

KUNCI TEKNOLOGI 5G

Ulil Surtia Zulpratita
Prodi Teknik Informatika
Universitas Widyatama
Jl Cikutra 204A Bandung
ulil.zulpratita@widyatama.ac.id

Abstrak

Proses kelengkapan standarisasi teknologi 5G diharapkan akan selesai sebelum Oktober 2020. Resminya standarisasi ini akan menjadi hal penting untuk komersialisasi jaringan 5G. Teknologi 5G diprediksi akan membutuhkan transformasi akan kebutuhan frekuensi carrier yang sangat tinggi dengan bandwidth yang sangat lebar, densitas ekstrim untuk berbagai divais dan base station, serta sejumlah besar antena. 5G tidak akan menjadi antarmuka udara tunggal sebagaimana pada model generasi sebelumnya. 5G diprediksi akan sangat integratif: jalinan koneksi antarmuka udara dan spektrum 5G bersama-sama dengan teknologi nirkabel yang sudah ada (misalnya: LTE dan WiFi) akan memberikan layanan dengan pesat data tinggi dan cakupan luas, serta menjamin terwujudnya pengalaman pengguna tanpa hambatan. Untuk mendukung hal tersebut, di bagian core network harus berevolusi untuk mencapai tingkat belum pernah terjadi sebelumnya dalam hal fleksibilitas dan kecerdasan, regulasi spektrum perlu dikaji kembali dan direvisi, masalah energi dan efisiensi biaya juga akan menjadi pertimbangan yang penting. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, artikel ini akan mengidentifikasi dan merumuskan empat kunci penting implementasi teknologi 5G.

Kata kunci : implementasi 5G, massive MIMO, jaringan hybrid, mmWave, unified air interface

Abstract

5G standardization process is expected to be finished before October 2020. This standardization is essential for making 5G network's commercial deployment. The 5G technology is forecasted to demand a transformation in the need for very high carrier frequencies with very extensive bandwidth, extreme density for devices and base stations, as well as large numbers of antennas. 5G will not be a

distinct air interface based on Radio Access Technology as in former generation models. 5G is predicted to be immensely collaborative: the linkage of air interface and 5G spectrum together with existing wireless technologies (for example: LTE and WiFi) will provide services with universal high-rates coverage and ensure seamless user experience. To support this, the core network must also evolve to achieve an extraordinary level of adjustability and intelligence, spectral standardization needs to be reviewed and revised, energy issues and cost efficiency will also be an important attention. Based on studies that had been done, this article will discuss and identify the four significant keys to the implementation of 5G technology.

Keywords : 5G implementation, massive MIMO, hybrid networking, mmWave, unified air interface

I. PENDAHULUAN

Teknologi 5G adalah generasi baru dari sistem radio dan arsitektur jaringan yang akan menghadirkan konektivitas broadband, *ultra-robust, low latency* yang ekstrim, dan jaringan masif untuk manusia dan *Internet of Things* (Nokia, 2016; 5G PPP, 2016; Arjmandi, 2016; Sexton, 2017). Lain halnya dengan sistem nirkabel *single-purpose*, 5G dipersiapkan untuk menyediakan segudang layanan untuk berbagai perangkat jaringan heterogen yang terus bertambah (atau disebut mesin) yang mampu berkomunikasi satu sama lain. Dengan kata lain, *Internet of Things (IoT)* dan komunikasi *Machine to Machine (M2M)* berskala besar akan memanfaatkan sistem nirkabel 5G. Hal ini tentunya akan menempatkan beragam persyaratan pada jaringan dalam hal konsumsi energi, biaya perangkat, latensi, kehandalan, dan sebagainya.

Big data adalah area lain yang dapat menciptakan tantangan sekaligus peluang sistem nirkabel 5G. Aplikasi IoT dan M2M yang disebutkan di atas akan menghasilkan sejumlah besar volume data, sehingga menimbulkan tantangan teknis utama pada jaringan akses radio. *Software Defined Networking (SDN)* dan *Network Function Virtualization (NFV)* muncul dari kebutuhan menjalankan aplikasi *big data*, keduanya memiliki sinergi yang erat dengan komputasi awan (*cloud computing*) (Nokia, 2016; 5G PPP, 2016). Teknologi ini pada titik tertentu akan bergabung membentuk platform 5G yang sangat kuat untuk layanan *big data*.

