Masih dalam (Atmaja, 2015) dinyatakan bahwa "Terkait dengan masalah teknologi, dapat dipastikan bahwa Indonesia akan kalah bersaing dengan negara yang telah maju apabila riset baru dimulai dari sekarang tetapi apabila hal tersebut dikaitkan dengan kondisi spesifik (unik) di Indonesia maka dapat menjadi masukan dalam forum

internasional, dimana negara yang memiliki kondisi yang menyerupai dapat mengadopsi kebijakan yang disusun oleh Indonesia".

Kemudian dalam (Alaydrus, 2015), disebutkan bahwa pembukaan frekuensi-frekuensi baru dan aplikasi yang lebih menjanjikan akan menjadi penggerak semakin berkembangnya teknologi komunikasi guna memenuhi kebutuhan layanan komunikasi *wireless* yang handal dimana sistem radio seluler merupakan aplikasi komunikasi *wireless* yang paling populer saat ini. Pada penelitian Nugraha (2017), dibahas alokasi pemilihan frekuensi mmWave dengan metode *empirical models* untuk model propagasi *indoor* dimana penggunaan frekuensi mmWave disimulasikan pada model *indoor office environment*. Hasilnya disimpulkan bahwa perangkat *Indoor Hotspot* menggunakan frekuensi rendah, kurang cocok diterapkan di dalam ruangan. Kemudian dalam (Hidayat, 2017) diberikan kajian dan analisis pengaruh algoritma *Least Mean Square* (LMS) pada pengaturan *nulling beam* pola radiasi susunan antena cerdas dalam perannya terhadap mitigasi interferensi. Di sini dilakukan simulasi kinerja *beamformer* dimana dari pola respon amplitudo setelah proses *beamforming*, diperoleh posisi sinyal utama (0 dB) tepat di sudut 30° dan terdapat 15 posisi *nulling* untuk 16 elemen antena yang diambil. Sumber interferensi dihilangkan/ ditutup dengan menempatkan '*nulls*' dalam arah sumber interferensi tersebut di posisi 60° dan -40° dengan masing-masing level diperoleh berkisar sebesar -115 dB. Sedangkan dalam hasil penelitian Saragih, dkk. (2017) memuat hasil proyeksi jumlah pengguna telepon seluler di tanah air tahun 2016, 2017, dan 2018 yang masing-masing mencapai 389,26 juta; 409,25 juta; dan 426,52 juta pengguna.

D. Tantangan dan Peluang Riset Transmisi Radio 5G di Dalam Negeri

Teknologi mmWave

Gelombang milimeter telah diketahui memiliki kelebihan atau manfaat berupa adanya spektrum luas untuk pengguna dengan mobilitas rendah sehingga menjadi calon kuat bagi aplikasi komunikasi *mobile wireless* masa depan dengan fokus 20-60 GHz untuk akses jangkauan pendek (Mayer, 2014). Dengan demikian maka tantangan sekaligus

peluang ke depan menanti bagi penerapan teknologi ini.

Tantangan mmWave meliputi (Mayer, 2014):

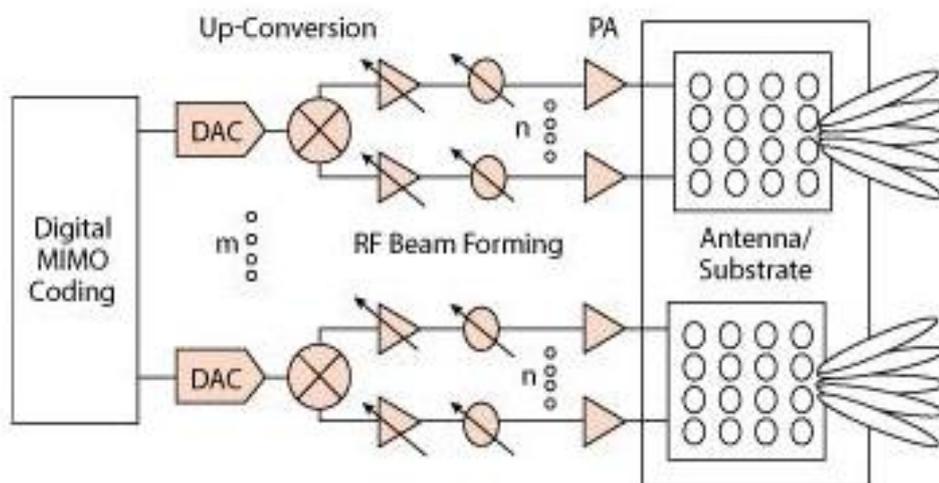
- Rugi-rugi propagasi dan penetrasi yang lebih tinggi (mencakup rugi-rugi akibat tangan pengguna)
- Pada frekuensi lebih tinggi konsumsi daya perangkat meningkat akibat efisiensi daya *power amplifier* (PA) yang menurun dan banyaknya elemen antenna (Pais, 2016)
- Juga bagaimana desain yang cocok pada frekuensi gelombang ini untuk sub sistem RF / antenna M-MIMO

Sedangkan peluang mmWave meliputi eksplorasi spektrum sampai 100 GHz (Mayer, 2014). Kemudian Gupta (2015) menyebutkan bahwa karena panjang gelombang (λ) mmWave yang sangat kecil, maka akan dimanfaatkan polarisasi dan teknik pengolahan spasial berbeda yaitu berupa *beamforming* adaptif dan masif MIMO (M-MIMO).

Beamforming 3D Antena Cerdas

Beam pada pola pancar susunan antenna dapat diatur (*beamforming*) sesuai desain. Sementara itu, algoritma adaptif adalah salah satu algoritma yang memberikan kecerdasan bagi sistem *smart antenna*. Tanpa algoritma adaptif, sinyal asli tidak lagi dapat diekstraksi (Hidayat, 2017).

