

Perencanaan Kebutuhan gNodeB *Low Band* 5G menggunakan Lebar Pita Dinamis di Pulau Jawa Dan Bali

DWI ARYANTA, RATNA SUSANA, NERISA BEATRIX ANTUANET

Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: dwiaryanta@itenas.ac.id

Received 30 Januari 2024 | *Revised* 25 Februari 2024 | *Accepted* 5 Maret 2024

ABSTRAK

Penggunaan low band 700 MHz pada teknologi 5G menjadi salah satu solusi percepatan perluasan jaringan 5G di Indonesia. Penelitian ini menghitung kebutuhan jumlah gNodeB menggunakan lebar pita dinamis 5, 10, 15 dan 20 MHz yang dihitung menggunakan kombinasi metode coverage dimensioning dan capacity dimensioning. Perencanaan implementasi low band 5G di Jawa dan Bali selama 10 tahun mayoritas diperoleh melalui penggunaan metode coverage dimensioning, 84% pada bandwidth 5 MHz, dan 61% pada bandwidth 20 MHz. Pada tahun 2032 diperlukan 22903 gNodeB dengan dominasi pilihan penggunaan bandwidth 20 MHz pada tahun 2023 dan 2024 sebesar 100% dan bandwidth 5 MHz pada tahun 2032 sebesar 91%. Terjadi transisi penggunaan bandwidth 20 MHz ke bandwidth 5 MHz antara tahun 2028 dan 2029. Selain itu, bandwidth 15 MHz digunakan sebagai opsi penyeimbang pada periode 2027-2030, sedangkan bandwidth 10 MHz hanya digunakan pada tahun 2023.

Kata kunci: 5G, low band, bandwidth, gNodeB, dinamis

ABSTRACT

The use of the 700 MHz low band in 5G technology is one solution to accelerate the expansion of the 5G network in Indonesia. This research calculates the required number of gNodeBs using dynamic bandwidth of 5, 10, 15 and 20 MHz which is calculated using a combination of coverage dimensioning and capacity dimensioning methods. The majority of low band 5G implementation planning in Java and Bali for 10 years was obtained through the use of coverage dimensioning methods, 84% at 5 MHz bandwidth, and 61% at 20 MHz bandwidth. In 2032, 22903 gNodeB will be needed with the dominant choice of using 20 MHz bandwidth in 2023 and 2024 amounting to 100% and 5 MHz bandwidth in 2032 amounting to 91%. There will be a transition from the use of 20 MHz bandwidth to 5 MHz bandwidth between 2028 and 2029. In addition, 15 MHz bandwidth is used as a balancing option in the 2027-2030 period, while 10 MHz bandwidth is only used in 2023.

Keywords: 5G, low band, bandwidth, gNodeB, dynamic

1. PENDAHULUAN

Pasca Analog Switch Off (ASO) memegang peranan penting dalam pengembangan teknologi 5G di Indonesia. ASO adalah proses migrasi dari penyiaran televisi analog ke penyiaran televisi digital. Setelah proses ASO selesai, pita frekuensi radio yang sebelumnya digunakan untuk penyiaran televisi analog menjadi tersedia kembali. Hal ini memiliki beberapa implikasi penting seperti alokasi frekuensi, peningkatan cakupan atau kualitas, dan mengatasi tantangan 5G. Pasca ASO dapat memberikan kesempatan Indonesia untuk mengalokasikan spektrum frekuensi tambahan untuk 5G untuk peningkatan cakupan jaringan nirkabel (**Admaja, 2015**). Kementerian Komunikasi dan Informatika (Kemenkominfo) akan melakukan lelang frekuensi untuk teknologi 5G. Adapun spektrum frekuensi yang disiapkan untuk 5G, *band* frekuensi 700 Mhz, 26 Ghz, serta 3,5 Ghz. Tiga pita frekuensi tersebut dipergunakan untuk teknologi netral, dimana dapat digunakan pada teknologi seluler 4G maupun 5G bergantung pada operator penyedia layanan seluler. Pada frekuensi 700 Mhz akan terdapat pita frekuensi sebesar 112 Mhz setelah program *Analog Switch Off (ASO)*. ASO menghasilkan *digital dividen* di pita frekuensi 700 MHz sebesar 112 MHz yang dapat dimanfaatkan untuk layanan nirkabel. Pada *band* 700 MHz tersebut terdapat alokasi 2 x 45 MHz akan digunakan untuk perluasan jaringan 5G di Indonesia (**LPPM-ITB, 2022**).

Spektrum frekuensi menjadi salah satu aspek kunci yang harus diperhatikan. Dengan peningkatan penggunaan, keterbatasan frekuensi menjadi masalah yang perlu diatasi. Penggunaan spektrum frekuensi rendah, seperti 700 MHz, memiliki keunggulan dalam jangkauan dan penetrasi gedung yang lebih baik. Hal ini menjadi frekuensi emas untuk implementasi 5G pada frekuensi rendah. Spektrum frekuensi 700 MHz merupakan salah satu pilihan utama untuk implementasi 5G di Indonesia, terutama setelah program *Analog Switch Off (ASO)*. Penggunaan pita frekuensi 700 MHz diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan cakupan dan kualitas jaringan 5G (**Aryanta, 2023**).

Terdapat berbagai metode, dalam metode *coverage dimensioning*, perhitungan *link budget* menjadi bagian penting. Parameter yang diukur pada perhitungan *link budget* pada perencanaan cakupan mengenai model propagasi dan *link budget* menjadi aspek krusial untuk memastikan cakupan wilayah dan kapasitas yang optimal dalam konteks implementasi teknologi 5G (**Wulandari, 2022**).

Teknologi 5G di Indonesia baru menggunakan *mid band* pada 2,3 GHz yang mayoritas diimplementasikan di wilayah *sub-urban* di Pulau Jawa, Bali, dan sebagian kecil di Kalimantan dan Sulawesi. Perluasan cakupan jaringan 5G menjadi tuntutan terbesar saat ini mengingat luasnya wilayah Indonesia. Penggunaan *low band* pada teknologi 5G menjadi solusi untuk memperluas jaringan 5G, terutama untuk wilayah *sub-urban* (SU) dan *rural* (RU) di Indonesia. Terbatasnya *bandwidth* yang tersedia pada *band* 700 MHz harus dimanfaatkan secara optimal untuk memenuhi kebutuhan pengguna dan mencakup wilayah yang lebih optimal. *Bandwidth* selebar 45 MHz harus didistribusikan secara bijaksana kepada keempat operator seluler di Indonesia untuk menjaga keberlanjutan bisnis telekomunikasi yang sehat. Penelitian ini mencoba melakukan kajian penggunaan pilihan *bandwidth* yang sesuai agar penggunaan *band* 700 MHz dapat secara optimal diimplementasikan.

