



Kebutuhan Frekuensi untuk *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) Pita Lebar di Indonesia

Frequency Requirement for Broadband Public Protection and Disaster Relief (PPDR) in Indonesia

Diah Yuniarti¹

¹Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika
Jl. Medan Merdeka Barat No.9 Jakarta 10110

INFORMASI ARTIKEL

Naskah diterima 2 Januari 2015
Direvisi 20 Januari 2015
Disetujui 10 Maret 2015

Keywords:

Public Protection and Disaster Relief
Frequency requirements
PP1
PP2

Kata kunci :

Public Protection and Disaster Relief
Kebutuhan frekuensi
PP1
PP2

ABSTRACT

Demands regarding on application development of broadband Public Protection and Disaster Relief (PPDR) are increasing in recent years as more requirements on more efficient and effective disaster responses. This research identified broadband PPDR frequency requirements in Indonesia, comprising of daily incidents (PP1) and large emergency incidents (PP2) at 400 MHz and 800 MHz frequency bands. Modelling and simulation techniques are used to calculate frequency requirement based on scenario and number of incidents data obtained. Research result shows frequency requirements to accommodate PP1 incidents is estimated at 2x10 MHz. Meanwhile, frequency requirement to accommodate PP2 incidents is estimated at 2x20 MHz for LTE FDD or 30 MHz for LTE TDD.

ABSTRAK

Permintaan akan pengembangan aplikasi *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) pita lebar terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir seiring dengan kebutuhan untuk tanggap bencana yang lebih efisien dan efektif. Penelitian ini mengidentifikasi kebutuhan frekuensi PPDR pita lebar di Indonesia yang meliputi kejadian harian (PP1) dan kejadian darurat besar (PP2) pada pita frekuensi 400 MHz dan 800 MHz. Teknik pemodelan dan simulasi digunakan untuk menghitung kebutuhan frekuensi berdasarkan data skenario dan jumlah kejadian yang diperoleh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan frekuensi untuk mengakomodasi kejadian PP1 diperkirakan sebesar 2x10 MHz. Sedangkan, kebutuhan frekuensi untuk kejadian PP2 diperkirakan sebesar 2x20 MHz untuk LTE FDD atau 30 MHz untuk LTE TDD.

1. Pendahuluan

Kebutuhan dalam penanganan kejadian yang terkait dengan *Public Protection and Disaster Relief* (PPDR) yang lebih efisien dan lebih efektif mendorong peningkatan pengembangan aplikasi pita lebar seperti aplikasi video bergerak *real time*. Di sisi lain, aplikasi PPDR yang ada saat ini kebanyakan berada pada pita sempit yang mendukung aplikasi suara dan kecepatan data rendah, terutama di lebar pita kanal 25 kHz atau dibawahnya, termasuk di Indonesia (Yuniarti, 2014). ITU di dalam WRC-2015 mengagendakan untuk meninjau dan merevisi Resolusi 646 WRC-2003 untuk PPDR berdasarkan Resolusi 648 WRC-2012 tentang kajian untuk mendukung PPDR pita lebar (ITU, 2012).

Frekuensi untuk keperluan penanganan sementara bencana (PPDR) di Indonesia dialokasikan pada pita 409 – 417 MHz dan 422,5– 426,25 MHz (Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2010). Akan tetapi, meskipun telah terdapat alokasi frekuensi untuk PPDR, lembaga atau organisasi pemerintah terkait seperti kepolisian dan BNPB memiliki alokasi frekuensi khusus yang berada di luar alokasi PPDR. Dalam rangka pemanfaatan spektrum frekuensi radio yang lebih efisien, pemerintah dalam hal ini Kementerian Komunikasi dan Informatika merencanakan untuk menggabungkan seluruh alokasi frekuensi untuk instansi

Email : ¹diah.yuniarti@kominfo.go.id

pemerintah di dalam pita frekuensi yang dinamakan *Government Radio Network* Indonesia (GRNI) pada pita frekuensi 380 – 400 MHz (Direktorat Penataan Sumber Daya, 2013).

Potensi alokasi frekuensi untuk penggunaan PPDR pita lebar di Indonesia terdapat di beberapa pita frekuensi, diantaranya pada pita 380-400 MHz yang direncanakan untuk GRNI dan pita 4940 – 4990 MHz (Setiawan, 2010). Uni Eropa telah mengidentifikasi pita frekuensi pada 400 MHz dan 700 MHz (ECC, 2013) dimana pita 700 MHz (694-790 MHz) merupakan kandidat utama pita frekuensi untuk PPDR pita lebar sedangkan pita 400 MHz (410-430 MHz dan 450-470 MHz) merupakan spektrum frekuensi tambahan (ECC, 2014). Untuk Asia Pasifik, APT telah menetapkan rencana pita frekuensi 700 MHz (698–806 MHz) untuk frekuensi pita lebar bergerak. Sedangkan, alokasi frekuensi untuk PPDR pita lebar di Asia Pasifik direncanakan untuk menggunakan pita frekuensi 800 MHz (806-960 MHz) tetapi masih menunggu kajian lebih lanjut (Lewis, 2012).

Dengan melihat potensi PPDR pita lebar yang cukup besar untuk menangani kejadian-kejadian PPDR di Indonesia, penelitian ini mengidentifikasi kebutuhan spektrum frekuensi PPDR pita lebar di Indonesia, dengan dibatasi pada kejadian harian (PP1) dan kejadian darurat besar (PP2).

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Penelitian Terkait

Kebutuhan yang semakin meningkat terhadap PPDR pita lebar telah mendorong beberapa penelitian/studi terkait, diantaranya:

2.1.1. *Public Protection and Disaster Relief (PPDR) Services and Broadband in Asia and the Pacific: A Study of Value and Opportunity Cost in the Assignment of Radio Spectrum* (Ure, 2013)

Kajian ini bertujuan untuk mengestimasi biaya dan manfaat dari pemberian spektrum frekuensi pita lebar kepada lembaga PPDR baik secara penuh maupun *sharing*. Penelitian dilakukan terhadap delapan negara di Asia yaitu Australia, China, Indonesia, Malaysia, Selandia Baru, Singapura, Korea Selatan dan Thailand. Penelitian ini menggunakan kombinasi metodologi *top-down* dan *bottom-up*. Data *top down* diperoleh dari referensi internasional yang terkait dengan pemulihan bencana besar seperti angin ribut, gempa bumi, wabah, dan lainnya. Data *bottom-up* fokus pada “biaya kejahatan” sebagai bagian dari perlindungan masyarakat dan berdasarkan pada basis data UNODC dan *online toolkit* yaitu *benefit estimator* IBM. Salah satu kesimpulan penelitian ini adalah spektrum frekuensi pita lebar yang diberikan kepada jaringan PPDR di luar situasi darurat dapat di-*share* dengan pengguna non-PPDR komersil sebagai insentif bagi penggunaan spektrum yang efisien. Apapun asumsi yang digunakan, kerugian yang diakibatkan oleh kejadian PPDR pada delapan negara jauh lebih besar dibandingkan dengan pendapatan yang diperoleh dari pemberian spektrum kepada 4G LTE. Kerugian tahunan bagi keselamatan masyarakat rata-rata per *capita basis* berkisar dari \$ 505.01 (Indonesia) hingga \$ 36.06 (Singapura). Berdasarkan analisis biaya manfaat, lebar pita yang harus dialokasikan untuk keperluan layanan PPDR berkisar antara 10-20 MHz.

2.1.2. *PPDR Spectrum Harmonisation in Germany, Europe, and Globally* oleh J.Scott Marcus, John Burns, Val Jervis, Reinhard Wahlen, Kenneth R. Carter, Imme Philbeck dan Peter Vary (Marcus et al., 2010)

Penelitian ini bertujuan menganalisis kebutuhan spektrum untuk lembaga terkait PPDR, khususnya di Jerman. Penelitian dilakukan dengan meninjau dan mengidentifikasi hasil dari penelitian IABG. Selanjutnya, data hasil penelitian IABG dimodelkan secara kuantitatif untuk mendapatkan kebutuhan pita frekuensi untuk hampir seluruh rentang frekuensi. Bersamaan dengan itu, dilakukan studi literatur yang didukung dengan wawancara selektif untuk meningkatkan pemahaman mengenai kebutuhan PPDR di negara lain. Selanjutnya dilakukan penilaian dengan menggunakan metodologi penilaian dampak, yang merupakan alat standard Komisi Eropa untuk menimbang biaya dan manfaat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan LTE *advanced* dan mobile Wimax, kebutuhan spektrum untuk Jerman

diestimasi sebesar 15 MHz *uplink* dan 10 MHz *downlink*. Spektrum frekuensi yang diidentifikasi untuk PPDR berada pada pita 5150-5250 MHz dan jika mungkin ditambah dengan pita 1452-1479.5 MHz yang tidak digunakan (awalnya digunakan oleh T-DAB). Teknologi 802.11 masih dapat digunakan karena level daya tinggi untuk PPDR diperbolehkan untuk digunakan pada pita 5150-5250 MHz. Alternatifnya, jaringan *ad hoc mesh* serta LTE *picocell* dan *repeater*-nya dapat digunakan.

2.1.3. *The Need for PPDR Broadband Spectrum in the Bands Below 1 GHz* (Marcus, 2013)

Makalah ini bertujuan mereviu kebutuhan spektrum untuk PPDR, mengidentifikasi biaya dan manfaat alokasi yang diharmonisasi untuk spektrum frekuensi PPDR pita lebar, mengidentifikasi tantangan dalam menemukan spektrum frekuensi dibawah 1 GHz, mengidentifikasi urgensi lelang bagi nilai spektrum PPDR, dan menganalisis pilihan bagi penggunaan bersama PPDR dan operator jaringan bergerak berbasis LTE. Hasil studi menunjukkan bahwa implementasi broadband PPDR memerlukan spektrum frekuensi dibawah 1 GHz. Saat ini, hanya pita frekuensi 700 MHz (694-790 MHz) yang memiliki prospek yang realistis secara global atau regional di Uni Eropa. Pelelangan spektrum di bawah 1 GHz tidak memberikan hasil yang efisien secara ekonomi dan tidak memberikan nilai alokasi PPDR bagi masyarakat. Kebutuhan broadband bagi keamanan masyarakat tidak bisa dipenuhi dengan bergantung sepenuhnya pada jaringan komersial.

