

Tantangan Implementasi 5G di Indonesia

Hamzah U. Mustakim
Institut Teknologi Telkom Surabaya
Surabaya, Indonesia
email: hamzah@ittelkom-sby.ac.id

Abstract. *The development of 5G network is expected to have a large impact on improving the economy and industry in Indonesia. Currently the government and operators are faced with several challenges to prepare for the implementation of the 5G network which includes regulations and infrastructure that must be built. This study aims to provide some insights and considerations for the implementation of 5G in Indonesia.*

Keywords: 5G, IoT, uses cases, network.

Abstrak *Pengembangan jaringan 5G diharapkan memiliki dampak besar pada peningkatan ekonomi masyarakat dan industri di Indonesia. Saat ini pemerintah dan para operator dihadapkan pada beberapa tantangan untuk mempersiapkan implementasi jaringan 5G yang meliputi regulasi dan infrastruktur yang harus dibangun. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan beberapa pandangan dan pertimbangan untuk implementasi 5G di Indonesia.*

Kata kunci: 5G, IoT, skenario layanan, jaringan.

1. PENDAHULUAN

Evolusi teknologi komunikasi seluler membawa dampak besar pada kehidupan masyarakat dunia. Pada dekade terakhir kita telah menyaksikan sebuah revolusi bagaimana cara manusia berkomunikasi, membagikan ide dan hidup melalui jaringan komunikasi nirkabel. Baik menggunakan jaringan seluler generasi ketiga (3G) dan generasi keempat (4G). Saat ini dunia sedang bersiap dengan generasi kelima (5G) sebagai sebuah *platform* yang dapat mengintegrasikan berbagai teknologi komunikasi nirkabel dengan berbagai jenis layanan didalamnya serta kemampuan untuk menyediakan koneksi kapanpun dan dimanapun kita berada. Berdasarkan Vigilante (2018) dan Dahmal (2016) teknologi 5G akan melampaui teknologi sebelumnya sehingga melahirkan sebuah istilah yang dinamakan *networked society*, yaitu sebuah konektivitas yang dapat menjangkau semua hal disekitar kita.

Dengan kapasitas *bandwidth* yang lebih besar, *data rate* lebih tinggi dan tingkat *delay* yang kecil teknologi ini dapat memberikan peluang dan keuntungan kepada operator dengan menciptakan model bisnis baru (Ericsson, 2018). Menurut Badic (2016) hal ini dapat terjadi karena adanya peningkatan kualitas teknologi sehingga memungkinkan terbentuknya model layanan baru dan meningkatkan jumlah permintaan layanan pada operator oleh *user*. Sebagai contoh seperti dipaparkan oleh B. Raaf (2014), bahwa operator jaringan 4G melaporkan adanya peningkatan kapasitas trafik data sebesar 150% dibandingkan saat masih menggunakan jaringan 3G.

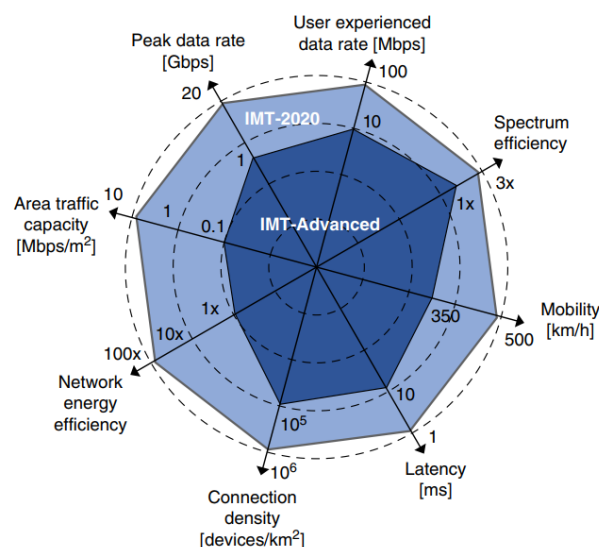
Berbeda dengan teknologi seluler sebelumnya, tujuan utama teknologi 5G adalah untuk memenuhi layanan komunikasi bergerak serta memberikan dukungan teknologi pada sektor ekonomi dan industri. Teknologi 5G akan menciptakan sebuah kondisi dimana konektivitas nirkabel berubah dari sesuatu hal yang memberikan nilai tambah menjadi sesuatu yang harus ada pada sektor industri. Kebutuhan pada teknologi nirkabel ini digunakan untuk mengumpulkan data dan membentuk sebuah analisis. Dari analisis data tersebut, Osseiran (2016) menyimpulkan bahwa data dan informasi adalah hal yang penting untuk pengembangan berbagai sektor industri.

