

Overview Teknologi Ruang Udara Masa Depan dalam Teori, Regulasi dan Terapannya di Indonesia

Sandryones Palinggi¹, Alfianto Lande²

¹Program Studi Teknik Telekomunikasi, Institut Sains dan Teknologi Nasional (ISTN)

²Program Studi Teknik Telekomunikasi, Universitas Kristen Maranatha

Email: sandryones@gmail.com, alfianto_lande@yahoo.com

Abstract— Kemajuan dari perkembangan teknologi seperti satelit maupun platform lainnya seperti HAPS dan HIBS, telah memberikan alternatif dari kemajuan teknologi yang berbasis pada kebutuhan akan layanan broadband. Tidak hanya itu, peningkatan taraf kehidupan ikut mengalami perubahan dengan evolusi teknologi di angkasa. Penerapan HTS, *Satellite IoT*, *Small Satellite*, HAPS dan HIBS terlebih untuk daerah pedesaan akan sangat berdampak pada perkembangan baik ekonomi maupun bidang pertahanan dan keamanan. Hadirnya HTS maupun *Satellite IoT* di Indonesia, dapat menjadi solusi dalam mengatasi kesenjangan *throughput* antara daerah perkotaan dan daerah pedesaan serta diharapkan akan menjawab permasalahan yang selama ini menjadi issue pokok dalam terapan telekomunikasi satelit seperti *scalability*, *security*, dan *earth information*. Platform HAPS dan HIBS yang berada di lapisan stratosfer juga akan dijadikan sebagai alternatif komunikasi yang bersifat *hybrid* sehingga dapat terintegrasi dengan baik dalam menyediakan layanan komunikasi. Metoda penulisan yang digunakan dalam artikel ilmiah ini menggunakan metode pendekatan studi literatur dan menjelaskannya secara deskriptif dimana bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis dan teoritis, serta merangkum dalam sebuah bentuk artikel ilmiah. Hasil dari artikel ilmiah ini adalah integrasi antara HTS, *Satellite IoT*, *Small Satellite* maupun satelit Nano, HAPS dan HIBS akan sangat memungkinkan diterapkan dikemudian hari. Tantangan yang perlu segera diselesaikan adalah terkait regulasi yang masih mengikat terhadap masing-masing teknologi yang ada. Dan tidak menutup kemungkinan, pengguna di daratan akan mampu mengakses ke teknologi tersebut secara bersamaan sehingga perlu dilakukan percepatan dalam bidang pengembangan, penelitian, dan regulasi yang selama ini banyak menjadi kendala dalam penerapan teknologi yang terintegrasi.

Kata kunci— Teknologi, HTS, *Satellite IoT*, HAPS, HIBS

I. PENDAHULUAN

Secara definisi, wilayah ruang udara Indonesia secara vertikal berada pada ketinggian 110 km diukur di atas permukaan laut (Abu & Damanik, 2018). Hal ini dapat dianggap sebagai sebuah potensi dan kekuatan Indonesia dalam mengeksplor kekayaan udara demi masa depan, khususnya pada sektor Telekomunikasi.

Kemajuan di bidang teknologi ruang udara mengalami evolusi yang sangat cepat tidak terkecuali terhadap satelit maupun platform lain seperti HAPS dan HIBS. Dunia persatelitan Indonesia sedikit banyak mengalami perubahan yang signifikan. Satelit merupakan suatu benda yang beredar di ruang antariksa dan mengelilingi bumi, berfungsi sebagai stasiun radio yang menerima dan

memancarkan atau memancarkan kembali dan atau menerima, memproses dan memancarkan kembali sinyal komunikasi radio. Karena fungsinya untuk mengirimkan informasi dari satu titik di bumi ke satu atau lebih titik lainnya, satelit berfungsi sebagai *repeater* frekuensi radio. Satelit Indonesia yang masih berfungsi terdiri dari Indostar-2 di 107.7° BT, Telkom-4 (Merah Putih) di 108° BT, Palapa-D di 113° BT, Telkom-2 di 118° BT, Telkom 3S di 118° BT, Lippostar-1 di 124° BT, BRI-Sat di 150.5° BT, LAPAN Tubsat yang merupakan satelit NGSO dimana sehari dapat 6x putaran mengelilingi dunia. (Yuniarti, 2013)

Satelit C-Band yang menjadi primadona dalam beberapa tahun terakhir, secara perlahan digantikan oleh Satelit Ka-Band, maupun Ku-Band. Walaupun secara umum, peran C-Band masih sangat dominan di Indonesia. Prinsip dasar sistem telekomunikasi satelit adalah sistem komunikasi radio dengan menggunakan satelit sebagai *repeater*. Bagian utama dari sistem komunikasi satelit terdiri dari *ground segment* dan *space segment*. *Ground segment* yaitu seluruh perangkat yang terdapat di stasiun bumi sedangkan *space segment* adalah satelit yang berada pada orbitnya. Secara umum stasiun bumi dapat berfungsi sebagai pemancar ataupun penerima. *Space Segment* adalah bagian pada saat sinyal di transmisi ke dalam bentuk gelombang radio sampai ke satelit. Gelombang radio tersebut disebut dengan *uplink*. *Earth Segment* adalah bagian dimana terdapat stasiun penerima/pemancar pada bumi. Gelombang radio yang dipancarkan dari satelit ke *Earth Segment* disebut *downlink*. Pada saat sebuah stasiun bumi mengirimkan sinyal ke satelit, maka sinyal tersebut akan diterima oleh transponder yang ada pada satelit. Transponder ini akan mengalokasikan frekuensi yang dikirimkan oleh stasiun pengirim. Sinyal yang dikirimkan oleh stasiun pengirim masih dalam frekuensi yang tinggi. Pada transponder, sinyal ini akan diturunkan dan akan dikirimkan lagi ke stasiun penerima bumi. (Elbert, 2004)

Jaringan sistem komunikasi satelit sebagaimana dijelaskan memiliki keunggulan untuk menyediakan layanan secara cepat tanpa tergantung kepada kondisi daratan. Dengan kebutuhan pita lebar teknologi satelit menggunakan multi *beam* dapat memberikan layanan dengan kecepatan 100 Gbps dengan mempertahankan kemampuannya memberikan layanan *backbone* sampai dengan akses ke rumah-rumah. Teknologi satelit pita lebar

sudah memungkinkan beroperasi diatas 15 tahun dengan sedikitnya transit meskipun adanya kelembaman perambatan sinyal yang cukup besar yaitu berkisar 540 mdet sampai 800 mdet untuk sistem GSO serta redaman hujan yang tinggi untuk pita frekuensi Ku-Band, Ka-Band dan V-Band, namun mengingat mayoritas layanan telekomunikasi adalah data dan *non-real time* maka satelit pita lebar sangat mampu mendukung hal ini. Secara umum *High Throughput Satellite* (HTS) dicirikan dengan menggunakan beberapa *multi spot beam*, *reuse frequency*, pita frekuensi Ka-Band (17 GHz dan 30 GHz), namun ada juga yang memakai pita Ku-Band (11 GHz dan 15 GHz), memiliki daya pancar tinggi sekitar EIRP 75 dBW dimana antena penerima menggunakan diameter kecil sekitar ± 80 cm. Terdapat 2 jenis orbit yang digunakan oleh HTS yaitu *Geosynchronous Orbit* (GSO) dimana posisi satelit berada pada ketinggian 36.000 km dari Bumi, dan *Non-Geosynchronous Orbit* (NGSO) yang berada pada ketinggian sekitar 4000 sampai 5000 km, dimana masing-masing lokasi orbit yang dipilih memiliki kelebihan dan kekurangan. Beberapa satelit HTS asing yang telah beroperasi mencakup Indonesia adalah antara lain IPStar dan O3B Networks. Berdasarkan dari hal tersebut, HTS telah memberikan paradigma baru dalam pelayanan sistem komunikasi satelit di era pita lebar. Dengan adanya teknologi baru di satelit, HTS mampu mengimbangi jaringan serat optik bahkan melampauinya dalam kasus menjangkau wilayah pedalaman maupun terpencil, baik dari kapasitas, kehandalan dan jangkauan. (E. Setiawan, 2016)