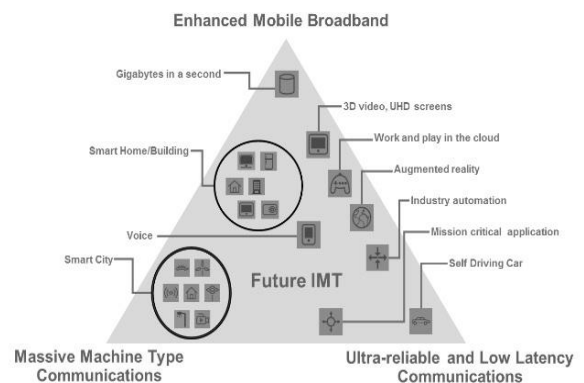
5G akan jauh lebih dari sekedar teknologi radio baru. 5G akan menggabungkan *Radio Access Technology (RAT)* yang ada, baik di *band* berlisensi maupun yang tidak berlisensi, dan akan menambahkan RAT baru yang sudah dioptimasi untuk spesifikasi *band, deployment*, skenario, dan *use case* tertentu. 5G juga secara radikal akan menerapkan arsitektur jaringan baru berdasarkan teknologi SDN dan NFV. Kemampuan program akan menjadi hal krusial yang dibutuhkan operator telekomunikasi untuk mencapai hiper-fleksibilitas guna mendukung tuntutan baru komunikasi dari beragam pengguna, mesin, perusahaan dari berbagai industri, dan organisasi lainnya. Jaringan 5G harus bersifat *programmable, software driven* dan dapat dikelola secara holistik untuk memungkinkan beragam layanan dan jangkauan yang beragam (Ohlen, 2015; Qualcomm, 2016). Berdasarkan tinjauan pustaka yang sudah dilakukan, tulisan dalam artikel ini akan merangkum empat hal penting yang diperlukan agar teknologi 5G bisa memenuhi beragam tuntutan layanan tersebut.

II. SPESIFIKASI LAYANAN TEKNOLOGI 5G (IMT-2020)

Istilah IMT-2020 diciptakan pada tahun 2012 oleh *International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R)* yang berarti *International Mobile Telecommunication (IMT)* dengan target yang ditetapkan pada tahun 2020. IMT-2020 inilah yang merupakan istilah resmi untuk teknologi 5G.

5G didesain untuk melayani tiga karakteristik ekstrim layanan seluler, yaitu *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, *ultra-Reliable and Low Latency*

Communications (uRLLC), dan *massive Machine Type Communications (mMTC)* [7]. eMBB bertujuan untuk memenuhi permintaan individu *end-user* akan gaya hidup digital yang semakin meningkat, dan berfokus pada layanan yang memiliki persyaratan bandwidth tinggi, seperti video *High Definition (HD)*, *Virtual Reality (VR)*, dan *Augmented Reality (AR)*. uRLLC bertujuan untuk memenuhi ekspektasi dan tuntutan industri digital serta berfokus pada layanan sensitif latensi. mMTC bertujuan untuk memenuhi tuntutan lingkungan digital yang dikembangkan lebih lanjut dan berfokus pada layanan yang mencakup persyaratan kepadatan koneksi yang tinggi, misalnya pada penerapan sistem kota cerdas (*smart city*) dan pertanian cerdas (*smart agriculture*). Tiga karakteristik utama layanan teknologi 5G ditunjukkan pada Gambar 1 dan Tabel 1.



Gambar 1. Spesifikasi kategori layanan 5G (Dong, 2016)

Tabel 1. Tiga Karakteristik Layanan Teknologi 5G

Layanan Seluler 5G	Karakteristik Layanan
eMBB	<ul style="list-style-type: none"> Puncak pesat data hingga 20 Gbps Pesat data untuk user 100-1,000 Mbps Efisiensi spektrum 5x lipat
uRLLC	<ul style="list-style-type: none"> Latency yang sangat rendah (1 ms) Koneksi yang <i>ultra-reliable</i> untuk mobilitas kecepatan tinggi (<=500 km/j)
mMTC	<ul style="list-style-type: none"> Koneksi masif (1,000,000/km²) Efisiensi energi jaringan 100x lipat

III. KUNCI TEKNOLOGI 5G

5G bertujuan untuk menyediakan akses informasi yang tak terbatas dan kemampuan untuk berbagi data dimanapun, kapanpun oleh siapapun dan apapun. Untuk memastikan bahwa jaringan akan dapat mengatasi lanskap layanan masa depan yang beragam, berbagai forum seperti NGMN (*Next Generation Mobile Networks*), ITU-R (*International Telecommunication Union- Radiocommunication Sector*), dan 5G PPP (*5G Infrastructure Public Private Partnership*) bekerja untuk mendefinisikan target kinerja sistem 5G (5G PPP, 2015).