1.1 Teknologi Seluler 5G

Teknologi seluler 5G menyediakan kinerja yang jauh lebih baik dibandingkan teknologi seluler 4G. Teknologi seluler 5G menyediakan 3 jenis layanan, yaitu *Enhanced Mobile Broadband* (eMBB), *Massive Machine-Type Communications* (mMTC) dan *Ultra-reliable Low Latency Communication* (URLLC) (**HKT-GSA-Huawei, 2019**). Parameter Teknologi seluler 5G, terbagi menjadi tiga segmentasi karakteristik antara lain:

- eMBB, peningkatan kinerja seluler pita lebar pada aplikasi *resource-intensive* dan penyediaan internet pita lebar;
- mMTC, komunikasi tipe mesin masif yang mendukung layanan IoT dalam skala besar;
- URLLC, komunikasi yang andal dengan latensi rendah untuk mendukung layanan kendaraan tanpa awak.

Teknologi seluler 5G membutuhkan spektrum tiga alokasi pita frekuensi yang dikelompokkan menjadi sebagai berikut (**Puslitbang SDPPI, 2018**):

- Low bands*, di bawah 1 GHz untuk kebutuhan *coverage* terutama untuk aplikasi mMTC (*massive IoT* dan *mobile broadband*).
- Mid bands*, 1 sampai 6 GHz, *bandwidth* yang lebih lebar untuk kebutuhan eMBB dan *mission-critical*.
- High bands*, di atas 24 GHz (*mmWave*): untuk kebutuhan *bandwidth* yang sangat besar.

1.2 Spektrum Frekuensi *Band* 700 MHz di Indonesia

Penataan alokasi spektrum frekuensi di Indonesia telah diatur melalui Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Nomor 12 Tahun 2022 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia (TASFRI). *Band* 700 MHz rencananya akan digunakan untuk teknologi seluler netral, dimana penggunaannya diserahkan kepada operator seluler, dimana dapat digunakan untuk memberikan layanan seluler 4G ataupun teknologi seluler 5G. Pengelolaan *band* 700 Mhz pada teknologi seluler 4G dan 5G secara teknis ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Alokasi *Band* 700 Pada Teknologi 4G dan 5G (Kominfo, 2018)

Teknologi	User Equipment Spektrum (MHz)	Duplex Mode	Subcarrier Spacing (kHz)	Channel Bandwidth (MHz)
4G	703-748 (UL); 758-803 (DL)	FDD	-	3, 5, 10, 15, 20
5G	703-748 (UL) ; 758-803 (DL)	FDD	15	5, 10, 15, 20, 30, 40
			30	10, 15, 20, 30, 40
			60	-

Band 700 MHz didasarkan pada skema perencanaan awal yang ditujukan untuk harmonisasi global dan beroperasi dalam mode FDD yang berlaku di seluruh dunia (**GSMA, 2019**). 3GPP memerlukan spesifikasi *band* 700 MHz yang dapat diterapkan di 4G dan 5G dengan setiap saluran *bandwidth* yang telah ditentukan sebelumnya. Berdasarkan standar teknis tersebut, *band* 700 MHz dibagi menjadi beberapa blok frekuensi, yaitu pada *bandwidth* 5, 10, 15, dan 20 MHz, mengingat keempat *bandwidth* tersebut tersedia pada 4G dan 5G serta dapat menjalankan aplikasi teknologi netral pada *band* 700 MHz (**APT, 2019**).

1.3 Performansi gNodeB Pada Frekuensi 700 MHz

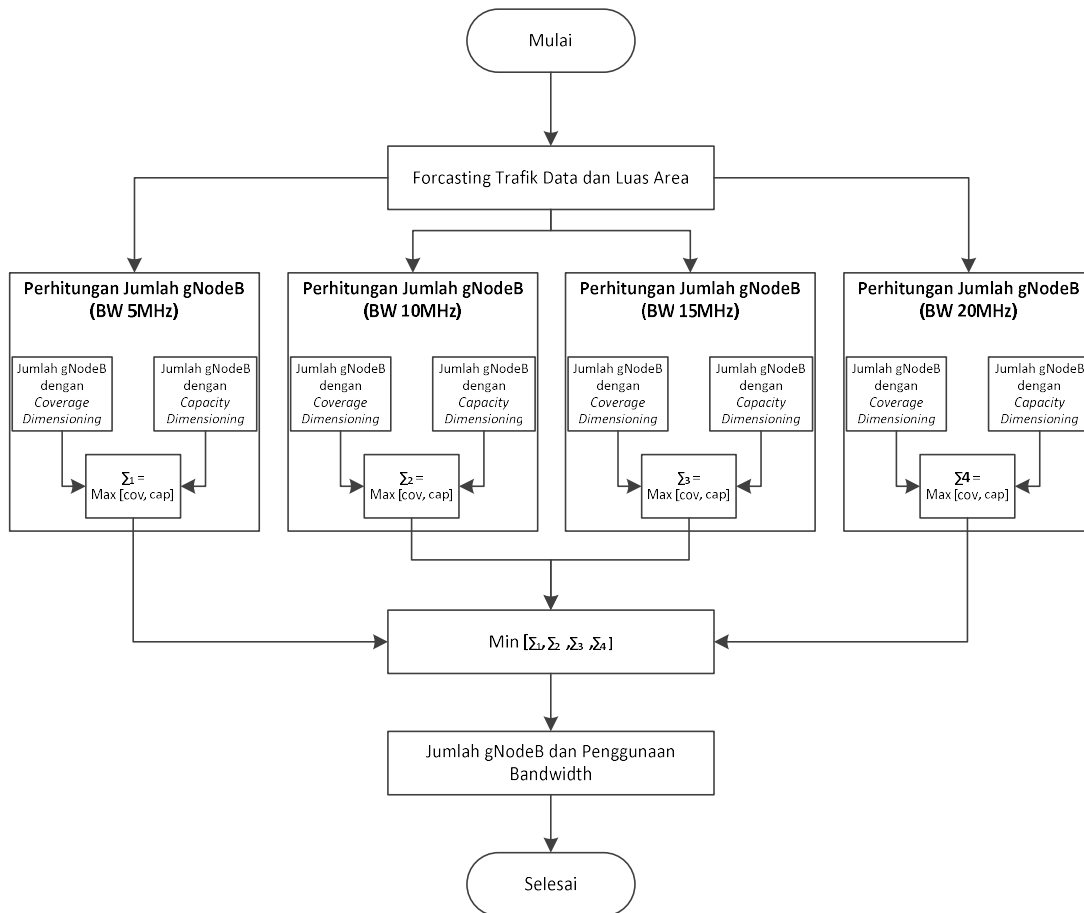
Penggunaan frekuensi dan *bandwidth* pada suatu teknologi seluler 5G menentukan Luas cakupan dan *throughput* suatu gNodeB. Perencanaan cakupan adalah sistem perencanaan jaringan yang didasarkan pada bagaimana jaringan melayani pengguna, dan menentukan kebutuhan gNodeB pada suatu area tertentu. Perencanaan cakupan harus memperhatikan *Radio Link Budget* dan penggunaan model propagasi. Estimasi redaman sinyal maksimum atau *path loss* antara *User Terminal* (UT) dan antena gNodeB dapat diperoleh melalui perhitungan *Radio Link Budget* (**Esa, dkk, 2020**).