Satellite IoT memiliki fungsi hampir sama seperti pada satelit konvensional. Hal yang membedakan ada fungsi dari *Satellite IoT* tersebut. Didasarkan pada landasan pengertian dari IoT dimana IoT didefinisikan dalam *Recommendation ITU-T Y. 2060* sebagai infrastruktur global untuk masyarakat yang memungkinkan diterapkannya layanan lanjutan menggunakan interkoneksi baik fisik maupun virtual berdasarkan pada jaringan yang telah ada dan mengembangkan informasi serta komunikasi yang *interoperable*. Dengan hadirnya *Satellite IoT*, maka diharapkan akan menjawab permasalahan yang selama ini menjadi *issue* pokok dalam terapan telekomunikasi satelit seperti *scalability*, *security*, dan *earth information*. (Widiawan, 2020)

Selain *Satellite IoT* yang mengorbit pada orbit rendah, terdapat pula jenis satelit lain yang berada pada orbit NGSO dan kemudian dikenal dengan *Small Satellite*. *Small Satellite* seperti satelit Nano merupakan satelit kecil yang memiliki fungsi untuk menggambarkan permukaan Bumi dan dapat melakukan komunikasi dengan satelit besar. Satelit Nano sendiri merupakan satelit dengan berat kurang dari 10 kg. Satelit ini biasanya diluncurkan menumpang satelit besar (*piggyback*) atau melalui stasiun luar angkasa (ISS). Satelit Nano dirancang dalam bentuk kubus dengan dimensi 10x10x10 cm, 1kg (1U) menjadi desain satelit Nano yang paling banyak digunakan. Dengan tipe klasifikasi struktur ukuran standar terkecil adalah 0.5U, sedangkan 3U adalah yang terbesar terdiri dari tiga unit yang ditumpuk memanjang. (Prasetya, 2018)

Selain daripada teknologi satelit, sebuah teknologi yang lainnya muncul. *High Altitude Station Platform* atau yang dikenal dengan istilah HAPS, menjadi sebuah teknologi

yang diharapkan mampu memberikan kontribusi penting dalam perkembangan teknologi. Di Indonesia, penelitian terkait dengan sistem komunikasi HAPS sudah dilakukan sejak beberapa dekade yang lalu oleh akademisi sedangkan penelitian mengenai wahana balon juga sudah dilaksanakan oleh LAPAN namun belum terintegrasi dengan sistem komunikasinya. Pada tahun 2016, *Google Balloon* direncanakan melaksanakan uji coba di Indonesia bekerja sama dengan tiga operator telekomunikasi Indonesia yaitu Telkomsel, XL, dan Indosat, dengan memanfaatkan spektrum 900 MHz. (SDPPPI, 2016)

HAPS merupakan wahana, baik berupa pesawat terbang maupun pesawat udara yang berada pada ketinggian 17-22 km di atas permukaan bumi. Kelebihan yang utama dari sistem HAPS adalah kemudahan dalam penempatan, fleksibilitas, biaya operasionalnya rendah, *delay* propagasi rendah, sudut elevasi lebar, cakupan yang luas serta dapat digunakan untuk layanan pita lebar, siaran, maupun pada kondisi bencana. Namun, HAPS memiliki kekurangan dalam hal monitoring wahana, teknologi balon udara yang masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, serta stabilisasi dari antena *on-board* yang belum baik. (Gultom & Yuniarti, 2016; Karapantazis & Pavlidou, 2005)

Komunikasi seluler yang turut tumbuh dengan pesat, secara tidak langsung ikut memberikan kontribusi yang penting dalam perkembangan HAPS. HAPS yang terkoneksi dengan jaringan seluler memberikan peluang untuk dikaji lebih lanjut, dimana memunculkan teknologi berbasis HAPS yang terintegrasi dengan jaringan teresterial yang dikenal dengan sebutan *HAPS as IMT Base Station* (HIBS). HIBS lahir untuk menjawab tantangan dari jaringan teresterial dengan munculnya 5G maupun 6G dikemudian hari. Secara umum, HAPS dan HIBS tidak memiliki perbedaan yang signifikan dari sisi *payload*. Namun HIBS diharapkan memiliki peran yang lebih besar dalam menyediakan layanan broadband di daerah-daerah yang kurang terlayani oleh jaringan teresterial khususnya jaringan seluler. Dengan mengusung konsep *multi beam spot*, HIBS dapat berperan sebagai eNB maupun gNB di angkasa stratosfer.

Tujuan dari penulisan artikel ilmiah ini adalah untuk memberikan pengetahuan tambahan terkait teknologi ruang udara seperti satelit komunikasi maupun platform baru seperti HAPS dan HIBS, baik untuk para peneliti, staf pengajar/dosen, para mahasiswa, dan para praktisi telekomunikasi, khususnya di Indonesia. Hasil dari artikel ilmiah ini adalah memberikan gambaran singkat tentang teknologi *High Throughput Satellite*, *Satellite IoT*, *Small Satellite* maupun satelit Nano, *High Altitude Station Platform* dan *HAPS as IMT Base Station* serta regulasi dan manfaat yang terkait dengan teknologi ruang udara.

II. METODE PENELITIAN

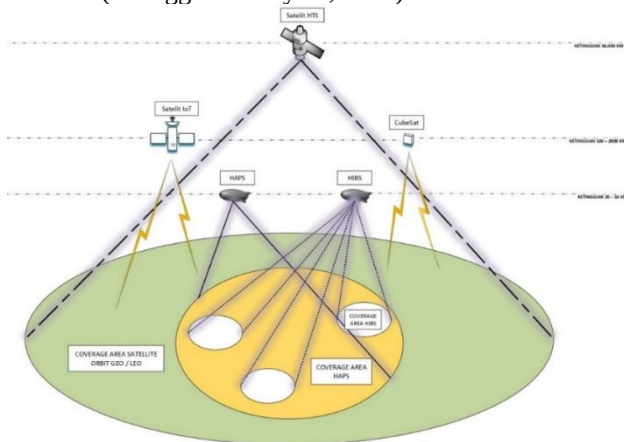
Metoda penulisan yang digunakan dalam artikel ilmiah ini menggunakan metode pendekatan studi literatur dan menjelaskannya secara deskriptif dimana bertujuan untuk membuat deskripsi secara sistematis dan teoritis, serta merangkum dalam sebuah bentuk artikel ilmiah. Dalam artikel ilmiah ini, secara teoritis mengulas tentang dasar-dasar satelit komunikasi, seperti teknologi *High Throughput Satellite*, *Satellite IoT*, *Small Satellite* maupun satelit Nano, *High Altitude Station Platform*, *HAPS as IMT*

Base Station dengan ringkas dan terperinci berdasarkan pada rujukan ilmiah berupa *textbook*, jurnal, hingga *white paper* untuk mempertahankan keilmiahan dari teori dan pembahasan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Teknologi Ruang Udara Masa Depan

Teknologi ruang udara, masing-masing memiliki ketinggian tertentu. Satelit dengan menggunakan orbit geostasioner (GEO) memiliki ketinggian 36.000 km. Orbit GEO merupakan orbit dimana satelit kelihatan relatif tetap bila dilihat dari satu titik di atas permukaan bumi. Satelit yang berada pada orbit ini sering disebut sebagai satelit geostasioner. Pada satelit GEO, satelit akan mempunyai orbit 0°. Selain itu, satelit harus mengorbit bumi dalam arah yang sama dengan putaran bumi dan kecepatan yang sama. Untuk mencapai kecepatan yang konstan tersebut maka harus dibuat hukum Kepler II yang memenuhi orbit sirkular. (Palinggi & Irmayani, 2019)



Gambar 1. Ilustrasi Coverage Area dari Platform Ruang Udara Berdasarkan Ketinggian

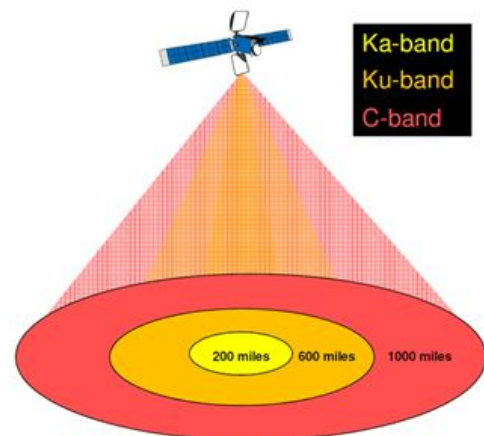
Banyaknya potensi yang dapat dimanfaatkan dengan kehadiran teknologi khususnya satelit maupun platform lainnya di orbit rendah, maupun di lapisan stratosfer, membuka banyak peluang terjadinya integrasi komunikasi yang dapat dimanfaatkan secara penuh baik oleh pemerintah, operator dan industri, maupun kalangan akademisi. Pemanfaatan ini, jelas sangat menguntungkan khususnya Indonesia dalam menyediakan sistem komunikasi yang handal dengan kecepatan tinggi tanpa mengabaikan aspek keamanan data para pengguna. Penelitian dan implementasi terlebih di Indonesia terkait teknologi orbit rendah telah banyak dilakukan oleh instansi terkait seperti LAPAN, BMKG maupun BAPPENAS dalam mewujudkan program pemerintah yaitu menuju kemandirian teknologi satelit.