Beamforming adaptif diperlukan untuk mengatasi tantangan propagasi pada sistem akses dimana *beamforming* akan beradaptasi dengan pengguna dan lingkungan untuk memberikan *payload* kepada pengguna. Terlihat pada Gambar 9 di atas, sinyal dikonversi naik dan dibagi menjadi jalur RF masing-masing untuk mencatu setiap antenna. Dalam setiap jalur RF, sinyal diproses untuk mengatur *gain* dan fase untuk membentuk *beam* di luar antenna. Menjadi tantangan sekaligus peluang penelitian di sini diantaranya adalah bagaimana desain diagram blok yang lebih sederhana dengan kompleksitas *trade-off* sistem dan algoritma adaptif berkehandalan tinggi yang akan dipilih.



Gambar 9. Beamforming 3D
Sumber : Microwave Journal, 2017

Teknologi M-MIMO

M-MIMO merupakan solusi yang mudah untuk meningkatkan efisiensi sel khususnya bagi penerapan sel kecil. Sesuai dengan pemakaian frekuensi lebih tinggi di atas 6 GHz akibat pengurangan ukuran antenna. Meski demikian yang juga menjadi perhatian adalah adanya kontaminasi pilot sebagai satu isu pada M-MIMO. Mode transmisi *time*

division duplex (TDD) harus mengurangi *signaling overhead*. Faktor tersebut mengharuskan pemakaian cmWave atau mmWave bagi antenna masif yang kompak. Monserrat, et.al. (2016) menyebutkan bahwa kinerja yang sangat sensitif bagi beban mobilitas dan komputasi, dapat membuat solusi bagi banyak pengguna yang tidak terjangkau.

Dengan demikian tantangan sekaligus peluang penelitian dalam M-MIMO meliputi model dan estimasi kanal, teknik penghematan energi dan arsitektur perangkat keras. Desain *receiver* dengan kompleksitas rendah yang memanfaatkan derajat kebebasan spasial M-MIMO dan teknik lapisan fisik dengan hardware berkompleksitas rendah, dengan mengurangi rantai RF. Juga bagaimana memperoleh efisiensi energi di semua tingkatan sistem, hardware dan sistem pengolahan (Cwc-ucsd, 2017). *Beamforming* dengan pengarahan antena yang tinggi dan *coverage* sampai dengan 200 meter merupakan solusi terhadap redaman propagasi dan penetrasi yang tinggi mencakup rugi-rugi akibat tangan pengguna. (Pais, 2016). *Beamforming* MIMO memungkinkan untuk mengurangi daya pancar dengan masih diperoleh karakteristik kanal yang lebih baik. Tapi *beamforming* membutuhkan peningkatan kapasitas pengolahan *baseband* untuk melakukan aritmatika matriks yang digunakan untuk menghitung beda fase antar elemen antena (Altera, 2017)

Manajemen Jaringan

Manajemen jaringan menjadi masalah yang menarik dan semakin penting dengan kondisi jaringan yang menjadi semakin kompleks, berupa kombinasi menara makrosel, mikrosel, sel kecil yang mungkin dipasang pelanggan sendiri, hub WiFi atau mungkin koneksi *peer-to-peer*. Tujuan manajemen jaringan di sini agar semua pengguna bisa selalu memiliki ketersediaan kebutuhan penuh 10 Gbps dengan nyaris tanpa latensi. Dalam 5G, node dapat diatur hampir secara acak dalam pola geografis. Node yang berbeda akan mendukung kombinasi *band* berbeda dan memungkinkan memiliki berbagai tingkat kemampuan *beamforming*. Propagasi dalam kanal akan berubah dengan musim, cuaca, waktu, dan peristiwa tak terduga seperti saat seseorang melangkah di depan antena. Dan tentu saja banyak pengguna akan bergerak; beberapa yang paling penting, seperti kendaraan otomatis, akan bergerak cukup cepat. Keberhasilan manajemen koneksi dan algoritma optimasi tetap harus dibuktikan, apakah untuk kontrol atau distribusi terpusat (Altera, 2017).

Alokasi Spektrum di atas 6 GHz

Pilihan frekuensi dan *bandwidth* serta pemakaian *beamforming* orde tinggi dalam

mengatasi redaman *pathloss* tinggi menjadi tantangan pada pemakaian spektrum di atas 6 GHz, sedangkan peluangnya ada pada pengelolaan dan pilihan kebijakan spektrum *licensed*, *unlicensed* ataukah *managed* (Mayer, 2014). Sesuai kebutuhan pengguna 5G dengan kebutuhan *bandwidth* lebih lebar seperti band 27.5-29.5 GHz; 40.5-42.5GHz; 47.2-50.2 GHz; 57-76 GHz atau 81-86 GHz.

Tidak ada batasan pada alokasi pasangan spektrum *frequency division duplex* (FDD) sebelumnya memenuhi bagi pemakaian mode TDD yang lebih efisien bagi estimasi kanal. Frekuensi tinggi mengurangi ukuran antena sehingga memungkinkan implementasi M-MIMO. Namun demikian pada alokasi spektrum tinggi di atas, *pathloss* (rugi-rugi redaman media) bertambah dengan naiknya frekuensi sehingga memperkecil jarak *coverage* (Monserrat, et al., 2016).

Kanal yang sangat luas bisa dikerahkan pada titik ini *band-band* baru antara 28 GHz dan 60 GHz dimana *band-band* baru ini, menawarkan lebih tinggi frekuensi, dan *bandwidth* lebih per *channel*. Tapi tawaran ini juga mendatangkan biaya baru. RF sirkuit tambahan dan antena akan diperlukan untuk *band-band* baru. Konverter data *baseband* akan memerlukan kecepatan sampling yang lebih tinggi atau bahkan resolusi yang lebih, terutama jika pemancar menggunakan pra-distorsi digital. Dibutuhkan lebih luas Transformasi *Fast Fourier* atau lebih rendah latensi di unit *baseband* (Altera, 2017).