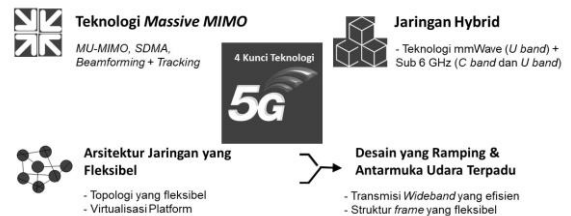
Tabel 2. Tantangan dan Tuntutan Layanan Teknologi 5G

Tantangan Teknologi 5G	Tuntutan yang Harus Dipenuhi
IoT dan jumlah koneksi - IoT diprediksi akan membuat peningkatan yang masif baik dalam hal jumlah perangkat maupun jumlah koneksi jaringan nirkabel. Hal ini akan menyebabkan munculnya kebutuhan baru akan total volume data dan pengelolaan jumlah koneksi fisik.	Mekanisme <i>scheduling</i> dan <i>access control</i> yang baru, serta pengurangan pensinyalan <i>control plane</i> untuk pengguna IoT.
Volume data – Pertumbuhan volume data di jaringan seluler adalah 25-50% per tahun, dan akan terus bertambah hingga 2030. Hal ini bukan hanya karena aplikasi yang membutuhkan kecepatan data yang lebih tinggi tetapi juga karena peningkatan resolusi layar dan perkembangan dalam video 3D.	Peningkatan kapasitas data pada jaringan <i>end-to-end</i> , tidak hanya pada jaringan antarmuka udara tetapi juga pada keseluruhan jaringan <i>access/core</i> . Kemacetan data juga harus dapat diatasi
Peningkatan kapasitas jaringan tanpa meningkatkan biaya operasi secara signifikan.	Penggunaan spektrum/sites/infrastruktur yang sudah ada secara lebih efisien, sehingga kapasitas jaringan meningkat tanpa adanya tambahan biaya yang signifikan serta tidak menambah kompleksitas arsitektur jaringan.
Penyebaran yang cepat dan fleksibel.	Arsitektur jaringan yang fleksibel

Level kinerja maksimum jaringan tidak akan tercapai secara bersamaan untuk setiap aplikasi atau

layanan. Sebagai gantinya, sistem 5G akan dibangun untuk memenuhi berbagai target kinerja, sehingga berbagai layanan dengan berbagai tuntutan yang berbeda dapat dibangun pada infrastruktur tunggal. Untuk membangun jaringan yang mampu menyediakan jenis konektivitas yang berbeda-beda tentunya memerlukan fleksibilitas dalam arsitektur system. Tabel 2 berisi tentang rumusan tantangan dan tuntutan layanan teknologi 5G yang harus dipenuhi.

Untuk memenuhi tantangan dan tuntutan layanan teknologi 5G pada Tabel 2, secara garis besar, kunci penting teknologi 5G terdiri atas empat hal, yaitu: *Massive MIMO*, *Hybrid Networking*, *Lean Design* dan *Unified Air Interface*, serta *Versatile Network Architecture*.

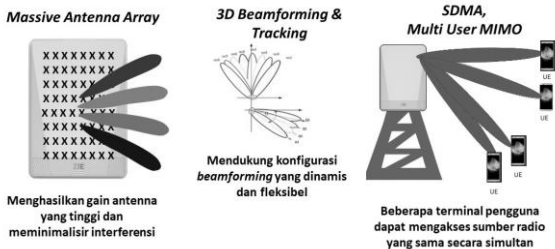


Gambar 2. Empat kunci penting teknologi 5G

III.1 Teknologi Massive MIMO

MIMO, *Multiple-Input Multiple Output*, adalah teknologi yang mengandalkan beberapa antena untuk mentransmisikan beberapa aliran data secara simultan dalam sistem komunikasi nirkabel. *Massive MIMO*, dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi spektral melalui transmisi *multi-stream*, atau membentuk *narrow beam* untuk meningkatkan jarak transmisi.

Normalnya, *band* sub-6 GHz memiliki bandwidth yang lebih kecil, namun transmisi *multi-stream Massive MIMO* dapat mencapai puncak pesat data hingga beberapa Gbps. Ukuran antena berbanding terbalik dengan frekuensi, sehingga ukuran fisik antena akan menentukan batas jumlah elemen antenna yang bisa digunakan. Keuntungan penggunaan teknologi Massive MIMO ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Keuntungan penggunaan Massive MIMO

Band yang lebih tinggi memiliki bandwidth yang relatif besar, namun juga *path loss* yang lebih besar. *Massive MIMO* adalah cara efektif untuk mengkompensasi *path loss* pada band 3-40 GHz dengan menggunakan *high beamforming gain* untuk meningkatkan puncak pesat data (*peak data rate*) dengan cara transmisi *multi stream*. Untuk band frekuensi yang sangat tinggi (misalnya mmW, 30-100 GHz), antenna memusatkan energi yang ditransmisikan ke arah penerima untuk mengatasi *path loss* yang meningkat akibat propagasi radio (Nokia, 2016; 5G PPP, 2016). Banyak aliran MIMO paralel yang tidak diperlukan karena *bandwidth* yang besar tersedia di band frekuensi ini.

