

KEY TECHNOLOGY 5G mmWave, Small Cell and Massive MIMO

Uke Kurniawan Usman¹, M. Abid Irwan²

Fakultas Teknik Elektro - Universitas Telkom

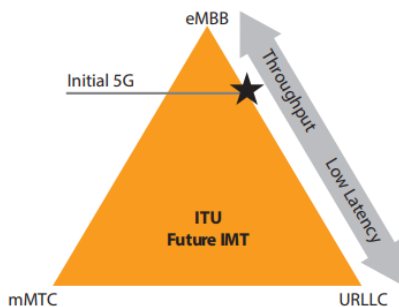
¹ukeusman@telkomuniversity.ac.id, ²abidmuh97@gmail.com

Abstrak—Teknologi komunikasi seluler telah berkembang selama bertahun-tahun dengan setiap generasinya menawarkan layanan yang baru. Dikarenakan teknologi dan pasar *smartphone* berkembang sangat cepat dalam beberapa tahun terakhir ini. Diharapkan pertumbuhan yang cepat ini berbanding lurus dengan perkembangan teknologi jaringan seluler itu sendiri. Evolusi jaringan harus terus berlanjut dengan tingkat kecepatan yang dibutuhkan semakin tinggi. Teknologi dengan generasi setelah 4G yaitu 5G diharapkan dapat memberikan peningkatan terhadap *mobile broadband connectivity*, *massive machine communication* dan *low latency communication* untuk meningkatkan pengalaman pengguna. Berdasarkan peningkatan terhadap kebutuhan pada 5G, maka dibutuhkan teknologi mmWave, small cell dan antenna massive MIMO yang akan meningkatkan kecepatan transfer data pada teknologi 5G.

Kata Kunci—mmWave, Small Cell, Massive MIMO dan 5G Teknologi.

1. Pendahuluan

Sejak awal 5G RAN (*Radio Access Network*) pada September 2015, proses standarisasi selama dua tahun terakhir. Beberapa bulan ini ada beberapa percobaan terkait penggunaan secara aplikatif dari teknologi 5G RAN. Percobaan pada acara XXIII Winter Olympics di Pyeoungchang, Korea Selatan, Februari 2018. Percobaan ini membuktikan percepatan perkembangan terhadap teknologi 5G. pada teknologi 5G fokus terhadap tiga parameter, yaitu: eMBB (*enhanced mobile broadband*), URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communications*) dan mMTC (*massive Machine Type Communication*). Tiga parameter diatas menjadi fokus awal pengembangan teknologi 5G.



Gambar. 1 Use Cases 5G

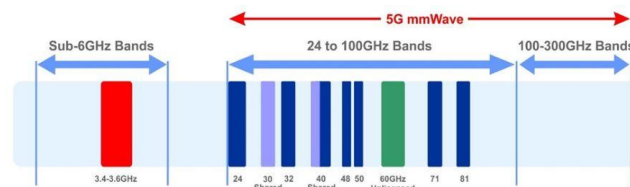
2. mmWave

A. Latar Belakang mmWave

Penelitian 5G mmWave diharapkan dapat mencapai kebutuhan yang diminta oleh IMT 2020 yang akan digunakan oleh sistem seluler 5G pada tahun 2020. Visi dari 5G mmWave adalah agar mencapai pengguna device dalam lingkungan dari Internet of Things (IoT) dan Big-Data. 5G mmWave akan menyediakan Big-data berdasarkan platform untuk jutaan user yang terkoneksi secara otomatis. Komunikasi system mmWave menawarkan latensi yang bervariasi dan aplikasi dengan kebutuhan yang memiliki kecepatan tinggi. Adapaun layanan yang akan ada pada 5G yaitu *Internet of Things* (*Smart Home, Health Care, Smart Store dan connected car*), *Everything on Cloud* dan *Intuitive Remote Access*.

B. Band Frekuensi

Penggunaan band frekuensi yang tinggi dalam 5G akan menyediakan kapasitas pengguna yang lebih besar dengan area cakupan sel semakin sempit. Range band frekuensi mmWave yang akan digunakan untuk teknologi 5G mulai dari 30GHz hingga 300GHz dan kemungkinan bisa lebih tinggi lagi. Frekuensi yang lebih tinggi dengan panjang gelombang yang lebih pendek memiliki ukuran antena yang lebih kecil dengan antena array yang digunakan akan lebih banyak.