Dampak pada End-User

Adopsi teknologi 5G menghadirkan tantangan sekaligus peluang riset dimana jaringan dan titik akhir harus dapat menangani kecepatan data yang ada. Arsitektur *handset* saat ini tidak dimaksudkan untuk menangani 10 Gbps baik dalam *baseband* atau prosesor aplikasi. Akibatnya penyedia *handset* akan perlu mengembangkan perangkat generasi berikutnya yang dapat memenuhi kebutuhan jaringan dan permintaan pasar (Altera, 2017).

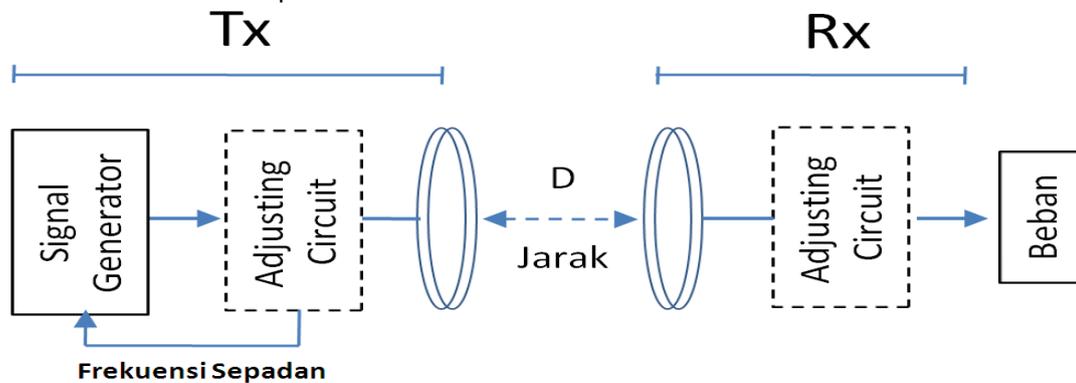
Kebutuhan Energy Harvesting

Salah satu isu yang akan dihadapi dalam penerapan teknologi 5G adalah masalah efisiensi sumber energi, dalam hal ini bagaimana sumber daya energi baterai dapat memenuhi suplai listrik yang cukup pada pesawat/ *handset* dengan konsumsi daya yang sangat besar akibat layanan yang

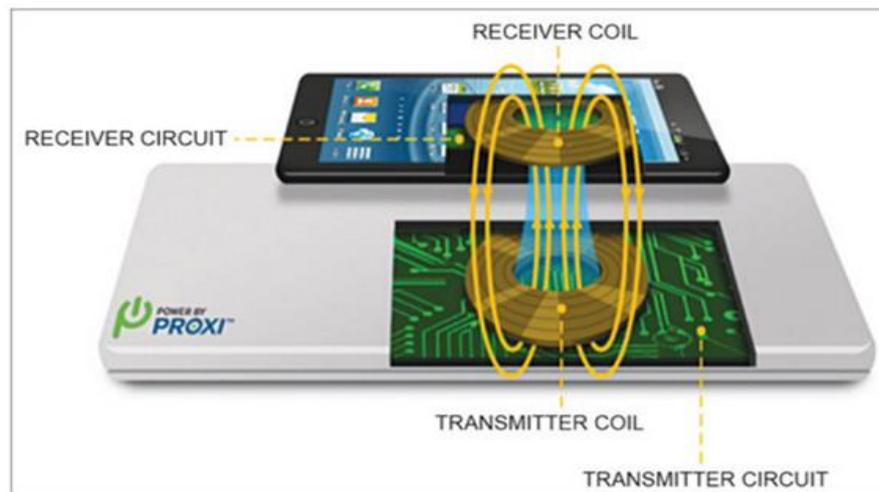
semakin masif. Untuk itu maka teknik pembangkitan *energy harvesting* merupakan solusi di tengah krisis sumber daya energi yang ada karena jenis energi ini termasuk sumber energi listrik terbarukan (*renewable energy*). Salah satu sumber energi listrik terbarukan dapat dibangkitkan melalui sistem *Wireless Power Transfer* (WPT) yang padanya terdapat beberapa metode yaitu berupa kopling induksi elektromagnetik, kopling resonansi, sistem laser dan penerimaan sinyal frekuensi radio (RF).

Peluang teknologi yang paling memungkinkan untuk *handset* 5G adalah kopling resonansi karena lebih efisien pada jarak jauh. Dari (Hidayat, 2016) disebutkan bahwa resonansi tercapai antara dua

kumparan ketika medan elektromagnetik di sekitar keduanya beresilasi pada frekuensi yang sama dengan menggunakan koil melengkung sebagai induktor, yang digabungkan dengan pelat kapasitansi. Selama dua kumparan beresonansi, transfer daya antara keduanya akan terus berlanjut. Ketika dua kumparan beresonansi pada frekuensi yang berbeda, tidak ada daya yang ditransfer antara keduanya. Masih dari Hidayat (2016) dalam Mohan (2013) dijelaskan bahwa "Dua objek resonan dengan frekuensi resonansi yang sama cenderung untuk bertukar energi secara efisien, sedangkan untuk benda resonan asing lainnya interaksi berlangsung lemah".