2. METODE PENELITIAN

Untuk mengimplementasikan teknologi 5G pada sektor telekomunikasi dan lainnya, diperlukan perencanaan penggunaan frekuensi spektrum khususnya untuk jaringan seluler. Berdasarkan

permasalahan tersebut, diperlukan perhitungan perencanaan frekuensi radio pita lebar 5G di Indonesia. Proses perhitungan meliputi pertimbangan tren pasar, infrastruktur, dan layanan *mobile broadband* di Indonesia (Effendi, dkk, 2020).

Pada penelitian ini mengimplementasikan *low band 700 MHz* dengan 4 alternatif *bandwidth*, yaitu *bandwidth 5, 10, 15, dan 20 MHz* mengingat terbatasnya *band 700 Mhz* hanya selebar *2x45 MHz*. Kebutuhan jumlah *gNodeB* yang digunakan menggunakan metode *capacity dimensioning* dan *coverage dimensioning* untuk 10 tahun pada semua Provinsi di Pulau Jawa dan Bali. Perencanaan implementasi *band 700 MHz* dilakukan pada *geotype sub urban* dan *rural*, menggunakan alternatif pilihan *bandwidth 5, 10, 15, dan 20 MHz*. Tahapan penelitian digambarkan pada Gambar 1 mulai dari proses merencanakan kebutuhan trafik dan target luas wilayah *sub urban* dan *rural* hingga penentuan kebutuhan jumlah *gNodeB* yang diperlukan.



Gambar 1. Bagan Alir Pehitungan Kebutuhan Jumlah *gNodeB*

Penentuan jumlah *gNodeB* dilakukan melalui 2 tahapan pemilihan jumlah *gNodeB*, dimana pada tahap pertama pada penggunaan satu *bandwidth* tertentu dilakukan komparasi antara hasil dari metode *coverage dimensioning* dengan metode *capacity dimensioning*. Pada tahap pertama jumlah *gNodeB* ditentukan berdasarkan nilai terbesar dari kedua metode. Setelah dilakukan proses tahap pertama untuk keempat *bandwidth 5, 10, 15 dan 20 MHz*, pada tahap kedua kemudian dilakukan pemilihan jumlah *gNodeB* terkecil dari nilai jumlah *gNodeB* yang dihasilkan diantara keempat *bandwidth*. Pada tahap kedua ini bertujuan untuk mendapatkan penggunaan *bandwidth* yang paling rendah. Hal ini dikaitkan dengan efisiensi penggunaan

bandwidth mengingat terbatasnya *bandwidth* yang tersedia pada *band* 700 MHz.

Perhitungan kebutuhan jumlah *gNodeB* berdasarkan metode *capacity dimensioning* menggunakan estimasi *throughput* hasil *forecasting* untuk area *sub urban* dan *rural*. Parameter yang digunakan untuk merencanakan estimasi *throughput* pengguna layanan 5G pada *band* 700 MHz antara lain: perkiraan jumlah trafik data per tahun selama 10 tahun ke depan, jumlah hari sibuk per tahun, persentase trafik hari sibuk, jumlah *busy hour* per hari sibuk, dan persentase *busy hour data traffic*. Berdasarkan pendistribusian layanan antara *band* 700 MHz dengan *band* lain, trafik data dan prediksi nilai *throughput* dalam 10 tahun dapat diperoleh menggunakan model tersebut. Melalui pendekatan empiris, kapasitas *throughput* per *gNodeB band* 700 MHz, modulasi 64 QAM dan *bandwidth* 5, 10, 15 dan 20 MHz memungkinkan penghitungan jumlah *gNodeB* untuk *sub urban* dan *rural*.

Jumlah *gNodeB* yang dibutuhkan berdasarkan metode *coverage dimensioning* mengacu pada area pemukiman berdasarkan *geotype* dan luas cakupan *gNodeB* pada 700 MHz pada arah *uplink*. Luas kawasan pemukiman seluruh provinsi di pulau Jawa dan Bali menurut *geotype sub urban* dan *rural* berdasar hasil *forecasting* untuk 10 tahun ke depan. Berdasarkan cakupan *gNodeB* empiris berdasarkan spesifikasi baku dari suatu pabrikan perangkat *gNodeB*, maka kebutuhan jumlah *gNodeB* per provinsi di Pulau Jawa dan Bali akan dapat dihitung untuk 10 tahun perencanaan.