Gambar. 2 Spektrum frekuensi

mmWave tergolong ke dalam *extremely high frequency* (EHF) atau *very high frequency* (VHF). Penggunaan mmWave digunakan untuk pengaplikasian teknologi dengan data rate yang tinggi dimana bisa mencapai hingga 10Gbps. Standard 5G berdasarkan IMT 2020 dengan multi-gigabit dan low latensi. Untuk memenuhi ekspektasi pada teknologi 5G ini maka teknologi mmWave diharapkan dapat memberikan *peak data rate downlink* hingga 20Gbps dan *uplink* hingga 10Gbps dimana latensi sebesar 1ms untuk URLLC (*Ultra Reliable Low Latency Communication*)

mmWave memiliki panjang gelombang dengan rentang 1 milimeter hingga 10 milimeter. mmWave digunakan untuk High-bandwidth komunikasi *point-to-point* dengan range 71GHz-76GHz, 81GHz-86GHz dan 92GHz-95GHz memerlukan lisensi dari FCC (*Federal Communications Commission*). Adapun *unlicensed* band yang digunakan berada pada gelombang 60GHz dimana digunakan pada standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) WiFi 802.11ad [2].

ITU (*International Telecommunication Union*) merilis daftar frekuensi global yang diusulkan dan layak antara 24GHz dan 86GHz berdasarkan hasil WRC (*World Radio Communication Conference*) [3]. Alasan dari penggunaan mmWave adalah diketahui bahwa dengan menggunakan mmWave dapat dialokasikan bandwidth frekuensi yang besar. Alokasi bandwidth yang besar ini akan mempengaruhi terhadap data rate pada saat melakukan transmisi data.

C. Kelebihan mmWave

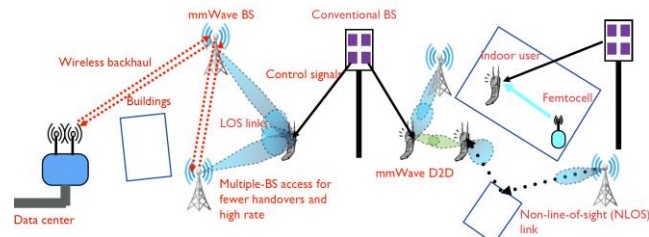
- Adapun kelebihan dari mmWave sebagai berikut:
- Ukuran dari antena yang digunakan semakin kecil.
- Bandwidth yang lebih tinggi.
- Kondisi yang menguntungkan untuk pengembangan Small cell.
- mmWave di 5G memiliki dukungan jaringan *backhaul* multi-gigabit dengan jarak sekitar 400 meter dan jarak akses seluler hingga 200-300 meter.

D. Kekurangan mmWave

- Area cakupan yang sempit
- Hanya mendukung propagasi *Line-of-Sight*.

E. Tantangan Menggunakan mmWave

Adapun banyak tantangan dengan menggunakan mmWave untuk mobile yang memiliki isu terhadap *propagation loss*, karena frekuensi yang tinggi *free-space loss* ketika menggunakan isotropic antena dimana memiliki difraksi yang besar dan penyerapan oleh material menyebabkan sensitivitas terhadap halangan menjadi tinggi. Sehingga propagasi harus dengan *line-of-sight* [5]. Ini dapat diatasi dengan MIMO beamforming yang menyediakan gain untuk melawan *propagation losses*. Untuk menyediakan gain yang cukup, maka dibutuhkan ratusan element array.



Gambar. 3 Usage mmWave

3. Small Cell

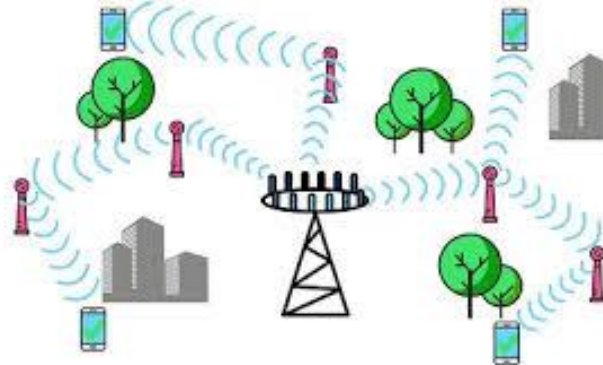
A. Latar Belakang Small Cell

Pertumbuhan trafik adalah salah satu alasan utama untuk mendiskusikan terkait teknologi 5G. Perluasan penggunaan spektrum yang lebih tinggi merupakan salah satu cara untuk memenuhi pertumbuhan trafik yang ada saat ini. Penggunaan mmWave pada teknologi 5G akan memberikan pengaruh terhadap area cakupan. Diketahui area cakupan suatu sel pada teknologi 5G yang menggunakan mmWave sekitar 200-300 meter. Sempitnya area cakupan ini memberikan permasalahan terhadap pengimplementasian mmWave pada teknologi 5G. Untuk mengatasi ini maka dikembangkanlah Small Cell [1].