Gambar 10. Blok Kopling Resonansi
 Sumber : Hidayat (2016)



Gambar 11. Kopling Resonansi
 Sumber : Elektroforu.com (2017)

METODE

Penelitian ini melakukan pendekatan kualitatif dengan menggunakan analisis deskriptif atas dasar proses *tracking, analyzing, imaging, deciding, acting* (TAIDA). Proses *tracking* diawali dengan penelusuran perkembangan

komunikasi selular global terkini yang dilanjut dengan kondisi perkembangannya di tanah air, pulau Jawa sampai daerah Jawa Barat. Untuk itu pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumentasi, yaitu dari data Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet

Indonesia (APJII) tahun 2016 yang tertuang dalam dokumen “Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia” sebagai data primer, ditambah beberapa data pendukung dari Badan Pusat Statistik (BPS) Indonesia dan BPS Daerah Jawa Barat. Berbagai peluang dan tantangan beberapa teknologi kunci pada transmisi radio akan dianalisis dalam perannya sebagai potensi riset dan implementasi 5G yang menjanjikan. Tahap IDA akan dilanjutkan pada kajian berikutnya setelah proses *analyzing* diperoleh. Penelitian ini berlangsung mulai Februari 2017 di kota Bandung.

Analisis SWOT

Analisis *Strength, Weakness, Opportunity, Threats* (SWOT) juga digunakan dalam menemukan strategi yang mungkin untuk melihat potensi riset dan implementasi transmisi radio dalam proses adopsi teknologi 5G. Terdapat empat strategi yang diperoleh dari analisis SWOT berikut:

- Strategi S-O (menggunakan kekuatan S untuk mengambil keuntungan dari peluang O)
- Strategi W-O (mengatasi kelemahan W dengan mengambil keuntungan dari peluang O)
- Strategi S-T (menggunakan kekuatan S untuk menghindari ancaman T)

- Strategi W-T (memperkecil kelemahan W dan menghindari ancaman T)

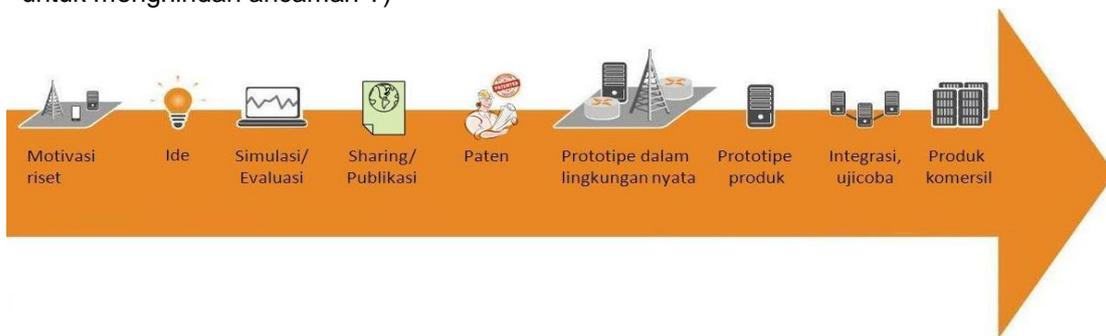


Gambar 12. Analisis SWOT

Sumber: Google

Suatu riset akan berjalan dengan baik jika dilakukan berdasar roadmap yang ada dan melalui tahapan yang terencana. Sebagaimana riset teknologi pada umumnya, maka secara umum tahapan riset transmisi radio dilakukan melalui alur berikut:

1. Motivasi riset
2. Ide baru
3. Simulasi/evaluasi
4. Sharing/publikasi/diseminasi
5. Paten
6. Prototipe dalam lingkungan nyata
7. Prototipe produk
8. Integrasi/interoperabilitas/ujicoba
9. Komersialisasi produk/marketing



Gambar 13. Tahapan Riset

Sumber : Fraunhofer, 2014

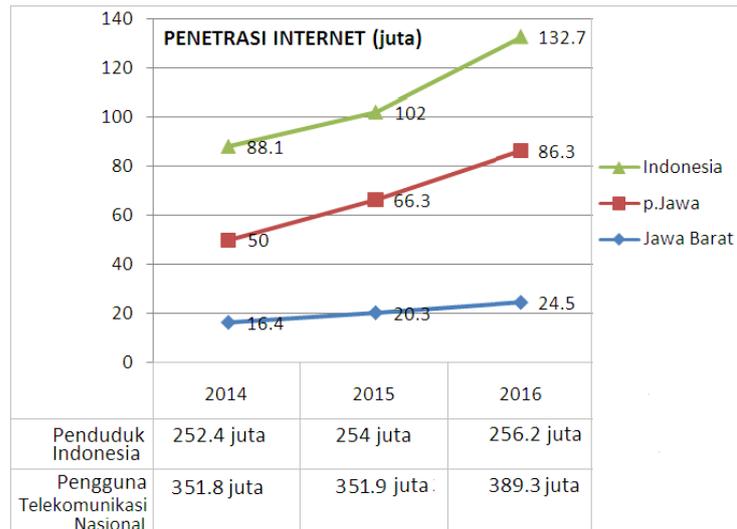
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Potensi dan Pendorong Implementasi 5G di Jawa Barat

Tabel 1. Data Penduduk dan Penetrasi Internet di Jawa Barat

Proyeksi	2014	2015	2016	Keterangan
Penduduk Jawa Barat	46,0 juta	46,7 juta	47,4 juta	Data BPS Jabar; Laju pertumbuhan penduduk per tahun 1,43%
Penetrasi pengguna internet Jawa Barat	16,4 juta	20,3 juta	24,5 juta	

Sumber: BPS Indonesia, 2014-2016, diolah



Gambar 14. Penetrasi Internet di Jawa Barat

Sumber: APJII & BPS, 2014-2016, diolah

Tabel 2. Profil Penggunaan Telekomunikasi Nasional

Item	Persentase
Waktu mengakses internet di atas 6 jam /hari	55,4 %
Koneksi yang digunakan:	
• seluler	54%
• WiFi	40,3%
• kabel	5,7%
Alasan penggunaan koneksi yang disukai karena kecepatan	61,8%
Minat penggunaan aplikasi lokal dalam negeri	98%
Ponsel produk dalam negeri saat ini	7 %

Sumber: APJII-Mastel, 2016

Dari waktu ke waktu terjadi peningkatan kebutuhan akses *broadband* (pita lebar). Pada dasarnya akses pita lebar ini adalah akses internet dengan jaminan konektivitas selalu tersambung, terjamin ketahanan dan keamanan informasinya dengan kemampuan dan kecepatan mengikuti kecepatan akses teknologi *mobile* yang ada. Dalam (Bappenas, 2014) yang dikutip dari World Bank dan Katz et al, disebutkan bahwa penambahan 10% akses pita lebar akan memicu pertumbuhan ekonomi sebesar 1,38% di negara berkembang, dan khusus bagi Indonesia peningkatan 1% penetrasi pita lebar rumah tangga akan mengurangi pertumbuhan pengangguran 8,6% poin.