2.1. Perhitungan *Throughput* Pada *gNodeB*

Throughput data pengguna dalam sistem seluler dipengaruhi oleh dua komponen, pertama adalah jumlah blok sumber daya yang tersedia untuk setiap pengguna, dan bergantung pada kepadatan jumlah *gNodeB*, kepadatan pengguna dan kapasitas yang digunakan, menghasilkan jumlah blok pita frekuensi untuk dibagikan kepada pengguna. Komponen kedua adalah efisiensi spektral sistem berupa *throughput* yang diberikan per PRB (Tomic, 2022).

$$\text{Jumlah BTS [cap]} = \frac{TD_{BH}}{R_B} \quad (1)$$

dimana:

TD_{BH} = trafik data pada jam sibuk (bps)

R_B = *throughput* *gNodeB*

Tabel 2. Parameter Kalkulator *Throughput* 5G (5G-tools.com, 2024)

Keterangan	Input data
Mode	TDD (<i>Time Division Duplex</i>)
<i>j</i> - <i>number of aggregated component carriers</i>	4
$V(j)_{layer}$	8
$Q(j)_m$	8
Modulation	256QAM
R_{max}	0,92578125
$f(j)$	1
$OH(j)$	0,1
$T_{\mu s(j)}$	0,00007142857142857143

Tersedia cara praktis untuk mendapatkan nilai *throughput* suatu *gNodeB* melalui penggunaan aplikasi *online* kalkulator *Throughput* (<https://5g-tools.com/5g-nr-throughput-calculator>). Melalui pengkondisian sejumlah parameter yang diinputkan pada aplikasi *online* kalkulator *Throughput* seperti yang ditampilkan pada Tabel 2, kemudian dapat diperoleh nilai *throughput*

masing-masing *gNodeB* berdasarkan penggunaan *bandwidth* seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai *Throughput gNodeB Band 700 MHz*

	BW 5MHz	BW 10MHz	BW 15MHz	BW 20MHz
Throughput (Gbps)	640	1331	2022	2713

2.2. Perhitungan Luas Cakupan *gNodeB*

Perhitungan jumlah *gNodeB* pada metode ini direncanakan dengan memastikan bahwa setiap *gNodeB* dapat mencakup area yang direncanakan pada *geotype sub urban* dan *rural* di semua provinsi di pulau Jawa dan Bali. Dalam *coverage dimensioning*, terdapat tiga *geotype* yang dapat mempengaruhi transmisi. Ketiga tipe daerah tersebut mencakup daerah *urban*, *sub-urban* dan *rural* (Aisah, dkk, 2023). Untuk mendapatkan radius cakupan suatu *gNodeB* digunakan *tools* bantu aplikasi *online* kalkulator *link budget* 5G (<https://5g-tools.com/4g-lte-link-budget-calculator>) dengan parameter yang diatur sesuai pada Tabel 4. Parameter yang tidak tercantum pada Tabel 4, nilai yang diberikan pada aplikasi adalah bernilai nol.

Tabel 4. Nilai Parameter Pada Kalkulator *Link Budget* 5G (5G-tools.com, 2024)

Parameter	<i>Sub Urban</i>	<i>Rural</i>
1. Spesifikasi <i>gNodeB</i>		
Noise figure (dB)	5	5
Target SINR (dB)	-6	-6
Cable Loss (dB)	2	2
Antenna gain (dB)	20	20
Antenna Height (m)	20	20
2. Spesifikasi User Equipment		
Transmit power per UT (dBm)	30	30
Antenna Height (m)	1,5	1,5
3. Tambahan Redaman		
Slow fading margin (dB)	5	5
Interference margin (dB)	2	2

Parameter *Link budget* 5G yang digunakan dalam perhitungan menggunakan karakteristik propagasi *Non-Line of Sight* (NLOS) pada arah *uplink*. Parameter lain yang ditentukan adalah jumlah *Resource Block* (N_{RB}) mengacu pada *Sub-Carrier Spacing* (SCS) selebar 15 KHz, dimana $N_{RB} = 25$ untuk BW 5MHz, $N_{RB} = 52$ untuk BW 10MHz, $N_{RB} = 79$ untuk BW 15MHz, $N_{RB} = 106$ untuk BW 20MHz (3GPP, 2017). Hasil perhitungan kalkulator *link budget* dapat diketahui nilai radius *gNodeB* dan luas cakupan layanan suatu *gNodeB* berdasarkan *geotype* dan *bandwidth* seperti yang ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Radius dan Luas Cakupan *gNodeB*

Parameter	<i>Sub-urban</i>				<i>Rural</i>			
	BW5	BW10	BW15	BW20	BW5	BW10	BW15	BW20
<i>Radius gNodeB</i> (km)	3,61	2,99	2,69	2,49	4,83	4,01	3,60	3,34
Luas Cakupan (km ²)	33,86	23,29	18,79	16,16	60,56	41,76	33,73	29,05

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Jumlah *gNodeB* Melalui Metode *Capacity Dimensioning*

Perhitungan jumlah *gNodeB* melalui metode *capacity dimensioning* menggunakan data hasil *forecasting* kebutuhan trafik data pengguna 5G selama 10 tahun. Melalui persentase penduduk

yang memiliki telepon seluler yang diperoleh dari BPS 2020-2023 kemudian dapat diestimasi jumlah pengguna seluler di pulau Jawa dan Bali hingga tahun 2032. Rata-rata penggunaan paket data penduduk di Indonesia berada pada kisaran 14,6 GB hingga 17,7 GB per bulan. Penggunaan data dilakukan sebesar 77,64 % melalui mobile seluler (**APJII, 2022**), sehingga rata-rata penggunaan data seluler sebesar 150,5 GB per tahun. Pehitungan kebutuhan *gNodeB* dihitung terhadap nilai presentase waktu sibuk yang diasumsikan sebesar 0,195%, sehingga estimasi trafik data pada jam sibuk dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Estimasi Trafik Data pada Jam Sibuk

Estimasi <i>Traffic Data</i> Pada <i>Jam Sibuk</i> (TByte)										
Provinsi	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Banten	2416	2511	2608	2708	2810	2915	3023	3134	3247	3363
Jakarta	2625	2625	2739	2740	2856	2857	2976	2978	3098	3100
Jabar	9838	9970	10243	10391	10664	10651	11099	11088	11551	11542
Jateng	7087	7469	7636	8033	8206	8616	8796	9220	9406	9844
Jatim	8448	8669	8777	9008	9122	9359	9478	9722	9845	10095
DIY	705	722	740	758	776	794	813	832	851	871
Bali	958	971	1000	1014	1043	1057	1087	1101	1132	1146