2.1.4. *Delivering 4G/LTE Mobile Broadband for Emergency Services* (Telstra, 2012)

Makalah ini menjelaskan mengenai pilihan-pilihan dan menyajikan cara bagi organisasi layanan darurat (ESO) Australia untuk secara efektif mengadopsi teknologi 4G/LTE. Operasi paralel antara teknologi 4G LTE di *digital dividend* Australia pada 700 MHz dan PPDR pada *low end* 800 MHz dapat dilakukan. Pembangunan infrastruktur hanya untuk penggunaan ESO cukup mahal dan terdapat resiko sebagian besar spektrum tidak digunakan sehingga infrastruktur PPDR disarankan berada pada infrastruktur komersial dengan tingkat layanan tertentu.

2.1.5. *ECC Report 199 : User Requirements and Spectrum Needs for future European Broadband PPDR systems (Wide Area Networks)*” oleh ECC (ECC, 2013)

Studi ini bertujuan mengidentifikasi dan menganalisis kebutuhan pengguna dan kebutuhan spektrum frekuensi untuk sistem PPDR pita lebar masa depan di Eropa. Studi ini mencakup tiga lingkungan PPDR yaitu operasi harian PP (kategori PP1), keadaan darurat atau acara besar (kategori PP2) dan bencana (kategori DR) dengan mengasumsikan penggunaan teknologi LTE sebagai teknologi PPDR pita lebar yang digunakan. Perhitungan minimal spektrum yang dibutuhkan oleh PPDR pita lebar menggunakan metodologi berbasis kejadian yang dibatasi untuk komunikasi data saja pada pita frekuensi 400 MHz dan 700 MHz. Hasil studi menunjukkan bahwa kebutuhan spektrum frekuensi PP1 untuk WAN diestimasi antara 7.1 MHz dan 12.5 MHz. Jumlah spektrum frekuensi sebesar 10 MHz untuk *uplink* dan 10 MHz untuk *downlink* dianggap dapat memenuhi kebutuhan skenario PP1. Untuk skenario lalu lintas padat PP2, kebutuhan spektrum diestimasi antara 10.3 MHz and 14.3 MHz. Dengan memperhitungkan skenario PP1 dan PP2, nilai 2x10 MHz (10 MHz *uplink*, 10 MHz *downlink*) dapat memenuhi kebutuhan untuk dua tipe skenario PPDR. Estimasi spektrum untuk suara di *Wireless Area Network* (WAN) PPDR pita lebar masa depan sekitar 2x3.2 MHz.

2.1.6. *Technical Requirements for Mission Critical Broadband PPDR Communications* (APT, 2013)

Studi ini menjelaskan mengenai persyaratan teknis untuk komunikasi PPDR pita lebar pada misi darurat. Studi ini dapat menjadi titik awal bagi perencanaan yang lebih detail bagi negara yang akan mengembangkan lembaga PPDR-nya. Aplikasi multimedia PPDR memerlukan persyaratan sistem yang mencakup : mendukung aplikasi jamak, mendukung penggunaan simultan aplikasi jamak, memiliki kemampuan untuk mengatur *traffic* dengan prioritas tinggi dan rendah, memenuhi *grade of services* (gos) yang cukup, menyediakan cakupan geografis yang lengkap dan kapasitas yang cukup, memiliki *platform* yang stabil dan mudah beradaptasi, memiliki keamanan yang tinggi, menghasilkan biaya yang efektif,

memiliki performansi yang tinggi, dan memiliki kesesuaian elektromagnetik (EMC). Sedangkan, persyaratan operasional sistem yang dibutuhkan bagi pengguna PPDR mencakup: sistem dapat dioperasikan di berbagai lingkungan operasi radio, sistem memiliki kemampuan interoperabilitas, sistem memiliki kesesuaian dengan jaringan eksisting, penggunaan sistem tidak berinterferensi dengan pita frekuensi yang letaknya berdekatan, serta terdapat perencanaan dan pra koordinasi untuk menyediakan sistem komunikasi PPDR yang handal.

2.2. *Public Protection and Disaster Relief (PPDR)*

PPDR terbagi menjadi dua terminologi, yaitu :

- a. *Public Protection*, terkait dengan pemeliharaan terhadap hukum, perlindungan hidup dan hak milik dan situasi darurat.
- b. *Disaster Relief*, terkait dengan gangguan serius terhadap aktivitas masyarakat, memiliki ancaman yang signifikan dan luas terhadap hidup manusia, kesehatan, hak milik atau lingkungan baik disebabkan oleh kecelakaan, alamiah atau aktivitas manusia, timbul secara tiba-tiba atau hasil dari proses yang kompleks dan panjang.

Berdasarkan definisi ITU tersebut, diasumsikan misi yang dilakukan organisasi PPDR mencakup:

- Penegakan hukum
- Pemadaman kebakaran
- Layanan medis darurat
- Pencarian dan penyelamatan
- Keamanan perbatasan
- Keamanan
- Perlindungan pejabat, VIP
- Evakuasi masyarakat
- Penanganan bencana alam dan bencana karena manusia
- dan lainnya

Komunikasi yang mendukung operasi PPDR mencakup beberapa layanan, diantaranya layanan tetap, bergerak, amatir dan satelit. Umumnya, teknologi pita sempit digunakan untuk komunikasi PPDR pada layanan bergerak terrestrial sedangkan teknologi *wideband* dan *broadband* dapat digunakan untuk aplikasi PPDR pada seluruh layanan komunikasi (ITU, 2003).

a. *Pita Sempit*

Aplikasi pita sempit PPDR diimplementasikan pada *wide area networks* (WAN), termasuk jaringan radio trunking digital yang menyediakan aplikasi suara digital dan aplikasi data dengan kecepatan rendah (misalnya pesan status *pre-defined*, transmisi data berupa bentuk dan pesan, serta akses ke basis data). Teknologi pita sempit memiliki lebar pita kanal hingga 25 kHz dengan kecepatan hingga 64 kbit/detik yang setara dengan satu kanal suara di dalam sistem radio (Ure, 2013). Sistem pita sempit umumnya merupakan jaringan permanen dan jaringan nasional (SATRC Working Group on Spectrum, 2012).

b. *Wide Band*

Teknologi *wideband* memiliki kecepatan data hingga ratusan kilobit/detik (pada rentang 384-500 kbit/detik) sehingga dapat mendukung dua kanal suara pada sistem radio (ITU, 2003) dan memungkinkan transmisi data, video, dan *traffic* berbasis protokol internet berukuran besar (SATRC Working Group on Spectrum, 2012). Sistem nirkabel *wideband* dapat mengurangi waktu respon untuk mengakses internet dan basis data informasi lainnya secara langsung dari lokasi kejadian. Hal ini diharapkan akan menginisiasi perkembangan aplikasi yang baru dan aman untuk organisasi PPDR.

c. *Broadband*

Teknologi *broadband* dapat dilihat sebagai tren evolusioner dari *wideband*. Aplikasi *broadband* memungkinkan penambahan fungsi dengan kapasitas tambahan untuk mendukung data dengan kecepatan lebih tinggi dan gambar dengan resolusi lebih tinggi (ITU, 2003). Sistem *broadband* dapat dilokalisasi di lokasi kejadian atau kecelakaan (dikenal dengan wilayah "*hot spot*") ataupun acara besar tempat personel

PPDR beroperasi. Sistem ini dapat menyediakan suara, data kecepatan tinggi dan video *real time* digital dengan kualitas tinggi serta aplikasi multimedia yang memerlukan kecepatan data pada rentang 1-100 Mbit/detik (SATRC *Working Group on Spectrum*, 2012).

Terdapat beberapa skenario dapat dijadikan sebagai dasar untuk mengidentifikasi kebutuhan spektrum frekuensi untuk PPDR. Skenario tersebut mencakup pembagian skala kejadian PPDR menjadi operasi harian, kejadian darurat atau acara publik dan kejadian bencana.

a. Operasi harian

Operasi harian atau dinamakan PP1 meliputi operasi rutin yang dilakukan oleh lembaga PPDR sesuai dengan wilayah hukumnya. Secara khusus, PP1 dilakukan di dalam batasan nasional. Umumnya, kebutuhan infrastruktur dan spektrum frekuensi PP ditentukan dengan menggunakan skenario ini dengan kapasitas tambahan untuk mengakomodir kejadian darurat.

Contoh operasi atau kejadian sehari-hari antara lain (Miral, 2014) :

- Kecelakaan lalu lintas
- Kebakaran
- Penanganan kejahatan
- Penanganan perkelahian antar kelompok
- Penanganan demonstrasi
- Bantuan kesehatan, misalnya merujuk target *Millenium Development Plan* khususnya penurunan tingkat kematian ibu dan anak
- Kecelakaan di lingkungan daerah wisata, pabrik, perumahan, perkantoran, pusat perbelanjaan dll.
- Layanan Gawat Darurat
- Pemantauan lokasi strategis

b. Kejadian darurat besar dan acara publik

Kejadian darurat besar dan acara publik atau dinamakan PP2 dilakukan oleh lembaga PP dan DR di wilayah tertentu yang masih berada di dalam wilayah hukum. Di sisi lain, lembaga PP dan DR masih harus melakukan operasi rutin di wilayah lainnya yang masih menjadi wilayah hukum. Kejadian darurat besar dan acara publik membutuhkan tambahan sumber daya PPDR dari wilayah hukum yang berdekatan, lintas lembaga atau organisasi internasional. Kebakaran hutan atau kebakaran kota yang luas merupakan contoh dari kejadian darurat besar. Sedangkan, contoh acara publik misalnya pertemuan ASEAN atau pelaksanaan PON.

c. Bencana

Bencana dapat terjadi secara alami atau karena aktivitas manusia. Bencana yang terjadi secara alami misalnya gempa bumi, banjir, badai tropis, dan lainnya. Bencana yang disebabkan oleh manusia meliputi kejadian kriminal dengan skala besar atau konflik bersenjata.

