

Perancangan Jaringan Seluler 5G NR Pada Frekuensi 2.3 GHz Di Pulau Madura

1st Moh. Anas Al Hibrizi

*Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya*

Surabaya, Indonesia

mohanasaalhibrizi@student.telkomeniv
rsity.ac.id

2nd Nilla Rachmaningrum

*Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya*

Surabaya, Indonesia

nrachmaningrum@telkomuniversity.ac.
id

3rd Tri Agus Djoko Kuntjoro

*Telecommunication Engineering
Telkom University Surabaya*

Surabaya, Indonesia

tragusdjokokuntjoro@telkomuniversit
y.ac.id

Abstrak — Pulau Madura memiliki potensi unggul di sektor pariwisata dan produksi garam terbesar di Indonesia, dengan Bandara Trunojoyo di Sumenep sebagai salah satu infrastruktur pendukungnya. Untuk meningkatkan layanan jaringan informasi dan komunikasi serta memperkuat teknologi di wilayah ini, perancangan jaringan 5G New Radio pada frekuensi 2.3 GHz dilakukan menggunakan propagasi urban macro dengan pendekatan coverage planning dan capacity planning. Hasil perancangan di Kabupaten Bangkalan menunjukkan kebutuhan 274 site untuk cakupan dan 18 site untuk kapasitas. Di Kabupaten Sampang, diperlukan 268 site untuk cakupan dan 14 site untuk kapasitas. Kabupaten Pamekasan membutuhkan 97 site untuk cakupan dan 13 site untuk kapasitas. Sementara itu, Kabupaten Sumenep memerlukan 256 site untuk cakupan dan 32 site untuk kapasitas. Dengan perancangan ini, diharapkan jaringan 5G dapat mendukung perkembangan sektor unggulan Madura serta meningkatkan koneksi di seluruh wilayahnya.

Kata kunci— pulau madura, 5G NR, frekuensi 2.3 ghz, propagasi urban macro, coverage planning, capacity planning.

I. PENDAHULUAN

Pulau Madura memiliki potensi besar di sektor perikanan, pertanian, dan pariwisata, dengan luas wilayah 5.304 km² yang terbagi dalam empat kabupaten: Bangkalan, Sampang, Pamekasan, dan Sumenep[1]. Madura juga merupakan penghasil garam terbesar di Indonesia berkat tingginya kadar mineral dalam air lautnya[2]. Namun, potensi ini belum dimanfaatkan secara maksimal, menghambat pertumbuhan ekonomi dan mendorong banyak penduduk untuk merantau. Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan infrastruktur komunikasi yang andal guna mendukung pengembangan wilayah dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat.

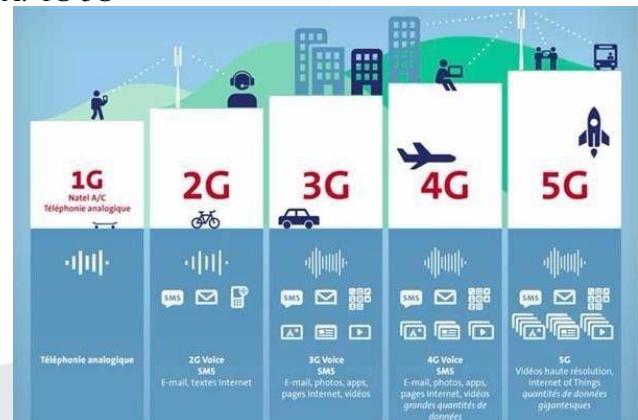
Teknologi 5G New Radio dengan frekuensi 2.3 GHz dipilih untuk perancangan jaringan seluler di Madura karena memiliki keseimbangan optimal antara cakupan (coverage) dan kapasitas (capacity). Jaringan 5G menawarkan kecepatan tinggi, latensi rendah, dan kapasitas besar, yang dapat meningkatkan sektor pariwisata melalui koneksi internet

yang stabil, serta mendukung pertanian dan perikanan berbasis teknologi. Dengan penerapan 5G, diharapkan Madura dapat memaksimalkan potensinya dan mempercepat pertumbuhan ekonomi secara keseluruhan.

II. KAJIAN TEORI

Teori dasar menjadi landasan untuk memahami, menjelaskan, dan mengarahkan penelitian.

A. 1G-5G



GAMBAR 1
(PERBEDAAN 1G-5G[3])

1G adalah generasi pertama teknologi jaringan komunikasi yang menggunakan sinyal analog, dikenal dengan AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Dengan kecepatan maksimal 2,4 Kbps, 1G hanya mendukung panggilan telepon dengan kualitas rendah dan jaringan yang terbatas[4].

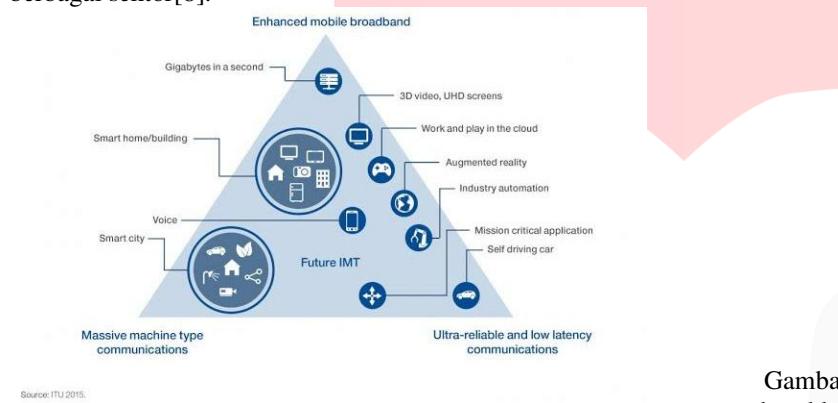
2G adalah generasi kedua teknologi jaringan komunikasi yang menggunakan sinyal digital, memungkinkan suara lebih jernih dan efisien. Standar paling umum adalah GSM, dengan kecepatan maksimal 473 Kbps. Berbeda dari 1G, 2G mendukung fitur baru seperti SMS, MMS, dan panggilan suara yang lebih baik[5].

3G adalah teknologi jaringan generasi ketiga yang diperkenalkan untuk memenuhi kebutuhan akses internet yang meningkat. Menggunakan standar UMTS, 3G menawarkan kecepatan hingga 2 Mbps, memungkinkan

layanan seperti browsing, email, streaming, dan berbagi data lebih efisien[6].

4G adalah teknologi jaringan generasi keempat yang menawarkan peningkatan kecepatan, kapasitas, dan koneksi seluler melalui LTE, WiMAX, dan Wi-Fi. Dengan kecepatan hingga 1 Gbps, 4G mendukung layanan multimedia, telekonferensi, dan internet nirkabel dengan bandwidth lebih luas dibanding 3G[7].

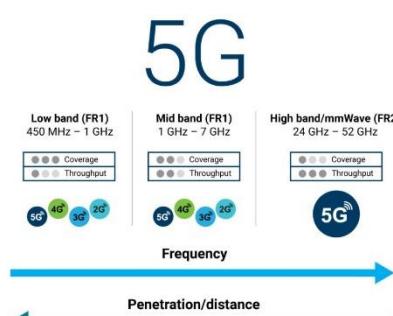
5G atau generasi kelima jaringan seluler menawarkan kecepatan tinggi (1–10 Gbps), latensi rendah (kurang dari 1 ms), dan kapasitas lebih besar dibandingkan generasi sebelumnya. Standar seperti ITU-R, IMT-2020, dan 3GPP mendukung teknologi ini, memungkinkan unduhan cepat, streaming 4K-8K tanpa gangguan, serta respons instan untuk aplikasi seperti bedah jarak jauh dan game online. Dengan spektrum frekuensi yang lebih luas, 5G mendukung Internet of Things (IoT), Smart Cities, dan Smart Garden, yang mempermudah kehidupan dan meningkatkan efisiensi di berbagai sektor[8].