Tabel 7. Kebutuhan *Throughput* Band 700 MHz

Prov.	<i>Geotype</i>	<i>Throughput</i> (Tbps)									
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Banten	SU	211	219	227	236	245	330	343	355	368	381
	RU	124	129	134	139	144	194	202	209	216	224
Jakarta	SU	67	67	70	70	73	95	99	99	103	103
	RU	67	67	70	70	73	95	99	99	103	103
Jabar	SU	858	869	893	906	930	1207	1258	1257	1309	1308
	RU	1635	1724	1762	1854	1894	2585	2639	2766	2822	2953
Jateng	SU	618	651	666	700	715	977	997	1045	1066	1116
	RU	363	383	392	412	421	574	586	615	627	656
Jatim	SU	736	756	765	785	795	1061	1074	1102	1116	1144
	RU	433	445	450	462	468	624	632	648	656	673
DIY	SU	61	63	64	66	68	90	92	94	96	99
	RU	36	37	38	39	40	53	54	55	57	58
Bali	SU	84	85	87	88	91	120	123	125	128	130
	RU	49	50	51	52	54	70	72	73	75	76

Trafik data pada Tabel 6 kemudian dilakukan pendistribusian ke sejumlah *geotype*, dimana digunakan asumsi 17% pada *sub urban* dan 10% untuk rural. Mengingat beragam layanan seluler yang saat ini sedang berjalan, maka langkah selanjutnya adalah mendistribusikan trafik data ini yang akan dilayani oleh *band* 700MHz dengan asumsi sebesar 23% dari trafik data keseluruhan, sementara selebihnya seluler lain. Melalui sejumlah asumsi ini, maka dapat dihitung besar kebutuhan *throughput* di masing-masing provinsi untuk *geotype sub urban* (SU) dan *rural* (RU) yang ditampilkan pada Tabel 7. Kebutuhan jumlah *gNodeB* pada diperoleh dengan menerapkan Persamaan (2), yaitu dengan membagi nilai kebutuhan *throughput* pada Tabel 7 dengan besaran *throughput* suatu *gNodeB* sesuai Tabel 3. Kebutuhan jumlah *gNodeB* sesuai metode *capacity dimensioning* ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Kebutuhan Jumlah *gNodeB* dengan *Capacity Dimensioning*

Tahun	Banten			DKI		Jabar		Jateng		DIY		Jatim		Bali	
	BW	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU
2023	5	330	194	106	51	1341	789	966	568	96	57	1151	678	131	77
	10	159	94	51	51	645	380	465	274	47	28	554	326	63	37
	15	105	62	34	34	425	250	306	180	31	18	365	215	42	25
	20	78	46	25	25	317	186	228	134	23	14	272	160	31	19
2024	5	343	202	106	51	1359	800	1018	599	99	58	1182	695	133	78
	10	165	97	51	51	654	385	490	288	48	28	568	335	64	38
	15	109	64	34	34	430	253	323	190	32	19	374	220	42	25
	20	81	48	25	25	321	189	241	142	24	14	279	164	32	19
2025	5	356	210	110	53	1396	821	1041	612	101	60	1196	704	137	81
	10	171	101	53	53	671	395	501	295	49	29	575	339	66	39
	15	113	67	35	35	442	260	330	194	32	19	379	223	44	26
	20	84	50	26	26	330	194	246	145	24	14	283	166	33	19
2026	5	369	218	110	53	1416	833	1095	644	104	61	1228	722	139	82
	10	178	105	53	53	681	401	527	310	50	30	590	348	67	40
	15	117	69	35	35	449	264	347	204	33	20	389	229	44	26
	20	88	52	26	26	334	197	259	152	25	15	290	171	33	20
2027	5	383	226	115	56	1453	855	1118	658	106	63	1243	732	143	84
	10	185	109	56	56	699	411	538	317	51	30	598	352	69	41
	15	122	72	37	37	460	271	354	209	34	20	394	232	45	27
	20	91	54	27	27	343	202	264	156	25	15	294	173	34	20
2028	5	517	304	149	72	1887	1110	1527	898	141	83	1658	976	188	111
	10	249	147	72	72	907	534	734	432	68	40	797	469	91	53
	15	164	97	48	48	597	352	483	285	45	27	525	309	60	35
	20	122	72	36	36	445	262	360	212	34	20	391	230	45	26
2029	5	536	315	156	75	1966	1157	1558	917	144	85	1679	988	193	114
	10	258	152	75	75	946	556	749	441	70	41	808	475	93	55
	15	170	100	50	50	623	366	493	290	46	27	532	313	61	36
	20	127	75	37	37	464	273	368	217	34	20	396	233	46	27
2030	5	555	327	156	75	1964	1156	1633	961	148	87	1722	1013	196	115
	10	267	157	75	75	945	556	786	462	71	42	828	487	94	56
	15	176	104	50	50	622	366	517	304	47	28	545	321	62	37
	20	131	77	37	37	464	273	386	227	35	21	407	239	46	28
2031	5	576	339	162	78	2046	1204	1666	980	151	89	1744	1026	201	118
	10	277	163	78	78	984	579	801	472	73	43	839	494	97	57
	15	182	108	50	50	648	381	528	311	48	29	552	325	64	38
	20	136	80	39	39	483	284	393	232	36	21	412	242	48	28
2032	5	402	351	162	78	2045	1203	1744	1026	155	91	1788	1052	203	120
	10	194	169	78	78	983	579	839	494	75	44	860	506	98	58
	15	128	111	52	52	647	381	552	325	49	29	566	333	65	38
	20	95	83	39	39	483	284	412	242	37	22	422	249	48	29

3.2. Jumlah *gNodeB* Melalui Metode *Coverage Dimensioning*

Penentuan jumlah *gNodeB* berdasarkan *Coverage Dimensioning*, mengacu pada data luas wilayah perencanaan yang dibagi berdasarkan *Geotype*. Untuk penelitian ini menggunakan *Geotype* wilayah *Urban* dan *Rural* dengan luas area berdasarkan target luas cakupan untuk 10 tahun kedepan ditampilkan pada Tabel 9. Penentuan kebutuhan jumlah *gNodeB* berdasarkan metode *coverage dimensioning* diperoleh dengan membagi data luas cakupan pada Tabel 9

Perencanaan Kebutuhan gNodeB *Low Band* 5G Menggunakan Lebar Pita Dinamis
Di Pulau Jawa Dan Bali

dengan luas sel sesuai *bandwidth* dan *geotype* yang ditampilkan pada Tabel 5, sehingga diperoleh jumlah kebutuhan *gNodeB* pada Tabel 10.