Secara umum, Gambar 1 memperlihatkan dengan jelas perbedaan ketinggian antar platform, baik satelit, maupun HAPS dan HIBS. Satelit HTS berada pada orbit GEO, untuk *Satellite IoT* maupun *CubeSat* berada pada ketinggian 500-2000 km dan berada pada orbit LEO. Sedangkan untuk HAPS maupun HIBS berada pada ketinggian 20-50 km dan berada pada lapisan stratosfer di atmosfer.

1.1 High Throughput Satellite (HTS)

High Throughput Satellite adalah satelit dengan banyak *spot beam*, melayani area layanan tertentu, menyediakan kapasitas tinggi, dan *net cost* per bps yang lebih rendah. *High Throughput Satellite* merupakan evolusi dari satelit konvensional dari yang menggunakan jenis satu antena dengan aperture 17.5°, menjadi banyak antena dengan aperture 0.2° sampai 0.5°. Penguatan antena *gain* satelit karena pengurangan sudut *aperture* dari antena, membuat pengguna dapat menggunakan antena *aperture* yang kecil. Ilustrasi terkait *coverage area* HTS ditunjukkan pada Gambar 2. (Hidayat, 2019)

HTS dapat dioperasikan di orbit NGSO, tetapi mayoritas berada di orbit GSO. HTS beroperasi di Ku-Band, tetapi satelit yang mutakhir mayoritas beroperasi di Ka-Band secara umum. Alasan HTS beroperasi di Band Ka dikarenakan masih relatif sulit bagi operator global untuk mengamankan slot orbital Ku-Band di berbagai belahan dunia, serta Band Ka menawarkan spektrum yang lebih besar yaitu 1.1 GHz.



Gambar 2. Ilustrasi Coverage Area dari Satelit Berdasarkan Pita Frekuensi

1.1.1 Multiple Access dan Frequency Reuse

Multiplexing adalah teknik menggabungkan beberapa sinyal untuk dikirimkan secara bersamaan pada suatu kanal transmisi dimana kemampuan ini untuk mendukung banyak pengguna melalui satu fasilitas tunggal seperti saluran radio, Band satelit, transponder. *Multiplexing* terbagi atas 3 jenis yaitu *space division multiple access* (SDMA) atau biasa disebut dengan *space division multiplexing*, *frequency division multiple access* (FDMA) atau dikenal dengan *frequency division multiplexing*, *time division multiple access* (TDMA) atau dikenal sebagai *time division multiplexing*, dan *code division multiple access* (CDMA) atau *code division multiplexing*.

Frequency Reuse, dapat dicapai dengan *multiplexing* pembagian ruang yang dikenal sebagai *frequency reuse techniques* yaitu kemampuan untuk menggunakan frekuensi yang sama berulang kali di seluruh sistem, yang terpisah secara geografis atau fisik.

Ada 2 jenis protokol untuk multipel akses yaitu *contention protocol* dan *non-contention protocol*. Kelemahan *non-contention protocol* adalah bahwa pengguna yang *idle* akan mengkonsumsi sebagian sumber daya yang tersedia menjadi masalah ketika jumlah pengguna besar. Salah satu cara mutakhir untuk multipel akses yang optimal di satelit adalah dengan menetapkan

bandwidth satelit sebagai *Trunk IP* berkapasitas tinggi dimana *multiplexing* dan pemakaian untuk pengguna yang berbeda dilakukan pada lapisan paket IP. Pendekatan ini yang lazim dikenal dalam VSAT IP.

1.1.2 Spot Beam

Kecenderungan pemakaian *spot beam* mulai pada 1990-an, karena total biaya untuk merancang, membangun, dan meluncurkan satelit tidak berbeda jauh antara satelit yang dioptimalkan untuk kapasitas banyak *beam* atau untuk hanya beberapa *beam* saja. *Spot beam* memberikan kekuatan sinyal dan penguatan sinyal yang tinggi termasuk EIRP dan G/T, yang memungkinkan satelit untuk terhubung ke VSAT pada kecepatan tinggi dengan *margin rain fade* yang baik. Adapun ilustrasi terkait *spot beam* diperlihatkan pada Gambar 3.

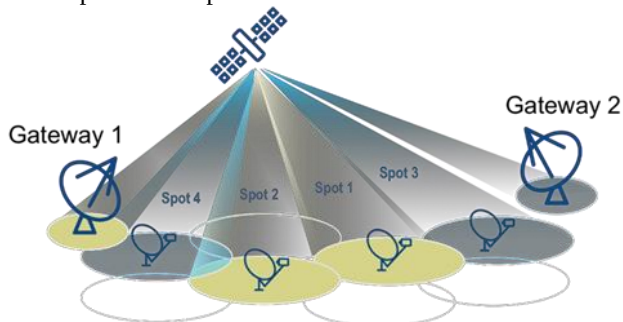


Gambar 3. Ilustrasi *Spot Beam* pada HTS

Keuntungan dengan banyaknya *spot beam* antara lain: (1). Banyak *beam* kecil dengan *gain* tinggi memungkinkan layanan untuk terminal VSAT; (2). Antena yang digunakan memungkinkan *frequency reuse*, menghasilkan *throughput* dalam kisaran ratusan Gbps; (3). *Saturated EIRP* di tepi *beam* biasanya dalam kisaran 45-50 dBW; (4). Dapat mendukung beberapa operator.

1.1.3 Gateway

Umumnya HTS memiliki arsitektur *star* dan berpusat pada titik yang disebut sebagai *gateway*. *Saturated spot beam*, dengan VSAT IP sebagai isinya, dapat dioperasikan oleh multi-operator. Jadi gateway diperlukan untuk melewati *traffic* dari *spot beam* dari satu stasiun bumi ke stasiun bumi yang lain yang melebihi kemampuan spektrum yang ada. Ilustrasi terkait *gateway* HTS diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Ilustrasi *Gateway* pada HTS

1.2 Satellite IoT (SIoT)

Teknologi IoT merupakan sebuah paradigma yang berkembang dengan menunjukkan arah baru layanan internet masa depan dimana banyak jaringan heterogen

terhubung dengan pengguna yang berbeda serta data yang terintegrasi secara transparan. Integrasi ini bertujuan untuk mengaktifkan apa pun dengan *transceiver* untuk mengakses Internet setiap saat, dimanapun dan kapanpun.

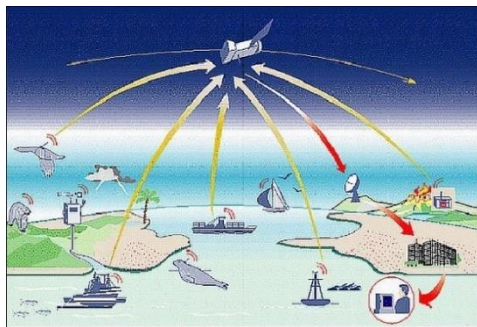
Potensi terhadap kebutuhan yang akan muncul ke depannya, integrasi antar pengguna dapat dilakukan dengan membangun sebuah system berbasis satelit yang dikenal dengan *Satellite IoT*. Penggunaan teknologi ini sangat beragam seperti: (1). Untuk bencana alam serta topografi yang ekstrem seperti tebing, lembah, dan lereng curam, dimana bencana geologis lebih lebih berpotensi terjadi. (2). Untuk aplikasi IoT di daerah terpencil, sistem *Satellite IoT* memberikan solusi hemat biaya tanpa mengandalkan jaringan teresterial. (3). Untuk jaringan IoT teresterial yang sebagian besar tergantung pada akses nirkabel, jaringan komunikasi yang terdiri dari BTS yang cukup diperlukan. Namun, membangun stasiun pangkalan teresterial dan menghubungkan jaringan teresterial akan mendapatkan banyak halangan serta dengan biaya yang tinggi. (Qu et al., 2017)