Sistem satelit bergerak berperan penting di situasi bencana karena layanan terestrial yang ada rusak atau tidak dapat menangani permintaan *traffic* yang naik akibat situasi bencana. Pita frekuensi yang digunakan oleh sistem satelit bergerak umumnya diharmonisasi di tingkat global. Pada konvensi Tampere, negara tetangga yang memiliki terminal sistem satelit bergerak sebagai bagian dari perencanaan cadangan dapat menawarkan komunikasi esensial awal yang dibutuhkan dengan *delay* minimum. Kesepakatan multilateral dan bilateral lebih lanjut sangat diperlukan, misalnya GMPCS-MoU. Beberapa lembaga/organisasi PPDR dan kelompok radio amatir menggunakan sistem pita sempit HF, termasuk penggunaan mode data dan suara. Teknologi lainnya seperti suara digital, data kecepatan tinggi dan video masih berada dalam tahap implementasi awal dengan menggunakan layanan terestrial atau satelit.

Permintaan terbesar untuk layanan telekomunikasi PPDR berada di kota besar dimana *traffic* dengan kategori beragam ditemukan. Permintaan maksimum akan terjadi setelah bencana saat banyak pengguna PPDR berkumpul di lokasi kejadian dengan memanfaatkan jaringan telekomunikasi yang ada, memasang jaringan sementara atau memanfaatkan atau stasiun portabel. Spektrum tambahan mungkin diperlukan untuk interoperabilitas antar berbagai pengguna PPDR atau untuk pemasangan sistem pemulihan bencana sementara (ITU, 2003).

Perhitungan permintaan spektrum frekuensi harus mempertimbangkan estimasi *traffic*, teknik yang tersedia saat ini dan teknik yang diprediksi mendatang, karakteristik propagasi dan skala waktu dalam memenuhi kebutuhan pengguna semaksimal mungkin. Estimasi *traffic* harus mempertimbangkan bahwa ke depannya, *tarffic* non-suara akan menempati porsi yang besar dari keseluruhan *traffic*. *Traffic* tersebut akan dihasilkan dari stasiun bergerak dan stasiun pribadi yang dipasang di dalam maupun di luar ruangan. Pola penggunaan ulang frekuensi untuk sistem PPDR lebih tinggi dibandingkan dengan layanan nirkabel komersial. Layanan nirkabel komersial dirancang untuk menggunakan peralatan berdaya rendah dengan kendali daya pada lingkungan dengan interferensi yang terbatas. Sistem PPDR dirancang dengan cakupan dan kebisingan yang terbatas. Banyak sistem PPDR menggunakan gabungan peralatan kendaraan berdaya tinggi dan peralatan genggam berdaya rendah sehingga pemisahan atau jarak penggunaan ulang frekuensi lebih besar.

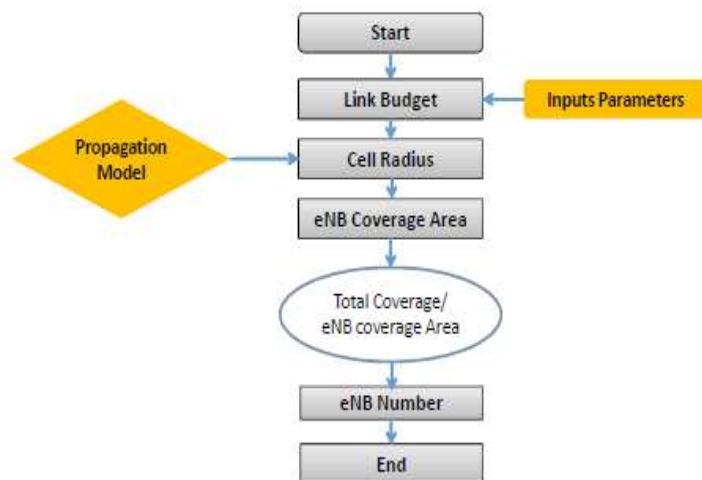
Teknologi modularitas sistem PPDR berbeda dengan sistem komersial. Pada sistem PPDR terdapat dua atau lebih jaringan yang mencakup daerah geografis yang sama dengan frekuensi yang berbeda sehingga dapat mendukung personil PPDR lintas pemerintahan atau lintas kategori. Dengan demikian, jaringan yang terbentuk memiliki sumber daya kanal yang lebih sedikit per sel. Jaringan PPDR normalnya dirancang dengan kehandalan cakupan yang tinggi, 95-97% karena harus mencakup seluruh lingkungan operasional mulai dari jaringan tetap. Berbeda dengan jaringan komersial yang dapat merubah jaringan sesuai dengan kebutuhan pelanggan, jaringan PPDR hanya mengalami sedikit perubahan di lokasi sel atau kanal layanan per sel yang melebihi masa hidup 10-20 tahun. Ketersediaan kanal untuk layanan PPDR harus tinggi, bahkan saat jam sibuk karena kebutuhan segera untuk pengiriman informasi yang kritis. Jaringan PPDR dirancang untuk memiliki tingkat *blocking* panggilan yang lebih rendah, <1% karena personil PPDR memerlukan akses segera terhadap jaringan selama situasi darurat.

2.3. Network Dimensioning

Network Dimensioning adalah penentuan wilayah cakupan jaringan dan penghitungan jumlah site yang diperlukan untuk melayani suatu wilayah tertentu meliputi cakupan dan kapasitas yang diperlukan. *Network dimensioning* pada dasarnya mencakup *coverage analysis* dan *capacity analysis* (Hamid, Kawser, & Hoque, 2012).

2.3.1. Coverage Analysis (Analisis Cakupan)

Jangkauan sel atau cakupan ditentukan untuk skenario *coverage-limited* atau untuk skenario *interference-limited*. Hal ini tergantung dari *fading margin*, *target throughput* pada tepi sel, beban jaringan rata-rata dan lain-lain. Tahapan analisis cakupan LTE ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Coverage Planning (Tabbane, 2013)

Perhitungan *link budget* digunakan untuk mengestimasi redaman maksimum yang diizinkan, yang disebut *path loss*, antara terminal pengguna dan *base station* (BS). Dengan *path loss* maksimum, rentang sel maksimum dapat diperkirakan dengan menggunakan model propagasi yang sesuai (Basit, 2009; Belhouchet & Ebdelli, 2010; Hamid et al., 2012). Perhitungan *link budget* memerlukan beberapa parameter sebagai berikut (Hamid et al., 2012) :

Di sisi pemancar (*transmitter*)

- Daya pancar BS/CPE per antenna
- Ketinggian antenna BS
- Daya pancar yang meningkat dengan MIMI
- *Feeder loss*
- Penguatan antena (Pada BS, umumnya sekitar 18 dBi untuk antena berarah, dan 8 dBi untuk antena segala arah, sedangkan pada CPE besarnya 0 dBi)
- Rugi-rugi *Tower Mounted Amplifier* (TMA)
- *Body loss*

Di sisi penerima (*receiver*)

- Penguatan antena
- *Noise figure*
- Sensitivitas penerima

Formula berikut ini merupakan persamaan dasar dalam melakukan penghitungan *Radio Link Budget* (RLB).

$$PathlossdB = TxPowerdB + TxGaindB - TxLossesdB - RequiredSINRdB + RxGaindB - RxLossesdB - RxNoisedB$$

dimana :

- Pathloss* : Total rugi lintasan antara pemancar dan penerima
- TxPower* : Daya yang dipancarkan oleh antenna pemancar
- TxGain* : Penguatan antena pemancar
- TxLosses* : Rugi-rugi pemancar
- Required SINR* : SINR minimum dari sinyal agar dapat ditangkap oleh penerima dengan kualitas atau kuat sinyal tertentu
- RxGain* : Penguatan antena penerima
- RxLosses* : Rugi-rugi penerima
- RxNoise* : Noise penerima

Adapun tahapan dalam melakukan penghitungan *Link Budget* adalah sebagai berikut:

1. Menghitung sensitifitas penerima (*sensitivity receiver*)

Sensitifitas penerima (P_{min}) adalah daya minimum yang diterima dimana persyaratan *throughput* masih terpenuhi (Abdulkafi et al., 2012) atau rata-rata kuat sinyal minimum yang ditangkap antena dengan SINR yang cukup untuk skema modulasi yang digunakan untuk memenuhi persyaratan *throughput* minimum sebesar 95% dari nilai *throughput* maksimum yang mungkin (Belhouchet & Ebdelli, 2010). *Code rate*, SINR dan IM untuk Modulasi QPSK, 16QAM dan 64QAM pada LTE ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan jumlah *resource block* dan maksimum lebar pita untuk masing-masing lebar pita LTE ditunjukkan pada Tabel 2.

$$P_{min} = kTB + NF + SINR + IM - G_d$$

dimana:

- kTB : *Thermal noise level* pada noise lebar pita tertentu (BW). $BW = N_{RB} \times 180$ kHz; N_{RB} adalah jumlah dari *resource block* dan 180 kHz merupakan lebar pita untuk 1 (satu) *resource block* pada LTE
- NF : *Noise Figure* penerima

- SINR : *Signal to interference plus noise ratio* untuk *modulation and coding scheme* (MCS) yang digunakan
 IM : *Implementation margin*
 G_d : *Diversity gain*, nilainya ditentukan -3 dB (Abdulkafi et al., 2012; Belhouchet & Ebdelli, 2010)

Tabel 1. Code Rate, SINR dan IM Untuk Modulasi QPSK, 16QAM dan 64QAM Pada LTE

Modulasi	Code Rate	SINR (dB)	IM
QPSK	1/8	-5.1	2.5
QPSK	1/5	-2.9	
QPSK	1/4	-1.7	
QPSK	1/3	-1	
QPSK	1/2	2	
QPSK	2/3	4.3	
QPSK	3/4	5.5	
QPSK	4/5	6.2	
16-QAM	1/2	7.9	3
16-QAM	2/3	11.3	
16-QAM	3/4	12.2	
16-QAM	4/5	12.8	
64-QAM	2/3	15.3	4
64-QAM	3/4	17.5	
64-QAM	4/5	18.6	

Sumber : (Abdulkafi et al., 2012)

Tabel 2. Jumlah Resource Block dan Maksimum lebar Pita Untuk Masing-Masing Lebar Pita LTE