GAMBAR 2
(KEUNGGULAN 5G[9])

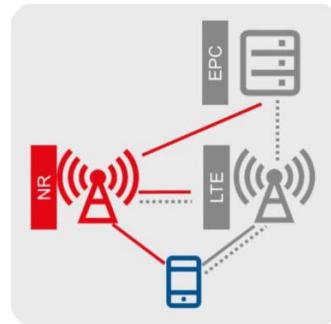
B. Spektrum 5G

Spektrum 5G NR terbagi menjadi low bands (≤ 1 GHz) untuk cakupan luas, mid bands (1–6 GHz) untuk eMBB dan aplikasi kritis, serta high bands (≥ 24 GHz) dengan bandwidth besar tetapi cakupan sempit. Frekuensi rendah menawarkan cakupan luas dengan bitrate kecil, sementara frekuensi tinggi memiliki cakupan terbatas tetapi bitrate lebih tinggi[10]. Untuk keseimbangan optimal, penelitian ini memilih frekuensi 2.3 GHz.



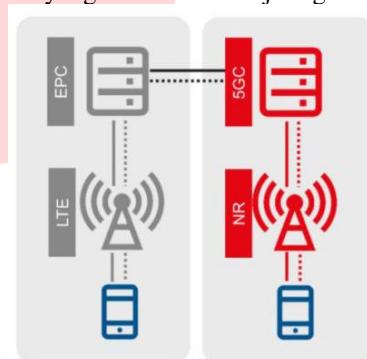
GAMBAR 3
(SPEKTRUM 5G[11])

D. Arsitektur 5G



GAMBAR 4
(NON-STANDALONE[12])

Gambar 4, perancangan 5G NR masih membutuhkan 4G LTE. Artinya Non-Standalone jaringan 5G bergantung pada infrastruktur yang sudah ada dari jaringan 4G LTE.



GAMBAR 5
(STANDALONE[12])

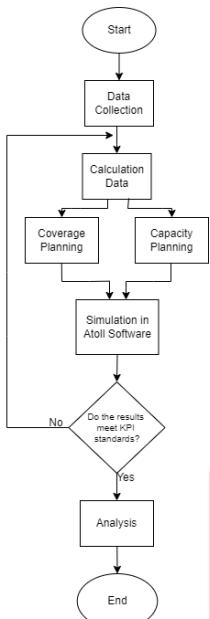
Gambar 5, jaringan 5G NR berdiri sendiri tanpa membutuhkan jaringan 4G LTE.

C. Propagasi Urban Macro

Wilayah sub-urban merupakan daerah perdesaan dengan fasilitas perkotaan yang berkembang, namun masih mempertahankan lahan pertanian dan pembangunan yang lebih lambat dibanding kota besar[13]. Beberapa wilayah di Madura mulai menunjukkan karakteristik ini dengan akses fasilitas yang membaik. Proyeksi kepadatan penduduk pada 2027 menunjukkan Bangkalan mencapai 27.161 jiwa, Sampang 35.651 jiwa, dan Sumenep 23.066 jiwa, sementara Pamekasan diperkirakan mencapai 29.664 jiwa pada 2026. Berdasarkan data ini, seluruh kabupaten di Madura diperkirakan masuk dalam kategori sub-urban dalam beberapa tahun ke depan. Karena seluruh kabupaten di Madura tergolong sub-urban, maka penelitian ini menggunakan propagasi urban macro.

III. METODE

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang meliputi pengumpulan data, perhitungan, simulasi, analisis, dan penyusunan laporan, sebagaimana ditampilkan pada flowchart gambar 6 berikut.



GAMBAR 6
(FLOWCHART PENELITIAN)

A. Perhitungan Coverage Planning

Coverage planning digunakan untuk mengestimasi jumlah cell yang dibutuhkan dalam luas wilayah yang direncanakan. Perhitungan pada perencanaan coverage ini sangat mempertimbangkan loss yang terjadi diantara gNodeB dan user terminal (UT) serta pada luas wilayah yang direncanakan.

B. Perhitungan Capacity Planning

Perhitungan capacity planning mencakup beberapa parameter dalam melakukan perhitungan seperti model bass/estimasi jumlah user, demand traffic, dan data rate.

C. SS-RSRP

Pada tabel 1 berikut untuk parameter SS-RSRP.

TABEL 1

(PARAMETER SS-RSRP[14])

RSRP (dBm)	Keterangan
-80 ≤ RSRP < 0	Sangat Baik
-95 ≤ RSRP < -80	Baik
-100 ≤ RSRP < -95	Normal
-110 ≤ RSRP < -100	Buruk
-150 ≤ RSRP < -110	Sangat Buruk

D. SS-SINR

Pada tabel 2 berikut untuk parameter SS-SINR.

TABEL 2
(SS-SINR[15])

SINR (dB)	Keterangan
20 ≤ SINR < 50	Sangat Baik
10 ≤ SINR < 20	Baik
0 ≤ SINR < 10	Normal
-20 ≤ SINR < 0	Buruk

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Coverage Planning Kab. Bangkalan

$$1. \text{Pathloss} = 49 - 10\log_{10}(3276) + 25 - 0 - 14.5 - 11.14 - 3 - 4 - 0 - 4 - 3 + 25 - 93.83 - 9 - (-1.1)$$

$$\text{Pathloss} = 106.737$$

$$2. d'bp = 4 \times 24 \times 0.5 \times 23 \times \frac{10^9}{3} \times 10^8$$

$$d'bp = 445$$

$$3. 106.737 = 28.0 + 40 \log_{10}(d3d) + 20\log_{10}(2,3) - 9\log_{10}((445)2 + (24 - 0,5)2)$$

$$D3d = 954.0390893 \text{ m}$$

$$4. \text{Radius Cell (d2d)} =$$

$$\sqrt{((954.0390893)^2 - (24 - 0,5)^2)}$$

$$\text{Radius Cell (d2d)} = 953.6133042 \text{ m}^2$$

$$5. \text{Coverage Area} = 1,9 \times 2,6 \times (953.6133042)^2$$

$$\text{Coverage Area} = 4610548.153 \text{ m}^2$$

$$6. gNodeB = \frac{1261000000 \text{ m}^2}{4610548.153 \text{ m}^2} = 274 \text{ site}$$

B. Perhitungan Coverage Planning Kab. Sampang

$$1. \text{Pathloss} = 49 - 10\log_{10}(3276) + 25 - 0 - 14.5 - 11.14 - 3 - 4 - 0 - 4 - 3 + 25 - 93.83 - 9 - (-1.1)$$

$$\text{Pathloss} = 106.737$$

$$2. d'bp = 4 \times 24 \times 0.5 \times 23 \times \frac{10^9}{3} \times 10^8$$

$$d'bp = 445$$

$$3. 106.737 = 28.0 + 40 \log_{10}(d3d) + 20\log_{10}(2,3) - 9\log_{10}((445)2 + (24 - 0,5)2)$$

$$D3d = 954.0390893 \text{ m}$$

$$4. \text{Radius Cell (d2d)} =$$

$$\sqrt{((954.0390893)^2 - (24 - 0,5)^2)}$$

$$\text{Radius Cell (d2d)} = 953.6133042 \text{ m}^2$$

$$5. \text{Coverage Area} = 1,9 \times 2,6 \times (953.6133042)^2$$

$$\text{Coverage Area} = 4610548.153 \text{ m}^2$$

$$6. gNodeB = \frac{1233000000 \text{ m}^2}{4610548.153 \text{ m}^2} = 268 \text{ site}$$