Dibalik keunggulan dan peluang yang dapat dihasilkan dari teknologi 5G terdapat berbagai tantangan dalam implementasi dan pembangunan infrastruktur. Pada tulisan ini akan dibahas peluang dan berbagai tantangan yang sedang dihadapi untuk merealisasikan teknologi 5G di Indonesia.

2. SISTEM DAN ARSITEKTUR JARINGAN 5G

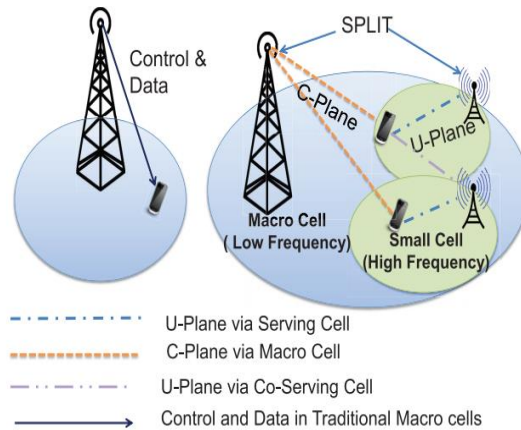
Sistem jaringan 5G dibangun berdasarkan kebutuhan dan layanan di masa depan sebagaimana akan dijelaskan pada bagian 3. Secara kuantitatif parameter kinerja yang ditentukan oleh ITU-R (*International Telecommunication Union*) pada teknologi 5G melalui IMT-2020 (Gambar 1) adalah sebagai berikut:

- *Peak data rate*: berdasarkan kondisi ideal, *data rate* yang dapat dicapai adalah 20Gbps (*downlink*) dan 10Gbps (*uplink*).
- *User experience data rate*: merupakan *data rate* minimum yang diperoleh seorang user pada sebuah area. 100Mbps *downlink* (DL) dan 50 Mbps untuk *uplink* (UL).
- *Spectrum efficiency*: didefinisikan sebagai rata-rata *data throughput* per spektrum yang dialokasikan pada sebuah *cell*. Untuk kondisi di dalam ruangan: 9 bps/Hz/cell (DL), 6.75 bps/Hz/cell (UL); Daerah urban: 7.8 bps/Hz/cell (DL), 5.4 bps/Hz/cell (UL); Daerah rural: 3.3 bps/Hz/cell (DL), 1.6 bps/Hz/cell (UL).
- *Mobility*: trafik data dapat berjalan normal pada *user* dengan kecepatan maksimal 500km/jam.
- *Latency*: 4 ms untuk layanan *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), dan 1 ms untuk layanan *Ultra Reliable and Low Latency Communications* (URLLC).
- *Connection density*: jumlah total perangkat yang dapat terhubung pada jaringan adalah satu juta perangkat/km² untuk layanan *Massive Machine Type Communications* (mMTC).
- *Network energy efficiency*: mendukung sekema *high sleep* dan *long sleep* pada perangkat untuk menghemat konsumsi energi.
- *Area traffic capacity*: adalah total trafik yang dialokasikan pada sebuah besaran area yaitu sebesar 10Mbps/m² pada skema *hotspot* dalam ruangan.



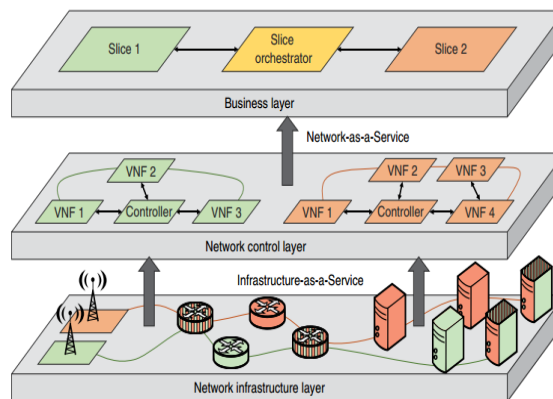
Gambar 1: Kemampuan utama 5G menurut *IMT Vision* dan Marsch (2018).