Lebar Pita Kanal (MHz)	Jumlah Resource Block (NRB)	Maksimum lebar pita yang diduduki (MHz)
1,4	6	1,08
3	15	2,7
5	25	4,5
10	50	9
15	75	13,5
20	100	18

Sumber : (Anritsu Company, 2010)

2. Menghitung *Total Loss*

Total loss selain disebabkan oleh lintasan (*path loss*), juga terdiri dari *body loss*, *penetration loss*, *cable loss*, *insertion loss* dan lain-lain yang menyebabkan terjadinya penurunan level sinyal yang ditangkap oleh penerima.

$$P_{min} = EIRP - \text{Total Loss}$$

$$\text{Total Loss} = EIRP - P_{min}$$

Dimana :

$$EIRP = P_t + G_t - L_s \text{ (Puspita \& Mahmudah, 2011)}$$

Keterangan :

P_{min} : Sensitifitas Penerima

P_t : Daya yang dipancarkan

Gt : Gain antenna
 Ls : Body Loss

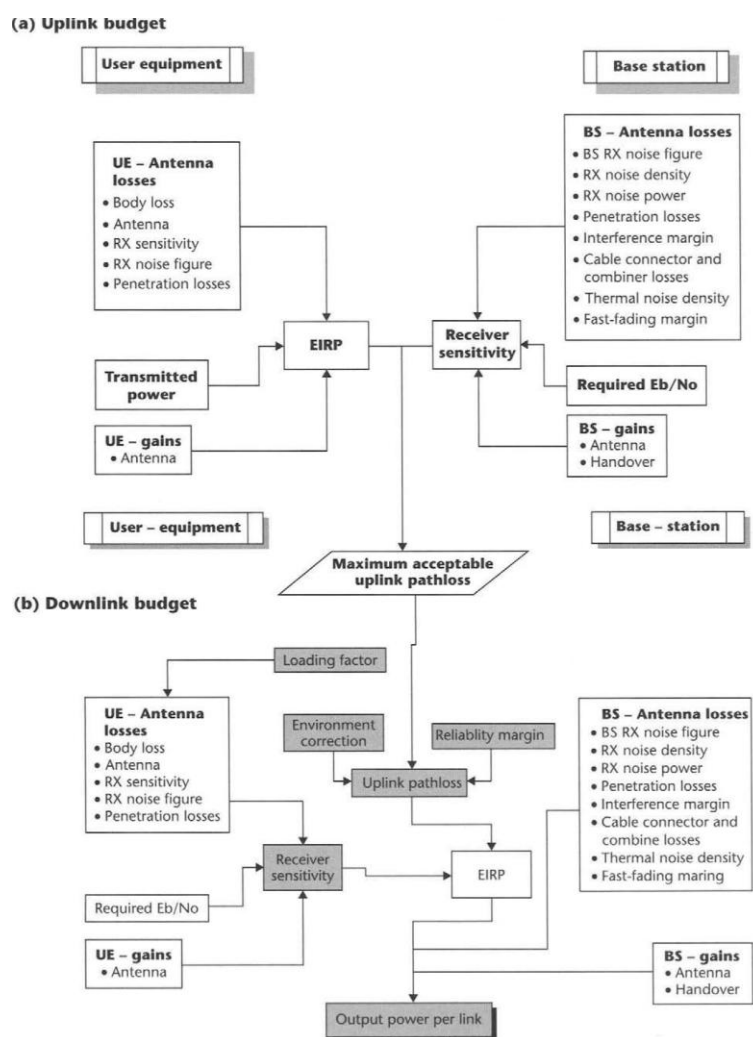
Dalam menghitung *link budget*, apabila kedua belah pihak tidak hanya bertindak sebagai penerima atau pemancar saja, tetapi sebagai pemancar dan juga penerima, maka *link budget* dihitung dari dua sisi, yaitu *Uplink budget* dan *Downlink Budget*.

1. *Uplink Budget*

Uplink budget dihitung dengan mempertimbangkan semua *loss* dan *gain* dari sisi *User Equipment (UE)* menuju ke BS, termasuk *body loss* yang umumnya diasumsikan sebesar 3 dB (Braithwaite & Scott, 2003).

2. *Downlink Budget*

Downlink budget dihitung dengan mempertimbangkan semua *loss* dan *gain* dari sisi *Base Station* menuju ke UE *Uplink Budget*. Perhitungan *uplink* dan *downlink* budget ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. (a) Uplink Budget (b) Downlink Budget (Braithwaite & Scott, 2003)

3. Menghitung Radius Sel

Dengan mengasumsikan model propagasi tertentu maka akan diperoleh radius cakupan dari sebuah BS berdasarkan rugi-rugi lintasan maksimum yang diperoleh dari perhitungan sebelumnya. Model propagasi dapat diklasifikasikan menjadi model empiris dan model deterministik (Singh, 2012). Model empiris dibuat berdasarkan data terukur dari praktek. Model propagasi yang dikategorikan sebagai model empiris untuk lingkungan makro seluler antara lain Model Hata, Model okumura, dan model COST-231.

Model Okumura merupakan model yang paling populer digunakan. Model ini merupakan dasar dari model Hata dimana terdapat tiga tipe model yaitu untuk daerah urban, suburban, dan daerah terbuka. Model

untuk daerah urban dibangun pertama kali dan digunakan sebagai dasar untuk tipe daerah lainnya. Hata memformulasikan hubungan matematis untuk menggambarkan informasi grafis dari Okumura. Formulasi Hata berlaku untuk rentang parameter tertentu sebagai berikut:

- Frekuensi pembawa: 150 MHz-1500 MHz
- Tinggi antena Base Station (BS) : 30 m – 200 m
- Tinggi antena Mobile Station (MS) : 1 m – 10 m
- Jarak transmisi : 1 km-20 km

Rugi-rugi jalur (*pathloss* dalam dB) Model Okumura-Hata (Molisch, 2011) diformulasikan sebagai:

$$PL = PL_{\text{freespace}} + A_{\text{exc}} + H_{\text{cb}} + H_{\text{cm}} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana

$PL_{\text{freespace}}$ = rugi-rugi *freespace*

A_{exc} = rugi-rugi tambahan (sebagai fungsi dari jarak dan frekuensi)

H_{cb} dan H_{cm} : faktor koreksi

Bentuk yang paling umum dari formulasi pada persamaan (1) sebagai berikut:

$$PL = A + B \log(d) + C \dots \dots \dots (2)$$

Dimana A, B, dan C merupakan faktor yang bergantung pada frekuensi dan antena

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b)$$

dimana f_c dalam MHz dan d dalam km

fungsi $a(h_m)$ dan faktor C bergantung pada lingkungan:

a. Kota kecil dan sedang:

$$a(h_m) = (1.1 \log(f_c) - 0.7)h_m - (1.56 \log(f_c) - 0.8)$$

$$C = 0$$

b. Wilayah metropolitan

$$a(h_m) = \begin{cases} 8.29 (\log(1.54h_m))^2 - 1.1 & \text{untuk } f \leq 200 \text{ MHz} \\ 3.2 (\log(11.75h_m))^2 - 4.97 & \text{untuk } f \geq 400 \text{ MHz} \end{cases}$$

$$C = 0$$

c. Suburban

$$C = -2[\log(f_c/28)]^2 - 5.4$$

d. Rural

$$C = -4.78[\log(f_c)]^2 + 18.33 \log(f_c) - 40.98$$

Formula $a(h_m)$ pada daerah suburban dan rural sama dengan formula $a(h_m)$ untuk daerah urban (kota kecil dan sedang)

4. Luas Site dan Jumlah eNodeB

Setelah mendapatkan radius sel, tahap selanjutnya adalah menghitung luas site dan jumlah eNode B. Formula luas *site* untuk tipe *Base Station* tertentu ditunjukkan pada Gambar 3.

Luas *Site* untuk *Base Station* tiga sektor seperti ditunjukkan pada Gambar 3 sebagai berikut:

$$L = 1.95 \times 2.6 \times d^2$$

Dimana :

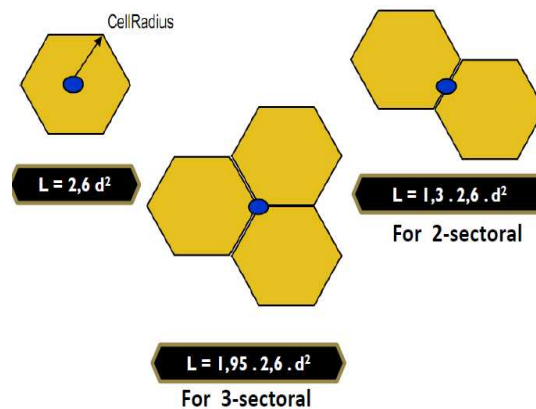
L = luas *site* dan d = radius sel (km)

Jumlah eNodeB dapat diperoleh dengan formula:

$$N_{\text{eNB}} = A/L$$

Dimana:

N_{eNB} = jumlah eNodeB, A = luas area yang dicakup



Gambar 3. Luas Site (Floatway Systems, 2014)

3. Metode Penelitian

3.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menghitung kebutuhan spektrum frekuensi PPDR pita lebar.

3.2. Teknik Penelitian

Penelitian dilakukan dengan teknik modeling dan simulasi untuk menghitung dan melihat gambaran performa jumlah alokasi kebutuhan spektrum PPDR berdasarkan skenario dan data kejadian. Adapun skenario dan data kejadian di dapat dengan teknik wawancara (*interview*) kepada informan serta studi literatur. Data tersebut diperlukan sebagai input dalam menentukan kebutuhan jumlah frekuensi untuk PPDR berbasis pita lebar dengan teknologi LTE.

3.3. Sumber Data

Sumber data dari penelitian ini diperoleh dari informan dari instansi atau lembaga yang menangani kejadian PPDR yaitu Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana Provinsi DKI dan Kepolisian Republik Indonesia serta studi literatur.

Adapun pemilihan kriteria informan yaitu:

1. Mengetahui teknis penanganan bencana, jumlah data kejadian dan skenario saat terjadi kejadian bencana
2. Menduduki jabatan tertentu disuatu instansi yang mempengaruhi kebijakan skenario terjadinya kejadian bencana dan teknis penanganan bencana. Hal ini dimaksudkan agar, setiap perubahan pada instansi tersebut dapat diperoleh dalam penelitian ini.

