

Penetapan Prioritas Lokasi Pembangunan Jaringan *Fiber Optic* Telkom Makassar Dengan Menggunakan AHP-TOPSIS

Niken Salma Nabila¹, Udisubakti Ciptomulyono²

Program Studi Magister Manajemen Dan Teknologi Sekolah Interdisiplin Manajemen dan Teknologi, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember

Email: 6032212042@student.its.ac.id , udisubakti@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menetapkan prioritas lokasi pembangunan jaringan *fiber optic* Telkom Makassar, yang dilatarbelakangi dengan tingginya jumlah ODP *Black* sebanyak 992 titik hingga tahun 2025, serta fluktuasi alokasi Capex dari Rp 87 Miliar pada 2022 menjadi Rp 77 Miliar pada 2024. Ketidaktepatan perencanaan tersebut menunjukkan perlunya pendekatan pengambilan keputusan yang lebih sistematis. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan metode kombinasi AHP-TOPSIS, dimana AHP yang diintegrasikan dengan metode Delphi untuk menjangking opini 5 (lima) responden para ahli digunakan dalam penentuan bobot kriteria, dan TOPSIS digunakan untuk meranking prioritas lokasi pembangunan jaringan *fiber optic* dengan total alternatif 17 (tujuh belas) lokasi Sentral Telepon Otomat (STO). Hasil penelitian ini diperoleh bobot untuk masing-masing subkriteria dari hasil integrasi Delphi dan AHP dengan mean ≥ 5 (lima) yaitu Jumlah Calon Pelanggan (0.1754), *Capex per Port* (CPP) (0.1247), Okupansi (0.1106), Jumlah *Homepass* (0.1099), Perizinan Jalur Kabel (0.1076), Kepadatan Hunian (0.0906), Pendapatan per kapita Penduduk (0.0757), *Sitac* (0.0752), Kualitas *Core Idle* (0.0682), dan Jalur Kabel (0.0620). 10 (sepuluh) subkriteria yang kemudian diolah dengan metode TOPSIS dan diperoleh 3 (tiga) lokasi prioritas untuk pembangunan jaringan *fiber optic* Telkom Makassar yaitu STO Sungguminasa, STO Panakkukang, dan STO Balaikota.

Kata kunci : AHP, TOPSIS, Delphi, Fiber Optic, Telekomunikasi

ABSTRACT

This research aims to determine the priority locations for the development of Telkom Makassar's fiber optic network, motivated by the high number of 992 ODP Black points by 2025, as well as fluctuations in Capex allocation from IDR 87 billion in 2022 to IDR 77 billion in 2024. These planning inaccuracies indicate the need for a more systematic decision-making approach. Therefore, this study applies a combination of the AHP-TOPSIS method, where AHP integrated with the Delphi method—incorporating the opinions of five expert respondents—is used to determine the weight of criteria, while TOPSIS is applied to rank the priority locations for fiber optic network development across 17 (seventeen) Telephone Central Office (STO) alternatives. The results of this study produced the weights for each sub-criterion derived from the integration of Delphi and AHP with mean values > 5 , namely: Number of Potential Customers (0.1754), Capex per Port (CPP) (0.1247), Occupancy (0.1106), Number of Homepasses (0.1099), Cable Route Licensing (0.1076), Residential Density (0.0906), Population Per Capita Income (0.0757), Site Acquisition (0.0752), Idle Core Quality (0.0682), and Cable Route (0.0620). These ten sub-criteria were then processed using TOPSIS, resulting in three priority STO locations for Telkom Makassar's fiber optic network development: STO Sungguminasa, STO Panakkukang, and STO Balaikota.

Keywords: AHP, TOPSIS, Delphi, Fiber Optic, Telecommunication

Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi yang pesat mendorong kebutuhan akan infrastruktur telekomunikasi yang andal, stabil, dan berkapasitas tinggi. Kota Makassar sebagai salah satu kota metropolitan di Indonesia mengalami pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi yang signifikan, yang berdampak pada meningkatnya permintaan layanan internet berkecepatan tinggi. Pembangunan jaringan fiber optic menjadi solusi utama untuk memenuhi kebutuhan telekomunikasi modern, dengan PT. Telkom Indonesia sebagai penyedia terbesar di wilayah ini.

Telkom Makassar merupakan salah satu penyedia jaringan fiber optic terbesar di Kawasan Timur Indonesia dengan cakupan 17 Sentral Telepon Otomat (STO) yang melayani area seluas 33.854,52 km². Infrastruktur ini didistribusikan hingga ke pelanggan melalui **Optical Distribution Point (ODP)**. Berdasarkan data internal, terdapat 32.449 ODP dengan tingkat keterisian rata-rata 65,28%. Namun, hingga 2025 tercatat 992 ODP Black atau ODP tanpa pelanggan, jumlah tertinggi di

Kawasan Timur Indonesia. Kondisi ini menimbulkan potensi kerugian investasi (*opportunity loss*) lebih dari Rp1,5 miliar, yang menunjukkan adanya permasalahan perencanaan pembangunan jaringan.

Faktor penyebab munculnya ODP Black antara lain kesalahan dalam penempatan lokasi, keterbatasan teknis, hingga persaingan dengan kompetitor. Dengan alokasi investasi (*capital expenditure / Capex*) yang besar, Makassar tercatat sebagai wilayah dengan penggunaan Capex tertinggi kedua di Regional V Telkom. Hal ini menegaskan pentingnya perencanaan yang tepat sasaran agar investasi lebih efisien dan risiko kerugian dapat diminimalkan[1].