Teknologi *Massive MIMO* memungkinkan untuk digunakan berkomunikasi dengan beberapa terminal, atau yang disebut dengan teknologi *Multi User MIMO (MU-MIMO)*. Penggunaan MU-MIMO dalam sistem seluler membawa peningkatan pada empat hal (Larsson, 2014):

- Peningkatan pesat data, karena semakin banyak antenna, semakin banyak aliran data independen yang dapat dikirim keluar dan semakin banyak terminal yang dapat dilayani bersamaan;
- Peningkatan kehandalan (*reliability*), karena semakin banyak antenna, semakin jelas jalur yang dapat disebarkan oleh sinyal radio;
- Peningkatan efisiensi energi, karena *base station* dapat memfokuskan energi yang dipancarkan ke arah spasial dimana terminal berada;
- Pengurangan interferensi karena *base station* dapat dengan sengaja menghindari transmisi ke arah penyebaran gangguan berada.

Semua peningkatan tersebut tidak dapat dicapai secara bersamaan, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi pada kondisi propagasi, namun

keempat poin di atas adalah keuntungan umum dari penggunaan MU-MIMO.

Tantangan lain yang harus dihadapi operator telekomunikasi dalam menyiapkan teknologi 5G adalah masalah jangkauan jaringan (*network coverage*). Sumber daya spektrum adalah sumber daya yang paling berharga dalam komunikasi nirkabel. Karena peningkatan lalu lintas stratosfer, pemanfaatan spektrum mengalami kemacetan teknis dengan teknologi nirkabel saat ini. Meningkatkan efisiensi spektrum menjadi masalah yang harus segera diselesaikan. Spektrum frekuensi lebih tinggi yang ditetapkan untuk jaringan 5G menyebabkan resiko *path loss* sinyal spektral yang lebih besar, sehingga secara teoritis akan menjadi tantangan besar bagi 5G untuk bisa memberikan cakupan sinyal (*signal coverage*) berkualitas tinggi. Di antara teknologi inti 5G yang ada, kunci untuk meningkatkan efisiensi spektrum dengan antarmuka udara adalah teknik SDMA (*Space Division Multiple Access*) (Larsson, 2014). SDMA dapat meningkatkan kapasitas sistem beberapa kali lipat tanpa frekuensi tambahan, serta sumber daya ruang dan waktu. Selain SDMA, teknik *beam forming* dan *terminal dual-transmission channel precoding* merupakan solusi penting bagi operator untuk mencapai cakupan jaringan (*network coverage*) yang setara atau lebih baik daripada 4G karena *link gain* yang dihasilkan.

III.2 Jaringan Hybrid (*Hybrid Networking*)

Teknologi *millimeter wave (mmWave)* dianggap sebagai kunci penting jaringan 5G untuk mencapai pesat data yang lebih tinggi dan daya transmisi rendah dengan memberi *user* beban SNR (*signal-to-noise ratio*) yang rendah. Jaringan mmWave yang beroperasi pada band frekuensi E dan W memiliki $bandwidth \geq 1$ GHz untuk menghasilkan pesat data yang lebih tinggi, sedangkan karakteristik propagasinya sangat berbeda dari jaringan *Ultra High Frequency (UHF)* konvensional yang beroperasi pada band frekuensi sub 6 GHz.

Implementasi mmWave pada *base station* berpotensi besar untuk meningkatkan penggunaan kembali *radio resources* secara spasial dan juga untuk meningkatkan efisiensi energi dan spektral jaringan. Meluasnya penggunaan ponsel pintar menghasilkan peningkatan trafik data yang signifikan sebagaimana dijelaskan di (Cisco, 2017). Lonjakan trafik dan kongesti yang terjadi dalam spektrum yang tersedia mendorong munculnya kebutuhan untuk beralih ke

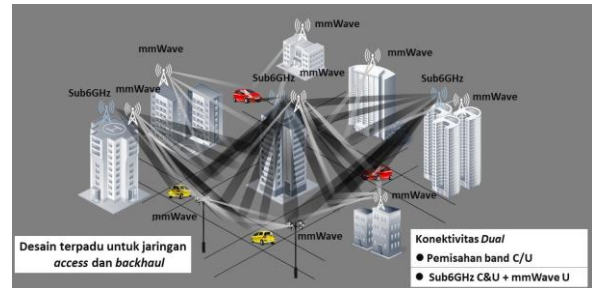
band frekuensi yang tidak terpakai. Penggunaan *band* mmWave mulai dari 10 GHz sampai 300 GHz, merupakan solusi menarik untuk mengatasi masalah kongesti spektrum. Pada (Rappaport, 2014), ditunjukkan bahwa jaringan seluler mmWave bersifat *noise limited*, sedangkan jaringan seluler UHF konvensional bersifat *interference limited*.