C. Perhitungan Coverage Planning Kab. Pamekasan

$$1. \text{Pathloss} = 49 - 10\log_{10}(3276) + 25 - 0 - 11.5 - 11.14 - 3 - 2 - 0 - 4 - 3 + 25 - 93.83 - 9 - (-1.1)$$

$$\text{Pathloss} = 111.737$$

$$2. d'bp = 4 \times 24 \times 0.5 \times 23 \times \frac{10^9}{3} \times 10^8$$

$$d'bp = 445$$

$$3. 111.737 = 28.0 + 40 \log_{10}(d3d) + 20\log_{10}(2,3) - 9\log_{10}((445)2 + (24 - 0,5)2)$$

$$D3d = 1272.231573 \text{ m}$$

$$4. \text{Radius Cell (d2d)} =$$

$$\sqrt{((1272.231573)^2 - (24 - 0,5)^2)}$$

$$\text{Radius Cell (d2d)} = 1271.91231 \text{ m}^2$$

$$5. \text{Coverage Area} = 1,9 \times 2,6 \times (1271.91231)^2$$

$$\text{Coverage Area} = 8202047.888 \text{ m}^2$$

$$6. gNodeB = \frac{792000000}{8202047.888 \text{ m}^2} = 97 \text{ site}$$

D. Perhitungan Coverage Planning Kab. Sumenep

$$1. \text{Pathloss} = 49 - 10\log_{10}(3276) + 25 - 0 - 11.5 - 11.14 - 3 - 2 - 0 - 4 - 3 + 25 - 93.83 - 9 - (-1.1)$$

$$\text{Pathloss} = 111.737$$

$$2. d'bp = 4 \times 24 \times 0.5 \times 23 \times \frac{10^9}{3} \times 10^8$$

$$d'bp = 445$$

$$3. 111.737 = 28.0 + 40 \log_{10}(d3d) + 20\log_{10}(2,3) - 9\log_{10}((445)2 + (24 - 0,5)2)$$

$$D3d = 1272.231573 \text{ m}$$

4. Radius Cell ($d2d$) =

$$\sqrt{((1272.231573)^2 - (24 - 0,5)^2}$$

$$\text{Radius Cell } (d2d) = 1271.91231 \text{ m}^2$$

$$5. \text{ Coverage Area} = 1,9 \times 2,6 \times (1271.91231)^2$$

$$\text{Coverage Area} = 8202047.888 \text{ m}^2$$

$$6. gNodeB = \frac{2093000000}{8202047.888 \text{ m}^2} = 256 \text{ site}$$

E. Perhitungan Capacity Planning Kab. Bangkalan

1. Perhitungan Bass Model

Perhitungan bass model adalah perhitungan untuk memprediksi jumlah pengguna atau user. Pada tabel 3 berikut untuk tabel perhitungannya.

TABEL 3
(BASS MODEL)

Bass Model Perkecamatan					
Kecamatan	2024	2025	2026	2027	2028
Kamal	51.432	54.869	60.863	70.070	83.143
Labang	40.087	42.766	47.438	54.614	64.803
Kwanyar	52.719	56.242	62.386	71.823	85.223
Modung	45.492	48.533	53.835	61.978	73.541
Blega	59.812	63.809	70.780	81.487	96.690
Konang	54.675	58.329	64.701	74.488	88.385
Galis	86.516	92.298	102.380	117.866	139.856
Tanah Merah	71.753	76.548	84.910	97.754	115.992
Tragah	32.161	34.311	38.059	43.816	51.991
Socah	65.113	69.465	77.053	88.708	105.258
Bangkalan	92.188	98.349	109.092	125.594	149.026
Burneh	65.422	69.794	77.418	89.129	105.758
Arosbaya	50.227	53.584	59.438	68.429	81.196
Geger	82.285	87.784	97.373	112.102	133.017
Kokop	73.792	78.724	87.324	100.533	119.289
Tanjung Bumi	55.436	59.141	65.602	75.525	89.616
Sepulu	44.555	47.533	52.726	60.702	72.027
Klampis	56.569	60.350	66.943	77.069	91.448
TOTAL	1,080,225	1,152,413	1,278,296	1,471,653	1,746,216

2. Perhitungan Demand Traffic

Perhitungan demand traffic perhitungan untuk menyesuaikan kapasitas 5G dengan perkiraan lalu lintas data. Pada tabel 4 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 4
(PERHITUNGAN NILAI P)

Kecamatan	N(2028)	Luas Wilayah (km ²)	p = N(2028)/Luas Wilayah
Kamal	83,143	14.4	2008.285024
Labang	64,803	35,23	1839.426625
Kwanyar	85,223	47,81	1782.535035
Modung	73,541	78,79	933.3798705
Blega	96,690	92,82	1041.693601
Konang	88,385	81,09	1089.961771
Galis	139,856	120,56	1160.053086
T. Merah	115,992	68,56	1691.831972
Tragah	51,991	39,58	1313.567458
Socah	105,258	53,83	1955.378042
Bangkalan	149,026	35,02	4255.454026
Burneh	105,758	66,1	1599.969743
Arosbaya	81,196	42,46	1912.293924
Geger	133,017	123,31	1078.720298
Kokop	119,289	125,75	948.6202783
T.Bumi	89,616	67,49	1327.841162
Sepulu	72,027	73,25	983.3037543
Klampis	91,448	67,1	1362.861401
Total	1,746,216	1260,15	1385.720748

Setelah memperoleh nilai kepadatan penduduk, lanjut perhitungan demand trafficnya. Pada tabel 5 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 5
(PERHITUNGAN DEMAND TRAFFIC)

Kecamatan	Ndh	Nmd	miu(t)	Dk	P	G(t)
Kamal	9	30	100%	100	2008.285	5950.474146
Labang	9	30	100%	100	1839.427	5450.152963
Kwanyar	9	30	100%	100	1782.535	5281.585287
Modung	9	30	100%	100	933.3799	2765.569987
Blega	9	30	100%	100	1041.694	3086.499557
Konang	9	30	100%	100	1089.962	3229.516358
Galis	9	30	100%	100	1160.053	3437.194328
T. Merah	9	30	100%	100	1691.832	5012.835473
Tragah	9	30	100%	100	1313.567	3892.051728
Socah	9	30	100%	100	1955.378	5793.712717
Bangkalan	9	30	100%	100	4255.454	12608.75267
Burneh	9	30	100%	100	1599.97	4740.65109
Arosbaya	9	30	100%	100	1912.294	5666.05607
Geger	9	30	100%	100	1078.72	3196.208292
Kokop	9	30	100%	100	948.6203	2810.726751
T.Bumi	9	30	100%	100	1327.841	3934.344183
Sepulu	9	30	100%	100	983.3038	2913.492605
Klampis	9	30	100%	100	1362.861	4038.107855
Total	9	30	100%	100	1385.721	4105.839252

3. Perhitungan Data Rate

Penghitungan data rate dilakukan untuk menentukan kecepatan pengiriman data. Pada tabel 6 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 6
(PERHITUNGAN DATA RATE)

Parameter	Symbol	Nilai
Number of Layer	$v_{Layers}^{(j)}$	4
R_{max}	R_{max}	0,926
Modulation Order	$Q_m^{(j)}$	4
Scaling Factor	$f^{(j)}$	1
Numerology	μ	2
OFDM Symbol Duration	T_s^μ	0,000285714
Number of RB	N_{PRB}	273
Overhead	$OH^{(j)}$	0,14
Bandwidth	$BW_{(j)}$	100
Subcarrier Spacing	SCS	30
Component Carrier	J	1
Scalling Factor	F	1

4. Perhitungan Jumlah Site

Pada tabel 7 berikut untuk perhitungan jumlah site yang dibutuhkan.