3.4. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini difokuskan dilaksanakan di Jakarta dikarenakan lokasi informan dengan kriteria yang disebutkan berada di ibu kota negara yaitu Jakarta. Adapun waktu penelitian dilaksanakan dari bulan Juli sampai dengan November 2014.

3.5. Teknik Pengumpulan Data

3.5.1. Pengumpulan data primer

Data primer dalam penelitian ini di dapat melalui wawancara, meliputi:

- Data frekuensi kejadian kebakaran, kecelakaan lalu lintas, dan kriminalitas di seluruh Indonesia

- Skenario kejadian PPDR, termasuk data jumlah personil yang diperlukan dalam penanganan kejadian PPDR tersebut

3.5.2. Pengumpulan data sekunder

Pengumpulan data sekunder dilakukan dengan cara studi pustaka meliputi penelitian sejenis, termasuk asumsi skenario kejadian dan traffic kejadian PPDR dan data frekuensi kejadian PPDR di seluruh Indonesia.

3.6. Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, untuk menghitung kebutuhan frekuensi PPDR pita lebar digunakan pendekatan berbasis kejadian (*incident-based approach*). Kalkulasi jumlah spektrum yang dibutuhkan diasumsikan menggunakan LTE Release 10. Tahapan dalam penghitungan kebutuhan frekuensi tersebut sebagai berikut:

3.6.1. PP1

- a. Mendefinisikan kejadian atau skenario terjadinya bencana PP1
- b. Memperkirakan jumlah total kebutuhan *traffic* per kejadian dan *traffic* latarnya
- c. Mengkalkulasi *link-budget* dan ukuran sel
- d. Memperkirakan jumlah kejadian yang mempertimbangkan *traffic* simultan per sel
- e. Memperkirakan kebutuhan total spektrum berdasarkan asumsi kejadian per sel, lokasi kejadian di dalam sel dan efisiensi spektral untuk tiap kejadian.

3.6.2. PP2

- a. Mendefinisikan skenario kejadian PP2
- b. Memperkirakan *traffic* kejadian
- c. Memperkirakan kebutuhan total spektrum berdasarkan asumsi lokasi pengguna di dalam sel dan efisiensi spektral

4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Identifikasi kebutuhan spektrum frekuensi untuk PPDR pita lebar dapat menggunakan beberapa skenario kejadian. Skenario tersebut mencakup pembagian skala kejadian PPDR menjadi operasi harian (PP1), kejadian darurat atau acara publik (PP2) dan kejadian bencana (PP3). Pada penelitian ini, identifikasi kebutuhan spektrum frekuensi dilakukan untuk skenario kejadian PP1 dan PP2.

4.1. Skenario PP1

Untuk PP1, digunakan *benchmarking* skenario PP1 oleh ECC di benua Eropa karena di benua Asia belum ditemukan kajian mengenai perhitungan kebutuhan spektrum frekuensi pita lebar PPDR. ECC (ECC, 2013) menggunakan skenario kejadian kecelakaan lalu lintas dan pemeriksaan kendaraan. Deskripsi kebutuhan komunikasi dari skenario tersebut meliputi hanya komunikasi data.

1. Pada kejadian kecelakaan lalu lintas, komunikasi data yang dibutuhkan sebagai berikut:
 2. Seluruh informasi mengenai kecelakaan lalu lintas disampaikan kepada layanan medis dan darurat (lokasi dan gambar)
 3. Gambar yang dikirimkan ke helikopter, *downlink* video ke helikopter
 4. Informasi pasien yang dikirimkan ke ruang kendali, lalu dikirimkan kembali ke ambulans
 5. Video yang dikirimkan kepada rumah sakit mengenai pasien pada lokasi kejadian
- Rincian *traffic* pada kejadian tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rincian *Traffic* pada Kejadian Kecelakaan Lalu Lintas

Jenis Komunikasi	UL (Kbps)	DL (Kbps)
Video	768	768

Jenis Komunikasi	UL (Kbps)	DL (Kbps)
Data Transfer	512	512
Total	1300	1300

Sumber: (ECC, 2013)

Untuk menghitung *link budget*, digunakan acuan modulasi *uplink* karena daya yang dipancarkan BTS lebih tinggi dibandingkan dengan daya yang dipancarkan oleh terminal pengguna. Adapun spesifikasi modulasi *uplink* yang digunakan, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

- Menggunakan 4 Rx antena pada BTS
- Menggunakan performansi 70% *throughput*. Asumsi ini memungkinkan efisiensi spektrum berada pada tingkat yang baik. Akan tetapi, ukuran sel menjadi lebih kecil karena SINR-nya lebih tinggi dibandingkan 30% *throughput*.
- Menggunakan EVA 70 Hz *Low* sebagai pemodelan kanal. Performansi untuk mobilitas tipe pedestrian (EPA 5 Hz *Low*) lebih baik.
- Menggunakan performansi kanal 5 MHz. Nilai SINR 5 MHz sama dengan nilai SINR 10 MHz (meskipun efisiensi spektral menjadi lebih rendah). Asumsi ini memungkinkan fleksibilitas di masa mendatang (dengan kanal 10 MHz atau lebih).

Tabel 4. Modulasi Referensi Uplink LTE

Modulasi <i>Uplink</i> LTE	SINR (dB)	Efisiensi Spektrum (bps/Hz)
QPSK, CR 1/3, 5 MHz, 1x4 antena, EVA 70 Hz <i>Low</i>	-3.3	0.31 (<i>throughput</i> 70%)

Sumber: (ECC, 2013)

Link budget *downlink* tidak berperan signifikan karena daya BTS lebih tinggi dibandingkan dengan daya terminal BTS. Modulasi *downlink* tidak menentukan ukuran sel. Pada penelitian ini, spesifikasi modulasi *downlink*, digunakan untuk menentukan kebutuhan lebar pita di arah *downlink*, yaitu (ECC, 2013):

- Menggunakan konfigurasi antena 1x2 (hanya nilai ini yang disediakan pada spesifikasi 3GPP). Antena penerima ganda pada UE merupakan asumsi yang beralasan untuk jangka menengah hingga jangka panjang.
- Menggunakan pita 10 MHz (hanya lebar ini yang disediakan pada spesifikasi 3GPP)
- Propagasi EVA 5 Hz (nilai propagasi EVA 70 Hz tidak disediakan)
- Throughput* 70% untuk menjaga efisiensi spektral tetap baik.

Frekuensi yang digunakan dalam perhitungan merupakan frekuensi yang alokasinya direncanakan untuk GRNI, termasuk di dalamnya PPDR yaitu pada pita 400 (390) MHz dan pada pita 800 (850) MHz yang direncanakan untuk harmonisasi spektrum frekuensi PPDR di regional 3 (Asia Pasifik). Adapun parameter pada modulasi *uplink* yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Parameter Pada Sisi Pemancar dan Penerima

Sisi	Parameter	Nilai
Pemancar	Daya pemancar (dBm)	23
	Penguatan antena (dB)	0
	Body loss (dB)	2
	e.i.r.p (dBm)	21
Penerima	Rx <i>Noise Figure</i> (dB)	3
	<i>Bandwidth</i> (MHz)	5
	kTB x NF (dBm)	-104
	SINR (dB)	-3.3
	Sensitivitas (dBm)	-107.3
	<i>Fade margin</i> (dB)	9

Sisi	Parameter	Nilai
	<i>Interference margin</i> (dB)	3
	<i>Feeder loss</i> (dB)	2

Sumber: (ECC, 2013)

Besar penguatan antena dan *path loss* maksimum untuk pita frekuensi 400 dan 800 MHz ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Penguatan Antena dan Maksimum *Path Loss*

Pita Frekuensi	Penguatan Antena (dB)	Maksimum <i>Path Loss</i> (dB)
400 MHz	13.5*	127.8
800 MHz	15.4**	129.7

Sumber: *(ECC, 2013), ** (Real Wireless, 2012)

Dari maksimum *path loss* yang diperoleh, selanjutnya dapat dicari jarak terjauh pemancar ke penerima dengan menggunakan model propagasi Okumura-Hatta. Model propagasi Okumura-Hatta dapat digunakan pada frekuensi pembawa hingga 1500 MHz (Singh, 2012). Asumsi ketinggian antenna yang digunakan yaitu 30 m untuk antena pemancar dan 1.5 m untuk antena penerima (ECC, 2013).

Selanjutnya, dapat dihitung luas sel untuk daerah dense urban, urban, suburban, dan rural dengan menggunakan persamaan (2) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7. Kategori daerah dense urban, urban, suburban, dan rural didekati dengan kepadatan penduduk (Marcus et al., 2010).

Tabel 7. Luas Sel Daerah Dense Urban, Urban, Suburban, dan Rural

Pita Frekuensi	Dense Urban (km ²)	Urban (km ²)	Suburban (km ²)	Rural (km ²)
400 MHz (dihitung pada 390 MHz)	18.66	18.62	53.10	527.36
800 MHz (dihitung pada 850 MHz)	7.52	7.53	27.10	304.76

Sumber: data diolah

Berikutnya, dilakukan estimasi jumlah kejadian yang terjadi secara simultan di dalam wilayah cakupan sel. Data kejadian dijumlahkan dari data kejadian kriminalitas, kecelakaan lalu lintas, dan kejadian kebakaran di Indonesia yang terjadi pada waktu puncak.

Dari tahun 2002 hingga 2013, jumlah tindak pidana di Indonesia terbanyak terjadi pada tahun 2011, yaitu 347,065 tindak pidana (BPS, 2014). Dengan demikian, dalam setiap satu jam, rata-rata terjadi hampir 40 kejadian kejahatan di Indonesia. Diasumsikan, jumlah kejadian pada waktu puncak sebanyak dua kali lipat kejadian rata-rata sehingga pada waktu puncak terjadi 80 kejadian kejahatan di Indonesia.

Dari tahun 1999-2013, jumlah kecelakaan lalu lintas cenderung naik dimana jumlah kecelakaan lalu lintas terbanyak terjadi pada tahun 2012 sebanyak 117,949 kejadian (BPS, 2012 dan Korlantas Polri, 2014). Setiap jamnya, rata-rata terjadi hampir 14 kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Dengan demikian, pada waktu puncak terjadi dua kali kejadian rata-rata atau 28 kecelakaan lalu lintas di Indonesia.