Meskipun mmWave disepakati akan menentukan jaringan 5G, masih terdapat masalah yang harus dipecahkan berkaitan dengan tantangan mmWave. Berikut beberapa kelemahan mmWave (Heath, 2016; Rebato, 2017):

- Penyerapan atmosfer. Sinyal mmWave diserap oleh atmosfer, sehingga akan membatasi jangkauan transmisi. Hujan, kabut dan kelembaban di udara membuat redaman sinyal sangat tinggi. Penyerapan oksigen pada 60 GHz juga sangat tinggi.
- Resonansi mekanis. Frekuensi resonansi mekanis dari molekul gas juga akan mengganggu sinyal gelombang milimeter. Untuk teknologi saat ini, puncak penyerapan terjadi pada 24 GHz dan 60 GHz.
- Scattering*. Perambatan mmWave juga akan dipengaruhi oleh hujan karena tetesan air hujan berukuran kira-kira sama dengan panjang gelombang radio sehingga akan menyebabkan hamburan sinyal.
- Non-Line of Sight (NLOS)*. Bila tidak ada jalur LoS antara pemancar dan penerima, sinyal transmisi masih memiliki cara alternatif untuk menjangkau penerima, baik melalui difraksi, refleksi atau pembengkokan (*bending*). Difraksi dalam mmWave jarang terjadi karena panjang gelombang yang pendek.
- Suhu kecerahan (*brightness temperature*) Ketika mmWave diserap oleh uap air, oksigen dan hujan, molekul ini akan menyerap radiasi elektromagnetik frekuensi tinggi. Emisi energi ini, bila diterima oleh antena penerima, disebut suhu kecerahan (*brightness temperature*) dan menurunkan kinerja sistem.

Pada dasarnya *band* mmWave menghadirkan tiga fitur unik yang tidak terdapat pada *band* frekuensi yang lebih rendah. Pertama, karena bandwidth dan derajat kebebasan spasial yang besar, *band* mmWave bisa memiliki utilisasi yang sangat rendah jika keseluruhan *bandwidth* besar hanya dialokasikan secara eksklusif ke operator tunggal (Cuba, 2014; Rebato, 2016). Kedua, komunikasi mmWave

biasanya ditandai dengan transmisi dengan *beam* yang sangat sempit. Ketiga, sinyal mmWave memiliki kekurangan dalam hal propagasi, seperti jangkauan yang relatif pendek dan sulitnya menyediakan koneksi handal, sehingga menimbulkan tantangan dalam hal menyediakan pengalaman pengguna yang konsisten.



Gambar 4. Desain jaringan backhaul dan access pada 5G

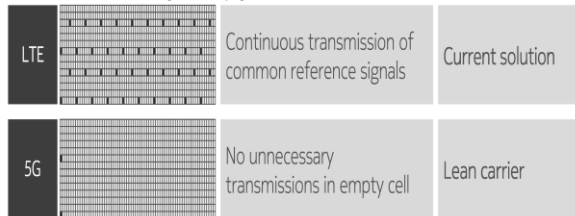
Kesulitan yang terkait dengan mmWave membuat regulator dan operator seluler akan terus bergantung pada spektrum sub-6 GHz. Terlebih lagi karena dibutuhkan waktu untuk mengembangkan teknologi mmWave dan untuk menyelaraskannya dengan ketersediaan *band* spektrum baru. Dalam konteks distribusi heterogen (Ishii, 2012; Andrews, 2013; Ghosh, 2014; Elshaer, 2016), sebagian koneksi dilakukan dengan sebuah *anchor* di atas *carrier* sub-6 GHz dan sebagian lainnya dengan *carrier* mmWave. Ilustrasi desain jaringan *backhaul* dan *access* untuk 5G dengan menggabungkan mmWave yang menggunakan *U band* serta sub-6 GHz yang menggunakan *C band* dan *U band*, ditunjukkan pada Gambar 4.

III.3 *Lean Design dan Unified Air Interface*

Standar teknologi 5G NR (*New Radio*) akan menggunakan desain *ultra-ramping (ultra-lean design)* dengan tujuan untuk memperbaiki skema pensinyalan, baik dalam hal penghematan energi dan untuk memungkinkan pembangunan padat yang dibutuhkan oleh spektrum baru 5G. Awalnya konsep *lean design* diperkenalkan ke teknologi 4G LTE (*Long Term Evolution*) untuk meningkatkan kecepatan data dan cakupan aplikasi bagi pengguna, sebagai transisi menuju teknologi 5G.

Prinsip dasar *ultra-lean design* pada 5G adalah menghilangkan jumlah transmisi data kontrol wideband yang tidak diperlukan (Huawei, 2016). *Lean Carrier* bekerja dengan mengurangi interferensi

yang disebabkan oleh sinyal referensi di seluruh jaringan LTE. Hal ini menyebabkan peningkatan kualitas layanan dan kecepatan di sisi *user*. Dengan mengurangi interferensi, *Lean Carrier* memungkinkan modulasi orde baru 256 QAM yang lebih tinggi untuk digunakan di area yang lebih luas, sehingga menghasilkan kecepatan data lebih tinggi untuk lingkungan makro luar ruangan (*outdoor macro environment*).