TABEL 7
(PERHITUNGAN GNODEB)

Kecamatan	User Density	Demand Traffic	Total Site = Gt/p
Kamal	5950.474146	5950.474146	1 site
Labang	5950.474146	5450.152963	1 site
Kwanyar	5950.474146	5281.585287	1 site
Modung	5950.474146	2765.569987	1 site
Blega	5950.474146	3086.499557	1 site
Konang	5950.474146	3229.516358	1 site
Galis	5950.474146	3437.194328	1 site
Tanah Merah	5950.474146	5012.835473	1 site
Tragah	5950.474146	3892.051728	1 site
Socah	5950.474146	5793.712717	1 site
Bangkalan	5950.474146	12608.75267	1 site
Burneh	5950.474146	4740.65109	1 site
Arosbaya	5950.474146	5666.05607	1 site
Geger	5950.474146	3196.208292	1 site
Kokop	5950.474146	2810.726751	1 site
Tanjung Bumi	5950.474146	3934.344183	1 site
Sepulu	5950.474146	2913.492605	1 site
Klampis	1362.861401	4038.107855	1 site
Total	1385.720748	4105.839252	1 site

F. Perhitungan Capacity Planning Kab. Sampang

1. Perhitungan Bass Model

Perhitungan bass model adalah perhitungan untuk memprediksi jumlah pengguna atau user. Pada tabel 8 berikut untuk tabel perhitungannya.

TABEL 8
(BASS MODEL)

Kecamatan	Tahun				
	2024	2025	2026	2027	2028
Sreseh	37,452	39,955	44,320	51,024	60,544
Torjun	43,155	46,039	51,068	58,793	69,762
Pangarengan	27,384	29,214	32,406	37,308	44,269
Sampang	134,715	143,718	159,417	183,531	217,772
Camplong	91,169	97,262	107,887	124,206	147,379
Omben	90,294	96,328	106,851	123,014	145,964
Kedungdung	96,594	103,049	114,306	131,596	156,148
Jrengkik	39,521	42,163	46,769	53,844	63,890
Tambelangan	55,632	59,350	65,833	75,791	89,931
Banyuates	85,867	91,606	101,613	116,983	138,808
Robatal	58,659	62,579	69,415	79,915	94,825
Karang Penang	79,423	84,731	93,987	108,204	128,391
Ketapang	95,029	101,380	112,455	129,465	153,619
Sokobanah	82,521	88,036	97,653	112,424	133,399
Total	1,017,408	1,085,398	1,203,961	1,386,074	1,644,671

2. Perhitungan Demand Traffic

Perhitungan demand traffic perhitungan untuk menyesuaikan kapasitas 5G dengan perkiraan lalu lintas data. Pada tabel 9 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 9
(PERHITUNGAN NILAI P)

Kecamatan	N(2028)	Luas Wilayah (km2)	P = N(t)/Luas Wilayah
Sreseh	60,544	70.11	863.5449502
Torjun	69,762	46.67	1494.921356
Pangarengan	44,269	43.2	1024.697931
Sampang	217,772	74.28	2931.811144
Camplong	147,379	70.33	2095.475744
Omben	145,964	104.99	1390.26574
Kedungdung	156,148	119.52	1306.415448
Jrengkik	63,890	67.16	951.2678111
Tambelangan	89,931	84.9	1059.320337
Banyuates	138,808	148.8	932.8557316
Robatal	94,825	83.87	1130.564895
K. Penang	128,391	76.8	1671.823118
Ketapang	153,619	129.7	1184.454416
Sokobanah	133,399	107.93	1236.034283
Total	1,644,671	1,228.25	1339.032756

Setelah memperoleh nilai kepadatan penduduk, lanjut perhitungan demand trafficnya. Pada tabel 10 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 10
(PERHITUNGAN DEMAND TRAFFIC)

Kecamatan	Ndh	Nmd	$\varphi(t)$	Dk	p	$G(t) = p \cdot \frac{8}{Ndk.Nmd} \cdot \varphi(t).Dk$
Sreseh	9	30	100%	100	863.5449502	2558.651704
Torjun	9	30	100%	100	1494.921356	4429.39661
Pangarengan	9	30	100%	100	1024.697931	3036.142017
Sampang	9	30	100%	100	2931.811144	8686.847835
Camplong	9	30	100%	100	2095.475744	6208.817018
Omben	9	30	100%	100	1390.26574	4119.305895
Kedungdung	9	30	100%	100	1306.415448	3870.860586
Jrengkik	9	30	100%	100	951.2678111	2818.571292
Tambelangan	9	30	100%	100	1059.320337	3138.726924
Banyuates	9	30	100%	100	932.8557316	2764.016982
Robatal	9	30	100%	100	1130.564895	3349.821911
K. Penang	9	30	100%	100	1671.823118	4953.54998
Ketapang	9	30	100%	100	1184.454416	3509.494567
Sokobanah	9	30	100%	100	1236.034283	3662.323802

3. Perhitungan Jumlah Site

Pada tabel 11 berikut untuk perhitungan jumlah site yang dibutuhkan.

TABEL 11
(PERHITUNGAN GNODEB)

Kecamatan	p	Gt	GNodeB = Gt/p
Sreseh	863.5449502	2558.651704	1 site
Torjun	1494.921356	4429.39661	1 site
Pangarengan	1024.697931	3036.142017	1 site
Sampang	2931.811144	8686.847835	1 site
Camplong	2095.475744	6208.817018	1 site
Omben	1390.26574	4119.305895	1 site
Kedungdung	1306.415448	3870.860586	1 site
Jrengkik	951.2678111	2818.571292	1 site
Tambelangan	1059.320337	3138.726924	1 site
Banyuates	932.8557316	2764.016982	1 site
Robatal	1130.564895	3349.821911	1 site
Karang Penang	1671.823118	4953.54998	1 site
Ketapang	1184.454416	3509.494567	1 site
Sokobanah	1236.034283	3662.323802	1 site
Total	1339.032756	3967.504463	14 sites

G. Perhitungan Capacity Planning Kab. Pamekasan

1. Perhitungan Bass Model

Perhitungan bass model adalah perhitungan untuk memprediksi jumlah pengguna atau user. Pada tabel 12 berikut untuk tabel perhitungannya.