Untuk mengatasi masalah tersebut, dibutuhkan metode pengambilan keputusan yang sistematis dan objektif dalam menentukan prioritas lokasi pembangunan fiber optic [2]. **Multi Criteria Decision Making (MCDM)** dipilih karena mampu mengintegrasikan berbagai kriteria yang kompleks. Kombinasi **Analytic Hierarchy Process (AHP)** dan **Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)** digunakan dalam penelitian ini. AHP berfungsi menentukan bobot kriteria melalui perbandingan berpasangan, sementara TOPSIS memberikan peringkat alternatif lokasi berdasarkan kedekatannya dengan solusi ideal. Dari penelitian sebelumnya, pendekatan gabungan Delphi dan AHP-TOPSIS terbukti efektif dalam menentukan prioritas pembangunan jaringan FTTH dengan mempertimbangkan faktor teknis dan ekonomi secara bersamaan[3].

Penelitian sebelumnya mengenai penentuan prioritas pembangunan jaringan fiber to the home (FTTH) umumnya hanya menitikberatkan pada aspek teknis, seperti panjang kabel, topografi, atau jarak antar titik distribusi, tanpa mempertimbangkan faktor ekonomi dan pasar secara menyeluruh [1], [15], [22]. Berbeda dengan penelitian-penelitian tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan berupa integrasi metode Delphi-AHP-TOPSIS untuk menghasilkan model pengambilan keputusan yang lebih objektif dan komprehensif, karena mampu menggabungkan konsensus para ahli (Delphi) [2], [4], [5] dengan pembobotan hierarkis (AHP) [6], [7], [17], [18] serta analisis kedekatan terhadap solusi ideal (TOPSIS) [9], [12], [16], [24]. Melalui pendekatan ini, penelitian tidak hanya menilai kelayakan teknis, tetapi juga memasukkan faktor finansial (Capex per Port), utilisasi jaringan (Okupansi dan Core Idle), serta potensi pasar (jumlah calon pelanggan) sebagai dasar keputusan. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi secara ilmiah dalam pengembangan model pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM) di sektor telekomunikasi, serta secara praktis memberikan kerangka evaluasi yang dapat diterapkan oleh Telkom Makassar untuk menentukan lokasi prioritas pembangunan jaringan fiber optik yang optimal dari sisi teknis, ekonomi, dan pasar.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian untuk menentukan prioritas lokasi pembangunan jaringan fiber optic. Adapun metode penelitian yang dipakai yaitu menggunakan AHP-TOPSIS. Sebelum menggunakan metode tersebut, Delphi membantu dalam mengumpulkan data dari para ahli. Delphi terfokus pada penyusunan pernyataan, argumen, komentar, serta diskusi. Selain itu, juga harus ditetapkan skala penilaian yang digunakan dalam pemilihan kebijakan, mencakup aspek seperti tingkat kepentingan, keinginan, keyakinan, serta kelayakan dari berbagai alternatif kebijakan dan isu yang dibahas[4]. Integrasi dari Delphi dan AHP inilah yang banyak digunakan untuk memperoleh bobot kriteria yang lebih *reliable*, di mana Delphi berperan menjaring konsensus para ahli sebelum dilakukan pembobotan menggunakan AHP[5].

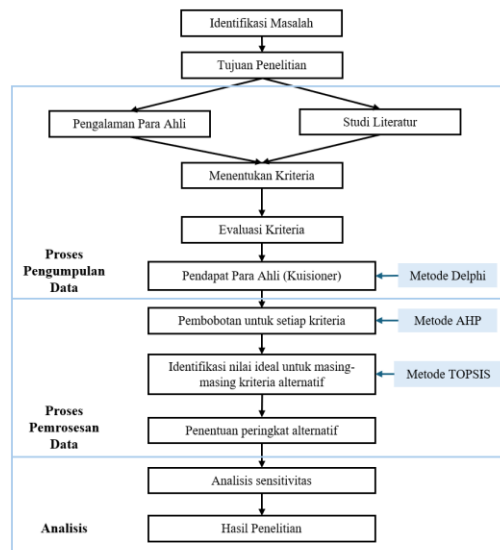
Setelah pengumpulan data dari para ahli dari Delphi, AHP menetapkan bobot prioritas sebagai alternatif dengan mengatur tujuan, kriteria, dan subkriteria dalam struktur hierarki[6]. AHP memungkinkan pengambil keputusan untuk memecah masalah yang kompleks menjadi struktur hierarki, sehingga setiap komponen dapat dianalisis secara rasional dan terukur dalam proses penentuan prioritas[7]. Struktur AHP sangat berguna dalam kondisi ketika keputusan harus diambil berdasarkan berbagai kriteria yang saling bertentangan, karena metode ini membantu membangun konsensus antar ahli melalui pendekatan kuantitatif[8]. Bobot AHP ini yang selanjutnya akan dijadikan sebagai input dari TOPSIS.

TOPSIS bekerja dengan mengevaluasi setiap alternatif berdasarkan tingkat kedekatannya terhadap solusi ideal positif serta jaraknya dari solusi ideal negatif. Pendekatan ini memungkinkan proses pengambilan keputusan yang lebih objektif dibandingkan dengan metode penilaian tradisional yang cenderung bersifat subjektif[9], [10], [11]. Metode TOPSIS telah dikembangkan lebih lanjut untuk mendukung pengambilan keputusan kelompok melalui pendekatan agregasi preferensi, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih representatif terhadap pendapat para ahli[12].