B. Strategi pada Analisis SWOT

Analisis SWOT dengan strateginya masing-masing dari tulisan ini secara ringkas ditampilkan sebagaimana gambar 12. Strategi S-O (menggunakan kekuatan untuk mengambil keuntungan dari peluang)

- Penerapan spektrum baru pada teknologi radio gelombang milimeter

- Teknik beamforming 3D
- Massive MIMO (M-MIMO)
- Multiple access
- Receiver Maju (advanced receiver)

Strategi W-O (mengatasi kelemahan dengan mengambil keuntungan dari peluang)

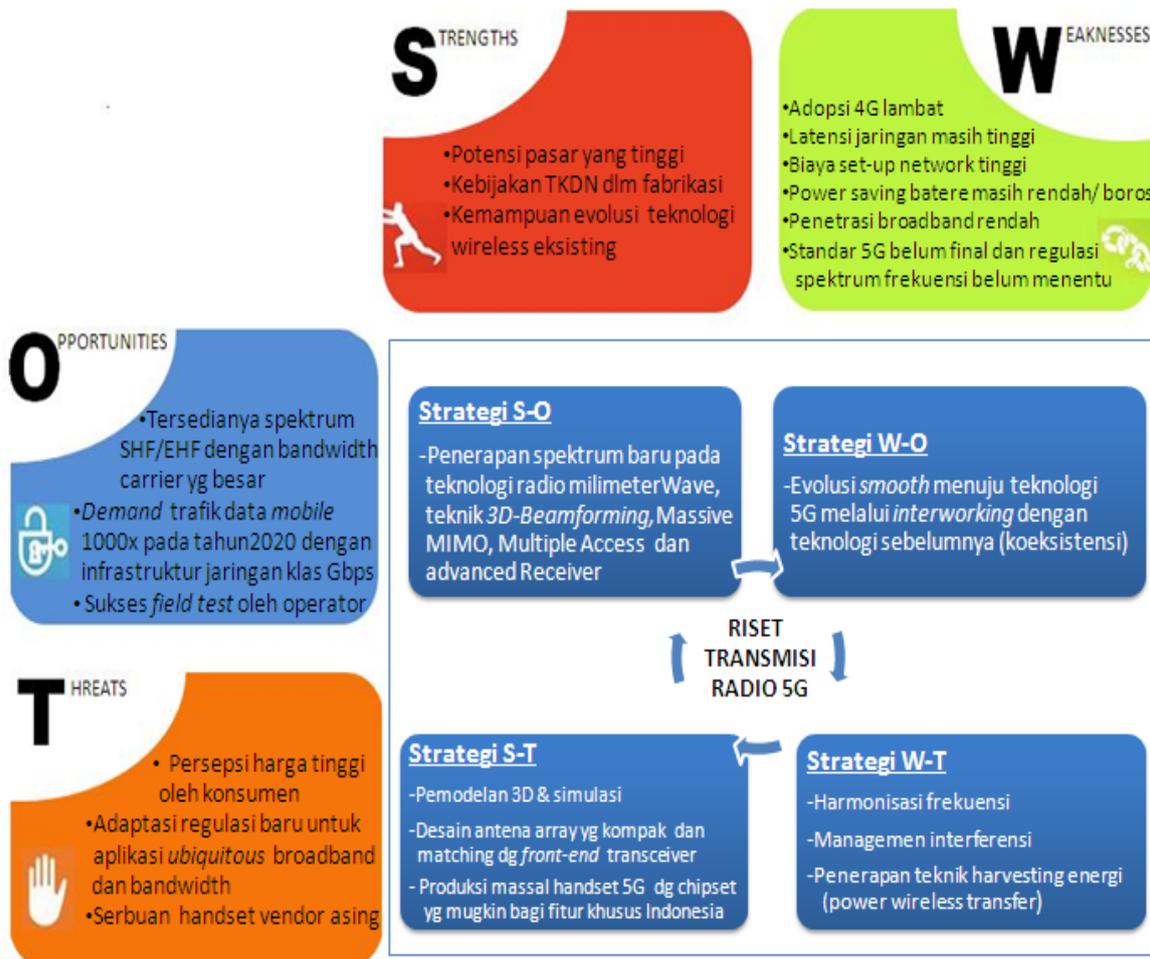
- Evolusi smooth menuju teknologi 5G melalui *interworking* dengan teknologi sebelumnya (koeksistensi)

Strategi S-T (menggunakan kekuatan untuk menghindari ancaman)

- Pemodelan 3D dan simulasi
- Desain susunan antena yang kompak dan *matching* dengan bagian ujung (*front end*) *transceiver*
- Produksi massal *handset* 5G dengan *chipset* yang mungkin bagi fitur khusus Indonesia

Strategi W-T (memperkecil kelemahan dan menghindari ancaman)

- Harmonisasi frekuensi
- Manajemen interferensi
- Penerapan teknik *harvesting* energi berupa *wireless power transfer/transmission*



Gambar 15. Analisis SWOT
 Sumber: Google (Ide gambar)

C. Strategi Implementasi Optimal 5G di Jawa Barat

Jawa Barat memiliki luas wilayah 35.377,76 km² dengan 27 Kabupaten/Kota yang terletak pada posisi antara 5°50'- 7°50' Lintang Selatan dan 104°48'-108°48' Bujur Timur. Data statistik yang dikeluarkan BPS Jawa Barat melaporkan bahwa laju pertumbuhan ekonomi tahun 2016 di provinsi ini sebesar 5,67% dengan penyumbang terbesar angka tersebut berasal dari sektor Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK) yaitu sebesar 14,27%. Namun demikian sektor TIK pada tahun 2016 masih memberikan persentase kontribusi kecil yaitu 3,75% terhadap Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), jauh di bawah kontributor terbesar di sektor industri pengolahan yaitu sebesar 42,49% (BPS Jabar, 2017).