Pada tahun 2011, terjadi 16500 kebakaran di Indonesia (Sundari, 2012) sehingga setiap jamnya terjadi rata-rata 2 kejadian kebakaran di Indonesia. Dengan demikian, pada waktu puncak, terjadi 4 kejadian kebakaran di Indonesia. Jumlah kejadian simultan yang terjadi secara nasional, ditunjukkan pada Tabel 8.

Jumlah kejadian yang terjadi pada satu sel dihitung dari jumlah populasi dalam satu sel dikalikan dengan jumlah insiden per populasi. Jumlah populasi dalam satu sel diperoleh dari kepadatan penduduk suatu daerah dikalikan dengan luas sel untuk tiap kategori. Sedangkan, jumlah insiden per populasi merupakan jumlah insiden yang terjadi secara simultan secara nasional dibagi dengan populasi nasional.

Tabel 8. Jumlah Kejadian Simultan Secara Nasional

Jenis Kejadian	Jumlah Kejadian Simultan
Kriminalitas	Mencapai 80
Kecelakaan Lalu Lintas	Mencapai 28

Jenis Kejadian	Jumlah Kejadian Simultan
Kebakaran	Mencapai 4
Total	Mencapai 122

Sumber: data diolah

Selanjutnya, dari hasil perhitungan diasumsikan sebagai berikut:

- Untuk sel pada pita 400 MHz, jumlah insiden per sektor sel mencapai 2 buah
- Untuk sel pada pita 800 MHz, jumlah insiden per sektor sel hanya satu

Pada sel 800 MHz terdapat kejadian simultan yang lebih sedikit dibandingkan dengan pada sel 400 MHz karena cakupan sel 700 MHz lebih kecil dibandingkan dengan cakupan sel 400 MHz. Satu kejadian dianggap terjadi pada pinggiran sel dengan efisiensi spektral yang rendah sedangkan sisanya pada bagian sel dengan efisiensi spektral lebih tinggi.

Untuk *uplink*, efisiensi spektral yang digunakan pada pinggiran sel sebesar 0.31 bps/Hz. Selanjutnya, diasumsikan modulasi 16 QAM $\frac{3}{4}$ digunakan di dalam sel sehingga spektral efisiensi diharapkan diantara sebesar 0.64 dan 1.49 bps/Hz. Spektral efisiensi yang digunakan untuk *uplink* ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Efisiensi Spektral *Uplink*

Tempat Kejadian	Traffic (Kbps)	Efisiensi spektral (bps/Hz)
Kejadian pada pinggiran sel	1300	0.31
Kejadian di dalam sel (pesimistik)	1300	0.64
Kejadian di dalam sel (optimistik)	1300	1.49

Sumber: (ECC, 2013)

Tabel 10. Total Kebutuhan Spektrum PP1 Arah *Uplink*

Pita Frekuensi	Jumlah Kejadian	<i>Low Estimate</i>	<i>Medium Estimate</i>
400 MHz	1 kejadian pada pinggiran sel 1 kejadian di dalam sel dan <i>background communication</i>	6.2 MHz	8.5 MHz
800 MHz	1 kejadian pada pinggiran sel dan <i>background communication</i>	5.3 MHz	6.5 MHz

Sumber: data diolah

Di dalam penghitungan kebutuhan spektrum, ECC (ECC, 2013) juga menambahkan komunikasi latar belakang, dimana *low estimate* dan *medium estimate* masing-masing sebesar 1.1 MHz dan 2.3 MHz. Dengan demikian, total kebutuhan spektrum untuk *uplink* pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz seperti ditunjukkan pada Tabel 10.

Untuk *downlink*, efisiensi spektral yang digunakan pada pinggiran sel sebesar 0.27 bps/Hz. Selanjutnya, diasumsikan modulasi 16 QAM $\frac{1}{2}$ dan modulasi 64 QAM $\frac{3}{4}$ digunakan di dalam sel sehingga spektral efisiensi diharapkan diantara sebesar 0.88 dan 1.89 bps/Hz. Spektral efisiensi yang digunakan untuk *downlink* ditunjukkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Efisiensi Spektral *Downlink*

Tempat Kejadian	Traffic (Kbps)	Efisiensi spektral (bps/Hz)
Kejadian pada pinggiran sel	1300	0.27
Kejadian di dalam sel (pesimistik)	1300	0.88
Kejadian di dalam sel (optimistik)	1300	1.89

Sumber: (ECC, 2013)

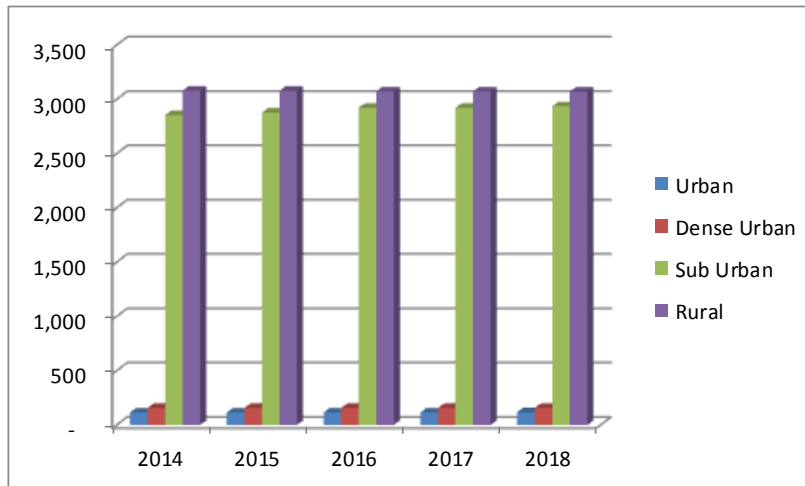
Di dalam penghitungan kebutuhan spektrum, ECC juga menambahkan komunikasi latar belakang dimana *low estimate* dan *medium estimate* masing-masing sebesar 0.7 MHz dan 1.2 MHz. Dengan demikian, total kebutuhan spektrum untuk *downlink* pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz seperti ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12. Total Kebutuhan Spektrum PP1 Arah *Downlink*

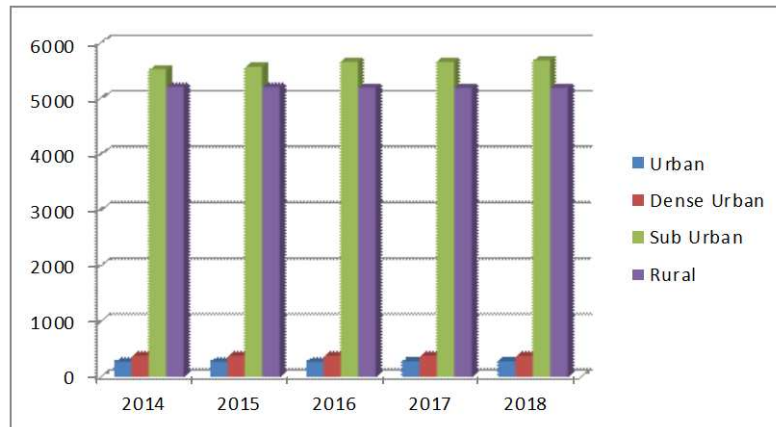
Pita Frekuensi	Jumlah Kejadian	Low Estimate	Medium Estimate
400 MHz	1 kejadian pada pinggiran sel 1 kejadian di dalam sel dan <i>background communication</i>	6.2 MHz	7.5 MHz
800 MHz	1 kejadian pada pinggiran sel dan <i>background communication</i>	5.5 MHz	6.0 MHz

Sumber: data diolah

Jumlah *site* yang dibutuhkan di Indonesia per kategori dense urban, urban, sub urban, dan rural pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Kebutuhan *Site* Pada Pita Frekuensi 400 MHz (data diolah)



Gambar 4. Kebutuhan *Site* Pada Pita Frekuensi 800 MHz (data diolah)

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa kebutuhan *site* selama 5 tahun dari 2014-2018 baik pada pita 400 MHz maupun pada pita 800 MHz relatif tidak mengalami kenaikan yang signifikan. Dari hasil perhitungan, jumlah *site* yang dibutuhkan pada tahun 2014 pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz sebesar 6200 dan 11368 buah. Sedangkan, pada tahun 2018, jumlah *site* yang dibutuhkan pada tahun 2014 pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz mengalami kenaikan menjadi 6275 dan 11519 buah seiring dengan perkiraan kenaikan jumlah penduduk.

4.2. Skenario PP2

Skenario kejadian PP2 yang digunakan adalah skenario kebakaran di pasar Senen berdasarkan skenario yang dibuat oleh Dinas Pemadam Kebakaran dan Penanggulangan Bencana Provinsi DKI Jakarta. Skenario

ini merupakan skenario kejadian terburuk dalam tiga tahun terakhir di provinsi DKI Jakarta karena melibatkan jumlah personil dan armada pemadam kebakaran yang besar. Adapun skenario kejadian tersebut sebagai berikut:

“Pada Tanggal 25 April 2014 Pukul 03.30 terjadi insiden jaya 65/Kebakaran dipasar Senen Lantai 1. Informasi masuk yang diterima oleh Pos Damkar-PB “Bungur” yang memberitahukan bahwa terjadi insiden kebakaran yaitu pada pukul 03.40 yang kemudian segera ditindaklanjuti dengan melaporkan ke pusat komando dan komunikasi Sudin Damkar-PB Jakarta Pusat dan ke Perwira Piket yang segera menugaskan Pos-pos terdekat untuk segera meluncur ke TKP yaitu Pos Cempaka Putih, Sektor Cempaka Putih, Sektor Johar Baru, Pos Serdang, Sektor Kemayoran, Pos Menteng, Pos Jatibaru, Pos Walikota dan dari Kantor Sudin.