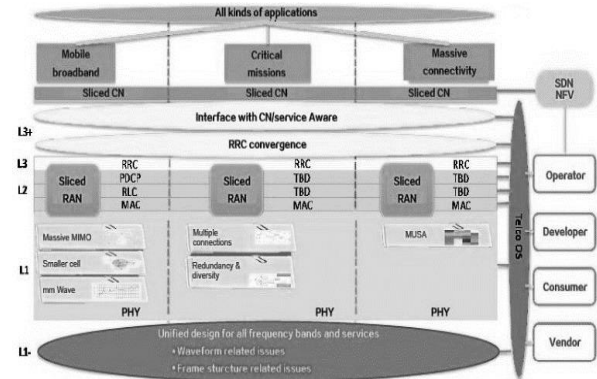


Gambar 5. Aktivitas transmisi sel kosong pada LTE dan 5G (Pederson, 2015)

Penggunaan *Lean Carrier* pada 5G selain menurunkan interferensi antar sel, juga akan mengurangi jumlah konsumsi daya pada BTS (*Base Transceiver Station*), serta pada perangkat IoT dan UE (*User Equipment*). Gambar 5 menunjukkan perbandingan aktivitas transmisi pada sel kosong antara teknologi LTE dan 5G, sedangkan Gambar 6 menunjukkan struktur *unified air interface* pada 5G.

Unified air interface pada 5G didesain tidak hanya untuk meningkatkan kinerja dan efisiensi untuk *mobile broadband* saja, namun juga untuk menghubungkan teknologi IoT skala besar serta memungkinkan jenis layanan baru seperti *mission critical control* yang memerlukan latensi ultra rendah dan level baru di sisi kehandalan (*reliability*) dan keamanan (*security*). Desain baru ini akan menyatukan beragam jenis spektrum dan *band*, skala dari penyebaran makro ke hotspot local, serta secara efisien memultipleks layanan 5G dengan berbagai variasi persyaratan yang ekstrem.

Lapisan L1 dalam susunan protocol *unified air interface* pada 5G merupakan lapisan fisik abstrak (*abstract physical layer*). Lapisan ini dirancang untuk mengekstrak titik-titik yang setipe (*common points*) dari berbagai layanan pada lapisan fisik. *Common points* belum tentu persis sama, namun bisa dikonfigurasi sama. Oleh karena itu, lapisan L1 transparan ke berbagai layanan dan band frekuensi.



Gambar 6. Struktur *unified air interface* pada 5G (Guanghai, 2016)

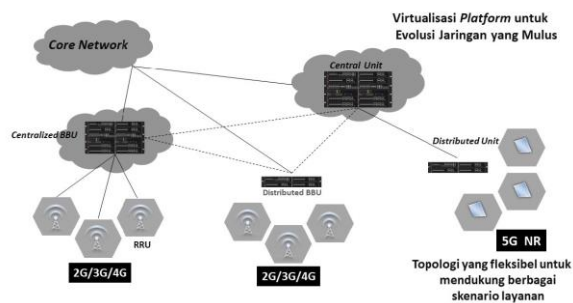
Dalam sistem 5G, jenis layanan yang berbeda dilakukan pada *band* frekuensi yang berbeda, sehingga parameter struktur frame harus berbeda. Bukan hal yang baik jika setiap pita frekuensi memiliki parameter *frame* yang independen. Metode yang efisien dan fleksibel melibatkan *scalability*. Dengan mengambil parameter struktur frame di LTE sebagai titik awal, didefinisikan faktor *scalable S*. Semua parameter lainnya, seperti frekuensi sampling, interval sub-carrier, panjang simbol dan panjang CP (*cyclic prefix*), dikendalikan oleh parameter *S* ini. Selama parameter *S* dikonfigurasi dengan benar, layanan dan pita frekuensi yang berbeda dapat didukung oleh struktur *frame*.

Slice design pada L1, L2 dan L3, layanan yang berbeda memiliki tuntutan yang berbeda, sehingga lapisan ini perlu dirancang sesuai kebutuhan (Guanghai, 2016). Untuk layanan eMBB, L1 berfokus pada *massive MIMO*, SVC (*Scalable Video Coding*), dan pelacakan *high frequency beam*. Selain itu, layanan MBB memiliki sub-layanan yang melimpah, sehingga memerlukan keseluruhan struktur stack L1 / L2 / L3. Dibandingkan dengan eMBB, mMTC memiliki data layanan yang lebih sedikit, sehingga *protocol stack L2 / L3*-nya tidak sama persis dengan eMBB. Rekonstruksi dan konsolidasi diperlukan untuk mengurangi *overhead* dari tumpukan protokol. *Latency* rendah juga diperlukan agar *protocol stack* bisa disederhanakan sebanyak mungkin. L1, L2 dan L3 memiliki karakteristik yang berbeda. Misalnya, multi-koneksi didefinisikan pada L3; kode koreksi kesalahan (*error correction codes*) didefinisikan pada L2; dan *frequency, time and space diversity* digunakan pada L1.