Selain bertujuan pada kebutuhan di atas, sistem *Satellite IoT* memiliki teknologi konstelasi satelit orbit rendah bumi (LEO) dengan keunggulan yang unik dibandingkan dengan orbit GEO, seperti: (1). Ketinggian orbit LEO satelit yang lebih sehingga lebih efisien dari segi waktu daripada sistem GEO. Dalam hal propagasi *delay*, satelit orbit rendah memiliki *delay* sebesar 100 ms sedangkan orbit GEO sebesar 600 ms. (2). Sebagian besar terminal IoT satelit dirancang berukuran kecil, umur panjang, dan konsumsi daya yang rendah. (3). Komunikasi via satelit GEO dibatasi oleh topografi ekstrim karena relatif berada pada posisi yang statis antara terminal dan satelit GEO. Jika terdapat sebuah hambatan berupa pohon maupun tebing atau dalam kondisi yang NLOS dari terminal ke satelit maka terminal tidak dapat berkomunikasi dengan satelit kecuali menghilangkan hambatan yang mengganggu sehingga komunikasi berada dalam keadaan LOS. Dibandingkan dengan satelit GEO, satelit LEO adalah dapat melakukan koneksi ke terminal tanpa harus menghilangkan hambatan dikarenakan adanya pergerakan satelit yang terus menerus.

Skenario aplikasi IoT pada satelit LEO dibagi menjadi dua bagian yaitu (1). *Delay-Tolerant Applications* (DTA), dimana merupakan pemantauan dan *forecasting application*, serta (2). *Delay-Sensitive Applications* (DSA), dimana merupakan peningkatan kontrol pengawasan dan data akuisisi (SCADA), serta dan untuk aplikasi militer.

1.2.1 Delay-Tolerant Applications (DTA)

Konsep DTA adalah bagian dari *delay-tolerant networking* (DTN) yang merupakan struktur komunikasi baru untuk disediakan dalam layanan otomatis komunikasi data *store-and-forward* dalam jaringan. Gambar 5 menunjukkan gambaran umum berbasis satelit Sistem DTN.

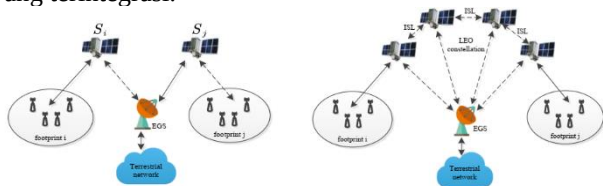


Gambar 5. Satelit Berbasis Sistem DTN

1.2.2 Delay-Sensitive Applications (DSA)

DSA adalah skenario yang sangat berbeda dengan persyaratan yang ketat seperti latensi yang lebih rendah dan kehandalan yang lebih tinggi dari DTA. *Smart grid* dan *Internet of Battle Things* (IoBT) adalah skenario aplikasi yang representatif untuk sipil dan militer. *Grid* yang saat ini berada di bawah skema SCADA, dipantau secara jarak jauh menggunakan kontrol otomatis dari gardu induk diimplementasikan melalui jaringan pusat yang lambat. Namun, konsep *smart grid* yang membutuhkan jaringan listrik untuk dapat bereaksi dan beradaptasi dengan dinamika jaringan dapat didefinisikan sebagai sebuah DSA. Saat ini, bagian dari elemen *smart grid* sudah ada tersedia dan ada menggunakan jaringan komunikasi kabel atau nirkabel yang dapat mendukung *smart grid* di daerah perkotaan atau pinggiran kota. Untuk mengimplementasikan *smart grid* di lokasi terpencil menggunakan angin di lepas pantai dan matahari di gurun sebagai energi, sistem IoT berbasis konstelasi LEO dapat menghadirkan solusi yang layak dan hemat biaya.

Seperti yang disebutkan di awal, LEO IoT berbasis konstelasi sistem adalah pelengkap yang kuat untuk sistem terrestrial yang bertujuan untuk mencakup area terpencil atau ekstrem dimana sistem terrestrial tidak dapat dicapai. Oleh karena itu, kompatibilitas antara keduanya sistem harus dipertimbangkan untuk menghasilkan jaringan IoT yang terintegrasi.



Gambar 6. (a). Arsitektur Jaringan yang terpusat pada EGS. (b), Arsitektur Jaringan Topologi Satelit Dinamis

Format pertukaran data menjadi hal penting dalam hal efisiensi transmisi pada saat mengirim informasi melalui IoT dan jaringan satelit. Pesan data yang ditransfer antara *endpoint* LoRa dan *gateway* LoRa hanya dapat berisi data sensor biner yang tidak memerlukan konversi apapun dan distandarisasi oleh protokol yang sesuai. *Endpoint* LoRa dapat mengirimkan data dari beberapa sensor. Dalam hal ini pengidentifikasi dan ekstra sensor data layanan ditambahkan ke pesan.

Selama transmisi lebih lanjut ke akuisisi data, *central data acquisition point* perlu merangkum identifikasi *endpoint* LoRa dan informasi teknis tertentu yang terkait dengan jaringan IoT. Kebanyakan skema yang digunakan

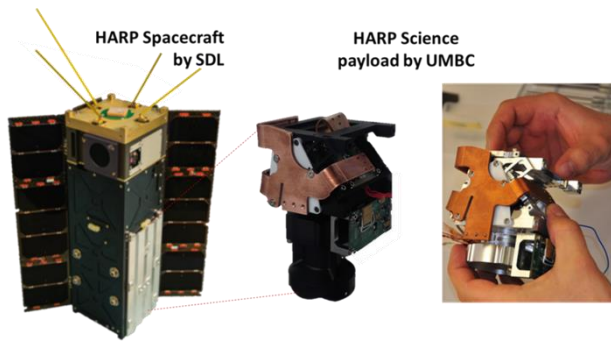
memanfaatkan sifat IoT dimana data adalah *key-value representation*. Beberapa *key-value* format pertukaran data yang dapat digunakan untuk transmisi data IoT meliputi JSON, BSON, CBOR, Msgpack, JSONC, dan Protobuf.

Format JSON sesuai dengan spesifikasi ASN.1, umum digunakan dalam sistem IoT modern. Sebagai contoh MQTT pesan hampir selalu berisi data yang dikodekan JSON. Teksual representasi data memungkinkan untuk memecahkan masalah IoT dengan mudah tanpa *decoding* data dan *key-value* yang fleksibel yang merepresentasikan fleksibilitas dimana memungkinkan untuk menggunakan format ini hampir di semua aplikasi. Format BSON adalah versi format JSON biner yang memungkinkan untuk menangani data biner di dalam pesan JSON. Format CBOR (RFC7049) dan Format MsgPack menggunakan data biner yang merupakan representasi dan optimalisasi ukuran pesan dengan menggunakan format data yang sesuai untuk nilai yang dikirimkan. Secara umum, memungkinkan untuk mengoptimalkan muatan keseluruhan. Baik Format CBOR dan Format MsgPack tidak perlu menentukan *key-value* sebelum transmisi data yang sebanding dalam ukuran pesan. Format JSONC menggunakan kompresi *zlib* (RFC1950) untuk data yang menggunakan Format JSON sehingga tidak mengoptimalkan data apapun. Format ini secara signifikan dapat mengoptimalkan ukuran pesan ketika mentransmisikan data tekstual yang besar. Informasi yang berasal dari sensor IoT biasanya berisi atribut atau deskriptor dan dapat dioptimalkan selama *encoding* dengan *key-value* yang telah ditentukan. Ada beberapa pertukaran format menggunakan prinsip ini. Protokol Buffer (*Protobuf*) menggunakan format biner yang memungkinkan untuk mengurangi ukuran pesan dengan mengoptimalkan tipe nilai pengkodean dan menggunakan struktur *key-value* yang telah ditetapkan. Hal ini meminimalkan muatan dengan mengirimkan pengidentifikasi *key-value*, bukan *key-name* dan dengan mengonversi nilai ke format biner. Format dengan *key-value* yang telah ditentukan lebih efisien untuk data IoT karena *key-value* dapat dikirim satu kali sebelum nilai regular transmisi dimulai. (Lysogor et al., 2018)

1.3 Small Satellite

Seperti yang telah dijelaskan di awal, satelit Nano merupakan satelit dengan berat kurang dari 10 kg. Satelit ini biasanya diluncurkan menumpang satelit besar (*piggyback*) atau melalui stasiun luar angkasa (ISS). Satelit Nano dirancang dalam bentuk kubus dengan dimensi 10x10x10 cm, 1 kg (1U) menjadi desain satelit Nano yang paling banyak digunakan. Dengan tipe klasifikasi struktur ukuran standar terkecil adalah 0.5U, sedangkan 3U adalah yang terbesar terdiri dari tiga unit yang ditumpuk memanjang. (Prasetya, 2018)

Sistem pada Satelit Nano sama seperti satelit pada umumnya yaitu terdiri dari *Electronic Systems*, *Communication System*, *Payload System*, dan *Attitude Determination and Control*. Satelit Nano membutuhkan perangkat *deploy* yang berbeda dengan satelit lainnya. Perangkat *deploy* inilah yang berfungsi sebagai rumah saat satelit di dalam roket dan juga pelontar untuk melepaskan satelit Nano ke orbit.