Dengan kombinasi metode AHP dan TOPSIS memungkinkan proses penentuan prioritas yang lebih akurat dan komprehensif karena AHP berfungsi untuk menentukan bobot kriteria secara konsisten, sedangkan TOPSIS digunakan untuk meranking alternatif berdasarkan kedekatan alternatif terhadap solusi ideal[13], [14].

Rancang Penelitian

Penelitian ini melalui beberapa tahapan yaitu proses pengumpulan data, pemrosesan data, dan analisis. Untuk diagram alir digambarkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada Gambar 1 ditunjukkan bahwa dalam tahap pengumpulan data digunakan metode Delphi untuk membantu mendapatkan data-data penelitian dari para ahli melalui kuesioner. Tahap selanjutnya dalam pemrosesan data, digunakan metode AHP untuk pembobotan setiap kriteria. Bobot tersebut menjadi input dalam metode TOPSIS untuk identifikasi nilai ideal dari masing-masing kriteria alternatif. Dari TOPSIS juga dapat dihasilkan peringkat alternatif dari penelitian. Lalu dilanjutkan tahap akhir yaitu analisis sensitivitas untuk memastikan keputusan yang dihasilkan tidak bergantung secara berlebihan pada bobot tertentu dan bahwa model yang digunakan *robust* (kuat) terhadap variasi data.

Proses Pengumpulan Data

Data yang akan dikumpulkan dalam penelitian ini berasal dari pengalaman para ahli dan studi literatur. Dalam proses pengumpulan data, metode Delphi digunakan untuk mengambil data dari pengalaman para ahli dengan cara membagikan kuesioner [15]. Kuesioner ini dibagikan kepada para ahli dengan memberikan nilai skala likert 1-7 dengan detail dalam Tabel 1. Batasan yang akan diambil dalam penelitian ini yaitu perhitungan dengan rata-rata mean ≥ 5 yang artinya dari seluruh para ahli agak setuju dengan kriteria yang dipilih.

Tabel 1. Skala Likert

RESPON	SKALA LIKERT
Sangat Tidak Setuju	1
Tidak Setuju	2
Agak Tidak Setuju	3
Netral	4
Agak Setuju	5
Setuju	6
Sangat Setuju	7

Pemilihan Para Ahli atau Responden

Responden untuk penelitian ini merupakan para ahli yang sudah berpengalaman dalam pengelolaan konstruksi jaringan fiber optic. Adapun kriteria responden sebagai berikut:

1. Responden merupakan karyawan organik PT. Telkom dengan lokasi kerja di PT. Telkom Makassar.
2. Memiliki pengalaman kerja di atas 10 tahun.
3. Posisi pekerjaan saat ini berhubungan dengan unit terkait konstruksi *fiber optic*.
4. Memiliki pengetahuan mengenai konstruksi fiber optic.

Responden pada penelitian ini berjumlah 5 orang, memiliki posisi masing-masing terdiri dari: 3 *manager* bagian pengelolaan jaringan *fiber optic* dan 2 *assistant manager* bagian pengawas lapangan konstruksi jaringan *fiber optic* dengan detail pada Tabel 1.

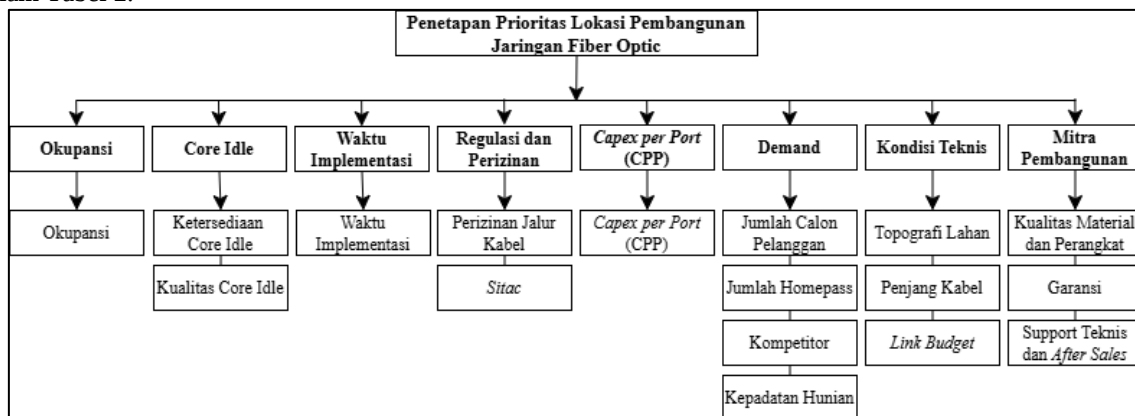
Tabel 2. Responden Para Ahli

No	Jabatan Saat Ini	History Jabatan/Penugasan	Pengalaman Pekerjaan
----	------------------	---------------------------	----------------------

1.	Manager Access Optima, Maintenance, QE, & Data Mgt	➤ Manager Mobile Broadband Service Operation	>10 tahun
2.	Manager Mobile Broadband Service Operation	➤ Pengawas Lapangan	
3.	Manager Fixed Broadband Access & Service Operation	➤ Manager Data Management & Maintenance	>10 tahun
4.	Assistant Manager Wifi Fulfillment	➤ Pengawas Lapangan	
5.	Assistant Manager Mobile Broadband Fulfillment	➤ Head of Area (Sales & Access)	>10 tahun
		➤ Pengawas Lapangan	
		➤ Pengawas Lapangan	>10 tahun