B. Tujuan Small Cell

Small Cell adalah dasar sebuah *base station* yang memiliki sel radius yang lebih kecil. Istilah dari jenis small cell seperti pico cell, micro cell, femto cell. Small cell biasanya digunakan dalam area dengan populasi yang padat seperti pusat perbelanjaan, stadion, bandara dan terminal kreta api. Pada saat ini small cell yang dikembangkan adalah untuk lingkungan outdoor. Karena ukuran dari antena yang kecil dimana lebih mudah untuk menempelkan fisiknya pada tiang lampu jalan dan di atas bangunan.

Small cell akan menjadi komponen yang sangat penting pada jaringan 5G, karena small cell mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kapasitas, kepadatan dan area cakupan pada jaringan.

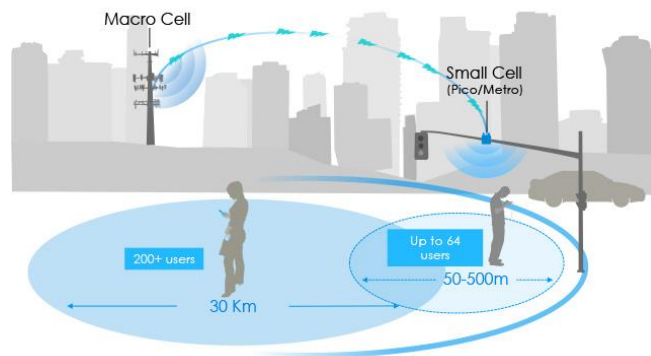


Gambar. 4 Small Cell

Small cell bukan merupakan teknologi baru, dimana teknologi ini telah berkembang pada teknologi 3G dan 4G. Small cell bekerja hampir sama dengan konsep sel konvensional dengan teknik seperti MIMO, beamforming dan mmWave untuk transmisi. Asupan daya pada saat proses transmisi yang rendah dan hardware perangkat di desain untuk mengurangi kompleksitas.

C. Lokasi Small Base Stations

Small *base stations* (*transceivers*) dapat di letakkan pada dinding untuk aplikasi indoor dan tower kecil atau lampu jalan untuk aplikasi outdoor. Koneksi *backhaul* dapat dibuat menggunakan koneksi fiber, kabel tembaga dan microwave.



Gambar. 5 Location base station small cell

D. Kelebihan Small Cell

Adapun kelebihan yang dimiliki small cell pada teknologi 5G, yaitu sebagai berikut:

- Small cell dapat menyampaikan data rate lebih tinggi hingga beberapa Gbps pada teknologi 5G.
- Sistem base station yang tidak kompleks, sehingga dapat dengan mudah diimplementasikan.
- Hemat biaya.
- Meningkatkan kapasitas pengguna.
- Memperbaiki area cakupan.
- Memperpanjang *battery life*.

E. Kekurangan Small Cell

Adapun kelemahan yang dimiliki small cell pada teknologi 5G, yaitu sebagai berikut:

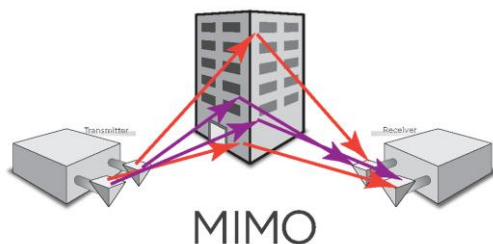
- Keterbatasan area cakupan karena penggunaan daya yang rendah.

4. Massive MIMO

Massive MIMO merupakan teknologi untuk wireless akses masa depan, yaitu teknologi 5G. Konsep utama dari teknologi ini adalah penggunaan antena yang banyak di *base station* untuk secara serentak melayani banyak terminal secara otomatis. Massive MIMO memberikan dua manfaat yaitu terkait *excellent spectral efficiency* dan *superior energy efficiency*.