Gambar 7. Ilustrasi dari Satelit Nano

TABEL 1. PERBANDINGAN SMALL SATELLITE

Denomination	Mass (Kg)	Max Bus Power (W)	Typical Cost (USD)	Max. Dimension (m)	Development Time (Years)	Orbit	Mission Duration (Years)
Mini Satellite	100–500	1000	30M–200M	3–10	3–10	GEO MEO LEO HEO	5–10
Micro Satellite	10–100	150	10M–150M	1–5	1–5		2–6
Nano Satellite	1–10	20	100K–10M	0.1–1	1–3	LEO HEO	1–3
Pico Satellite	0.1–1	5	50K–20M	0.05–0.1			
Femto Satellite	< 0.1	1	< 50 K	0.01–0.1	1		< 1

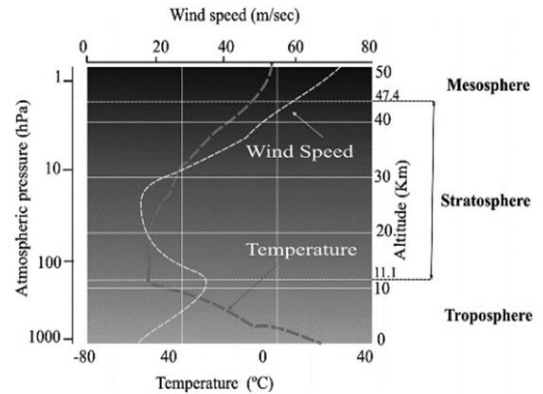
Dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi pengamatan bumi untuk aplikasi masyarakat, banyak negara mengintegrasikan kemampuan ruang angkasa ke dalam program pembangunan Nasional. Para pelaku yang mengembangkan teknologi satelit mulai bergeser bukan hanya menjadi penelitian pemerintah atau militer, namun satelit saat ini mulai diminati oleh kalangan akademisi dan perusahaan (*company*) dengan mengembangkan satelit dengan ukuran lebih kecil. Banyak perusahaan dan Universitas yang mulai ikut mengembangkan satelit. Satelit yang menarik minat perusahaan dan universitas ini masuk ke dalam kelas Satelit Nano dengan berat kurang dari 10 kg. Pada umumnya satelit Nano ini berbentuk kubus sehingga sering disebut juga dengan *CubeSat*. Gambar 7 (Husni, 2017) menunjukkan ilustrasi dari satelit Nano atau *CubeSat* (Ismail, 2017). Sedangkan Perbandingan *Small Satellite* ditunjukkan pada Tabel 1.

Secara umum, pengembangan *Small Satellite* meliputi satelit Nano di Indonesia memberikan peluang baru seperti penguasaan angkasa yang telah padat di orbit GSO, mampu memberikan manfaat untuk mendukung kepentingan Nasional di berbagai bidang yang berguna seperti pengukuran cuaca, pengamatan bumi dan *surveillance*, serta dapat memberikan kesempatan yang lebih besar kepada lembaga peneliti dan Universitas untuk kegiatan penelitian satelit dengan biaya yang cukup rendah.

1.4 High Altitude Station Platform (HAPS)

Sistem komunikasi HAPS pada dasarnya dapat terdiri dari dua utama elemen yaitu *stratospheric segment* dan

ground segment. Stratosfer adalah bagian lapisan dari atmosfer Bumi. Atmosfer Bumi terdiri dari beberapa lapisan berbeda dan troposfer menjadi yang paling terendah. Troposfer memanjang dari permukaan bumi hingga ketinggian sekitar 11 km di atas permukaan bumi tergantung pada musim dan lokasi geografis. Pada lapisan troposfer, suhu udara umumnya menurun dengan signifikan. Tekanan udara juga berkurang dari sekitar 1000 hPa di permukaan laut menjadi sekitar 200 hPa pada ketinggian 10 km. Sekitar 80% dari total massa udara berada di sini, dan hampir semua fenomena cuaca hadir di lapisan ini.



Gambar 8. Kecepatan Angin dan Temperatur pada Lapisan Stratosfer

Stratosfer adalah lapisan berikutnya, mulai dari ketinggian 10-50 km. Stratosfer ditandai oleh stabilitas statis yang tinggi, terkait dengan kenaikan suhu serta ketinggian dan hubungannya dengan angin kencang. Tidak ada awan di stratosfer, yang dapat memungkinkan energi matahari bersih digunakan tanpa polusi atmosfer.

Gambar 8 menunjukkan bagaimana kecepatan angin, tekanan atmosfer dan suhu bervariasi ketinggian di berbagai lapisan atmosfer. Kecepatan angin bervariasi sesuai dengan musim, lokasi geografis dan gradien suhu. Kecepatan angin tertinggi berada pada ketinggian sekitar 10-50 km. Pada ketinggian 20 dan 30 km, massa udara berada relatif stasioner dengan angin yang sangat lambat. Ini memungkinkan lokasi *quasi-stationary* pada HAPS yang juga dapat diposisikan pada ketinggian antara 17 km dan 25 km. Pada ketinggian ini, platform dapat menjaga kestabilannya, serta dapat terbang melawan angin yang sangat lambat tanpa menghabiskan sumber daya energi secara berlebihan. (Aragón-Zavala et al., 2008)

Ground Segment HAPS mendukung operasional antara HAPS dan pengguna di darat serta berperan dalam mengendalikan beberapa fungsi yang terkait dengan pengoperasian HAPS itu sendiri. *Interface* dengan jaringan terestrial lain dilakukan di sini dimana kontrol penerbangan dan operasi *gateway* juga terjadi. Stasiun telekomunikasi dan kontrol penerbangan dapat ditempatkan bersama di dalam fasilitas bangunan yang sama. Untuk itu stasiun bumi perlu dilengkapi dengan yang sesuai *transceiver* untuk mengirim dan menerima sinyal ke dan dari HAPS serta dapat berkomunikasi dengan fasilitas lain untuk mengontrol posisi HAPS beserta muatan peralatan di dalamnya.

1.4.1 Platforms

Ada dua jenis tipe *platform* dapat digunakan pada lapisan stratosfer yaitu tipe *platform Aerostatik* dan tipe *platform Aerodinamis*. Tipe *platform Aerostatik* dapat membawa muatan yang lebih berat (sekitar 1000 kg), memiliki pemeliharaan yang relatif mudah, serta luas permukaan penampang yang cukup untuk pembangkit listrik. Namun pada saat kuat angin ada, kestabilan akan terganggu sehingga pengoperasian dengan menggunakan tipe ini dibatasi pada daerah dengan situasi angin yang relatif rendah hingga sedang. Infrastruktur di *ground station* yang mahal dan operasional darat juga diperlukan, sehingga material lambung bertegangan tinggi diperlukan, dan jelas akan dipandang sebagai sebuah kerugian. Sedangkan, Tipe *platform Aerodinamis* lebih murah dibandingkan dengan tipe *platform Aerostatik* dengan bentuk pemeliharaan yang jauh lebih mudah dalam kondisi turbulensi dan lebih sedikit membutuhkan infrastruktur *ground station*. Berbeda dengan tipe *platform Aerostatik*, tipe *platform Aerodinamis* hanya bisa membawa muatan dengan sangat terbatas (kurang dari 100 kg), dengan daya *power* yang juga terbatas (hingga 1200 Watt). Selain itu, pergerakan *platform* di udara membutuhkan tambahan konsumsi daya *power* dimana daya *power* untuk tipe *platform Aerodinamis* sangatlah terbatas. (Aragón-Zavala et al., 2008)

1.4.2 Payload

Payload pada HAPS terdiri dari *phased array antennas* (mengirim dan menerima) untuk *link gateway* antar stasiun pelanggan di darat atau terrestrial dengan bank prosesor berskala besar yang menangani penerimaan, *multiplexing*, *switching* dan fungsi transmisi. *Payload* bisa menggunakan berbagai teknik multiple akses. *Payload* HAPS dapat dirancang untuk berfungsi sebagai stasiun tunggal dalam infrastruktur yang berdiri sendiri atau dapat diintegrasikan ke dalam jaringan yang mempekerjakan menara pangkalan terrestrial tradisional, satelit dan sesama wahana HAPS. Subsistem *payload* harus disesuaikan dengan layanan dan pita frekuensi diatur oleh otoritas telekomunikasi Nasional dan internasional.