Besarnya laju pertumbuhan ekonomi sektor TIK di atas dapat terus bertahan bahkan berpotensi naik di tahun-tahun berikutnya dengan semakin meningkatnya kecepatan

data dan volume trafik pengguna yang dapat dilayani teknologi *mobile* pita lebar, terlebih dalam hal ini dengan hadirnya kemampuan *enhanced mobile broadband* pada 5G. Hal ini sejalan dengan kaidah dimana 1% kenaikan akses pita lebar akan memicu kenaikan pertumbuhan ekonomi 0,138%. Gambar 14 yang menunjukkan kenaikan penetrasi internet di Jawa Barat dan Tabel 2 dapat mewakili prediksi ini, dimana terlihat lamanya durasi pemakaian internet di atas 6 jam/hari untuk lebih dari separuh (55,4%) responden yang ada, dan alasan penggunaan koneksi yang disukai karena kecepatan sampai 61,8% dari responden yang ada. Dengan demikian adopsi teknologi 5G yang segera hadir dengan akses yang lebih cepat dapat menimbulkan *multiplier effect* yaitu dengan semakin berpeluang memicu kenaikan persentase kontribusi PDRB daerah ini, naiknya penghasilan masyarakat dan juga naiknya lapangan kerja (mengurangi pengangguran) khususnya dari sektor TIK Jawa Barat.

Dalam menangkap peluang adopsi teknologi 5G, beberapa modal dasar yang dimiliki Jawa Barat adalah :

- Pertama, Jawa Barat dengan jumlah penduduk 46,37 juta jiwa dan laju pertumbuhan penduduk per tahun sebesar 1,43% pada tahun 2016, merupakan potensi pasar *handset* terbesar di Indonesia sebagaimana Tabel 1.
- Kedua, adanya bonus demografi berupa potensi penduduk muda usia produktif (10-24 tahun) sebagai pengadopsi teknologi terbesar.
- Ketiga, Jawa Barat adalah daerah pusat teknologi telekomunikasi atau TIK. Di sini terdapat berbagai perguruan tinggi baik negeri maupun swasta dengan disiplin ilmu elektro, komputer, telekomunikasi dan rumpunnya dengan pusat-pusat studinya masing-masing dengan berbagai terobosan *technopark* khususnya terkait TIK. Juga terdapat lembaga-lembaga riset/ pusat-pusat kajian baik yang melekat pada institusi resmi/ perguruan tinggi maupun yang independen.
- Keempat, dunia industri elektronika, telekomunikasi, rekayasa perangkat lunak juga tersedia lengkap di daerah ini dengan beberapa perusahaan besar seperti PT. Telkom, PT. INTI, PT. LEN, PT. CMI (Compact Microwave Indonesia), PT. HDTE (Hariff Daya Tunggal Engineering) dan lainnya baik sebagai operator, *provider*, *integrator* maupun pabrik/ manufaktur *chip IC*.
- Kelima, kesiapan Puslitbang Daerah, LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia) dan Dinas Kominfo di Jawa Barat dalam mengantisipasi kemajuan teknologi khususnya bidang TIK.
- Keenam, tersedianya arah penelitian dari pemerintah pusat sebagai *stakeholder* berupa 10 Bidang Prioritas Pembangunan Iptek yang salah satunya berupa bidang TIK. Bidang TIK ini meliputi riset pembuatan dan produksi *smart card*; riset pembuatan dan industri *chip IC*, *radio frequency identification* (RFID) dan *Internet of Things* (IoT); riset pembuatan dan produksi sel *fotovoltaic*; dan riset 5G (*broadband*).

Dengan memperhatikan modal dasar tersebut maka kemudian untuk menjawab pertanyaan bagaimana menerapkan berbagai teknologi kunci pada sistem

transmisi radio 5G dengan tepat untuk mendukung pembangunan yang ada, dapat diuraikan hal-hal berikut:

- Kondisi riset transmisi radio berupa riset antena dan propagasi, gelombang mikro (*microwave*) dan terakhir mmWave di tanah air khususnya riset antena cerdas dengan kemampuan *beamforming* adaptif; dan banyaknya riset MIMO, teknik modulasi, akses jamak dan multipleksing, rekayasa alokasi frekuensi di atas 6 GHz, manajemen jaringan, pemodelan dan simulasi, terminal *end-user* (*handset*) ditambah riset *energy harvesting* saat ini, dapat menjadi pondasi utama geliat riset 5G di tanah air khususnya di Jawa Barat.
- Masih rendahnya penggunaan *handset* produksi dalam negeri sebagaimana Tabel 2, menjadi pemicu (*trigger*) dan sekaligus peluang untuk terus meningkatkan pemakaian produksi dalam negeri. Dalam hal ini konsistensi kebijakan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) dari pemerintah sangat dibutuhkan. Produksi massal *handset* 5G dengan *chipset* yang sesuai bagi fitur Indonesia bahkan fitur khusus Jawa Barat sebagai potensi pasar terbesar, dapat dimungkinkan dengan dorongan TKDN ini. Untuk 5G dapat diberlakukan minimal komposisi TKDN 40% pada *Base Station* dan 30% pada *Terminal Station/ handset*; sebagaimana kebijakan yang ditargetkan pada teknologi *long term evolution* (LTE) dalam negeri tahun 2019. Dampak yang mungkin akibat rendahnya realisasi TKDN adalah terjadinya impor alat & perangkat yang semakin masif, memicu defisit neraca perdagangan, hilangnya potensi penciptaan lapangan kerja dari produksi alat & perangkat TIK. Sebaliknya dengan TKDN berhasil, maka memicu naiknya pendapatan, sdm & kemampuan produsen dalam negeri naik akibat adanya *transfer knowledge* dari produsen luar.
- Sebagai *layer* terluar sistem nirkabel, riset pengembangan dan penggunaan aplikasi *mobile* lokal yang ada pada *handset* saat ini, dapat terus ditingkatkan. Tabel 2 menunjukkan animo yang sangat besar masyarakat untuk konten lokal ini (98% responden). Semakin maraknya produksi aplikasi lokal, akan semakin meningkatkan kreativitas, produktivitas dan pendapatan produsen dalam negeri, maka fitur-fitur daerah dapat semakin berkembang yang berarti insentif bagi