TABEL 12
(BASS MODEL)

Kecamatan	Tahun				
	2024	2025	2026	2027	2028
Tlanakan	1,968	4,597	8,015	12,311	17,482
Pademawu	2,571	6,006	10,472	16,085	22,841
Galisi	909	2,123	3,703	5,687	8,075
Larangan	1,736	4,053	7,068	10,856	15,415
Pamekasan	2,685	6,272	10,937	16,798	23,853
Propo	2,680	6,259	10,914	16,763	23,803
Palengaan	2,530	5,909	10,304	15,827	22,474
Pegantenan	2,267	5,295	9,233	14,182	20,138
Kadur	1,480	3,455	6,025	9,254	13,141
Pakong	1,124	2,624	4,575	7,027	9,978
Waru	2,000	4,671	8,145	12,510	17,764
Batumarmar	2,327	5,435	9,477	14,556	20,669
Pasean	1,729	4,039	7,043	10,817	15,360
TOTAL	26,000	60,731	105,904	162,669	230,987

2. Perhitungan Demand Traffic

Perhitungan demand traffic perhitungan untuk menyesuaikan kapasitas 5G dengan perkiraan lalu lintas data. Pada tabel 13 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 13
(NILAI P)

Kecamatan	N(2028)	Luas Wilayah (km2)	$p = \frac{N(t)}{\text{Luas Wilayah per - Kec}}$
Tlanakan	111,183	48.10	2311.496881
Pademawu	145,265	71.90	2020.375522
Galis	51,357	31.86	1611.958569
Larangan	98,038	40.86	2399.363681
Pamekasan	151,705	26.47	5731.205138
Proppo	151,389	71.49	2117.624843
Palengaan	142,934	88.48	1615.438517
Pegantenan	128,075	86.04	1488.551836
Kadur	83,575	52.43	1594.030135
Pakong	63,458	30.71	2066.362748
Waru	112,980	70.03	1613.308582
Batumarmar	131,454	97.05	1354.497682
Pasean	97,688	76.88	1270.655567
Total	1,469,071	792.3	1854.185283

Pada tabel 14 berikut untuk perhitungan demand traffincnya.

TABEL 14
(DEMAND TRAFFIC)

Kecamatan	Ndh	Nmd	$\varphi(t)$	Dk	p	$G(t) = p \cdot \frac{8}{Ndk.Nmd} \cdot \varphi(t).Dk$
Tlanakan	9	30	100%	100	2311.496881	4794.215754
Pademawu	9	30	100%	100	2020.375522	4190.408489
Galis	9	30	100%	100	1611.958569	3343.321476
Larangan	9	30	100%	100	2399.363681	4976.458005
Pamekasan	9	30	100%	100	5731.205138	11886.94399
Proppo	9	30	100%	100	2117.624843	4392.110785
Palengaan	9	30	100%	100	1615.438517	3350.539147
Pegantenan	9	30	100%	100	1488.551836	3087.366772
Kadur	9	30	100%	100	1594.030135	3306.136577
Pakong	9	30	100%	100	2066.362748	4285.789404
Waru	9	30	100%	100	1613.308582	3346.121503
Batumarmar	9	30	100%	100	1354.497682	2809.328525
Pasean	9	30	100%	100	1270.655567	2635.433769
Total	9	30	100%	100	1854.185283	3845.717625

3. Perhitungan Jumlah Site

Pada tabel 15 berikut untuk perhitungan jumlah site yang dibutuhkan.

TABEL 15
(GNODE B)

Kecamatan	p	Gr	QNodeB = Gr/p
Tlanakan	2311.496881	4794.215754	1 site
Pademawu	2020.375522	4190.408489	1 site
Galis	1611.958569	3343.321476	1 site
Larangan	2399.363681	4976.458005	1 site
Pamekasan	5731.205138	11886.94399	1 site
Proppo	2117.624843	4392.110785	1 site
Palengaan	1615.438517	3350.539147	1 site
Pegantenan	1488.551836	3087.366772	1 site
Kadur	1594.030135	3306.136577	1 site
Pakong	2066.362748	4285.789404	1 site
Waru	1613.308582	3346.121503	1 site
Batumarmar	1354.497682	2809.328525	1 site
Pasean	1270.655567	2635.433769	1 site
Total	1854.185283	3845.717625	13 site

H. Perhitungan Capacity Planning Kab. Sumenep

1. Perhitungan Bass Model

Perhitungan bass model adalah perhitungan untuk memprediksi jumlah pengguna atau user. Pada tabel 16 berikut untuk tabel perhitungannya.

TABEL 16
(BASS MODEL)

Kecamatan	Bass Model Per Kecamatan				
	Tahun				
	2025	2026	2027	2028	2029
Pragaan	1,979	4,623	8,061	12,382	17,581
Bluto	1,453	3,393	5,916	9,087	12,903
Saronggi	1,137	2,656	4,631	7,113	10,100
Giligenting	723	1,688	2,943	4,521	6,419
Talango	1,141	2,666	4,648	7,139	10,137
Kaliangget	1,261	2,944	5,134	7,885	11,197
Sumenep	2,251	5,256	9,166	14,079	19,991
Batuan	401	935	1,631	2,505	3,556
Lenteng	1,843	4,305	7,507	11,530	16,372
Ganding	1,090	2,545	4,437	6,815	9,677
Guluk Guluk	1,483	3,464	6,041	9,278	13,175
Pasongsongan	1,530	3,574	6,232	9,571	13,591
Ambubten	1,205	2,813	4,906	7,535	10,700
Rubaru	1,189	2,776	4,840	7,434	10,556
Dasuk	916	2,140	3,731	5,731	8,138
Manding	898	2,096	3,655	5,613	7,971
Batu Putih	1,323	3,089	5,386	8,272	11,746
Gapura	1,142	2,666	4,649	7,141	10,140
Batang Batang	1,641	3,832	6,681	10,262	14,572
Dungkek	1,079	2,520	4,395	6,750	9,585
Nonggunong	397	927	1,616	2,483	3,525
Gayam	944	2,203	3,842	5,901	8,379
Raas	948	2,213	3,859	5,927	8,415
Sapekan	1,621	3,785	6,600	10,137	14,394
Arjasa	2,496	5,829	10,164	15,612	22,168
Kangayan	795	1,856	3,236	4,970	7,057
Masalembu	766	1,789	3,120	4,791	6,804
TOTAL	33,638	78,570	137,013	210,452	298,837

2. Perhitungan Demand Traffic

Perhitungan demand traffic perhitungan untuk menyesuaikan kapasitas 5G dengan perkiraan lalu lintas data. Pada tabel 17 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 17
(NILAI P)

Kecamatan	N(2028)	Luas Wilayah (km ²)	$p = \frac{N(t)}{\text{Luas Wilayah per - Kec}}$
Pragaan	111,816	57.84	1933.195021
Bluto	82,062	51.25	1601.209756
Saronggi	64,237	67.71	948.7077241
Gililingting	40,824	30.32	1346.437995
Talango	64,471	50.27	1282.49453
Kaliangget	71,211	30.19	2358.761179
Sumenep	127,143	27.84	4566.918103
Batuan	22,618	27.1	834.6125461
Lenteng	104,127	71.41	1458.157121
Ganding	61,544	53.97	1140.337224
Guluk Guluk	83,791	59.57	1406.597281
Pasongsongan	86,438	119.03	726.1866756
Ambunten	68,049	50.54	1346.438465
Rubaru	67,135	84.46	794.8733128
Dasuk	51,756	64.5	802.4186047
Manding	50,693	68.88	735.9610918
Batu Putih	74,706	112.31	665.1767429
Gapura	64,488	65.78	980.3587717
B. Batang	92,678	80.36	1153.285217
Dungkek	60,959	63.36	962.1054293
Nonggunong	22,418	40.08	559.3313373
Gayam	53,289	88.4	602.8167421
Raas	53,522	38.93	1374.826612
Sapekan	91,547	201.89	453.4498985
Arjasa	140,989	241.89	582.8641118
Kangayan	44,884	204.77	219.1922645
Masalembu	43,270	40.85	1059.241126
Total	1,900,600	2093.5	907.8576546

Setelah memperoleh nilai kepadatan penduduk, lanjut perhitungan demand trafficnya. Pada tabel 18 berikut untuk perhitungannya.