Pukul 03.45 petugas dari Pos Bungur sudah mulai melakukan tugas pemadaman yang kemudian disusul oleh unit lainnya. Kebakaran terjadi diduga berasal dari konsleting listrik dari salah satu ruang toko/kios dilantai 1 bagian tengah, yang kemudian mengeluarkan percikan api dan menyambar pada bahan-bahan yang mudah terbakar hingga membesar dan merambat ke toko disebelahnya. Pada saat petugas tiba dilokasi kebakaran sudah membesar, bangunan yang terbakar sudah melibatkan beberapa toko/kios dikarenakan letak bangunan yang saling berdekatan dan banyaknya material yang mudah terbakar seperti tumpukan pakaian dan bahan tekstil lainnya serta, bahan pembuatan papan reklame diantaranya cat dan thinner menjadi faktor pemercepat penjaralan dan penyebaran api antar bangunan toko/kios.

Operasional dilakukan dengan melalui empat penjuror arah mata angin guna melokalisir dan membatasi penyebaran api yang makin meluas. Hambatan dalam pelaksanaan tugas operasional pemadaman ini adalah dikarenakan banyaknya tumpukan bahan pakaian/tekstil yang menimbulkan asap sangat tebal sehingga mengganggu kelancaran tugas pemadaman. Pada kejadian kebakaran Pasar Senen ini pihak Damkar-PB mengerahkan armada sebanyak:

- a. Hari ke-1 (Tgl. 25 April 2014) : 57 Unit dengan 250 Personil
- b. Hari ke-2 (Tgl. 26 April 2014) : 58 Unit dengan 255 Personil
- c. Hari ke-3 (Tgl. 27 April 2014) : 44 Unit dengan 220 Personil
- d. Pada Hari ke-2 mendapat bantuan dari Tim Water Canon Brimob dan Helikopter dari Polda Metro Jaya

Adapun kerugian yang diderita dari Damkar-PB adalah 2 Personil mengalami luka sobek pada tangan dan kaki akibat terjatuh saat pelaksanaan proses pemadaman, sedangkan dari pihak Pasar Senen menderita kerugian ±100.000.000.000,- dengan jumlah Kios yang terbakar sebanyak 3.096 kios dengan luas area 60 m x 100 m = 6.000m².”

Kebutuhan spektrum frekuensi untuk kejadian kebakaran di Pasar Senen dapat dihitung dengan mengasumsikan layanan komunikasi yang digunakan dan jumlah personil yang terlibat dalam kejadian tersebut. Kebutuhan bandwidth untuk layanan komunikasi data yang digunakan saat kejadian kebakaran mengacu pada kajian kebutuhan spektrum Kanada (Lucente, 2011), sedangkan jumlah personil yang terlibat mengacu pada struktur organisasi manajemen penanggulangan kebakaran Indonesia (Kementerian Negara Pekerjaan Umum, 2000) yang dimodifikasi berdasarkan jumlah ideal personil dan armada pemadam kebakaran di Amerika Serikat (J.Karter & Stein, 2013).

Struktur organisasi penanggulangan kebakaran sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Pekerjaan Umum No.11/KPTS/2000 sebagai berikut:

- a. Penanggung Jawab
- b. Kepala Bagian Teknik Pemeliharaan, membawahi:
 - 1) Operator ruang monitor dan komunikasi,
 - 2) Operator lift,
 - 3) Operator listrik dan genset,
 - 4) Operator air conditioning dan ventilasi,
 - 5) Operator pompa
- c. Kepala Bagian Keamanan, membawahi:

- 1) Tim Pemadam Api (TPA),
- 2) Tim Penyelamat Kebakaran (TPK),
- 3) Tim pengamanan.

Sedangkan, jumlah personil dan peralatan pemadam kebakaran di Amerika Serikat pada tahun 2012 ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Jumlah personil dan Peralatan Pemadam Kebakaran di Amerika Serikat

No	Uraian	Jumlah
1.	Tenaga Pemadam Kebakaran	1,112,250
2.	Jumlah Suku Dinas	51,650
3.	Unit Pendukung	
	<i>Pumpers</i>	66,900
	<i>Aerial apparatus</i>	6,900
	<i>Suppression vehicle</i>	74,000
	<i>Emergency Medical Services</i>	30,100*

Sumber:(J.Karter & Stein, 2013)

*asumsi idealnya tiap departemen memiliki *emergency medical services*

Tabel 14. Jumlah Pengguna Layanan Pada Kejadian Kebakaran Pasar Senen

No	Uraian	Jumlah
1.	Penanggung Jawab	1
2.	Kepala Bagian Teknik Pemeliharaan	1
3.	Operator ruang monitor dan komunikasi	2
	Operator <i>lift</i>	2
	Operator listrik dan genset	2
	Operator <i>air conditioning</i> dan ventilasi	2
	Operator pompa	4
4.	Kepala Bagian Keamanan	1
	Tim penyelamat	
	Rehab unit	4
	<i>Rapid intervention unit</i>	4
	<i>Rescue unit</i>	4
	<i>Air management</i>	4
	<i>Hazmat</i>	2
	Tim pengamanan	20
	Tim pemadam api	256
5.	<i>Ist Responder Unit</i>	6
	Ambulans	6
	<i>Emergency Task Force</i>	4

Sumber: data diolah

Berdasarkan skenario kejadian kebakaran di Pasar Senen, dibutuhkan paling banyak 58 unit. Dari Tabel 11 dan berdasarkan struktur organisasi penanggulangan kebakaran berdasarkan Keputusan Menteri Negara Pekerjaan Umum No.11/KPTS/200, dapat diasumsikan dan disesuaikan jumlah pengguna layanan pada kejadian kebakaran Pasar Senen seperti ditunjukkan pada Tabel 14.

Kecepatan data aplikasi untuk *uplink* (UL) dan *downlink* (DL) yang digunakan pada kejadian kebakaran ditunjukkan pada Tabel 15. Jenis aplikasi video yang digunakan antara lain (Lucente, 2011):

- a. Video pengamatan resolusi tinggi, didapatkan dari video kejadian resolusi tinggi dari kejadian dengan sudut lebar yang ditangkap kamera pengamatan tetap. Dapat mencapai *full motion* 30 fbs.
- b. Video kejadian resolusi tinggi, berdasarkan data empiris yang digunakan pada laporan yang ditulis oleh Kota New York kepada FCC

- c. Video Pasien ambulans resolusi tinggi, *near-field scene*
- d. Video Public Transit resolusi tinggi: kecepatan *frame* tingkat sedang 15 fps, *near-field scene*
- e. Video *conferencing*, kecepatan *frame* tingkat sedang 15 fps, *near-field scene*
- f. *News Feeds* resolusi tinggi, memiliki resolusi yang lebih rendah dibandingkan video kejadian maupun pengamatan, *Full-motion*.
- g. Video resolusi rendah (pengamatan, kejadian, pasien dan *Public transit*), transmisi kecepatan rendah dari *un-viewed video streams*.

National Telecommunications and Information Administration's (NTIA) Amerika Serikat merekomendasikan kecepatan data minimum untuk definisi standar video taktis sebesar 768 kbps untuk H.264.

Tabel 15. Kecepatan Data Aplikasi

Aplikasi	Kecepatan Data (kbps)		Keterangan
	DL	UL	
<i>Video applications</i>			
• <i>Surveillance video HR</i>	1536	0	<i>Streamed to users on demand</i>
• <i>Surveillance video LR</i>	64	0	<i>Streamed to users on demand</i>
• <i>Tactical video LR</i>	64	0	<i>Distribution on tactical video for composite view, constant streaming</i>
• <i>Tactical video HR (monitor)</i>	1152	1152	<i>Viewing video imagery on monitors, per selected feed</i>
• <i>Ambulance patient video (LR)</i>	0	64	<i>Distribution of patient video for composite view, constant streaming</i>
• <i>Ambulance patient video (HR)</i>	0	768	<i>Viewing video imagery on monitors, per selected feed</i>
• <i>Public transit video (LR)</i>	64	64	<i>Distribution of public transit video for composite view, constant streaming</i>
• <i>Public transit video (HR)</i>	384	384	<i>Viewing video imagery on laptops, per selected feed</i>
• <i>Video Conferencing</i>	384	384	<i>Per user</i>
• <i>News feed</i>	768	0	<i>Streamed to users on demand</i>
<i>Collaborative Tools</i>	50	50	<i>Average data rates per user</i>
• <i>Emergency management system</i>			
• <i>Computer-aided dispatch</i>			
• <i>Records management system</i>			
Database access and records upload	50	20	<i>Average data rates per user</i>
• <i>GIS information</i>			
• <i>Still images</i>			
• <i>Building plans and information</i>			
• <i>Hazmat inventory</i>			
• <i>Medical records</i>			
• <i>NG911 video file (pre-recorded)</i>			
• <i>Weather information</i>			
• <i>Internet access</i>			
• <i>Patient triage</i>			
• <i>Traffic advisories</i>			
• <i>e-ticketing</i>			
• <i>Vehicle registration</i>			
• <i>Biometric data</i>			
• <i>License plate reader</i>	50	256	

Aplikasi	Kecepatan Data (kbps)		Keterangan
	DL	UL	
<i>Messaging</i>	40	20	<i>Average data rates per user</i>
<ul style="list-style-type: none"> • SMS • MMS • <i>email</i> 			
<i>Monitoring</i>	30	60	<i>Occurs in the background and is assumed to be a constant rate</i>
Automated vehicle locating	5	10	
Blue force tracking	5	10	
Vital signs monitoring	5	10	
Automotive telemetry	5	10	
Tracking evacuees	5	10	
CBRNE sensors	5	10	

Sumber : (Lucente, 2011)

Kebutuhan kapasitas sistem diestimasi dengan menggunakan teknologi LTE (LTE release 10). Jika kebutuhan kapasitas hanya dihitung berdasarkan *traffic* waktu puncak, maka akan menyebabkan *over-dimensioning*. Spektrum yang tersisa di luar waktu puncak tidak digunakan sedangkan biaya jaringan tetap tinggi. Dalam hal ini, harus didefinisikan suatu *overbooking factor* (OBF). OBF merupakan jumlah rata-rata pengguna yang bisa berbagi suatu unit kanal yang diberikan. Unit kanal yang digunakan dalam *dimensioning* adalah kecepatan data puncak (Basit, 2009).