Pemilihan Kriteria, Subkriteria, dan Alternatif

Penggunaan metode AHP-TOPSIS diawali dengan penetapan kriteria, subkriteria, dan alternatif yang membentuk struktur hierarki keputusan [16]. Elemen-elemen ini dipilih berdasarkan relevansi masalah serta referensi dari literatur dan ahli, untuk menetapkan prioritas lokasi pembangunan jaringan *fiber optic*. Untuk kriteria, subkriteria, dan alternatif pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.1 dan penjelasannya terdapat dalam Tabel 2.



Gambar 2. Kriteria dan Subkriteria penetapan prioritas lokasi

Adapun pemilihan kriteria dan subkriteria didasarkan dari data lapangan. Dimana untuk kriteria Okupansi dan Core Idle mewakili utilisasi jaringan *fiber optic*. Kriteria Waktu Implementasi dan Mitra Pembangunan mewakili aspek teknis dan operasional proyek. Untuk kriteria Regulasi dan Perizinan mewakili aspek legal dan risiko administratif. Selain itu, kriteria Capex per Port (CPP) mewakili aspek finansial, sedangkan kriteria Demand mewakili aspek pasar. Terakhir, kriteria Kondisi Teknis untuk mewakili aspek infrastruktur dan kelayakan teknis.

Tabel 3. Detail Kriteria dan Subkriteria

NO	KRITERIA	SUBKRITERIA	DEFINISI
1	Okupansi	Okupansi	Jumlah port pelanggan yang dapat terisi dalam suatu area
2	Core Idle	Ketersediaan Core Idle	Adanya core distribusi dan feeder idle
3		Kualitas Core Idle	Core distribusi dan feeder dalam kondisi baik dan tidak rusak
4	Waktu Implementasi	Waktu Implementasi	Waktu yang dibutuhkan untuk membangun jaringan fiber optic
5	Regulasi dan Perizinan	Perizinan Jalur Kabel	Perizinan ke warga setempat dari RT hingga Camat, Developer Perumahan, PU dan PTSP untuk pembangunan jaringan fiber optic
6		Sitac	<i>Survey, Investigation, and Land Acquisition</i> (SITAC) untuk pembangunan ODC dan OLT di luar STO

7	Capex per Port (CPP)	Capex per Port (CPP)	Capital Expenditure per Port (CPP) mengacu pada biaya investasi modal yang dikeluarkan untuk setiap port yang akan dibangun
8		Jumlah Calon Pelanggan	Pelanggan yang sangat potensial untuk berlangganan dan menjadi target utama sales
9	Demand	Jumlah Homepass	Jumlah unit rumah atau bangunan yang telah terjangkau oleh jaringan fiber optic dan siap untuk diaktivasi layanan
10		Kepadatan Hunian	Kepadatan hunian dalam suatu area
11		Kompetitor	Jumlah pesaing kompetitor di area yang akan dibangun jaringan fiber optic
12		Topografi Lahan	Kondisi lahan untuk memudahkan dilakukan penggalian atau instalasi
13	Kondisi Teknis	Panjang Kabel	Panjang kabel dari catuan terdekat
14		Link Budget	Link budget yang dihasilkan sesuai dengan yang ditargetkan dalam pembangunan jaringan FTTH Telkom
15		Kualitas Material dan Perangkat	Kualitas material dan perangkat sesuai dengan spesifikasi Telkom
16	Mitra Pembangunan	Garansi	Jaminan kualitas perangkat/material dan saat proses instalasi selama masa garansi
17		Support Teknis dan After Sales	Dukungan instalasi dan dokumentasi

Proses Pemrosesan Data

Dalam pemrosesan data, dibagi menjadi dua bagian yaitu pertama menggunakan metode AHP untuk menentukan bobot dan metode TOPSIS untuk menentukan prioritas.

Tahapan Metode AHP

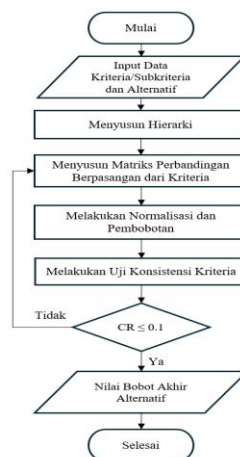
Awalnya, setiap kriteria dan sub kriteria harus diberi bobot. Untuk tujuan ini, peneliti menggunakan metode perbandingan berpasangan dan ketergantungan antar kriteria dan subkriteria, yang digunakan oleh Saaty et al. pada tahun 1990[17].

Langkah 1 adalah menentukan bobot menggunakan AHP Ciptomulyono [18]:

1. Menentukan kriteria yang akan dinilai dan bentuk dalam struktur hierarki.

Menggunakan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) dari skala kuantitatif oleh para ahli. Perbandingan berpasangan digunakan untuk tiap kriteria dan subkriteria. Dalam metode ini, untuk membandingkan pentingnya kriteria yang berbeda. Perlu dicatat bahwa dalam perbandingan berpasangan, prioritas diri masing masing elemen sama dengan 1. Oleh karena itu, semua elemen terletak pada diagonal sama dengan 1. Dalam metodologi Saaty, jika keunggulan elemen A sama dengan 2 atas elemen B, keunggulan elemen B atas elemen A adalah 1/2. Berdasarkan data dan pendapat para ahli, matriks perbandingan berpasangan dan bobot masing-masing kriteria ditentukan [19].