1.4.3 Interface

Pada bagian *interface* antar platform dan stasiun pengontrol penerbangan darat, dilakukan oleh *Telemetry, Tracking and Command* (TT&C) dalam sub-sistem. Data berupa telemetri termasuk yang terkait dengan pemeliharaan instrumen HAPS serta pemeriksaan kesehatan platform, ditransmisikan ke stasiun pengendali dengan tujuan pemantauan. Selain itu, perintah ini pula dikirim dari stasiun bumi ke HAPS untuk operasi jarak jauh dan pelacakan platform. Subsistem TT&C menyediakan aliran informasi dua arah yang penting antara HAPS dan stasiun pengendali. Karena itu, HAPS memiliki transmisi (*downlink*) dan fungsi menerima (*uplink*) untuk melakukan tugas seperti mengumpulkan dan memproses data yang siap untuk dikirim serta pemrosesan dan perutean data perintah dari penerima. *Link* antara subsistem TT&C dan Stasiun Kontrol Penerbangan harus dalam kondisi *line of sight* (LOS) dengan menggunakan persyaratan spektrum yang diatur oleh ITU-R. Format transmisi sinyal telemetri mengikuti *Inter-Range Instrumentasi Grup* (IRIG) yang standar.

1.4.4 Antenna

Antena mewakili komponen perangkat keras yang paling utama dari stasiun bumi HAPS. Antena mendukung fungsi seperti pelacakan, telemetri, dan perintah (TT&C). Antena khas digunakan untuk stasiun bumi adalah reflektor parabola, karena *gain* dan *directivity* yang tinggi pada frekuensi operasi HAPS, kemudahan pabrikan serta biaya relatif rendah.

1.4.5 LNA dan HPA

Amplifier low-noise dipasang sehingga orientasinya tidak berbeda dengan posisi antena. Panjang *waveguide feeder* antara antena dan penerima *pre-amplifier* harus sesingkat mungkin untuk meminimalkan *losses*. LNA dirancang untuk mengoptimalkan *figure of merit* dan G/T. *Amplifier* ini dirancang untuk bekerja pada daya pancar yang lebih rendah daripada yang digunakan untuk komunikasi satelit dikarenakan jarak yang lebih pendek antara HAPS dan *ground station* atau user.

1.5 HAPS as IMT Base Station (HIBS)

Seperti yang telah diketahui bahwa pada WRC-2000 telah disepakati bahwa band frekuensi 1885-1980 MHz, 2010-2025 MHz dan 2110-2170 MHz berada pada Regional-1 dan Regional-3, serta untuk pita frekuensi 1885-1980 MHz dan 2110-2160 MHz berada pada Regional-2 yang mana diidentifikasi dalam layanan seluler untuk *High Altitude Platform Station* dan beroperasi sebagai *IMT Base Stations* seperti yang tertuang dalam RR No. 5.388A dan Resolusi 221 (Rev. WRC-07). Dalam RR No. 5.388A dan Resolusi 221 (Rev. WRC-07) tersebut menetapkan kondisi teknis untuk *High Altitude Platform Station as IMT Base Stations* yang diperlukan untuk proteksi *ground-based IMT stations* di negara-negara tetangga dan layanan lainnya berdasarkan hasil studi dan kompatibilitas dengan IMT-2000. (Palinggi, 2020)

Sejak tahun 2000, telah terjadi pertumbuhan yang luar biasa dalam penyebaran sistem IMT dan peningkatan signifikan dalam teknologi akses radio (yaitu IMT-Advanced dan IMT-2000). Terkait dengan pembagian Regional berdasarkan pada *Article 5* dalam *Radio Regulation Article Edition of 2016* (International Telecommunication Union, 2016) dimana diketahui bahwa Region 1 (XR1) meliputi Eropa, Afrika, Timur Tengah bagian barat dari teluk Persia meliputi Irak, bekas Uni Soviet dan Mongolia. Region 2 (XR2) meliputi benua Amerika, Greenland dan beberapa bagian timur dari kepulauan Pasifik. Region 3 (XR3) meliputi sebagian besar dari benua Asia yang bukan bekas Uni Soviet, Iran dan negara-negara di bagian timur, dan sebagian besar dari Oceania.

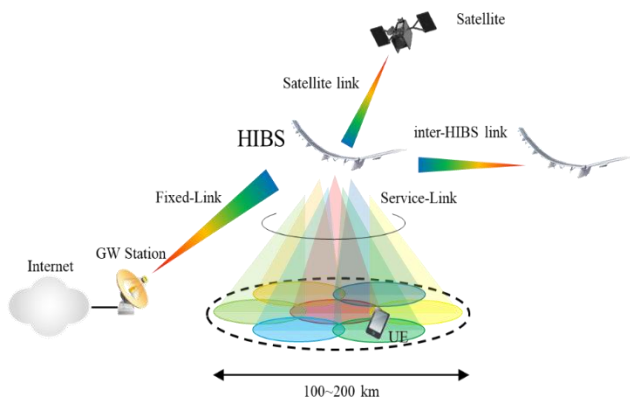
Cakupan populasi secara tradisional telah digunakan sebagai indikator untuk area layanan IMT serta area yang tidak terlayani dimana sulit untuk menyediakan konektivitas seluler kepada pelanggan. Tantangan ekonomi seperti populasi yang sangat sedikit untuk dilayani maupun kurangnya konektivitas *backhaul* dan catu daya serta penentangan dari pemilik lahan dan masyarakat setempat terhadap pembangunan stasiun pangkalan atau menara sel adalah beberapa alasan mengapa daerah-daerah tersebut tidak dapat dilayani oleh BTS berbasis IMT. Area dimana

BTS IMT, catu daya dan konektivitas *backhaul* telah rusak akibat bencana alam juga dapat masuk dalam kategori area layanan sementara.

Sementara itu, konektivitas seluler semakin meluas yang menghubungkan tidak hanya orang, tetapi juga perangkat. Jaringan sensor yang menggabungkan berbagai jenis sensor dan teknologi IoT berdasarkan pada sistem IMT diharapkan dapat digunakan secara luas termasuk di area yang tidak berpenghuni. Dengan menyediakan konektivitas seluler yang dapat diakses oleh terminal pengguna IMT yang ada di daerah dimana BTS IMT berbasis darat tidak dapat mencakup diharapkan industri baru akan muncul.

HIBS juga dapat ditempatkan sebuah tempat di ketinggian seperti stadion, tempat liburan atau tempat pameran, untuk menyediakan kapasitas berkecepatan tinggi yang disebabkan oleh peningkatan *traffict* secara tiba-tiba. Penyebaran HIBS dengan cepat dapat menambah infrastruktur jaringan darat dalam memenuhi kebutuhan kapasitas jaringan yang tidak biasa selama periode waktu yang singkat.

Menurut RR Pasal 1.66A, terminologi dari *High Altitude Platform Station* didefinisikan sebagai stasiun yang terletak pada objek pada ketinggian 20 hingga 50 km dan pada titik yang telah ditentukan dan bersifat relatif terhadap Bumi. Sedangkan untuk objek yang digunakan untuk membawa *High Altitude Platform Station* dengan kisaran ketinggian operasinya terbatas tetapi tidak ada perbedaan peraturan menurut jenis dan karakteristiknya. Dengan kata lain, meskipun jenis *unmanned aircraft systems* (UAS) saat ini sedang dipertimbangkan, dari perspektif peraturan, tidak perlu mempertimbangkan perbedaan yang signifikan. HIBS bisa dipahami sebagai BTS terletak yang terletak di ketinggian stratosfer dimana jangkauan *coverage* disebut dengan *super macro-cell base stations*.