Tabel 9. Perencanaan Target Luas Cakupan Layanan

Prov.	Geotype	Target Luas Cakupan (Km ²)									
		2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
DKI	SU	86	506	1193	2075	3717	6836	12853	24606	47779	93798
	RU	109	152	213	298	417	584	818	1145	1603	2244
Banten	SU	59	346	817	1420	2544	4680	8799	16845	32709	64213
	RU	74	104	146	204	286	400	560	784	1097	1536
Jabar	SU	85	149	260	456	797	1395	2442	4274	7479	13088
	RU	100	200	260	338	439	571	743	965	1255	1631
Jateng	SU	77	33	102	313	959	2935	8990	27531	84313	258210
	RU	154	64	146	331	754	1715	3903	8878	20199	45952
DIY	SU	13	27	47	82	143	250	437	765	1339	2343
	RU	256	250	530	979	1884	3757	7722	16262	34904	76017
Jatim	SU	101	172	292	496	843	1433	2435	4140	7038	11965
	RU	100	200	260	338	439	571	743	965	1255	1631
Bali	SU	144	301	527	921	1613	2822	4939	8643	15124	26468
	RU	163	520	1165	2610	5847	13098	29340	65721	147215	329761

Tabel 10. Kebutuhan Jumlah *gNodeB* dengan *Coverage Dimensioning*

Tahun	BW	Jakarta		Banten		Jabar		Jateng		DIY		Jatim		Bali	
		SU	UR	SU	UR	SU	UR	SU	UR	SU	UR	SU	UR	SU	UR
2023	5	3	2	2	1	3	2	2	3	0	4	3	2	4	3
	10	4	3	3	2	4	2	3	4	1	6	4	2	6	4
	15	5	3	3	2	5	3	4	5	1	8	5	3	8	5
	20	5	4	4	3	4	3	5	5	1	9	6	3	9	6
2024	5	15	3	10	2	4	3	1	1	1	4	5	3	9	9
	10	22	4	15	2	6	5	1	2	1	6	7	5	13	12
	15	27	5	18	3	8	6	2	2	1	7	9	6	16	15
	20	31	5	21	4	21	7	2	2	2	9	11	7	19	18
2025	5	35	4	24	2	8	4	3	2	1	9	9	4	16	19
	10	51	5	35	3	11	6	4	3	2	13	13	6	23	28
	15	63	6	43	4	14	8	5	4	2	16	16	8	28	35
	20	74	7	51	5	19	9	6	5	3	18	18	9	33	40
2026	5	61	5	42	3	13	6	9	5	2	16	15	6	27	43
	10	89	7	61	5	20	8	13	8	4	23	21	8	40	63
	15	110	9	76	6	24	10	17	10	4	29	26	10	49	77
	20	128	10	88	7	28	12	19	11	5	34	31	12	57	90
2027	5	110	7	75	5	24	7	28	12	4	31	25	7	48	97
	10	160	10	109	7	34	11	41	18	6	45	36	11	69	140
	15	198	12	135	8	42	13	51	22	8	56	45	13	86	173
	20	230	14	157	10	51	15	59	26	9	65	52	15	100	201
2028	5	202	10	138	7	41	9	87	28	7	62	42	9	83	216
	10	294	14	201	10	60	14	126	41	11	90	62	14	121	314
	15	364	17	249	12	74	17	156	51	13	111	76	17	150	388
	20	423	20	290	14	90	20	182	59	15	129	89	20	175	451
2029	5	380	14	260	9	72	12	266	64	13	128	72	12	146	484
	10	552	20	378	13	105	18	386	93	19	185	105	18	212	703
	15	684	24	468	17	130	22	479	116	23	229	130	22	263	870
	20	795	28	544	19	154	26	556	134	27	266	151	26	306	1010
2030	5	727	19	498	13	126	16	813	147	23	269	122	16	255	1085
	10	1057	27	723	19	183	23	1182	213	33	389	178	23	371	1574
	15	1310	34	897	23	227	29	1466	263	41	482	220	29	460	1949
	20	1523	39	1042	27	264	33	1704	306	47	560	256	33	535	2262
2031	5	1411	26	966	18	221	21	2490	334	40	576	208	21	447	2431
	10	2052	38	1404	26	321	30	3620	484	57	836	302	30	649	3526
	15	2543	48	1741	33	398	37	4488	599	71	1035	375	37	805	4365
	20	2957	55	2024	38	468	43	5217	695	83	1201	436	43	936	5067
2032	5	2770	37	1897	25	387	27	7626	759	69	1255	353	27	782	5445
	10	4028	54	2757	37	562	39	11087	1100	101	1820	514	39	1136	7897
	15	4993	67	3418	46	697	48	13745	1362	125	2254	637	48	1409	9777
	20	5804	77	3974	53	874	56	15978	1582	145	2617	740	56	1638	11350

3.3. Penentuan Jumlah *gNodeB* Optimum

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah diperoleh menggunakan *metode capacity* dan *coverage dimensioning*, kemudian dipilih nilai jumlah *gNodeB* terbesar untuk masing-masing *bandwidth* per tahun per provinsi, yang kemudian ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Kebutuhan Jumlah *gNodeB* Iterasi Pertama