Menurut Saaty (2008), dalam membuat keputusan dengan metode AHP perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:



Gambar 3. Tahapan Metode AHP

Adapun uraian dari diagram alir metode AHP yang digambarkan dalam Gambar 3.

- i. Mendefinisikan permasalahan dan menentukan tujuan yang akan dicapai.
- ii. Menyusun struktur hierarki dengan urutan tujuan, kriteria atau sub-kriteria, lalu terakhir yaitu alternatif.
- iii. Menyusun matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) untuk setiap kriteria atau sub-kriteria dan alternatif yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai perbandingan berpasangan ditentukan dari skala kuantitatif.
- iv. Melakukan proses normalisasi yaitu operasi menghitung rata-rata untuk setiap baris i dalam matriks a untuk mendapatkan nilai pembobotan (w_i) dengan tujuan ke-

$$w_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a(i, j) \quad (1)$$

Keterangan:

w_i : nilai pembobotan

n : jumlah matriks

- v. Menghitung *eigen value* (λ) dan *eigen value maximum* ($\lambda_{\max}$) yang ada dalam persamaan (2.2) dan (2.3).

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} / w_i \quad (2)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{a_{ij}}{w_i} \right) \quad (3)$$

- vi. Menguji konsistensinya dengan menggunakan *Consistency Ratio* (CI). Perhitungan CI ditampilkan dalam persamaan (2.4).

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (4)$$

Keterangan:

$\lambda_{\max}$: eigen value maksimum

- vii. Menghitung *Consistency Ratio* (CR)

Saaty (2008) menetapkan nilai $CR \leq 0,1$ maka hierarki konsisten. Sedangkan, jika $CR > 0,1$ maka hierarki tidak konsisten sehingga perlu pengambilan data ulang untuk menyusun matriks perbandingan berpasangan. Rumus CR ditunjukkan dalam persamaan (2.5).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Keterangan:

CR : *Consistency Ratio*

RI : *Random Consistency Index*

- viii. Hasil akhir yang diperoleh yaitu berupa nilai bobot akhir dari alternatif yang telah ditentukan.

Saat menggunakan perbandingan berpasangan antara beberapa kriteria untuk menentukan kepentingan relatifnya terhadap satu sama lain, pembuat keputusan mungkin tidak membuat penilaian yang sempurna. Oleh karena itu, matriks berpasangan harus diperiksa untuk melihat apakah diterima atau ditolak. Proses ini dapat dilakukan dengan menentukan derajat inkonsistensi pada matriks perbandingan berpasangan [20], [21]. Umumnya, tingkat konsistensi suatu matriks atau sistem bergantung pada pengambil keputusan, tetapi Saaty menganggap 0,1 sebagai batas yang dapat diterima dan percaya bahwa jika tingkat ketidakkonsistenan melebihi 0,1, lebih baik untuk memikirkan kembali penilaian tersebut. Untuk menghitung derajat konsistensi suatu matriks, dilanjutkan dengan pembentukan matriks berpasangan, terlebih dahulu dibentuk vektor konsistensi sebagai berikut :

- Unsur-unsur pada setiap kolom dibagi dengan bobot kriteria pembelanjaan yang sesuai. Ini mengarah ke matriks baru.
- Semua elemen dari setiap baris dalam matriks baru dijumlahkan. Ini menghasilkan vektor bobot kolom yang dikarakterisasi oleh satu kolom dan n baris.
- Setiap elemen dalam vektor berbobot kemudian dibagi dengan bobot kriteria yang setara. Vektor yang dihasilkan disebut vektor konsistensi. Perhatikan bahwa nilai rata-rata elemen dalam vektor ini ditampilkan menggunakan λ .

Setelah penyusunan matriks perbandingan berpasangan, bobot setiap kriteria harus dihitung menggunakan metode rata-rata aritmatika/geometri[22]. Untuk menghitung bobot setiap kriteria, peneliti menjumlahkan nilai setiap kolom, yang dengannya setiap elemen dalam matriks perbandingan berpasangan dibagi. Ini untuk menormalkan matriks. Kemudian, peneliti menghitung nilai rata-rata setiap elemen dalam baris matriks yang dinormalisasi. Nilai rata-rata ini adalah perkiraan bobot yang dipertimbangkan.

2. Perhitungan normalisasi matriks yang ditunjukkan pada Persamaan 1
3. Perhitungan bobot kriteria yang ditunjukkan pada Persamaan 2 dan 3.

4. Penentuan tingkat consistency yang ditunjukkan pada Persamaan 4.

Pada langkah selanjutnya, indeks konsistensi (CI) dan indeks konsistensi acak (RI) dihitung. Saati menekankan pentingnya mengukur rasio konsistensi (CR) untuk memastikan bahwa penilaian responden terhadap perbandingan antar kriteria tidak bersifat kontradiktif atau acak[17]. Kemudian diperoleh parameter rasio konsistensi (CR) yang menunjukkan derajat keacakan elemen matriks. Jika CR kurang dari 10%, maka derajat ketidakkonsistenan dalam matriks ini dapat diterima. Sebaliknya, apabila $CR \geq 0,10$, maka diperlukan penyesuaian ulang terhadap hasil penilaian untuk memperoleh tingkat konsistensi yang memadai [23].