Gambar 9. Ilustrasi Konfigurasi Jaringan HIBS

Gambar 9 menunjukkan ilustrasi sistem konfigurasi jaringan HIBS dimana pita layanan seluler yang akan digunakan untuk *link* komunikasi antara HIBS dan *user equipment* (UE) yakni di bawah 2.7 GHz. Pita layanan tetap telah diidentifikasi untuk stasiun platform ketinggian tinggi atau yang akan diidentifikasi dalam agenda WRC-19 pada item 1.14 yang akan digunakan untuk *feeder link* antara stasiun HIBS dan *gateway* (GW). Sebagai tambahan, *link* antar-HIBS dan *link* satelit juga dapat dipertimbangkan untuk *feeder link* HIBS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9. (Palinggi, 2020)

2. Regulasi dan Manfaat

Regulasi persatelitan Indonesia khusus diatur dalam Peraturan Menkominfo No. 21 tahun 2014, PP Nomor 53 tahun 2000 dan Undang-Undang Telekomunikasi Nomor 36 tahun 1999. Secara umum Permen 21 lebih kepada mengatur mengenai tata kelola penyelenggaraan jasa satelit telekomunikasi di Indonesia, bilamana ini jaringan satelit asing menggunakan *slot filling orbit* non-Indonesia wajib mendapatkan Hak Labuh (*landing right*), yang kedua mengatur tata kelola notifikasi *filig* satelit beserta dengan sanksi yang telah ditetapkan. Berdasarkan hal tersebut HTS juga tunduk kepada Permen 21, namun tentunya apakah Hak Labuh berlaku untuk *slot filling orbit* satelit secara menyeluruh atau per *spot beam*. Sejauh ini belum ada kajian regulasi maupun kebijakan persatelitan Nasional yang membahas khusus tentang HTS. Keberadaan HTS ditinjau dari aspek pertahanan bangsa memberikan beberapa keuntungan yaitu kedaulatan Republik Indonesia, menjaga kerahasiaan negara, bentuk kepedulian Negara dalam memberikan kemudahan layanan pita lebar kepada masyarakat disamping Palapa Ring. Pada aspek komersial yaitu meningkatkan efisiensi spektrum sampai dengan 3 atau 6 kali lipat yang berarti meningkatkan PNBPN, biaya investasi yang lebih rendah, harga jual layanan yang lebih rendah sehingga meningkatkan jumlah pengguna termasuk mendukung Palapa Ring. (E. Setiawan, 2016)

Untuk regulasi mengenai IoT dalam Agenda Item 9.1.8, berdasarkan kajian ITU (CPM19-2 Report) menyatakan bahwa tidak diperlukan pengaturan dalam *Radio Regulations* terkait spektrum frekuensi yang digunakan untuk IoT. Selain itu, kajian harmonisasi spektrum untuk IoT dapat dilanjutkan melalui *Study Group* ITU-R termasuk penyusunan *ITU-R Recommendations, Reports* dan atau *Handbooks*. Sedangkan kajian terkait *Satellite IoT* dalam *Working Party 4B* (WP-4B) yang meliputi *systems, air interfaces, performance and availability objectives for FSS, BSS and MSS, including IP-based applications and satellite news gathering*, menyatakan bahwa WP-4B ITU saat ini sedang mengkaji integrasi sistem satelit terhadap *Next Generation Access Technologies* dan sedang disusun draft Report terkait *integration of satellite systems into Next Generation Access Technologies including IoT applications*. Terkait dengan Dasar Hukum Regulasi Penggunaan IoT melalui Satelit di Indonesia dinyatakan dalam UU No. 36 Tahun 1999 tentang Telekomunikasi, PP No. 53 Tahun 2000 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit Satelit, PM Kominfo No. 13 Tahun 2018 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia, PM Kominfo No. 21 Tahun 2014 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio untuk Dinas Satelit dan Orbit Satelit. (D. Setiawan, 2020)

Penggunaan *Satellite IoT* sangat berkaitan dengan data. *Satellite IoT* berfungsi sebagai sumber data, disamping memiliki fungsi lainnya. Berbicara terkait data, tidak lepas dari pada validasi data tersebut mengingat *Satellite IoT* memiliki fungsi sebagai sumber data, dimana satelit setiap tahunnya semestinya mampu menyediakan akurasi data yang handal. (Hadiat, 2020)

Dari aspek penerapan *Satellite IoT* untuk kepentingan Nasional dimana BMKG sebagai Lembaga Pemerintah yang memiliki tanggung jawab berkaitan dengan informasi

cuaca, iklim dan tsunami, tentunya membutuhkan penerapan dari *Satellite IoT* untuk memberikan informasi secara cepat, tepat, akurat, handal dan terpercaya. Kemunculan teknologi IoT, mampu menjembatani mesin yang memproduksi data dengan memanfaatkan sensor yang terletak di dalam perangkat seperti ponsel dan perangkat pintar lainnya untuk mengumpulkan informasi secara *real-time* melalui *cloud*. Semua data yang terkumpul akan dianalisa dan dipakai untuk membuat keputusan, serta mengembangkan layanan atau produk yang relevan. BMKG dituntut untuk mengirimkan data per menit bahkan per detik serta data tersebut seharusnya sudah memiliki *quality control* secara IoT. Dalam penerapan IoT untuk penanganan gempa bumi, BMKG menerapkan *early warning system* dimana tiap detiknya data gempa yang dikirimkan akan sangat berharga. *Satellite IoT* diharapkan memiliki cakupan yang luas secara Nasional dan tersedia secara kontinyu, sehingga dapat diandalkan untuk *link* komunikasi peralatan operasional BMKG. Dan tentunya *Satellite IoT* akan sangat membantu dalam hal pengumpulan dan penyebaran data pengamatan MKUUG. Dalam pengelolaan *Satellite IoT*, BMKG tidak memiliki kendala jika nantinya akan dilakukan oleh pemerintah ataupun swasta tertentu selama dalam koridor pengelolaan secara profesional dengan mengedepankan aspek keamanan data. Selain itu, *Satellite IoT* diharapkan memiliki cakupan *foot print* yang meliputi wilayah Indonesia sehingga industri di daerah *rural* dapat memberdayakan fungsi satelit tersebut secara maksimal. (Darmawan, 2020)

High Altitude Platform Station adalah pendekatan baru solusi infrastruktur telekomunikasi untuk daerah pedesaan dan terpencil berdasarkan platform udara stratosfer. HAPS memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan platform ataupun teknologi yang sejenis. Implementasi HAPS haruslah sesuai dengan *Radio Regulation*, pemberitahuan dan pencatatan penugasan frekuensi dan modifikasi pada artikel 11.9, 11.26, dan 11.26A. Karakteristik untuk penetapan frekuensi HAPS dalam layanan terestrial dirinci dalam Tabel 2 dari dokumen *Radio Regulation* Lampiran ke 4. Status HAPS saat ini berfokus pada pengembangan platform. Proyek-proyek HAPS yang sedang berjalan dilakukan oleh misalnya proyek *Zephyr dari Airbus* dan proyek *Stratobus of Thales*. (E. Setiawan, 2018)

Daerah pedesaan dan terpencil adalah bagian yang terintegrasi dan penting dari suatu negara yang tidak dapat dibedakan dari kota. Di banyak negara, daerah pedesaan dan terpencil memainkan peran penting misalnya melestarikan sumber daya alam. Sayangnya, banyak orang yang tinggal di daerah itu tidak menerima layanan yang sama dalam pendidikan, perawatan kesehatan, layanan keuangan dan layanan publik lainnya karena kurangnya infrastruktur telekomunikasi. Solusi infrastruktur telekomunikasi pedesaan yang umum adalah VSAT (layanan satelit) dan radio *microwave*. Dengan hadirnya HAPS maupun HIBS, mampu memberikan layanan kepada para pengguna dimana belum mendapatkan layanan broadband secara utuh.