F. Latar Belakang Massive MIMO

Ukuran sel yang lebih kecil pada 5G tidak hanya menyediakan *throughput* yang tinggi, tetapi juga mengoptimalkan penggunaan spektrum frekuensi. Pada teknologi sebelumnya yaitu 4G dimana *base station* mempunyai puluhan port untuk antena yang menangani semua trafik seluler. Penggunaan delapan port untuk pengirim dan empat untuk penerima. Tetapi 5G *base station* dapat mendukung ratusan port yang artinya lebih banyak lagi antena yang dapat digunakan, teknologi ini disebut Massive MIMO, dimana awal mula dari teknologi ini berawal dari MIMO (*Multiple Input Multiple Output*). MIMO merupakan penggunaan dua atau lebih pengirim dan penerima untuk mengirim dan menerima data dalam satu waktu yang sama.



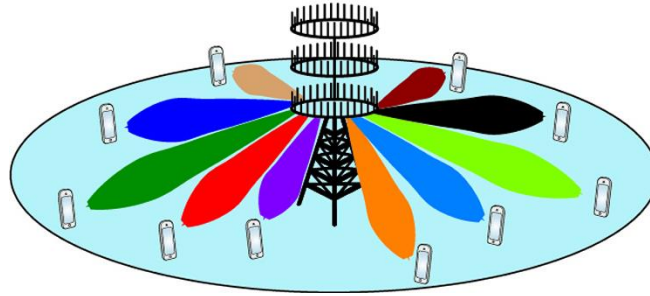
Gambar. 6 MIMO over building

G. Key Technological Characteristics dari Massive MIMO

Fully digital processing, setiap antenna mempunyai rangkaian digital baseband sendiri. Sinyal dari semua antenna disetiap *base station* di proses secara coherent secara bersama-sama. Manfaat inti dari *fully digital processing* yaitu dapat terhindar dari spesifik *assumptions* dalam propagasi chanel.

Array Gain, pada prinsipnya dalam sebuah *closed-loop* link budget peningkatan proportional dari jumlah base station antenna akan memberikan array gain yang tinggi.

Massive MIMO konsep telah dikembangkan dari sebuah akademi dengan topik dalam *wireless communications community*, sebagaimana item utama dalam 5G standarisasi.



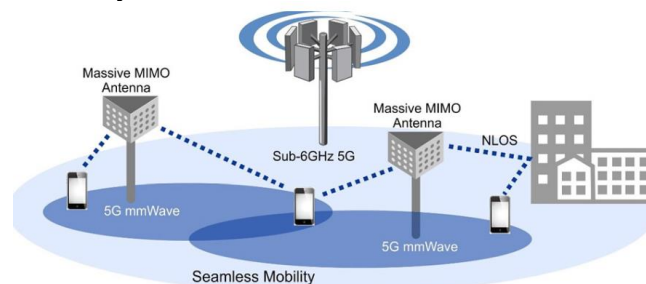
Gambar. 7 Massive MIMO element

H. Alasan Munculnya Massive MIMO

Massive MIMO muncul dikarenakan alasan terkait teknologi konvensional yang telah terbukti tidak dapat memberikan spectral efisiensi. Teknologi ini dapat menawarkan peningkatan terhadap layanan broadband. Pada jaringan 5G diharapkan untuk mendukung lebih banyak perbedaan dari layanan wireless dalam area *helatcare*, *smart home and cities*, *manufacturing* dan masih banyak lagi. Massive MIMO dapat disesuaikan untuk mendukung sebuah Massive Machine Type Communications (MTC) device dalam jumlah yang besar. Kemudian Massive MIMO, sebagai kandidat yang baik untuk merealisasikan *Ultra Reliable Communication*.

I. Tantangan Massive MIMO

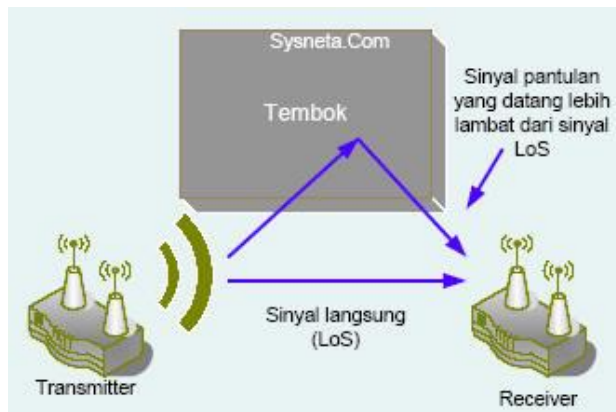
Massive MIMO terlihat sangat menjanjikan pada teknologi 5G, namun pemasangan lebih banyak antenna untuk menangani trafik seluler juga dapat menyebabkan lebih banyak gangguan. Itu sebabnya 5G *base station* harus bekerja sama dengan teknologi yang disebut *beamforming* untuk mencapai efisiensi terhadap pengiriman sinyal informasi.