5. Penentuan ranking prioritas yang ditunjukkan pada Persamaan 5.

Pemodelan TOPSIS

Setelah tahapan dengan AHP selesai, selanjutnya penelitian dilanjutkan dengan metode TOPSIS yaitu menentukan prioritas lokasi dimana jaringan *fiber optic* akan dibangun. Langkah - langkah dalam perhitungan metode TOPSIS sebagai berikut[18]:

1. Menyusun matriks keputusan (matriks D) dengan persamaan matriks yang terdapat dalam matriks (6).

$$D = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 & x_j & x_n \end{matrix} \\ \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} & \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (6)$$

Keterangan:

A_i = alternatif ke i yang dipertimbangkan

x_{ij} = hasil numerik dari alternatif i sehubungan dengan kriteria j

2. Melakukan normalisasi terhadap matriks keputusan yang telah disusun. Normalisasi matriks ini dilakukan pada setiap alternatif dengan mengonversi setiap kriteria dengan nilai 0 dan 1. Nilai ternormalisasi matriks r_{ij} ditunjukkan dengan persamaan (2.7).

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad (7)$$

Keterangan:

$i = 1, 2, \dots, m$

m = jumlah alternatif

x_{ij} = hasil numerik dari alternatif i sehubungan dengan kriteria j

3. Menghitung bobot matriks keputusan dengan perkalian bobot (w) dan matriks yang telah ternormalisasi (r). Nilai bobot normalisasi matriks (v_{ij}) dihitung sesuai persamaan (2.8).

$$v_{ij} = w_j \cdot r_{ij}, i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

dimana $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ (8)

4. Menghitung matriks solusi ideal positif (PIS) yang disimbolkan dengan A_i^+ dan (2.9).

$$A_i^+ = \{(max_i v_{ij} | j \in J), (min_i v_{ij} | j \in J')\} \text{ dimana } i = 1, 2, \dots, m$$

$$A_i^+ = \{(v_i^+, v_2^+, \dots, v_j^+, \dots, v_n^+)\} \quad (9)$$

Sedangkan untuk solusi ideal negatif (NIS) yang disimbolkan dengan A_i^- sesuai dengan persamaan (2.10).

$$A_i^- = \{(min_i v_{ij} | j \in J), (max_i v_{ij} | j \in J')\} \text{ dimana } i = 1, 2, \dots, m$$

$$A_i^- = \{(v_i^-, v_2^-, \dots, v_j^-, \dots, v_n^-)\} \quad (10)$$

Keterangan:

$J = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ terkait dengan kriteria benefit}\}$

$J' = \{j = 1, 2, \dots, n | j \text{ terkait dengan kriteria cost}\}$

5. Menghitung jarak *Euclidean* setiap alternatif antara solusi ideal positif dan negatif. Jarak *Euclidean* mengukur sejauh mana setiap alternatif dari kedua solusi tersebut.

Jarak *Euclidean* untuk solusi ideal positif ditunjukkan dalam persamaan (2.11)

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (11)$$

Jarak *Euclidean* untuk solusi ideal negatif ditunjukkan dalam persamaan (2.12)

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2}, i = 1, 2, \dots, m \quad (12)$$

Keterangan:

v_{ij} = elemen dari matrika ternormalisasi terbobot V

$$v_j^+ = \text{solusi ideal positif untuk kriteria } j^{\text{th}}$$

$$v_j^- = \text{solusi ideal negatif untuk kriteria } j^{\text{th}}$$

6. Menghitung nilai preferensi atau *relative closeness* untuk setiap alternatif dirumuskan dalam persamaan (2.13). Alternatif dengan skor preferensi tertinggi adalah yang terbaik dan menjadi pilihan optimal.

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}, 0 < C_i < 1 \text{ dan } i = 1, 2, \dots, m \quad (13)$$

Dari dirumus diatas, jika $A_i = A_i^+$ maka $C_i = 1$. Sementara itu, jika $A_i = A_i^-$ maka $C_i = 0$.

7. Membuat perankingan urutan preferensi.

Langkah pertama dalam metode TOPSIS adalah melakukan normalisasi terhadap matriks keputusan untuk menyelaraskan skala antar kriteria menggunakan pendekatan vektor normalisasi[24]. Nilai preferensi setiap alternatif diperoleh dengan membandingkan jarak terhadap solusi ideal negatif dan total jarak keduanya, di mana alternatif dengan nilai kedekatan relatif (RC_i^+) tertinggi dianggap sebagai alternatif terbaik[16], [25]. Adapun alternatif lokasi berjumlah 17 Sentral Telepon Otomat (STO), dengan detail pada Tabel 4.