TABEL 18
(NILAI DEMAND TRAFFIC)

Kecamatan	Ndh	Nmd	$\varphi(t)$	Dk	p	$G(t) = p \cdot \frac{8}{Ndk.Nmd} \cdot \varphi(t).Dk$
Pragaan	9	30	100%	100	1933.195021	4009.589673
Bluto	9	30	100%	100	1601.209756	3321.027642
Saronggi	9	30	100%	100	948.7077241	1967.690094
Gililingting	9	30	100%	100	1346.437995	2792.612137
Talango	9	30	100%	100	1282.49453	2659.988654
Kaliangget	9	30	100%	100	2358.761179	4892.245409
Sumenep	9	30	100%	100	4566.918103	9472.126437
Batuan	9	30	100%	100	834.6125461	1731.048244
Lenteng	9	30	100%	100	1458.157121	3024.325588
Ganding	9	30	100%	100	1140.337224	2365.143873
Guluk Guluk	9	30	100%	100	1406.597281	2917.386952
Pasongsongan	9	30	100%	100	726.1866756	1506.164957
Ambunten	9	30	100%	100	1346.438465	2792.613112
Rubaru	9	30	100%	100	794.8733128	1648.62613
Dasuk	9	30	100%	100	802.4186047	1664.275624
Manding	9	30	100%	100	735.9610918	1526.43782
Batu Putih	9	30	100%	100	665.1767429	1379.625837
Gapura	9	30	100%	100	980.3587717	2033.336712
B. Batang	9	30	100%	100	1153.285217	2391.998968
Dungkek	9	30	100%	100	962.1054293	1995.477927
Nonggunong	9	30	100%	100	559.3313373	1160.094626
Gayam	9	30	100%	100	602.8167421	1250.286576
Raas	9	30	100%	100	1374.826612	2851.492232
Sapekan	9	30	100%	100	453.4498985	940.4886783
Arjasa	9	30	100%	100	582.8641118	1208.903343
Kangayan	9	30	100%	100	219.1922645	454.620993
Masalembu	9	30	100%	100	1059.241126	2196.944558
Total	9	30	100%	100	907.8576546	1882.964024

3. Perhitungan Jumlah Site

Pada tabel 19 berikut untuk perhitungan jumlah site yang dibutuhkan.

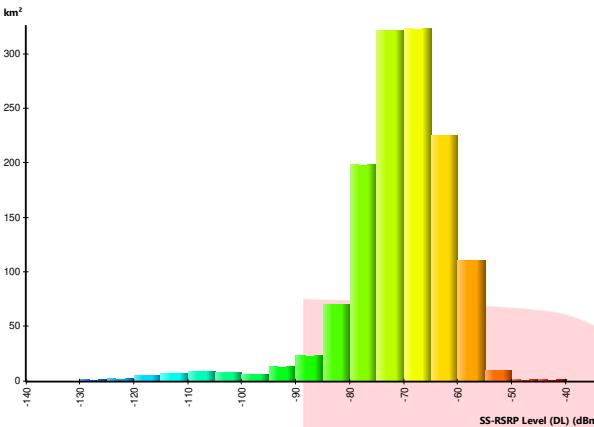
TABEL 19
(GNODEB)

Kecamatan	p	Gt	$gNodeB = Gt/p$
Pragaan	1933.195021	4009.589673	1
Bluto	1601.209756	3321.027642	1
Saronggi	948.7077241	1967.690094	1
Gililingting	1346.437995	2792.612137	1
Talango	1282.49453	2659.988654	1
Kaliangget	2358.761179	4892.245409	1
Sumenep	4566.918103	9472.126437	1
Batuan	834.6125461	1731.048244	1
Lenteng	1458.157121	3024.325588	1
Ganding	1140.337224	2365.143873	1
Guluk Guluk	1406.597281	2917.386952	1
Pasongsongan	726.1866756	1506.164957	1
Ambunten	1346.438465	2792.613112	1
Rubaru	794.8733128	1648.62613	1
Dasuk	802.4186047	1664.275624	1
Manding	735.9610918	1526.43782	1
Batu Putih	665.1767429	1379.625837	1
Gapura	980.3587717	2033.336712	1
Batang Batang	1153.285217	2391.998968	1
Dungkek	962.1054293	1995.477927	1
Nonggunong	559.3313373	1160.094626	1
Gayam	602.8167421	1250.286576	1
Raas	1374.826612	2851.492232	1
Sapekan	453.4498985	940.4886783	1
Arjasa	582.8641118	1208.903343	1
Kangayan	219.1922645	454.620993	6
Masalembu	1059.241126	2196.944558	1
Total	907.8576546	1882.964024	32 Site

I. Hasil Kabupaten Bangkalan

1. SS-RSRP

SS-RSRP adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal.

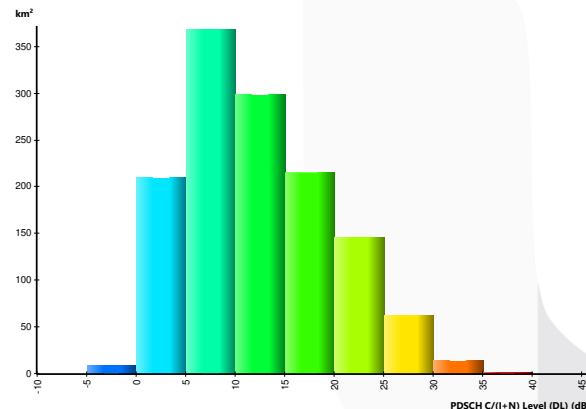


GAMBAR 7
(SS-RSRP)

Gambar 7 menunjukkan rata-rata SS-RSRP -70,82 dBm, mengindikasikan cakupan di Kabupaten Bangkalan sangat baik.

2. SS- SINR

SS-SINR adalah parameter untuk mengukur kualitas sinyal.

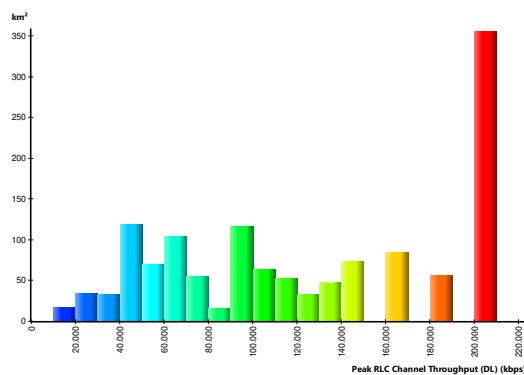


GAMBAR 8
(SS-SINR)

Gambar 8 menunjukkan rata-rata SS-SINR 12,26 dB, mengindikasikan cakupan di Kabupaten Bangkalan dalam kategori baik.

3. Throughput

Throughput digunakan sebagai parameter untuk menentukan jumlah data yang diterima oleh setiap pengguna pada suatu wilayah.