Evolusi sistem komunikasi 5G bertujuan untuk mendapatkan fleksibilitas arsitektur, kemampuan akses jaringan yang heterogen, dan integrasi lini bisnis secara vertikal dengan memanfaatkan teknologi SDN (*Software Define Network*) dan NFV (*Network Functions Virtualization*). Marsch (2018) menjelaskan bahwa untuk mendukung berbagai jenis penggunaan dan aplikasi, maka diperlukan beberapa perubahan pada jaringan konvensional yang telah ada dengan memecah elemen jaringan atau *network function* (NF) menjadi modul dasar yaitu *control plane* (CP) dan *user plane* (UP) sehingga memungkinkan terbentuknya *logical architectures* melalui interkoneksi dari CP dan UP seperti tertera pada Gambar 2.



Gambar 2: Pemisahan CP dan UP pada Agiwal (2016).

Berdasarkan NGMN (2015) mekanisme untuk membuat jaringan yang telah ada, seperti jaringan 4G, agar dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan dan skenario layanan adalah dengan cara melakukan pemotongan jaringan secara vertikal atau *network slicing*. Pada prinsipnya, pada 5G PPP (2015), *network slicing* adalah sebuah jaringan logika (Gambar 3) yang memiliki fungsi dan layanan tertentu untuk memenuhi kebutuhan yang spesifik sesuai dengan model bisnis yang diminta sehingga dapat menurunkan biaya operasional dan meningkatkan fleksibilitas jaringan seperti dijelaskan pada E. N. ISG (2013) dan Zhang (2018).



Gambar 3: Network slicing pada Marsch (2018).

IMT-2020 *Promotion Group* (2015) menjelaskan di dalam arsitektur jaringan 5G terdapat jaringan akses dengan kinerja tinggi dan jaringan inti (*core network*) yang berfungsi melakukan kontrol dan *forwarding* untuk memenuhi parameter kinerja yang telah ditentukan. Terdapat beberapa jenis teknologi jaringan akses yang dapat digunakan untuk menghubungkan *base station* (BS) dengan perangkat sehingga memungkinkan fleksibilitas pada mekanisme akses jaringan dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya jaringan. Habibi (2019). Fungsi kontrol dalam hal ini dilakukan oleh CP yang bertugas sebagai pembuat strategi kontrol secara global dalam sistem jaringan. Sedangkan untuk fungsi *forwarding* dilakukan oleh *forward plane* (FP) yang bertugas meneruskan trafik data pada seluruh jaringan.

3. SEKENARIO LAYANAN

5G dikembangkan untuk dapat mendukung berbagai jenis penggunaan dan aplikasi yang berbeda. Tidak hanya memberikan layanan konvensional untuk komunikasi bergerak tapi juga untuk

mendukung berbagai jenis industri sehingga secara tidak langsung berdampak pada pertumbuhan ekonomi dan kehidupan masyarakat.

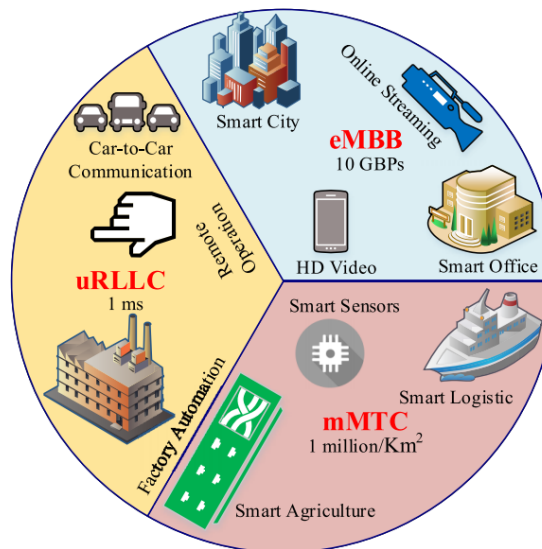
Beberapa sektor industri dan ekonomi dimana teknologi komunikasi nirkabel dapat diterapkan menurut Osseiran (2016) adalah sebagai berikut:

- Pertanian: Penggunaan sensor dan aktuator untuk mengukur dan mengomunikasikan kondisi tanah, cuaca dan pertumbuhan tanaman.
- Automotif: Komunikasi nirkabel dikembangkan pada kendaraan automotif untuk mendukung sistem transportasi cerdas. Memungkinkan komunikasi antar kendaraan dan infrastruktur yang ada disekitarnya untuk menghindari kecelakaan dan kemacetan serta mendukung keselamatan berkendara.
- Konstruksi dan bangunan: Penggunaan sensor, aktuator yang terintegrasi dengan antena untuk sistem monitoring perangkat sehingga dapat menghemat energi. Selain itu juga *Smart home system* digunakan untuk keamanan rumah.
- Energi: Digunakan untuk monitoring, kontrol beban daya dan konsumsi energi.
- Keuangan: Termasuk didalamnya sistem perbankan dan belanja *online* yang membutuhkan koneksi internet secara luas. Dengan konsekuensi penguatan aspek keamanan pada proses transaksi keuangan saat menggunakan jaringan nirkabel.
- Kesehatan: Komunikasi nirkabel dapat dimanfaatkan pada dunia kesehatan sebagai sistem monitoring kesehatan pasien yang terhubung dengan rumah sakit sehingga dapat mempercepat penanganan medis ketika terjadi keluhan. Hal yang paling revolusioner adalah dokter dapat melakukan operasi bedah jarak jauh menggunakan robot.
- Manufaktur: Beberapa tugas teknis dan proses kontrol pada suatu pabrik dapat dilakukan dengan lebih efisien dan akurat menggunakan komunikasi nirkabel.
- Media: Saat ini media pemberitaan utama menggunakan video dengan resolusi tinggi. Teknologi 5G dapat memberikan pengalaman yang bagus untuk melihat video dengan format 4K maupun 3D.
- Keamanan Publik: Kepolisian, pemadam kebakaran, petugas penanggulangan bencana membutuhkan kehandalan jaringan komunikasi untuk dapat menangani berbagai masalah. Teknologi jaringan 5G sebagai salah satu bagian penting yang menjamin kehandalan komunikasi dengan implementasi SDN dan NFV. Sehingga dapat meminimalisir jaringan *down* pada saat keadaan darurat dan bencana seperti gempa bumi dan tsunami.
- Retail: Komunikasi nirkabel akan tetap berperan penting pada aspek ini. Terutama untuk mendukung layanan toko *online*, jasa transportasi dan pemesanan penginapan.
- Transportasi dan Logistik: Teknologi 5G membantu fungsi infrastruktur dan komunikasi pada jaringan kereta api, jalan raya dan proses pengiriman logistik baik melalui jalan darat dan jalur laut atau maritim.
- Industri lain: Sebagaimana industri pesawat terbang dan industri pertahanan yang selalu membutuhkan sistem komunikasi nirkabel untuk menjalankan fungsi produk mereka. Juga industri lain seperti kimia dan pertambangan.

Seluruh penggunaan dan aplikasi pada teknologi 5G dapat dikelompokkan menjadi tiga skenario utama (Gambar 4):

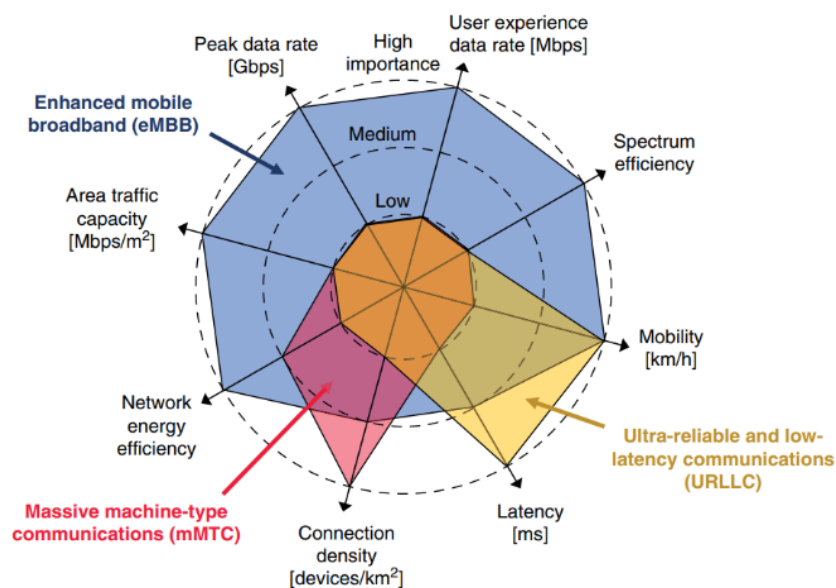
- *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB): Adalah skenario penggunaan untuk layanan komunikasi data dan multimedia.
- *Ultra Reliable and Low Latency Communications* (URLLC): Berhubungan dengan aplikasi yang membutuhkan kinerja jaringan sangat baik dan sangat sensitif terhadap *delay* dan *latency*. Sebagai contoh pada sistem keamanan transportasi, operasi bedah jarak jauh, dan sistem kontrol industri manufaktur. Teknologi ini dibutuhkan sebagai pondasi dari industri 4.0.
- *Massive Machine Type Communications* (mMTC): Digunakan pada aplikasi yang menggunakan banyak perangkat. Setiap perangkat terhubung dengan internet serta

mengirimkan data dalam kapasitas kecil yang tidak sensitif terhadap *delay* seperti alat monitor cuaca dan alat motitoring pertanian yang menggunakan sensor untuk memantau kondisi tanah.