Tabel 4. Alternatif Lokasi

Alternatif	Lokasi STO	Alternatif	Lokasi STO
Alternatif 1	STO Antang	Alternatif 10	STO Sungguminasa
Alternatif 2	STO Balaikota	Alternatif 11	STO Takalar
Alternatif 3	STO Mattoangin	Alternatif 12	STO Sinjai
Alternatif 4	STO Panakkukang	Alternatif 13	STO Watampone
Alternatif 5	STO Tamalanrea	Alternatif 14	STO Bulukumba
Alternatif 6	STO Maros	Alternatif 15	STO Bantaeng
Alternatif 7	STO Pangkep	Alternatif 16	STO Jenepono
Alternatif 8	STO Sudiang	Alternatif 17	STO Selayar
Alternatif 9	STO Malino		

Untuk penentuan prioritas lokasi pembangunan jaringan *fiber optic*, maka tahapan yang dilakukan diantaranya:

1. Menentukan matriks keputusan.
2. Menghitung normalisasi matriks dengan Persamaan 2.7.
3. Menghitung bobot normalisasi matriks yang ditunjukkan dengan Persamaan 2.8.
4. Menghitung solusi ideal positif (PIS) dan solusi ideal negatif (NIS) pada Persamaan 2.9 dan 2.10.
5. Menghitung jarak setiap alternatif antara solusi ideal positif dan solusi ideal negatif pada Persamaan 2.11 dan 2.12.
6. Menghitung nilai preferensi untuk setiap alternatif pada Persamaan 2.13.
7. Menentukan ranking prioritas.

Metode TOPSIS sendiri tidak dapat menentukan bobot kriteria, sedangkan AHP menyediakan cara kuantitatif dan konsisten untuk memperoleh bobot berdasarkan preferensi pengambil keputusan. Dengan kombinasi metode TOPSIS dengan AHP maka dalam pengambilan keputusan diharapkan dapat menghasilkan bobot (kepentingan) setiap kriteria secara objektif dan sistematis.

Diskusi dan Pembahasan

Selama pelaksanaan penelitian, proses diskusi secara intensif akan dilakukan bersama dosen pembimbing serta pihak-pihak yang memiliki keahlian dan relevansi terhadap topik penelitian. Temuan-temuan yang diperoleh sepanjang proses penelitian akan dianalisis dan dibahas secara mendalam, kemudian dikaji kembali bersama tim penguji guna memperoleh pengesahan atas hasil yang telah dicapai. Melalui rangkaian diskusi dan pembahasan tersebut, diharapkan dapat dirumuskan kesimpulan yang valid serta saran yang konstruktif, yang nantinya dapat memberikan kontribusi sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan terkait maupun sebagai referensi bagi peneliti di masa mendatang.

Kesimpulan Saran

Kesimpulan memuat temuan-temuan utama selama proses penelitian dan secara langsung menjawab tujuan yang telah ditetapkan, yaitu pemilihan ranking prioritas lokasi pembangunan jaringan *fiber optic* di Telkom Makassar adalah hasil dari analisa sistem keputusan multikriteria dengan nilai terbesar pada pendekatan kombinasi metode AHP-TOPSIS.

Implikasi Manajerial

Implikasi manajerial dari dalam penelitian ini diharapkan dapat memiliki manfaat khususnya bagi manajemen Telkom Makassar. Implikasi dari penelitian ini diantaranya yaitu:

1. Dalam penentuan keputusan terutama dalam penetapan prioritas Lokasi pembangunan *fiber optic* dapat menggunakan pembobotan kriteria (AHP-TOPSIS) sebagai pertimbangan dan evaluasi untuk mencapai tujuan perusahaan.
2. Dengan mengimplementasikan metode AHP-TOPSIS dalam proses perencanaan dan pengambilan keputusan proyek, kegiatan operasional di lapangan menjadi lebih efisien, sehingga berdampak pada percepatan pelaksanaan di lapangan.

Hasil Dan Pembahasan

Bagian ini memaparkan hasil pengolahan data dari kuesioner Delphi (untuk seleksi kriteria dan input AHP) serta hasil pengurutan alternatif menggunakan metode TOPSIS. Analisis meliputi (1) hasil Delphi, (2) integrasi Delphi–AHP (penetapan bobot dan pengujian konsistensi), (3) pengolahan TOPSIS (matriks keputusan → peringkat STO), (4) analisis sensitivitas, dan (5) implikasi manajerial.

Hasil Analisis Metode Delphi

Pengambilan opini ahli dilaksanakan pada Juni 2025 melalui 3 putaran Delphi (5 responden ahli). Pada putaran akhir (putaran 3) diperoleh konsensus terhadap 7 kriteria dengan total **10 subkriteria** yang memenuhi batas mean ≥ 5 , yaitu:

1. Okupansi
2. Kualitas Core Idle
3. Perizinan Jalur Kabel
4. SITAC
5. Capex per Port (CPP)
6. Jumlah Calon Pelanggan
7. Jumlah Homepass
8. Kepadatan Hunian
9. Pendapatan per kapita penduduk
10. Jalur Kabel

Dua subkriteria (Catuan Listrik dan Estetika) gagal konvergen (mean < 5) sehingga dikeluarkan.