Gambar. 8 Massive MIMO useage

J. Spatial Division Multiplexing (SDM)

Satu lagi kemampuan teknologi MIMO ini adalah Spatial Division Multiplexing (SDM). SDM melakukan multiplexing secara spatial beberapa stream data independent, secara simultan di transfer didalam satu spectral channel bandwidth. MIMO SDM dapat secara significant menaikkan aliran data seiring naiknya jumlah stream data yang berserakan bisa diurai. Setiap stream data berserakan ini memerlukan suatu antenna yang berlainan pada kedua transmitter dan receiver. Sebagai tambahan, technology MIMO memerlukan suatu rantai frequency yang terpisah dan juga converter analog-to-digital untuk masing-2 antenna MIMO yang dalam proses konversi ini memerlukan biaya implementasi yang lebih tinggi dibanding dengan system teknologi non-MIMO.



Gambar. 9 LOS and NLOS

K. Kelebihan Massive MIMO

Adapun kelebihan yang ada ketika menggunakan teknologi Massive MIMO, yaitu sebagai berikut:

- *Large Antenna Arrays to increase cell throughput.*
- Mengurangi *cell interference*.
- Meningkatkan kapasitas.
- Memperbaiki nilai SINR.
- Spektral Efisiensi.

Kekurangan Massive MIMO

Adapun kekurangan yang ada ketika menggunakan teknologi Massive MIMO, yaitu sebagai berikut:

- Kompleksitas yang tinggi terhadap pemrosesan sinyal, karena pemanfaatan antenna yang banyak.
- Sensitive terhadap *beam alignment*.

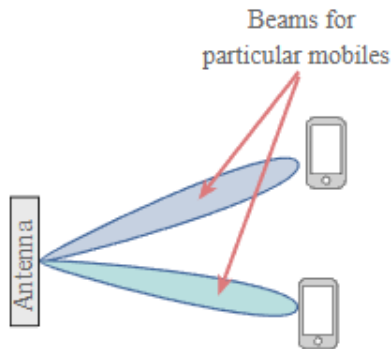
5. Beamforming

L. Antena Beamforming

Beamforming adalah metode yang digunakan untuk membuat pola radiasi dari antenna array dengan cara menambahkan konstruksi dari fasa sebuah sinyal pada arah target yang menginginkan bergerak dan *nulling* pola dari target yang interfering target. Teknik pemrosesan sinyal terdapat berbagai macam, tujuannya digunakan untuk teknologi sensor terangkai untuk menciptakan transmisi yang terarah. Salah satu teknik beamforming yaitu massive MIMO beamforming yang dapat menyediakan frekuensi lebih pada gelombang. Adapun beamforming konvensional yang mampu menyediakan CSI (Channel State Information) dari pemancar ke penerima. Berbeda dengan beamforming adaptif yang lebih efektif mengubah CSI sesuai dengan kebutuhan saluran. Beamforming hibrida lebih menerapkan teknologi 5G yang akan menggunakan teknologi beamforming analog dan digital untuk menerima sinyal referensi tanpa distorsi.

Antena beamforming mengizinkan sistem antenna yang terdiri dari individual antenna yang mempunyai arah dari beam yang dapat dirubah oleh perubahan fasa dan amplitude dari sinyal yang diimplementasikan pada element individual antenna dalam array.

Antena beamforming terdiri dari sejumlah antenna individu yang diatur sebagai array. Setiap elemen antenna diumpankan secara terpisah dengan sinyal yang akan ditransmisikan.