Gambar 4: Skenario layanan 5G pada Habibi (2019).

Masing-masing sekenario memiliki indikator kinerja dan *quality of service* (QoS) yang harus dipenuhi agar dapat memberikan kualitas layanan yang baik seperti dijelaskan oleh Andriyanto (2017) berdasarkan IMT *Vision* tertera pada Gambar 5:



Gambar 5: Indikator kinerja untuk sekenario layanan pada IMT Vision (2015).

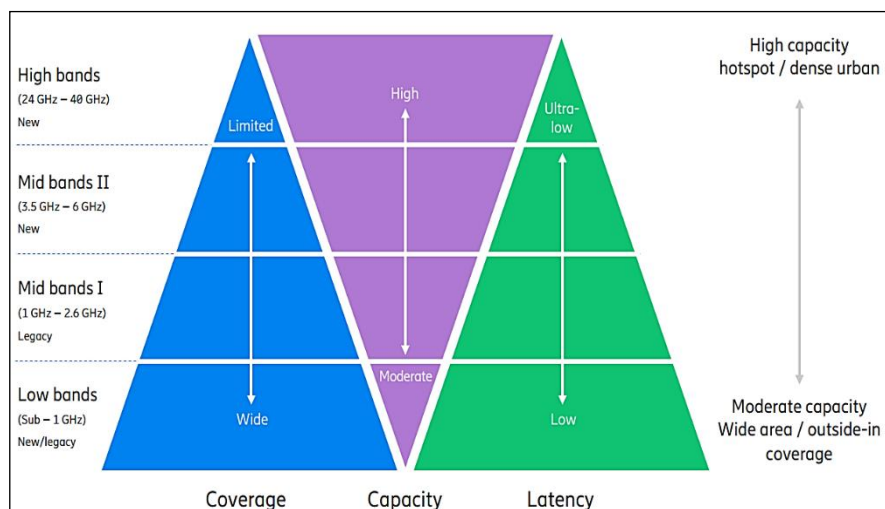
4. TANTANGAN IMPLEMENTASI

Saat ini beberapa negara melalui operator telekomunikasi telah menggelar jaringan 5G dan melakukan pengujian terhadap kinerjanya sebelum diluncurkan secara resmi pada tahun 2020. Sedangkan di Indonesia menurut Kominfo (2019) akan diluncurkan tahun 2022. Jika kita melihat perkembangan generasi teknologi sebelumnya, maka dapat dipastikan bahwa setiap generasi teknologi baru akan membuka peluang baru baik dari sisi operator dan pelanggan atau masyarakat. Operator akan diuntungkan karena terbentuknya jenis layanan baru, sebagaimana yang telah dibahas sebelumnya, sehingga memberikan peluang terhadap peningkatan pendapatan. Dan dari sisi

masyarakat sebagai *user* dapat meningkatkan perekonomian melalui penggunaan teknologi internet. Pada saat yang sama para operator juga mewaspadai besarnya peningkatan biaya investasi yang harus dikeluarkan untuk membangun infrastruktur jaringan 5G serta pengembangan jaringan 4G untuk memenuhi permintaan *user*. Menurut analisis Grijpink (2018), akan terjadi peningkatan capex (*capital expenditure*) sebesar 60% pada tahun 2020-2025.

Untuk memenuhi parameter kinerja yang telah ditentukan pada teknologi 5G maka pembangunan dan pengembangan infrastruktur adalah hal yang harus dilakukan para operator di Indonesia. Dalam hal ini operator harus berinvestasi pada semua domain jaringan yaitu: spektrum frekuensi, jaringan akses atau *radio access network* (RAN), dan transmisi yang berhubungan dengan *core network*. Berikut ini adalah tantangan implementasi dari masing-masing domain jaringan tersebut:

- Spektrum frekuensi: merupakan sumber daya utama dari semua RAN. Kapasitas trafik data pada teknologi 5G akan meningkat secara signifikan dan disertai dengan kebutuhan pada cakupan (*coverages*), kehandalan (*reliability*) serta *throughput* jaringan akses. Menurut Osseiran (2014) untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja jaringan tersebut diperlukan penambahan akuisisi spektrum frekuensi yang sesuai dengan skema layanan yang digunakan pada 5G dengan indikator kapasitas trafik data seribu kali lebih besar dan *data rate* hingga seratus kali dari teknologi yang ada saat ini sehingga jaringan 5G akan mengakomodasi trafik data dengan orde mulai dari kbps hingga Gbps. Jika dilihat dari skema layanan pada 5G maka terdapat tiga jajaran spektrum frekuensi yang dapat digunakan yaitu dibawah 1Ghz, diantara 1Ghz dan 6Ghz dan di atas 6Ghz. Konsekuensi dari perbedaan spektrum frekuensi tersebut adalah sistem 5G harus mampu beroperasi pada beberapa bandwidth yang berbeda dengan skenario pengembangan sistem komunikasi yang berbeda juga mulai dari spektrum dibawah 1GHz hingga 100GHz. Semakin tinggi spektrum frekuensi maka dapat meningkatkan *data rate* dengan konsekuensi luas cakupan yang semakin kecil (Gambar 6). Berdasarkan ITU Radio Regulation (2016), spektrum frekuensi yang saat ini digunakan untuk layanan komunikasi bergerak adalah 1886Mhz. Saat ini di Indonesia pada range frekuensi 1800MHz, menurut Direktorat Penataan Sumber Daya (2018), telah dialokasikan untuk layanan komunikasi bergerak oleh beberapa operator: Hutchison 3 Indonesia, Indosat, Telkomsel dan XL Axiata (Tabel 1). Peluang penggunaan spektrum frekuensi dibawah 1Ghz IoT ada pada 700MHz yang saat ini digunakan untuk siaran TV analog. Dalam tulisannya Ekawibowo (2018) jika migrasi TV analog menuju TV digital berhasil dilakukan maka akan ada alokasi *bandwidth* sebesar 112MHz yang dapat digunakan untuk 5G. Spektrum frekuensi 700MHz dapat digunakan untuk skenario layanan *Internet of Things* (IoT) yang membutuhkan cakupan area luas.



Gambar 6: Spektrum Frekuensi 5G oleh Ericsson (2018).

Untuk spektrum frekuensi antara 1Ghz dan 6Ghz atau *medium frequency bands* terdapat kandidat, selain frekuensi 2.3-2.4GHz yang telah digunakan untuk 4G LTE yaitu 3.3-4.2GHz sebagaimana tertera pada Peraturan Menteri Koinfo Nomor 25 Tahun 2014. Berdasarkan *The World Radiocommunication Conference* (WRC) tidak menentukan frekuensi tertentu yang akan digunakan, namun terdapat kesamaan untuk peluncuran 5G di Eropa dan Asia bahwa akan menggunakan spektrum frekuensi 3.5GHz. Frekuensi ini ideal untuk dikembangkan untuk layanan pada daerah perkotaan dengan kebutuhan kinerja trafik data yang tinggi. Namun saat ini berdasarkan regulasi yang masih berlaku saat ini pada ITU regional 3 termasuk Indonesia frekuensi 3.5GHz juga masih digunakan untuk komunikasi satelit dari angkasa ke bumi (Tabel 2). Artinya dibutuhkan regulasi baru untuk penataan spektrum frekuensi yang akan digunakan untuk 5G.

Selanjutnya penggunaan spektrum frekuensi di atas 6Ghz adalah gelombang milimetrik atau *mmWave* dengan rentang frekuensi antara 30GHz sampai 300GHz yang diharapkan dapat mendukung kinerja jaringan akses untuk mencapai data rate pada orde Gigabit/detik (Gbps). Tantangan utama pada gelombang milimetrik adalah sangat rentan terhadap *path loss*, lintasan *non-line-of-sight* serta *noise* karena menggunakan frekuensi *carrier* yang tinggi dan *bandwidth* yang lebar sebagaimana dijelaskan juga oleh Al-Ogaili (2016). Faktor cuaca juga menjadi salah satu pertimbangan dalam mendesain model propagasi untuk gelombang milimetrik 30GHz pada daerah tropis seperti Indonesia. Berdasarkan Nandi (2017) redaman yang dihasilkan pada saat hujan dapat mencapai 8dB.

Tabel 1: Alokasi spektrum untuk komunikasi bergerak di Indonesia oleh Direktorat Penataan Sumber Daya.