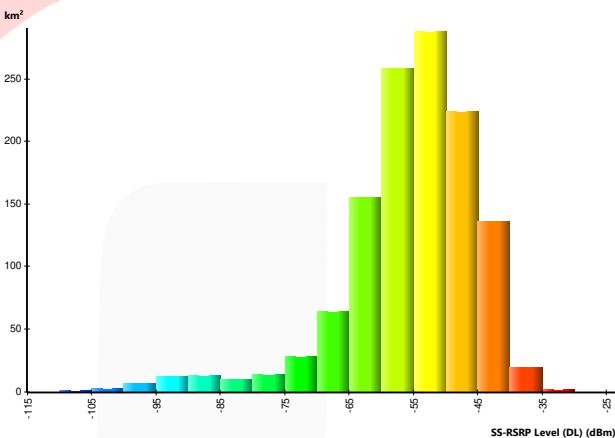
GAMBAR 9
(THROUGHPUT)

Gambar 9 didapatkan nilai rata-rata throughput 138,247.29 kbps.

J. Hasil Kabupaten Sampang

1. SS-RSRP

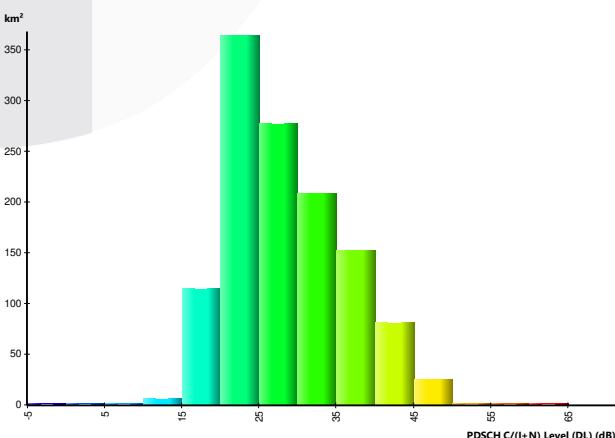
SS-RSRP adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan sinyal.



GAMBAR 10
(SS-RSRP)

Gambar 10 didapatkan nilai rata-rata SS-RSRP -55,35 dBm dan berdasarkan klasifikasi termasuk dalam klasifikasi sangat baik.

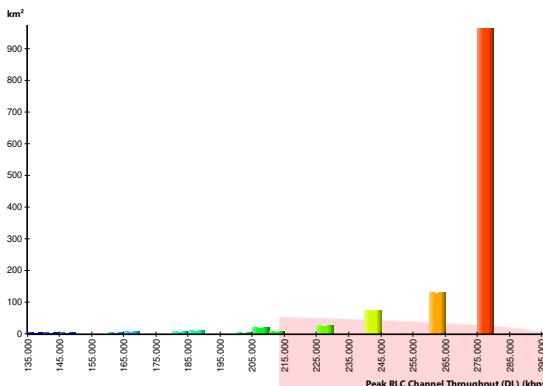
2. SS-SINR



GAMBAR 11
(SS-SINR)

Gambar 11 didapatkan nilai rata-rata SS-SINR 28.44 dB dan berdasarkan klasifikasi termasuk dalam klasifikasi sangat baik.

3. Throughput

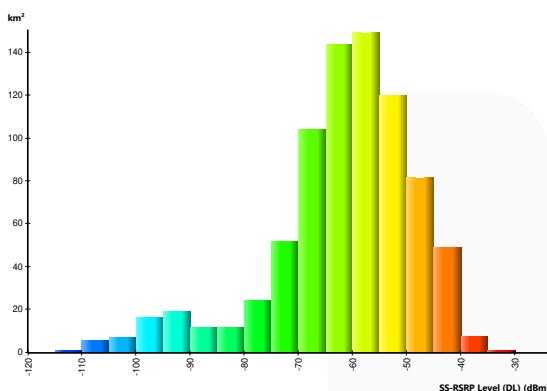


**GAMBAR 12
(THROUGHPUT)**

Gambar 12 didapatkan nilai rata-rata throughput 269.197,08 kbps.

K. Hasil Kabupaten Pamekasan

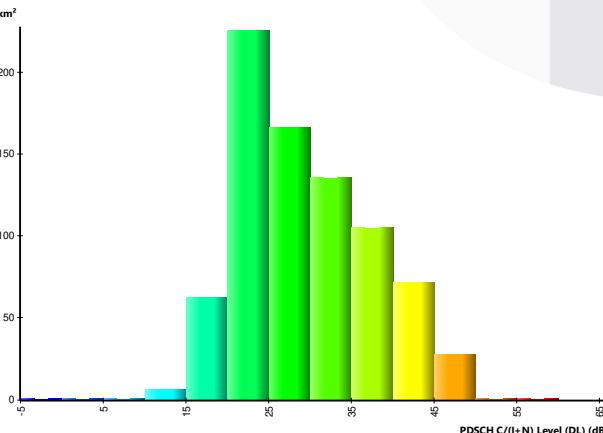
1. SS-RSRP



**GAMBAR 13
(SS-RSRP)**

Gambar 13 didapatkan nilai rata-rata SS-RSRP -61.59 dBm dan berdasarkan klasifikasi termasuk kedalam klasifikasi sangat baik.

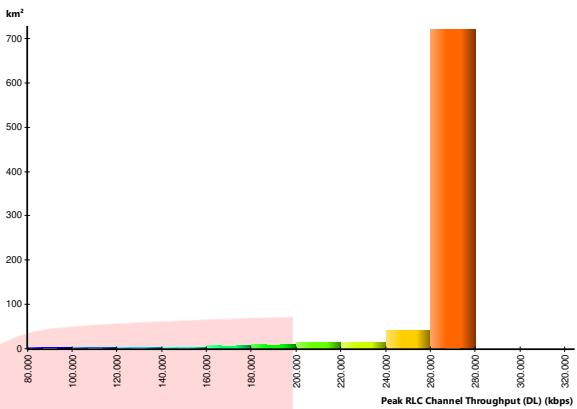
2. SS-SINR



**GAMBAR 14
(SS-SINR)**

Gambar 14 didapatkan nilai rata-rata SS-SINR 29.35 dB dan berdasarkan klasifikasi termasuk dalam klasifikasi sangat baik.

3. Throughput

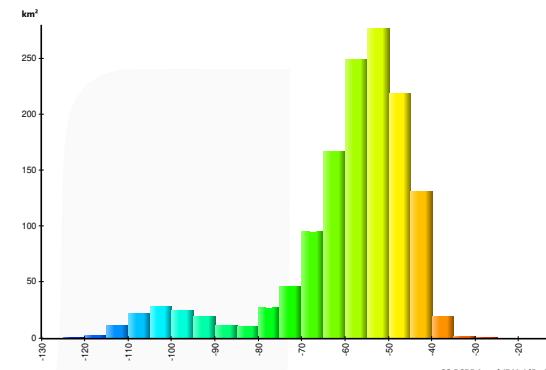


**GAMBAR 15
(THROUGHPUT)**

Gambar 15 didapatkan nilai rata-rata throughput 269.646,18 kbps.