Gambar. 10 Pattern Beamforming

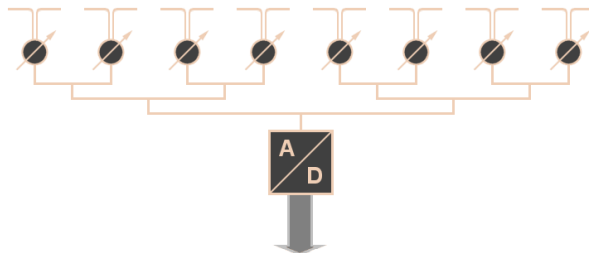
M. Analog Antenna Beam Forming

Metode analog beamforming merupakan pendekatan beam forming yang paling intuitif. Dengan pendekatan analog, aliran data tunggal ditangani oleh satu set konverter data dan *transceiver* RF. *Output* RF dibagi menjadi banyak jalur karena ada elemen antenna, dan masing-masing jalur sinyal dilewatkan melalui *shifter fase*, kemudian diperkuat dan diteruskan ke elemen array individual.

Antena analog beamforming di jalur RF yang terakhir sangat kecil dan juga perangkat keras yang digunakan hanya sedikit, sehingga dapat dijadikan cara yang paling efektif dalam membangun beamforming. Kelemahan utamanya adalah bahwa sistem hanya dapat menangani satu aliran data dan menghasilkan satu pancaran sinyal. Hal ini membatasi efektivitas dalam hal persyaratan untuk aplikasi seperti 5G di mana diperlukan beberapa beam.

N. Digital Antenna Beam Forming

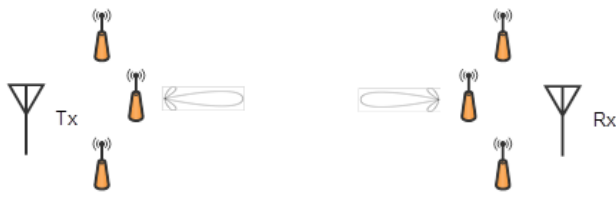
Penggunaan beamforming pada antena digital, dimana setiap antena memiliki *transceiver* dan konverter data sendiri. Antena digital dapat menangani beberapa aliran data dan menghasilkan beberapa beam secara bersamaan dalam satu array.



Gambar. 11 Antena element

O. Teknik Beam Forming

Beamforming adalah dikenal dengan kata lain sebagai antena array, menggunakan sinyal dari daya diarahkan (*directed*) sesuai dengan arah yang ingin dicapai dengan mengubah properties antena. Yang perlu diperhatikan juga yaitu adalah konfigurasi geografis, pola perpindahan *user* dan pola radiasi yang tidak dapat diubah dengan cepat seperti mengubah amplitudo dan *fase*, untuk antena *array* tertentu. Oleh karena itu penyesuaian terhadap amplitudo dan *fase*, menggunakan pola beam yang dapat mengubah bentuk secara cepat, teknik pengolahan sinyal seperti ini dikenal dengan beamforming. Teknik ini telah memberikan teknologi yang menjanjikan pada sistem komunikasi modern. Gambar. 12 dibawah ini merupakan proses beamforming antara transmit dan receive antara antena array.



Gambar. 12 Beamforming

Dalam beamforming, setiap relay dapat ditentukan nilai dari amplitudo dan fase pada sinyal prioritas dari transmit ke destinasi. Beamforming yang diterima dapat di bangun pada relay yang berasal dari source, kemudian relay melakukan perbaikan sinyal dan meneruskan pada destinasi. Kedua amplitudo dan fase secara bersamaan menggunakan faktor pembobotan (weight factor). Beamforming digunakan untuk mengurangi interferensi dan mengembangkan efisiensi power dari transmitter dan efisiensi spektral daya pada *network*.

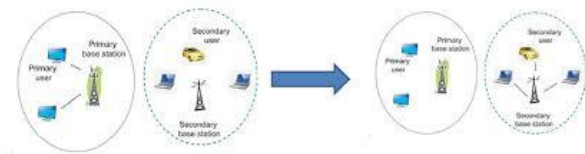
Terdapat 2 tipe dari beamforming yaitu beamforming fix dan beamforming adaptif.

1. Fix Beamforming

Beamforming fix tidak mampu mengubah koefisien pembobotan dari setiap sinyal secara adaptif akan tetapi keunggulannya adalah memiliki kompleksitas yang rendah, pada lingkungan yang bergerak, fleksibilitasnya menjadi kurang baik dalam mengubah pola beam secara cepat. Berbeda dengan fix.