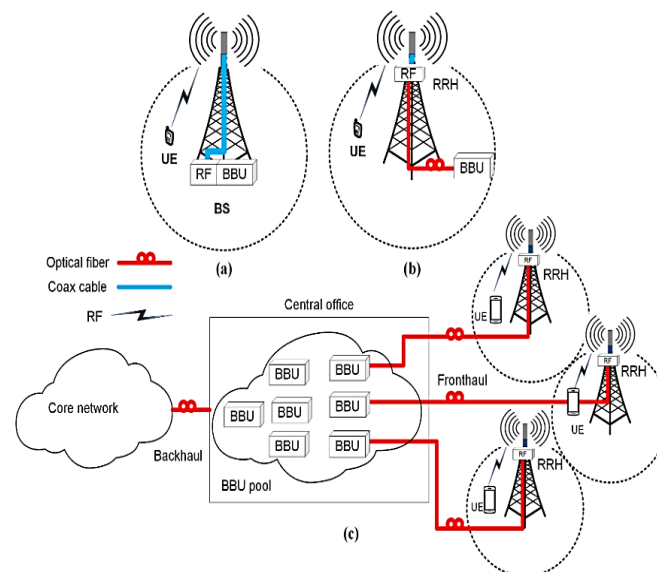
Perusahaan	Frekuensi dan Bandwidth (MHz)						Total
	450	800	900	1800	2100	2300	
H3I	-	-	-	20	30	-	50
Indosat	-	-	25	40	30	-	95
STI	15	-	-	-	-	-	15
Smartfren	-	22	-	-	-	-	22
Smarttel	-	-	-	-	-	30	30
Telkomsel	-	-	30	45	30	30	135
XL Axiata	-	-	15	45	30	-	90
Total Bandwidth							437

Tabel 2: Alokasi spektrum frekuensi 3400-4200MHZ pada Permen Koinfo No. 25 Tahun 2014.

Frekuensi (MHz)	Region 3-ITU	Indonesia
3400–3500	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.433 5.282 5.432 5.432A	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.433 5.282 5.432 5.432A INS28

3500–3600	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.433	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.433 INS28
3600–3700	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.435	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: 5.435 INS28
3700–4200	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi)	Satelit tetap (Angkasa ke Bumi) Radiolokasi: INS28

- **Infrastruktur RAN:** pengembangan infrastruktur jaringan akses radio dan *radio access technology* (RAT) untuk jaringan 5G mengacu pada *3GPP Release 15* menggunakan dua skema yaitu *standalone New Radio* dan *non-standalone New Radio*. sebuah perangkat (*user equipment* / UE) dapat mengakses jaringan 5G melalui jaringan 4G LTE yang sudah tersedia ataupun langsung melalui *New Radio Technology* (NR) untuk dapat terhubung dengan *Evolved Packet Core* (EPC) maupun *5G Core* (5GC) sebagai jaringan inti 5G. Sehingga setiap operator yang ingin menggelar jaringan 5G harus dapat mendukung UE, jaringan radio, *core network*, dan manajemen produk dengan baik. Termasuk pengembangan *pico cells*, *femto cells*, dan *micro cells* yang dikombinasikan dengan *macro cells* yang sudah ada sekarang. Skema *non-standalone* dengan jaringan 4G LTE yang sudah ada adalah alternatif terbaik yang dapat digunakan untuk menggelar jaringan 5G dengan beberapa keuntungan menurut Cagenius (2018) yaitu pada aspek kinerja karena memungkinkan kombinasi penggunaan spektrum NR untuk *downlink* dan *lower-band* LTE sebagai *channel uplink*.
- **Transmisi:** Evolusi dari RAN juga berpengaruh pada perubahan *transport network* untuk memperoleh kinerja jaringan yang tinggi. Hal ini dapat tercapai dengan dukungan teknologi transmisi yang bagus. Untuk mencapai *data rate* maksimum sebesar 20Gbps (DL) dan 10 Gbps (UL). Maka operator harus menambah instalasi kabel fiber optik dalam skala besar terutama untuk pengembangan *small-cells* pada daerah perkotaan. Pada Dat (2019) dan Zeb (2019) instalasi fiber optik ini dilakukan pada sisi *fronthaul* untuk mengirimkan sinyal dari *base band processing unit* (BBU) menuju antenna. Dan pada sisi *backhaul* untuk menghubungkan BBU menuju *core network* (Gambar 7).



Gambar 7: Perbedaan arsitektur *base station* konvensional (a) dan (b) dengan arsitektur baru menggunakan fiber optik oleh Zeb (2019).

5. KESIMPULAN

Untuk melakukan implementasi jaringan 5G diperlukan persiapan yang meliputi spektrum frekuensi dan regulasi oleh pemerintah. Selain itu kebutuhan infrastruktur jaringan yang meliputi RAN dan saluran transmisi menggunakan kabel fiber optik harus dilakukan oleh para operator.