Tahun	BW	Banten		DKI		Jabar		Jatim		Jateng		DIY		Bali	
		SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU	SU	RU
2023	5	330	194	106	51	1341	789	966	568	96	57	1151	678	131	77
	10	159	94	51	51	645	380	465	274	47	28	554	326	63	37
	15	105	62	34	34	425	250	306	180	31	18	365	215	42	25
	20	78	46	25	25	317	186	228	134	23	14	272	160	31	19
2024	5	343	202	106	51	1359	800	1018	599	99	58	1182	695	133	78
	10	165	97	51	51	654	385	490	288	48	28	568	335	64	38
	15	109	64	34	34	430	253	323	190	32	19	374	220	42	25
	20	81	48	25	25	321	189	241	142	24	14	279	164	32	19
2025	5	356	210	110	53	1396	821	1041	612	101	60	1196	704	137	81
	10	171	101	53	53	671	395	501	295	49	29	575	339	66	39
	15	113	67	43	35	442	260	330	194	32	19	379	223	44	35
	20	84	50	51	26	330	194	246	145	24	18	283	166	33	40
2026	5	369	218	110	53	1416	833	1095	644	104	61	1228	722	139	82
	10	178	105	61	53	681	401	527	310	50	30	590	348	67	63
	15	117	69	76	35	449	264	347	204	33	29	389	229	49	77
	20	128	52	88	26	334	197	259	152	25	34	290	171	57	90
2027	5	383	226	115	56	1453	855	1118	658	106	63	1243	732	143	97
	10	185	109	109	56	699	411	538	317	51	45	598	352	69	140
	15	198	72	135	37	460	271	354	209	34	56	394	232	86	173
	20	230	54	157	27	343	202	264	156	25	65	294	173	100	201
2028	5	517	304	149	72	1887	1110	1527	898	141	83	1658	976	188	216
	10	294	147	201	72	907	534	734	432	68	90	797	469	121	314
	15	364	97	249	48	597	352	483	285	45	111	525	309	150	388
	20	423	72	290	36	445	262	360	212	34	129	391	230	175	451
2029	5	536	315	260	75	1966	1157	1558	917	144	128	1679	988	193	484
	10	552	152	378	75	946	556	749	441	70	185	808	475	212	703
	15	684	100	468	50	623	366	493	290	46	229	532	313	263	870
	20	795	75	544	37	544	273	556	217	34	266	396	233	306	1010
2030	5	727	327	498	75	1964	1156	1633	961	148	269	1722	1013	255	1085
	10	1057	157	723	75	945	556	1182	462	71	389	828	487	371	1574
	15	1310	104	897	50	622	366	1466	304	47	482	545	321	460	1949
	20	1523	77	1042	37	1042	273	1704	306	47	560	407	239	535	2262
2031	5	1411	339	966	78	2046	1204	2490	980	151	576	1744	1026	447	2431
	10	2052	163	1404	78	984	579	3620	484	73	836	839	494	649	3526
	15	2543	108	1741	50	648	381	4488	599	71	1035	552	325	805	4365
	20	2957	80	2024	39	2024	284	5217	695	83	1201	436	242	936	5067
2032	5	2770	351	1897	78	2045	1203	7626	1026	155	1255	1788	1052	782	5445
	10	4028	169	2757	78	983	579	11087	1100	101	1820	860	506	1136	7897
	15	4993	111	3418	52	697	381	13745	1362	125	2254	637	333	1409	9777
	20	5804	83	3974	53	3974	284	15978	1582	145	2617	740	249	1638	11350

Tabel 12. Persentase Penggunaan Metode pada Perhitungan Jumlah *gNodeB*

Metode	BW			
	5 MHz	10 MHz	15 MHz	20 MHz
Capacity Dimensioning	84%	74%	68%	61%
Coverage Dimensioning	16%	26%	32%	39%

Terdapat 560 data jumlah *gNodeB* yang berhasil dihitung menggunakan komparasi sesuai ketentuan untuk iterasi pertama yang dipetakan pada Tabel 12. Secara umum, penggunaan metode *capacity dimensioning* mendominasi pada *bandwidth* rendah sebesar 84% dan menurun hingga mencapai 61% pada penggunaan *bandwidth* 20 MHz. Sementara penentuan jumlah *gNodeB* melalui metode *coverage dimensioning* memiliki karakteristik sebaliknya relatif

Perencanaan Kebutuhan *gNodeB Low Band* 5G Menggunakan Lebar Pita Dinamis
Di Pulau Jawa Dan Bali

rendah pada *bandwidth* 5 MHz (16%) dan sedikit meningkat seiring dengan kenaikan penggunaan *bandwidth* sampai 20 MHz (39%).

Tabel 11 menampilkan jumlah *gNodeB* yang mampu melayani sejumlah pelanggan tertentu pada cakupan area tertentu yang ditargetkan, dimana tersedia 4 alternatif pilihan *bandwidth*. Penentuan jumlah *gNodeB* pada langkah akhir adalah memilih jumlah *gNodeB* terkecil dari 4 pilihan *bandwidth* diperoleh jumlah *gNodeB* per tahun per provinsi. Hasil akhir kebutuhan jumlah *gNodeB* pada masing-masing provinsi per tahun kemudian ditampilkan pada Tabel 13.

Tabel 13. Kebutuhan Jumlah *gNodeB* per Tahun

Provinsi	Geotype	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Banten	SU	78	81	84	117	185	294	536	727	1411	2770
	RU	46	48	50	52	54	72	75	77	80	83
DKI	SU	25	25	43	61	109	149	260	498	966	1897
	RU	25	25	26	26	27	36	37	37	39	52
Jabar	SU	317	321	330	334	343	445	544	622	648	697
	RU	186	189	194	197	202	262	273	273	284	284
Jateng	SU	228	241	246	259	264	360	493	1182	2490	7626
	RU	134	142	145	152	156	212	217	304	484	1026
DIY	SU	23	24	24	25	25	34	34	47	71	101
	RU	14	14	18	29	45	83	128	269	576	1255
Jatim	SU	272	279	283	290	294	391	396	407	436	637
	RU	160	164	166	171	173	230	233	239	242	249
Bali	SU	31	32	33	49	69	121	193	255	447	782
	RU	19	19	35	63	97	216	484	1085	2431	5445
Total <i>gNodeB</i>		1558	1604	1677	1825	2043	2905	3903	6021	10605	22903

Sampai dengan tahun 2032, kebutuhan total keseluruhan jumlah *gNodeB* pulau Jawa dan Bali adalah sebanyak 22903. Jumlah ini jauh lebih optimal jika dibandingkan menggunakan satu cara perhitungan menggunakan *coverage dimensioning* diperlukan sebanyak 48044 jumlah *gNodeB* untuk *bandwidth* 20 MHz dan 21459 pada *bandwidth* 5 MHz. Sementara jika hanya menggunakan metode *capacity diminsioning* diperlukan jumlah *gNodeB* sebanyak 10420 pada *bandwidth* 5MHz dan 2484 pada *bandwidth* 20 MHz.