2. Adaptive Beamforming (Adaptive Array)

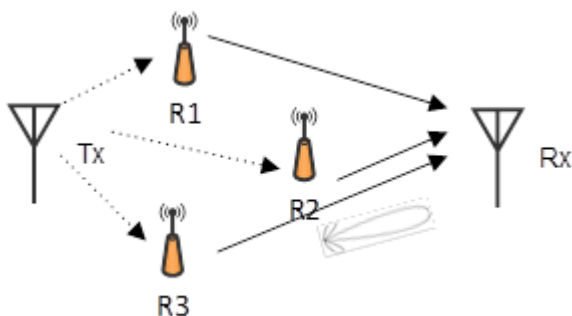
Beamforming adaptif mampu mengubah kedua amplitudo dan fase sesuai dengan pembobotan dari sinyal yang berada pada lingkungan sekitar. Dalam sistem komunikasi kooperasi setiap relay beradaptasi secara optimal untuk mendapat performansi pada jaringan yang baik. Sehingga, beamforming adaptif lebih cocok untuk komunikasi bergerak jika dibandingkan dengan beamforming fix.



Gambar. 13 Adaptive Beamforming

P. Distribusi Beam Forming

Pada pembahasan mengenai beamforming hanya membahas tentang sinyal yang ditransmisikan dari sumber dan destinasi secara independen. Namun, relay dapat berkoordinasi antara satu relay dengan relay yang lainnya, membentuk beam secara bersamaan dan mengoptimalkan performansi jaringan pada sistem komunikasi kooperatif. Beamforming dengan koordinasi antara relay disebut sebagai distribusi beamforming, yang dapat dilihat pada Gambar.14 dibawah ini



Gambar. 14 Distribusi Beamforming

Perhitungan pada pembobotan dari setiap relay tidak hanya bergantung pada atribut yang menempel pada relay sendiri, tetapi juga bergantung pada sinyal transmisi dari relay pada proses komunikasi. Terdapat banyak protokol yang mendefinisikan sinyal transmisi dari sumber ke destinasi. Prosedur perhitungan dari berbagai pembobotan pada setiap protokol distribusi beamforming. Oleh

karena itu, banyak penelitian yang mengkaji tentang protokol transmisi dan menggunakan metode optimasi.

Pembobotan dihitung untuk memaksimalkan kapasitas jaringan, atau sama dengan nilai maksimal dari SNR yang diterima, serta error rate dan outage probability yang minimum dengan mengasumsikan CSI yang sempurna pada relay dan destinasi. Diasumsikan juga power dari setiap node bersifat konstrain, sumber menggunakan power yang maksimal untuk mendapatkan SNR tinggi pada destinasi dan semua relay tidak menggunakan power maksimal, namun menggunakan *fraction* power.

Kapasitas sesaat dari jaringan menggunakan $W \log(1 + SNR)$ bps (bit per second) dimana W adalah bandwidth kanal dan log yang digunakan adalah log basis 2. Vektor dari optimal beamforming, kapasitas SNR secara direct menjadi semakin kompleks, sehingga hanya *upper* dan *lower bound* dari kapasitas, *outage probability* dan *bit error rate*.

6. Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa trend pengembangan, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut : Untuk memenuhi permintaan standard dari IMT 2020 maka harus digunakan beberapa teknologi pendukung 5G seperti mmWave, Small Cell, Massive MIMO dan Beamforming.

Daftar Pustaka

- [1] Aydin Behnad, Member, IEEE, and Xianbin Wang, Senior Member, IEEE, "Virtual Small Cells Formation in 5G Networks"
- [2] Imed Allal^{1,4}, Bruno Mongazon-Cazavet², khalidoun Al Agha³, Sidi-Mohammed Senouci⁴, and Yvon Gourhant¹, "A Green Small Cells Deployment in 5G - Switch ON/OFF via IoT Networks & Energy Efficient Mesh Backhauling"
- [3] Interference Avoidance Techniques for Closed Access Small Cells Networks. International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN) Vol. 4, No. 2, April 2012.
- [4] W. Richard, "Millimeter-Wave Small-Cell Deployment Scenarios as an Enabler for 5G Applications and Use Cases," Advanced Networking Technologies LAB, Milano, Italy.
- [5] M. R. "millimeter wave (MM wave)," searchtelecom.techtarget.com, 2018.
- [6] S. E. "Apa itu mmWave dan Hubungannya Dengan 5G," telko.id, 2016.
- [7] T. "Beamforming," www.technopedia.com
- [8] V. M. "Key Milimeter Wave Technologies for 5G," ResearchGate, 2016.