produsen lokal/ daerah; sekaligus penyerapan lapangan kerja; ataupun semakin membuka peluang *technopreneur* muda untuk menciptakan lapangan kerja sendiri di bidang aplikasi *mobile* yang notabene kebutuhannya semakin masif. Dalam hal ini, sinergi kompetensi SDM bidang teknologi dan kewirausahaan sangat dibutuhkan dan didukung oleh pemerintah. Kemudian, sebagai contoh aplikasi *mobile* karya produsen daerah Jawa Barat adalah aplikasi *X-Igent* atas inisiator/ program Pemkot Bandung dan program *e-mobile* lainnya dari Pemda Jabar.

- Adanya regulasi yang mendorong tumbuh kembangnya inovasi TIK berbasis kearifan lokal Jawa Barat di masyarakat. Di masyarakat, kiprah *technopreneur* muda sangat diharapkan dalam penciptaan lapangan kerja bidang TIK ini. Untuk itu, stimulus pemerintah daerah berupa pelatihan atau bahkan suntikan modal sangat mendukung program ini.
- Adanya regulasi yang mendorong kerjasama dunia industri dengan perguruan tinggi/ SMK dalam menunjang industri TIK berbasis kearifan lokal Jawa Barat. Juga regulasi yang memungkinkan meningkatnya perhatian dunia industri di daerah ini untuk menjadi donor potensial atau sponsor pendanaan penelitian di perguruan tinggi, dapat memperbaiki *link and match* antara perguruan tinggi dan kegiatan penelitian dengan sektor publik khususnya dunia industri. Terkait dengan regulasi, meskipun peraturan pengadaan barang dan jasa dinilai tidak lagi membatasi partisipasi perguruan tinggi dalam penelitian yang disponsori pemerintah pusat, dimana kini penelitian tidak lagi berbasis proses tapi sudah berbasis *output* namun realisasi dana hibah yang masih sangat lamban sampai ke peneliti berkontribusi menjadi faktor rendahnya minat meneliti setidaknya kurangnya kualitas hasil penelitian akibat ketersediaan waktu yang berkurang bahkan tersisa separuhnya dari alokasi waktu yang ada. Dana merupakan stimulus tersendiri bagi peneliti, karena dengan dana yang cukup dapat menjadi motivasi bagi peneliti untuk berkompetisi. Jangka waktu realisasi dana riset yang lama dan dana yang terbatas sering menyebabkan tak adanya hasil yang berarti dari kegiatan penelitian selain

hanya sebuah laporan (Nugroho, dkk., 2016). Maka dengan meningkatnya *link and match* di tingkat regional atau daerah diharapkan masalah ini akan tersolusikan.

- Kolaborasi antar komponen yang menjadi modal dasar ketiga, keempat dan kelima di atas dapat semakin meningkat dengan adanya arah kebijakan 10 bidang prioritas pembangunan iptek yang bermuara pada peningkatan kualitas riset khususnya dalam hal ini riset transmisi radio 5G. Salah satu pola kolaborasi tersebut yang butuh untuk terus digalakkan adalah kolaborasi ABG (*Academica, Bussiness and Government*) antar kalangan akademisi baik dari negeri maupun swasta, berbagai perusahaan bisnis atau industri (baik BUMN maupun swasta) dan institusi pemerintah seperti Litbangda.

KESIMPULAN

Di tanah air khususnya di Jawa Barat, teknologi kunci riset transmisi radio 5G dan peluang implementasinya ada pada sistem Antena Cerdas (*Smart Antenna*) dengan kemampuan *beamforming* 3D, Massive-MIMO (M-MIMO), kajian Frekuensi Gelombang Milimeter (mmWave), rekayasa alokasi spektrum di atas 6 GHz, manajemen jaringan, teknologi *handset* yang mencakup aplikasi *mobile*-nya, pemodelan dan simulasi serta teknologi *energy harvesting*.

Dibutuhkan keberpihakan pemerintah dalam penggunaan produk TIK dalam negeri dengan mendorong pengembangan industri TIK melalui kebijakan Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) khususnya pada produksi handset berikut aplikasi *mobile*-nya dengan fitur khas Indonesia atau daerah Jawa Barat guna menciptakan skala ekonomi.

Berbagai peluang dan tantangan yang muncul dari beberapa teknologi kunci transmisi radio 5G hanya akan berarti jika didukung oleh regulasi yang semakin berpihak pada riset dan inovasi TIK berbasis kearifan lokal, semakin bervariasinya sumber penyandang dana riset, cepatnya dana sampai ke peneliti dan meningkatnya pola kolaborasi antar peneliti menjadi pendorong keberhasilan riset transmisi radio untuk adopsi teknologi 5G dan teknologi penerusnya.