Lapisan L3+ merupakan lapisan persepsi layanan (*service-perception layer*). Lapisan ini dirancang untuk membawa *bearer* dari jaringan inti (*core network*) ke jaringan akses (*access network*) dan membedakan berbagai layanan di jaringan akses. Dengan cara ini, setiap layanan dibawa dengan *slice* yang berbeda dan dikonfigurasi dengan parameter transmisi yang sesuai pada L1.

III.4 Arsitektur Jaringan yang Fleksibel (*Versatile Network Architecture*)

Adanya berbagai tuntutan persyaratan yang harus dipenuhi membuat 5G memerlukan pergeseran dari jaringan generasi sebelumnya yang kaku (*rigid*), menuju jaringan yang lebih fleksibel (*versatile*) dan mudah beradaptasi (*adaptable*). Jaringan *versatile* 5G adalah solusi jaringan lengkap di mana di setiap lapisan jaringan yang berbeda, mulai dari teknologi akses radio hingga ke teknik *system-level*, dapat beradaptasi dengan cara yang harmonis untuk menyesuaikan kebutuhan layanan tertentu (Dalle, 2017).



Gambar 7. Arsitektur jaringan 5G yang fleksibel untuk memenuhi semua persyaratan berbagai layanan teknologi

Sejumlah teknologi akses radio terkini yang dipertimbangkan untuk 5G, seperti *in-band full duplex* (IBFD), *new waveforms*, mmWave, dan *Massive MIMO* menunjukkan heterogenitas yang jelas dalam hal kemampuan dan kelebihan. MmWave, misalnya, menghadirkan tantangan baru karena memiliki sensitivitas ekstrim terhadap penyumbatan (*blockage*), namun menawarkan pesat data yang luar biasa bila diterapkan di lingkungan yang tepat. Contoh lainnya, penerapan metode IBFD justru memunculkan jenis interferensi yang baru ke dalam jaringan, namun metode ini berpotensi menggandakan efisiensi spektral tergantung pada profil gangguan sel

(Ohlen, 2015). Jadi, teknologi baru itu tidak selalu menawarkan kinerja yang lebih baik dalam setiap situasi, namun lebih bisa memberikan banyak pilihan dan fleksibilitas. Arsitektur jaringan 5G yang fleksibel untuk berbagai jenis layanan ditunjukkan oleh Gambar 7.

IV. KESIMPULAN

Skenario layanan 5G dapat dibagi menjadi tiga kelompok, yaitu: *enhanced Mobile Broadband (eMBB)*, *ultra-Reliable and Low Latency Communications (uRLLC)*, dan *massive Machine Type Communications (mMTC)*. eMBB menyediakan kapasitas tinggi dan kecepatan tinggi, namun relatif tidak sensitif terhadap jumlah koneksi dan kehandalan. uRLLC terutama dirancang untuk mengurangi *latency* dan meningkatkan keandalan transmisi data, namun tidak dirancang untuk mengakomodasi sejumlah node atau memberikan pesat transmisi data yang tinggi. mMTC menyediakan akses hemat energi dengan biaya rendah untuk sejumlah node, namun kecepatan transfer data tidak tinggi. Dibandingkan dengan generasi WAN sebelumnya, jaringan akses 5G harus fleksibel dan terbuka. Ini harus disesuaikan dengan tuntutan individu dan menyediakan antarmuka standar eksternal yang memungkinkan pengguna menyelesaikan tugas spesifik melalui platform akses jaringan 5G. Oleh karena itu, prioritasnya adalah merancang antarmuka udara terpadu (*unified air interface*) sehingga jaringan akses 5G dapat secara efisien mendukung berbagai jenis layanan yang berbeda. Dengan demikian, empat hal yang menjadi kunci penting implementasi teknologi 5G adalah: teknologi *massive MIMO*, jaringan hybrid, desain yang ramping dan antarmuka udara terpadu, serta arsitektur jaringan yang fleksibel.