Tabel 14. Sebaran Penggunaan *Bandwidth gNodeB*

BW (MHz)	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
5	0%	0%	0%	0%	5%	15%	41%	47%	78%	91%
10	0%	0%	0%	0%	20%	14%	0%	20%	5%	0%
15	0%	0%	5%	11%	0%	0%	23%	16%	7%	6%
20	100%	100%	95%	85%	75%	70%	36%	17%	10%	3%

Rekapitulasi persentase penggunaan 4 variasi *bandwidth* selama 10 tahun perencanaan dapat dilihat pada Tabel 14, penggunaan *bandwidth* 20 MHz menjadi pilihan utama mulai tahun 2023 hingga tahun 2028, dan mulai tahun 2029 hingga tahun 2032 pilihan penggunaan berpindah ke *bandwidth* 5 MHz. Untuk penggunaan BW 20 penggunaan paling tinggi pada 2 tahun awal perencanaan yang mencapai 100% dari total *gNodeB* pada kedua tahun tersebut. BW 5 MHz pada tahun 2032 dominan digunakan dibandingkan dengan penggunaan *bandwidth* lain dimana mencapai 91% dari total 22.903 *gNodeB*. Hal ini sejalan dengan target cakupan layanan 5G untuk wilayah *sub urban* dan *rural* yang direncanakan mengalami peningkatan yang signifikan, sementara perencanaan penambahan trafik data relatif rendah. Pilihan *bandwidth* rendah tentu saja menjadi pilihan mengingat keunggulan *bandwidth* rendah adalah jangkauan yang lebih luas dibandingkan *bandwidth* tinggi. Penggunaan *bandwidth* 10 MHz dan

15 MHz menjadi alternatif penyeimbang pada tahun 2025 hingga tahun 2032, dimana kedua *bandwidth* ini digunakan pada rentang komposisi antara 5% hingga 23%.

4. KESIMPULAN

Mayoritas penentuan kebutuhan jumlah *gNodeB* berbasis pada perhitungan menggunakan metode *capacity dimensioning*. Semakin lebar *bandwidth* yang digunakan kecenderungan komposisi penentuan jumlah *gNodeB* melalui perhitungan metoda *Coverage dimensioning* mengalami penurunan semula 84 % untuk *bandwidth* 5 MHz menjadi 61 % pada BW 20 MHz. Sebaliknya pada perhitungan menggunakan metoda *Coverage dimensioning* terlihat peningkatan persentase seiring dengan penggunaan *bandwidth* yang lebih besar, dimana 16 % pada *bandwidth* 5 MHz dan naik menjadi 39 % pada *bandwidth* 20 MHz.

Hingga tahun 2032 direncanakan diperlukan sebanyak 22.903 *gNodeB* di Pulau Jawa dan Bali untuk menyediakan layanan 5G *band* 700 MHz dengan skema penggunaan *bandwidth* yang dinamis, dimana tidak terkunci pada penggunaan *bandwidth* yang tetap, melainkan mengikuti kondisi kapasitas trafik dan luas wilayah yang dilayani. Jumlah ini jauh lebih optimal jika dibandingkan menggunakan satu cara perhitungan menggunakan *coverage dimensioning* diperlukan sebanyak 48.044 jumlah *gNodeB* untuk *bandwidth* 20 MHz.

Penggunaan *bandwidth* 20 MHz dan *bandwidth* 5 MHz menjadi pilihan dominan penggunaan untuk menggelar layanan 5G pada *low band* 700MHz. Kebutuhan jumlah *gNodeB* mulai 2023 hingga 2028 didominasi oleh penggunaan BW 20 MHz, dimana mendominasi 100% pada 2 tahun awal perencanaan, mengingat pada awal implementasi prioritas pada pemenuhan terhadap kapasitas trafik data. Mulai tahun 2029 hingga 2032 penggunaan *bandwidth* 5 MHz, mencapai 91%, mengingat target cakupan layanan 5G yang direncanakan mengalami peningkatan yang signifikan. *Bandwidth* 10 MHz dan 15 MHz digunakan sebagai penyeimbang alternatif penggunaan *bandwidth* pada rentang tahun 2022 hingga 2032.

DAFTAR RUJUKAN

- 3GPP. (2017). *5G; Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz ETSI TR 138 901 V14.0.0 (2017-05)*: ETSI.
- 5G-tools.com. (2024, January 20). *5G Tools for RF Wireless*. Retrieved from <https://5g-tools.com/5g-nr-link-budget-calculator/>.
- Admaja, A. F. (2015). Kajian Awal 5G Indonesia [5G Indonesia Early Preview]. *Buletin Pos dan Telekomunikasi*, 13(2), 97-114.
- Aisah, S., M., & Widjayanti, K. (2023). Pemodelan Site pada Heterogen Network 5G Menggunakan Optimized Network Enggineering Tools. *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, 7(3), 497-503.
- APJII. (2022). Profil Internet Indonesia 2022. Asosiasi Penyelenggara Jasa Internet Indonesia (APJII).
- APT. (2019). APT Report On The Status Of Implementation Of APT700 Band Plan. Asia Pasific

- Telecommunication Wireless Group.
- Aryanta, D., & Maulana, M. I. (2023). Perencanaan Implementasi Low band 700 Mhz Pasca ASO untuk Seluler 5G di Indonesia. *ELKOMIKA* , 11(3), 716 – 730.
- Effendi, dkk. (2020). Proposal on 5G Broadband Radio Frequency Planning in Indonesia. *2020 27th International Conference on Telecommunications (ICT), Bali, Indonesia*, (pp. 1 - 4).
- Esa, A., Hikmaturokhman, and A.R. Danisya. (2020). 5G NR Planning at Frequency 3.5 GHz : Study Case in Indonesia Industrial Area. *2nd International Conference on Industrial Electrical and Electronics (ICIEE)*. (pp. 187 - 193).
- GSMA. (2019). The Benefits of Technology Neutral Spectrum Licences. GSMA Corporate.
- HKT-GSA-Huawei. (2019). *Indoor 5G Scenario Oriented White Paper*. Retrieved from <https://carrier.huawei.com>.
- Kominfo. (2022). Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2022 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia (TASFRI): Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia.
- LPPM-ITB. (2022). Kajian Penataan Pita Frekuensi 700 MHz. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Teknologi Bandung.
- Puslitbang SDPPI. (2018). *Studi Lanjutan 5G Indonesia 2018 Spektrum Outlook dan Use Case untuk Layanan 5G Indonesia: Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika*, Badan Penelitian dan Pengembangan SDM, Kementerian Komunikasi dan Informatika
- Tomic, I., Bleakley E, Ivanis P. (2022). Predictive Capacity Planning for Mobile Networks—ML Supported Prediction of Network Performance and User Experience Evolution. *Electronics Journal*, 11(4), 1 - 10.
- Wulandari, A., Supriyanto, T., Mayanti, A. H., & Nugroho, R. (2022). Perancangan Private 5G Network Kawasan Industrial Jababeka untuk Mendukung Revolusi Industri 4.0. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2022*. (pp. 110 – 115).