DAFTAR PUSTAKA:

- 3GPP Release 15 specifications. (2016) e.g. TS 23.501, TS 38.401, from: www.3gpp.org/release-15.
- 5G PPP. (2016). 5G empowering verticals.
- A. Osseiran, et al, Scenarios for 5G mobile and wireless communications: The vision of the METIS project, IEEE Com Mag, vol. 52, no. 5.
- Afif Osseiran. (2016). 5G Mobile and Wireless Communications Technology: Cambridge University Press.
- B. Raaf et al. (2014). Key technology advancements driving mobile communications from generation to generation. Intel Technology Journal, Volume 18, Issue 1.
- Biljana Badic et al. (2016). Rolling Out 5G: Use Cases, Applications, and Technology Solutions: Intel Corp.
- Direktorat Penataan Sumber Daya. (2018). Overview Pita Frekuensi Seluler Indonesia,.
- E. N. ISG. (2013). Network Functions Virtualisation (NFV) Architectural Framework: ETSI GS NFV 002 V1.1.1.
- Ericsson. (2018). 5G deployment considerations.
- Erik Dahlmal et al. (2016). 4G ,LTE-Advance Pro and The Road to 5G: Elsevier Ltd.
- F. Al-Ogaili and R. M. Shubair. (2016). Millimeter-wave mobile communications for 5G: Challenges and opportunities, 2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI). Fajardo.
- F. Andriyanto and M. Suryanegara. (2017) The QoE assessment model for 5G mobile technology. 2017 International Conference on Broadband Communication, Wireless Sensors and Powering (BCWSP). Jakarta.
- Ferry Grijpink et al. (2018). The road to 5G: The inevitable growth of infrastructure cost: McKinsey Telecommunications.
- I. Parvez et al. (2018). A Survey on Low Latency Towards 5G: RAN. Core Network and Caching Solutions, in IEEE Communications Surveys & Tutorials. vol. 20, no. 4, pp. 3098-3130.
- IMT Vision. (2015). Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond.
- IMT-2020 (5G) Promotion Group. (2015). 5G Network Technology Architecture.
- ITU Radio Regulations. (2016). ITU.
- K. Zeb. (2018). High Capacity Mode Division Multiplexing Based MIMO Enabled All-Optical Analog Millimeter-Wave Over Fiber Fronthaul Architecture for 5G and Beyond. IEEE Access, vol. 7, pp. 89522-89533.
- Kementerian Komunikasi dan Informatika RI. (2014). Peraturan Menteri Nomor 25 Tahun 2014 Tentang Tabel Alokasi Frekuensi Radio Indonesia.
- Kominfo. (2019). Pemerintah Buka Wacana Lelang Frekuensi 5G Pada 2022, Website Resmi Kementerian Komunikasi dan Informatika RI. from

https://www.kominfo.go.id/content/detail/15420/pemerintah-buka-wacana-lelang-frekuensi-5g-pada-2022/0/sorotan_media.

- M. A. Habibi et al. (2019). A Comprehensive Survey of RAN Architectures Toward 5G Mobile Communication System. *IEEE Access*, vol. 7, pp. 70371-70421.
- M. Agiwal. (2016). Next Generation 5G Wireless Networks: A Comprehensive Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*: vol. 18, no. 3, pp. 1617-1655.
- Marco Vigilante et al. (2018). 5G and E-Band Communication Circuits in Deep-Scaled CMOS: Springer International Publishing AG.
- NGMN. (2015). 5G White Paper.
- P. T. Dat. (2018). Seamless Convergence of Fiber and Wireless Systems for 5G and Beyond Networks. *Journal of Lightwave Technology*, vol. 37, no. 2, pp. 592-605.
- Patrick Marsch et al. (2018). 5G System Design: Wiley.
- S. A. Ekawibowo et al. (2018). Analysis of 5G Band Candidates for Initial Deployment in Indonesia. 2018 4th International Conference on Wireless and Telematics (ICWT). Nusa Dua.
- S. Nandi and D. Nandi. (2017). Comparative study of rain attenuation effects for the design of 5G millimeter wave communication between tropical and temperate region. 2017 Devices for Integrated Circuit (DevIC). Kalyani.
- T. Cagenius. (2018). Simplifying the 5G ecosystem: Ericsson Technology Review.
- Ying Zhang. (2018). Network Function Virtualization: Concepts and Applicability in 5G Networks: John Wiley & Sons, Inc.