REFERENSI

- Nokia Networks. (2016) *5G Masterplan-Five Keys to Create the New Communications Era*, White Paper. [Online]. Tersedia di: http://5g.itrc.ac.ir/sites/default/files/5g_masterplan_whte_paper.pdf
- 5G PPP (2016), *View on 5G Architecture*, 5G PPP Architecture Working Group. [Online]. Tersedia di: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2014/02/5G-PPP-5G-Architecture-WP-July-2016.pdf>
- Arjmandi, M. K. (2016). *5G Overview: Key Technologies*. [Online]. Tersedia di:

- <http://www.ittoday.info/Excerpts/5G-Overview-Key-Technologies.pdf>
- Sexton, C., et.al. (2017). *5G: Adaptable Networks Enabled by Versatile Radio Access Technologies*. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 19 (2), pp 688-720. [Online]. Tersedia di: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7815331/>
- Ohlen, P., et. al. (2015). *Flexibility in 5G Transport Networks*. *Ericsson Technology Review*. Vol 92. [Online]. Tersedia di: <https://www.ericsson.com/assets/local/publications/ericsson-technology-review/docs/2015/etr-5g-transport-networks.pdf>
- Qualcomm Technologies. (2016). *Making 5G NR a Reality*, Qualcomm. [Online]. Tersedia di: [whitepaper-making-5g-nr-a-reality.pdf](http://www.qualcomm.com/whitepaper-making-5g-nr-a-reality.pdf)
- Dong, Z. (2016). "Up in the Air with 5G", *Communicate Issue 80*. Huawei. [Online]. Tersedia di: <http://www.file.huawei.com/~media/CORPORATE/PDF/publications/communicate/80/15-up-in-the-air-with-5g.pdf>
- 5G PPP. (2015). *5G Vision: The Next Generation of Communication Networks and Services*. [Online]. Tersedia di: <https://5g-ppp.eu/wp-content/uploads/2015/02/5G-Vision-Brochure-v1.pdf>
- Larsson, E.G., et. al. (2014). *Massive MIMO for Next Generation Wireless System*. [Online]. Tersedia di: <https://arxiv.org/pdf/1304.6690.pdf>
- Cisco. (2017). *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2016-2021*. Whitepaper. [Online]. Tersedia di: <http://goo.gl/xxLT>
- Rappaport, T. S., et.al., (2014). *Millimeter wave cellular wireless networks: Potentials and challenges*. *Proc. IEEE*, vol. 102, no. 3, pp. 366–385.
- Heath, R.W. (2016). *Millimeter Wave for 5G. Finding a New Spectrum Mother Load*. The University of Texas, Austin. [Online]. Tersedia di: <http://users.ece.utexas.edu/~rheath/presentations/2016/MillimeterWave5GFindingNewSpectrumMotherLoad.pdf>
- Rebato, M., et.al. (2017). *Hybrid Spectrum Sharing in mmWave Cellular Networks*. *IEEE Transactions on Cognitive Communications and Networking*. 3 (2), pp 155-168. [Online]. Tersedia di: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=7937896>
- Cuba, F. G., et. al., (2014). *Scaling Laws For Infrastructure Single and Multihop Wireless Networks In Wideband Regimes*. in *Proc. IEEE Int. Symp. Inf. Theory (ISIT)*, Honolulu, HI, USA, pp. 76–80.
- Rebato, M., et. al. (2016) *Understanding Noise and Interference Regimes in 5G Millimeter-Wave Cellular Networks*. in *Proc. 22th Eur. Wireless Conf.*, pp. 1–5.
- Ishii, H., et.al., (2012) *A Novel Architecture for LTE-B: C-Plane/U-Plane Split and Phantom Cell Concept*. in *Proc. IEEE Globecom Workshops*, Anaheim, CA, USA, pp. 624–630.
- Andrews, J. G. (2013) *Seven Ways That Hetnets are a Cellular Paradigm Shift*. *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 3, pp. 136–144.
- Ghosh, A., et al. (2014) *Millimeter-Wave Enhanced Local Area Systems: A Highdata-Rate Approach for Future Wireless Networks*. *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 32, no. 6, pp. 1152–1163.
- Elshaer, H., et. al. (2016) *Downlink and Uplink Cell Association With Traditional Macrocells and Millimeter Wave Small Cells*. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 15, no. 9, pp. 6244–6258
- Huawei. (2016). *5G Network Architecture; a High Level Perspective*. White Paper. Huawei. [Online]. Tersedia di: http://www.huawei.com/minisite/5g/img/5G_Network_Architecture_A_High-Level_Perspective_en.pdf
- Pederson, K. I. (2015). *Air Interface Evolution Towards 5G*. *Nokia Networks*. IEEE VTC 2015, Boston, US. [Online]. Tersedia di: <http://www.ieeevtc.org/conf-admin/vtc2015fall/14.pdf>
- Guanghui, Y. (2016). *Unified Air Interfaces in 5G*. ZTE, China. [Online]. Tersedia di: http://wwen.zte.com.cn/endata/magazine/zte technologies/2016/no1/articles/201601/t20160115_447458.html
- Dalle, G., et.al. (2017). *5G-Convergence*. ITU-T Workshops and Seminars. [Online]. Tersedia di: <https://www.itu.int/en/ITU-T/Workshops-and-Seminars/201707/Documents/Manuel-Paul-5G-Convergence.pdf>