DAFTAR PUSTAKA

- ADMAJA, A.F.S. (2015) *Kajian Awal 5G Indonesia, Buletin Pos dan Telekomunikasi*, Depkominfo, 13 (2), p.97-114
- ALAYDRUS, M. (2015) *Riset Antena – State of the Art*, Jurnal Incomtech, 6 (1), p.1-22. Universitas Mercubuana, Jakarta.
- ALTERA. (2017) *From Here to 5G : A Roadmap of Challenges*. Diperoleh dari: <http://systemdesign.altera.com> (Diakses 27/02/2017)
- ANRITSU. (2016) *Understanding 5G*.
Diperoleh dari <http://www.anritsu.com> (Diakses 27/02/2017)
- APJII-PUSKAKOM UI, (2014). *Profil Pengguna Internet Indonesia*.
- APJII-POLLING INDONESIA, (2016). *Penetrasi dan Perilaku Pengguna Internet Indonesia*.
- APJII-MASTEL (2016). *Konklusi survey Ekosistem Device, Network & Applications (DNA)*.
- AREFI, R. (2002). *Proposed Text for Mitigation Techniques Section of Part 3 of the Coexistence Recommended Practice – Working Document Version 1.3*. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group ArrayComm, Inc
- BADAN PUSAT STATISTIK PROPINSI JAWA BARAT .(2017) *Jawa Barat dalam Angka*, Katalog : 1102001.32.
- BAPPENAS. (2014) *Rencana Pita Lebar Indonesia 2014-2019*, Cetakan Pertama, Kementrian PPN/Bappenas.
- BITWISE INFO. (2014) *5Gth Generation Mobile Service 5G Beyond 4G Unbelievable 5th Generation Mobile Service*. Diperoleh dari : <https://bitwiseinfo.com/5g-5th-generation-mobile-service-5g-beyond-4g-unbelievable-5th-generation-mobile-service/> (Diakses 20/12/16)
- CWC-UCSD .(2017) *Looking 5G Microwave Perspective*.Diperoleh dari: <http://cwc.ucsd.edu/content/>.(Diakses14/12/16)
- ELECTRONICS FORU. (2017) *The Evolving World Of Wireless Charging Technology*.
Diperoleh dari <http://electronicsforu.com/> (Diakses 30/06/17)
- FRAUNHOFER. (2014) *Towards the 5G Environments : Making research steps with meaningful results*, Fraunhofer FOKUS Whitepaper, August 2014. Diperoleh dari : www.Open5Gcore.net. (Diakses)
- GUPTA, A. & JHA, R.K. (2015) *Survei Jaringan 5G: Arsitektur dan Emerging Technologies*, IEEE Access Journal , Vol. 3, 2015. Diperoleh dari: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7169508/?part=1> . (Diakses 23/02/2017)
- HIDAYAT, R. (2017) *Antena Cerdas untuk Mitigasi Interferensi dengan Algoritma Least Mean Square*, Jurnal Setrum, 6 (1). Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Serang.
- HIDAYAT, R. (2016) *Sumber Daya Wireless untuk Menghasilkan Energi Listrik Terbarukan* , Jurnal Sinergi, 20 (2), Universitas Mercubuana, Jakarta.
- ITU-R (2015). *IMT Vision-Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond*, Recommendation ITU-R M.2083-0.
- MAYER, H.P.(2014) *Design For 5G End-To End Services – What Are The Consequences For System And Air Interface ?* , Bell Labs, Alcatel-Lucent.
- METIS. (2013) *Deliverable D1.1. Scenarios, requirements and KPIs for 5G mobile and wireless system*, METIS Project Document. Diperoleh dari : <https://www.metis2020.com/documents/deliverables/> . (Diakses 27/02/2017)
- MICROWAVE JOURNAL. (2016) *Opportunities and Challenges for the Microwave Industry*. 59 (7) . Diperoleh dari : <http://www.microwavejournal.com/articles/> . (Diakses 06/01/2017)
- MONSERRAT, J.F., MANGE, G., BRAUN, V., TULLBERG, H., ZIMMERMANN, G. & BULAKCI, Ö. (2016) *METIS Research Advances Towards the 5G Mobile and Wireless System Definition*, the FP7 project ICT-317669 METIS.

- NOKIA.(2016) 5G Use Cases and Requirements. White Paper. Diperoleh dari <http://www.nokia.com> (Diakses 27/02/2017)
- NUGRAHA,T.A. dan HIKMATUROKHMANN,A. (2017) *Simulasi Penggunaan Frekuensi Milimeter Wave untuk Akses Komunikasi Jaringan 5G Indoor* ,Jurnal Infotel, 9 (1), p.24-30
- NUGROHO, Y. , PRASETIAMARTATI , B. dan RUHANAWATI,S. (2016) *Mengatasi Hambatan Penelitian di Universitas*, Working Paper 8, Australian Aids, Kementrian PPN/Bappenas.
- PAIS,A. (2016) *5G and The Future Of Indoor Wireless System*, BTG Netherlands Small Cell Industrial Summit.
- REPUBLIKA. (2017) Mempersiapkan Diri Menyongsong Era 5G.Diperoleh dari: <http://www.republika.co.id/berita/koran/inovasi/17/01/17/ojwws712-mempersiapkan-diri-menyongsong-era-5g>. (Diakses 15/02/2017)
- RF WIRELESS WORLD.(2017) 5G Tutorial. Diperoleh dari : <http://www.rfwireless-world.com/Tutorials/5G-tutorial.html> . (Diakses 20/12/16)
- SARAGIH,Y.,SETYAWAN,I., SEDIYONO,E., LAWANG,R.M.Z. (2017) Kebijakan Pemerintah Tentang Kelayakan Fixed Wireless Access – CDMA (FWD-CDMA) untuk Komunikasi Murah di Indonesia, Jurnal Barometer ,vol.2, no.2, Unsika, Karawang.