IV. SIMPULAN

Kemajuan dari perkembangan teknologi seperti satelit maupun platform lainnya seperti HAPS dan HIBS, telah

memberikan alternatif dari kemajuan teknologi yang berbasis pada kebutuhan akan layanan broadband. Tidak hanya itu, peningkatan taraf kehidupan ikut mengalami perubahan dengan evolusi teknologi di angkasa. Penerapan HTS, *Satellite IoT*, *Small Satellite*, HAPS dan HIBS terlebih untuk daerah pedesaan akan sangat berdampak pada perkembangan baik ekonomi maupun bidang pertahanan dan keamanan.

Dari aspek ekonomi, kehadiran teknologi HTS mampu memberikan pilihan secara opsional kepada para operator satelit dimana harga satelit tradisional \$250 juta dengan kapasitas 2 Gbps, sedangkan harga satelit HTS \$350 juta dengan kapasitas 140 Gbps. Dari aspek perangkat remote, teknologi HTS menjadikan perangkat di remote menjadi lebih efisien dimana antena HTS jauh lebih kecil dengan biaya pengiriman yang murah serta instalasi yang mudah. Dari aspek kapasitas, HTS mampu menyediakan *multi-beam* dengan konsep *frequency reuse*. Dan dari aspek *throughput*, HTS mampu menyediakan *downstream* hingga 12 Mbps serta *upstream* hingga 3 Mbps. Dengan hadirnya HTS di Indonesia, dapat menjadi solusi dalam mengatasi kesenjangan *throughput* antara daerah perkotaan dan daerah pedesaan. Selain dari aspek positif, terdapat pula kendala yang dihadapi oleh HTS dimana penggunaan frekuensi tinggi (Ku-Band atau Ka-Band) di wilayah tropis sangat dipengaruhi oleh cuaca khususnya curah hujan. Semakin tinggi tinggi curah hujan maka redaman yang akan ditimbulkan akan semakin tinggi.

Konsep IoT dimana memanfaatkan sensor untuk mengumpulkan informasi yang akurat, juga diterapkan di satelit. *Satellite IoT* hadir sebagai alternatif dari penggunaan satelit khususnya di Indonesia. Dengan semakin padatnya jumlah satelit yang mengorbit di geostasioner, memungkinkan dikembangkan *Satellite IoT* yang jauh lebih baik dalam menyediakan layanan. *Satellite IoT* akan berfungsi sebagai sumber data diharapkan *Satellite IoT* mampu memberikan data yang cepat dan akurat. *Satellite IoT* dalam penggunaannya di Indonesia, akan banyak memberikan dampak positif khususnya terkait data yang memiliki sifat urgensi seperti data gempa, dan tsunami. Keberadaan *Satellite IoT* akan banyak membantu dalam komunikasi para nelayan yang berada di laut lepas dalam memperoleh informasi terkait geografis di lautan. *Small Satellite* yang juga beroperasi di orbit rendah, seperti satelit Nano menjadi alternatif pilihan untuk para operator maupun dari militer dalam menyajikan informasi terkait data topografi bumi, dan lain sebagainya.

Platform HAPS dan HIBS yang berada di lapisan stratosfer juga akan dijadikan sebagai alternatif komunikasi yang bersifat *hybrid* sehingga dapat terintegrasi dengan baik dalam menyediakan layanan komunikasi. Khususnya HIBS yang menjadi solusi dari kemajuan terestrial seperti 5G dan 6G, nantinya diharapkan dapat terkoneksi dalam menyediakan layanan broadband khususnya di daerah pedesaan secara *direct* serta dapat terintegrasi dengan pengguna yang berada di luar jangkauan eNB maupun gNB. HIBS diharapkan mampu memberikan *throughput* yang setara dengan jaringan yang berasal dari eNB maupun gNB sehingga para pengguna hampir tidak merasakan perbedaan signifikan.

Integrasi antara HTS, *Satellite IoT*, *Small Satellite* maupun satelit Nano, HAPS dan HIBS akan sangat

memungkinkan diterapkan dikemudian hari. Tantangan yang perlu segera diselesaikan adalah terkait regulasi yang masih mengikat terhadap masing-masing teknologi yang ada. Dan tidak menutup kemungkinan, pengguna di daratan akan mampu mengakses ke teknologi tersebut secara bersamaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu, S., & Damanik. (2018). Peran RI dalam FORA International. *Prosiding Seminar Nasional Pusat Kajian Kebijakan Penerbangan Dan Antariksa LAPAN*, 65–77. ISSN: 2654-7007
- Aragón-Zavala, A., Cuevas-Ruiz, J. L., & Delgado-Penín, J. A. (2008). *High-Altitude Platforms for Wireless Communications*. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN: 978-0-470-5 1061-2
- Darmawan, B. (2020). Global Observing System BMKG. *Materi Webinar Satellite IoT (SIoT)*. Unpublished.
- Elbert, B. R. (20 04). *The Satellite Communication Applications Handbook* (2nd ed.). Artech House, Inc. ISBN: 1-58053-490-2
- Gultom, A. D., & Yuniarti, D. (2016). Kajian Teknologi High Altitude Platform (HAP). *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 14(1), 11–22. <https://doi.org/10.17933/bpostel.2016.140102>
- Hadiat. (2020). Satellite IoT (SIoT). *Materi Webinar Satellite IoT (SIoT)*. Unpublished.
- Hidayat, K. (2019). High Throughput Satellite (HTS). *Modul Training Indonesia-ITU Concern Forum Dan Edutech Solution*. Unpublished.
- Husni, E. M. (2017). Pengembangan Satelit Nano: Automatic Identification System (AIS). *Materi Seminar International Conference on Satellite Technology (ICST)*. Unpublished.
- International Telecommunication Union. (2016). *Radio Regulation Articles Edition of 2016*. ISBN: 978-92-61-19121-4
- Ismail. (2017). Regulasi Satelit di Indonesia. *Materi Seminar International Conference on Satellite Technology (ICST)*. Unpublished.
- Karapantazis, S., & Pavlidou, F.-N. (2005). The Role of High-Altitude Platforms in Beyond 3G Networks. *IEEE Wireless Communications*, 12(6), 33–41. <https://doi.org/10.1109/MWC.2004.156.1561943>
- Lysogor, I. I., Voskov, L. S., & Efremov, S. G. (2018). Survey of Data Exchange Formats for Heterogeneous LPWAN-Satellite IoT Networks. *2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT)*. <https://doi.org/10.1109/MWENT.2018.8337257>
- Palinggi, S. (2020). *Analisis Interferensi Antara HAPS Layanan Bergerak Dengan Jaringan MT-2020 (5G) Pada Pita Frekuensi 700 MHz*. Tesis Program Magister, Institut Teknologi Bandung. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/52303>
- Palinggi, S., & Irmayani. (2019). VSAT Bandwidth Efficiency on Satpath System. *International Journal of Innovative Science and Research Technology (IJISRT)*, 4(12), 1165–1174. ISSN: 2456-2165. <https://ijisrt.com/vsat-bandwidth-efficiency-on-satpath-system>
- Prasetya, S. (2018). Potensi Pengembangan Nano Satelit Sebagai Teknologi Satelit Masa Depan. *Sosialita*, 13(1), 29–34.
- Qu, Z., Zhang, G., & Xie, J. (2017). LEO Satellite Constellation for Internet of Things. *IEEE Access*, 5, 18391 – 18401. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2735988>
- SDPPPI. (2016). *Kelayakan Implementasi High Altitude Platforms (HAPs): Studi Kasus Project Loon*. ISBN: 978-602-73633-9-7
- Setiawan, D. (2020). Kebijakan dan Regulasi Spektrum dan Aplikasi Satelit IoT. *Materi Webinar Satellite IoT (SIoT)*. Unpublished.
- Setiawan, E. (2016). *Kebutuhan Mendesak Atas Sistem HTS Nasional Mendukung Layanan Pita Lebar Tol Informasi Indonesia*. Unpublished.
- Setiawan, E. (2018). The Potential Use of High-Altitude Platform Station in Rural Telecommunication Infrastructure. *2018 International Conference on ICT for Rural Development (IC-ICTRuDev)*. <https://doi.org/10.1109/ICICTR.2018.8706563>. ISBN: 9781538677810
- Widiawan, A. (2020). Introduction to Satellite. *Materi Webinar Satellite IoT (SIoT)*. Unpublished.
- Yuniarti, D. (2013). Studi Perkembangan dan Kondisi Satelit Indonesia. *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 11(2), 121–136.