L. Hasil Kabupaten Sumenep

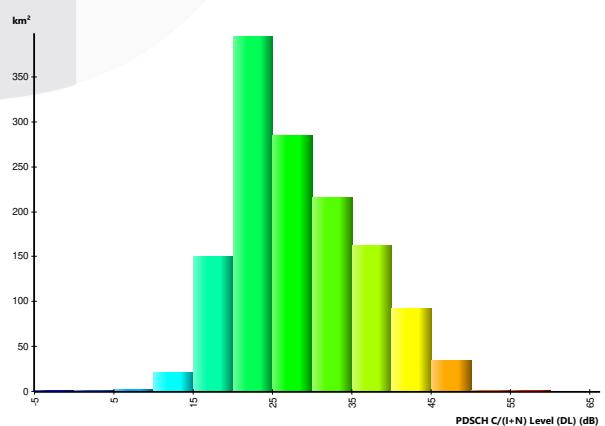
1. SS-RSRP



**GAMBAR 16
SS-RSRP**

Gambar 16 didapatkan nilai rata-rata SS-RSRP -59.22 dBm dan berdasarkan klasifikasi termasuk dalam klasifikasi sangat baik.

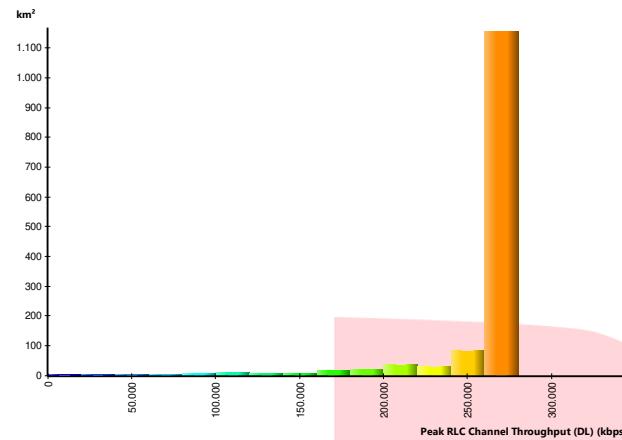
2. SS-SINR



**GAMBAR 17
(SS-SINR)**

Gambar 17 didapatkan nilai rata-rata SS-SINR 28.15 dB dan berdasarkan klasifikasi termasuk dalam klasifikasi sangat baik.

3. Throughput



GAMBAR 18
(THROUGHPUT)

Gambar 18 didapatkan nilai rata-rata throughput 264.929,07 kbps.

V. KESIMPULAN

Perancangan coverage planning di Kabupaten Bangkalan, Sampang, Pamekasan, dan Sumenep menghasilkan masing-masing 274, 268, 97, dan 256 site dengan rata-rata sinyal RSRP berkisar antara -70,82 dBm hingga -55,35 dBm, yang diklasifikasikan sebagai sangat bagus. Rata-rata SINR berkisar antara 12,26 dB hingga 29,35 dB, dengan kategori normal hingga bagus, serta throughput tertinggi sebesar 269,646.18 kbps. Sementara itu, perancangan capacity planning menghasilkan 18, 15, 14, dan 32 site di masing-masing kabupaten, dengan rata-rata RSRP antara -93,47 dBm hingga -84,07 dBm (bagus hingga sangat bagus), SINR 25,3 dB hingga 28 dB (bagus hingga sangat bagus), dan throughput tertinggi sebesar 235,242.34 kbps.

REFERENSI

- [1] R. Amrullah, "Analisis Pengaruh PDRB Perkapita, Anggaran Sektor Kesehatan, Sektor Pendidikan Terhadap Indeks Pembangunan Manusia Se-Kabupaten Di Pulau Madura," *Jurnal Ilmu Ekonomi JIE*, vol. 6, no. 1, hlm. 90–98, 2022, doi: 10.22219/jie.v6i1.19816.
- [2] Puspasari Setyaningrum, "Mengapa Madura Dijuluki Pulau Garam?" Diakses: 2 Mei 2024. [Daring]. Tersedia pada:<https://surabaya.kompas.com/read/2022/08/14/071300078/mengapa-maduradjuluki-pulau-garam?page=al>
- [3] A. S. Sinaga, "Generasi Jaringan Data dari 1G sampai 5G," *Teknik Komputer*, Doloksanggul, [Daring]. Available: adilumbansinaga@gmail.com, [Accessed: Jan. 19, 2025].
- [4] Y. Rasiman, K. Ketty, and N. Novie, "Teknologi Komunikasi Seluler Berbasis Generasi (G)," *Jurnal TNI Angkatan Udara*, vol. 2, no. 3, 2023.
- [5] A. Hikmaturokhman, W. Pamungkas, and M. A. S. Malisi, "Analisis Kualitas Jaringan 2G pada Frekuensi 900MHz dan 1800MHz di Area Purwokerto," *Jurnal Infotel*, vol. 5, no. 2, pp. 1–7, 2013.
- [6] A. Widianti dan M. R. Shihab, "Analisis Pola Adopsi Teknologi 3G pada Kalangan Mahasiswa Universitas Indonesia Berdasarkan Model Sarker dan Wells dengan Menggunakan Teknik Structural Equation Modeling," *Jurnal Sistem Informasi MTI-UI*, vol. 4, no. 2, pp. 129–140, 2008.
- [7] D. Septiawan, "Peningkatan Kualitas Jaringan 4G LTE Menggunakan Metode Optimasi," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2020.
- [8] A. P. Harianja dan S. Pakpahan, "Dampak Perkembangan Teknologi 5G di Bidang Komunikasi dan Internet of Things (IoT) pada SMK Skylandsea Deliserdang," *Smart Comp: Jurnalnya Orang Pintar Komputer*, vol. 12, no. 3, pp. 773–794, 2024.
- [9] R. Hidayat, "Analisis Potensi Kunci Teknologi 5G untuk Implementasi Optimal: Studi Kasus di Jawa Barat," Sekolah Tinggi Teknologi Mandala, Bandung, 40286, Indonesia.
- [10] D. Aryanta and M. I. Maulana, "Perencanaan Implementasi Low Band 700 MHz Pasca ASO untuk Seluler 5G di Indonesia," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 3, pp. 716–730, Jul. 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i3.716.
- [11] L. Sebastian, "5G for Dummies," *Lucky Sebastian Blog*, Nov. 2021. [Daring]. Available:<https://luckysebastian.gadtorade.com/2021/11/5g-for-dummies/>.
- [12] G. Liu, Y. Huang, Z. Chen, L. Liu, Q. Wang, dan N. Li, "5G Deployment: Standalone vs. Non-Standalone from the Operator Perspective," *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 11, hlm. 83–89, Nov 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.2000230.
- [13] R. Supriyatni, A. E. Pravitasari, and D. O. Pribadi, "Pemetaan Karakteristik Wilayah Urban dan Rural di Wilayah Bandung Raya dengan Metode Spatial Clustering," *Jurnal Geografi*, vol. 12, no. 2, pp. 125–138, 2020, doi: 10.24114/jg.v12i02.17647.
- [14] Tedi Oktavianto, Teguh Prakoso dan Munawar Agus Riyadi, "ANALISIS JARINGAN 5G 2300 MHZ DENGAN MENGGUNAKAN MENARA 4G LTE YANG TERSEDIA DI KOTA SEMARANG," *JURNAL ILMIAH TEKNIK ELEKTRO*, 26, (1), JANUARI 2024.
- [15] A. Reza, A. S. Wibowo, dan A. S. Wibowo, "Analisis Perencanaan Cakupan Area Jaringan 5G di Pelabuhan Tanjung Perak Menggunakan Metode SU-MIMO dan MU-MIMO pada Frekuensi 2,3 GHz," *InComTech: Jurnal Telekomunikasi dan Komputer*, vol. 14, no. 3, pp. 218–230, Desember 2024.