Asumsi OBF yang digunakan pada penelitian ini adalah 20:1, kecuali untuk aplikasi pasien dengan resolusi tinggi yang sifatnya *time critical* sebesar 4:1. Selanjutnya, diasumsikan pula digunakan efisiensi spektral rata-rata sebesar 1.49 bps/Hz untuk *uplink* dan 1.89 bps/Hz untuk *downlink* sehingga kapasitas dan kebutuhan frekuensi seperti ditunjukkan pada Tabel 16.

Tabel 15. Kebutuhan Spektrum PP2 Kebakaran Pasar Senen

Arah	Kapasitas (Kbps)	Spektral Efisiensi (bps/Hz)	Kebutuhan Spektrum (MHz)
<i>Uplink</i>	12044.5	1.49	15.28
<i>Downlink</i>	28880.9	1.89	8.28

Sumber: data diolah

Tabel 16 menunjukkan bahwa kebutuhan spektrum pada arah *uplink* dan *downlink* pada kejadian kebakaran Pasar Senen masing-masing sekitar 16 MHz dan 9 MHz.

5. Simpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan, untuk kejadian PP1 yang terdiri dari kejadian kriminalitas, kecelakaan lalu lintas dan kejadian kebakaran, jumlah spektrum frekuensi yang dibutuhkan sebesar 6.2-8.5 MHz dan 5.3-6.5 Mhz untuk *uplink* pada pita 400 MHz dan pita 800 Mhz. sedangkan, kebutuhan spektrum untuk *downlink* sebesar 6.2-7.5 MHz dan 5.5-6 MHz pada pita 400 MHz dan pita 800 MHz. Dengan demikian, kebutuhan spektrum untuk kejadian PP1 pada pita 400 MHz ataupun pada pita 800 Mhz diperkirakan sebesar 2x10 MHz untuk LTE FDD. Jika menggunakan LTE TDD diperkirakan sebesar 20 MHz pada pita 400 MHz dan 15 MHz pada pita 800 MHz. Jumlah site yang dibutuhkan pada pita 400 dan 800 MHz hingga tahun 2018 mencapai 6275 dan 11519 buah.

Sedangkan, hasil perhitungan untuk kejadian PP2 kebakaran Pasar Senen menunjukkan lebar pita dengan efisiensi spektral rata-rata sebesar 15.28 MHz untuk *downlink* dan 8.08 MHz untuk *uplink*. Dengan demikian, kebutuhan spektrum untuk PP2 diperkirakan sebesar 2x20 MHz jika menggunakan LTE FDD atau sebesar 30 MHz jika menggunakan LTE TDD (dengan *guard band*). Secara keseluruhan, kebutuhan

spektrum untuk mengakomodir kejadian PP1 dan PP2 diasumsikan sama dengan kebutuhan spektrum untuk PP2.

5.2. Saran

Penelitian ini mengidentifikasi kebutuhan frekuensi untuk mengakomodir kejadian PP1 dan PP2. Untuk kajian lebih lanjut, perlu dilakukan identifikasi kebutuhan frekuensi untuk PPDR pita lebar untuk kejadian PP3 atau bencana skala besar.

Berdasarkan studi literatur, pita frekuensi yang direkomendasikan untuk alokasi pita lebar PPDR berada di bawah 1 GHz karena karakteristik cakupan yang luas dan penetrasi bangunan yang baik (Marcus, 2013). Skenario alokasi frekuensi pada pita 380-400 MHz dapat mengakomodir kebutuhan frekuensi PP1 sebesar 20 MHz pada pita 400 MHz untuk LTE TDD. Sedangkan, skenario alokasi frekuensi 806-824 MHz dan 851-869 MHz dengan bandwidth 2x18 MHz yang saat ini ditempati radio trunking analog, dapat mengakomodir kebutuhan frekuensi PP1 sebesar 2x10 Mhz pada pita 800 MHz untuk LTE FDD ataupun sebesar 15 MHz untuk LTE TDD. Namun demikian, skenario alokasi pada pita 400 MHz dan 800 MHz tersebut belum dapat mengakomodir kebutuhan frekuensi PP2 sehingga perlu dilakukan penambahan bandwidth.

6. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah banyak membantu dalam penelitian ini, terutama Bapak Bastari Miral.

Daftar Pustaka

- Abdulkafi, A. A., Kiong, T. S., Koh, J., Chieng, D., Ting, A., & Ghaleb, A. M. (2012). Energy Efficiency of LTE Macro Base Station. In *1st IEEE International Symposium on Telecommunication Technologies* (pp. 259–264).
- Anritsu Company. (2010). Testing the Future LTE Resource Guide. *web.cecs.pdx.edu*.
- APT. (2013). *Technical Requirements for Mission Critical Broadband PPDR Communications*. Bangkok.
- Basit, A. (2009). *Dimensioning of LTE Network: Description of Models and Tool, Coverage and Capacity Estimation of 3GPP Long Term Evolution radio interface*. Helsinki University of Technology.
- Belhouchet, M. L., & Ebdelli, M. H. (2010). ITU/BDT Arab Regional Workshop on “4G Wireless Systems” LTE Technology (Session 5 : LTE Technology Performance Evaluation). *ITU-D*.
- BPS. (2012). Statistics Indonesia. Retrieved October 23, 2014, from http://bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=2&tabel=1&daftar=1&id_subyek=17¬ab=14
- BPS. (2014). Jumlah Tindak Pidana Menurut Kepolisian Daerah, 2000 - 2013. Retrieved November 18, 2014, from http://www.bps.go.id/tab_sub/view.php?kat=1&tabel=1&daftar=1&id_subyek=34 ¬ab=1
- Braithwaite, C., & Scott, M. (2003). Chapter Six. Influence of Link Budgets on 3G Coverage. In *UMTS NETWORK PLANNING AND DEVELOPMENT* (pp. 119–152).
- Direktorat Penataan Sumber Daya. (2013). Draft Konsep Penataan Radio Trunking dan Government Radio Network untuk Pembebasan Frekuensi Mobile Broadband. Jakarta: Kementerian Komunikasi dan Informatika.
- ECC. (2013). *ECC Report 199 : User Requirements and Spectrum Needs for Future European Broadband PPDR systems (Wide Area Networks)*.
- ECC. (2014). FM49#14 meeting took place in Vilnius, Lithuania, 21-22 January 2014. *FM 49 - Radio Spectrum for Public Protection and Disaster Relief (PPDR)*. Retrieved February 26, 2014, from <http://www.cept.org/ecc/groups/ecc/wg-fm/fm-49/page/fm4914-meeting-took-place-in-vilnius,-lithuania,-21-22-january-2014>
- Floatway Systems. (2014). *Training Material: 4G RF Planning*. Bogor.
- Hamid, N. I. Bin, Kawser, M. T., & Hoque, M. A. (2012). Coverage and Capacity Analysis of LTE Radio Network Planning considering Dhaka City. *International Journal of Computer Applications* (0975, 46(15), 49–56).
- ITU. (2003). *Report ITU-R M . 2033 : Radiocommunication Objectives and Requirements for Public Protection and Disaster Relief*.
- ITU. (2012). *World Radiocommunication Conference 2015 (WRC-15) : Agenda and Relevant Resolutions* (Vol. 2015).
- J.Karter, M., & Stein, G. P. (2013). *US Fire Department Profile 2012*.

- Kementerian Komunikasi dan Informatika. Perubahan Kedua Atas Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor : 29/PER/M.KOMINFO/07/2009 Tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia. , Pub. L. No. 25/PER/M.KOMINFO/12/2010 (2010). Indonesia.
- Korlantas Polri. (2014). data kecelakaan lalu lintas.
- Lewis, J. (2012). *Outcomes of the Working Group Spectrum Aspects of the APT Wireless Group (AWG) from the 12th Meeting of AWG, 10 – 13 April 2012, Xiamen, PR China.*
- Lucente, C. (2011). *700MHz Spectrum Requirements for Canadian Public Safety Interoperable Mobile Broadband Data Communications.*
- Marcus, J. S. (2013). *The Need for PPDR Broadband Spectrum in the Bands Below 1 GHz.* Bad Honnef.
- Marcus, J. S., Burns, J., Jervis, V., Wahlen, R., Carter, K. R., Philbeck, I., & Vary, P. (2010). *PPDR Spectrum Harmonisation in Germany , Europe and Globally.* Bad Honnef.
- Miral, B. (2014). *Kajian Awal: Perencanaan Jaringan Public Protection and Disaster Relief di Indonesia.* Jakarta.
- Molisch, A. F. (2011). *Wireless Communications, Second Edition.* John Wiley & Sons, Ltd.
- Puspita, R. H., & Mahmudah, H. (2011). *Perhitungan Link Budget Pada Komunikasi GSM di Daerah Urban Cluster Central Business Distric (CBD), Residences, dan Perkantoran* (pp. 1–7). Surabaya.
- Real Wireless. (2012). *Methodologies used for the analysis of costs relating to a coverage obligation at 800MHz: For existing sites and using MIP sites.* West Sussex.
- SATRC Working Group on Spectrum. (2012). *SATRC Guideline on Harmonized Use of Frequency Bands for Public Protection and Disaster Relief (PPDR).*
- Setiawan, D. (2010). *Alokasi Frekuensi : Kebijakan dan Perencanaan Spektrum Indonesia.* Jakarta: Departemen Komunikasi dan Informatika.
- Singh, Y. (2012). Comparison of Okumura , Hata and COST-231 Models on the Basis of Path Loss and Signal Strength, 59(11), 37–41.
- Sundari. (2012). Jumlah Kebakaran Jakarta Tertinggi di Indonesia. Retrieved October 23, 2014, from <http://www.tempo.co/read/news/2012/03/01/083387365/Jumlah-Kebakaran-Jakarta-Tertinggi-di-Indonesia>
- Tabbane, S. (2013). *Long Term Evolution : Radio Network Planning.* Nadi.
- Telstra. (2012). *Delivering 4G / LTE Mobile Broadband for Emergency Services.*
- Ure, J. (2013). *Public Protection and Disaster Relief (PPDR) Services and Broadband in Asia and the Pacific : A Study of Value and Opportunity Cost in the Assignment of Radio Spectrum* (pp. 1–61).
- Yuniarti, D. (2014). Pemanfaatan Frekuensi Untuk Public Protection and Disaster Relief (PPDR). *Buletin Pos Dan Telekomunikasi*, 12(1), 73–84.