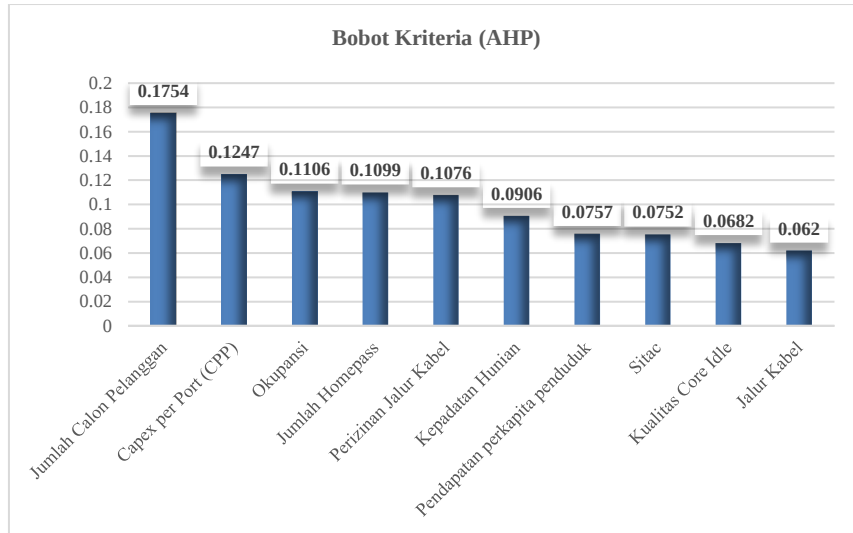
Keterangan singkat: mekanisme eliminasi mengikuti aturan Delphi — pada tiap putaran subkriteria yang mean < 5 dihapus; tambahan subkriteria dari responden dimasukkan pada putaran berikutnya hingga tercapai konvergensi pada putaran 3.

Integrasi Delphi – AHP (Pembobotan dan Konsistensi)

Nilai perbandingan berpasangan dari para ahli digabung (geometric mean) dan diproses AHP untuk memperoleh bobot tiap subkriteria. Hasil bobot akhir (normalisasi) adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Integrasi Delphi-AHP

No	Subkriteria	Bobot AHP
1	Jumlah Calon Pelanggan	0.1754
2	Capex per Port (CPP)	0.1247
3	Okupansi	0.1106
4	Jumlah Homepass	0.1099
5	Kualitas Core Idle	0.0682
6	Perizinan Jalur Kabel	0.1076
7	SITAC	0.0752
8	Kepadatan Hunian	0.0906
9	Pendapatan per kapita penduduk	0.0757
10	Jalur Kabel	0.0620



Gambar 4. Bobot Tiap Kriteria

(total = 1.0000)

Uji konsistensi AHP memberikan nilai:

- $\lambda_{\max} \approx 10.3122$
- $CI = 0.0347$
- $CR = CI / RI = 0.0347 / 1.49 \approx 0.0233$

Nilai $CR = 0.0233 \leq 0.10$ menandakan konsistensi penilaian para ahli dapat diterima.

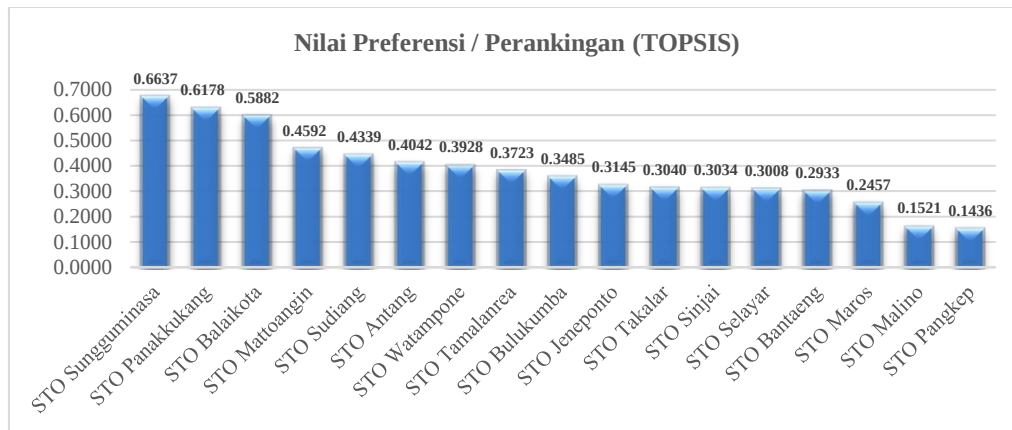
Interpretasi bobot: "Jumlah Calon Pelanggan" berperan paling dominan (17,54%), diikuti Capex per Port (12,47%) dan Okupansi (11,06%). Ini menunjukkan orientasi penetapan lokasi yang menekankan potensi pasar dan efisiensi investasi.

Hasil Pengolahan TOPSIS (Perankingan Alternatif STO)

Bobot AHP di atas digunakan dalam metode TOPSIS untuk meranking 17 alternatif (17 STO). Data masukan TOPSIS meliputi atribut benefit / cost sesuai karakteristik tiap kriteria (mis. Capex per Port = cost, Okupansi = benefit). Setelah normalisasi, pembobotan, penentuan solusi ideal, dan perhitungan jarak Euclidean, diperoleh nilai preferensi (C_i) dan urutan prioritas sebagai berikut (pilihan ringkas: top 10 dan bottom 3):

Tabel 6. Ringkasan Hasil TOPSIS

Peringkat	STO	Nilai preferensi (C_i)
1	Sungguminasa	0.6637
2	Panakkukang	0.6178
3	Balaikota	0.5882
4	Mattoangin	0.4592
5	Sudiang	0.4339
6	Antang	0.4042
7	Watampone	0.3928
8	Tamalanrea	0.3723
9	Bulukumba	0.3485
10	Jeneponto	0.3145
...	...	...
15	Maros	0.2457
16	Malino	0.1521
17	Pangkep	0.1436



Gambar 5. Urutan Prioritas Lokasi Pembangunan Jaringan Fiber Optic

Interpretasi utama:

- STO **Sungguminasa** muncul sebagai prioritas utama ($C_i = 0.6637$), diikuti **Panakkukang** dan **Balaikota**. Ketiga STO ini menunjukkan kombinasi parameter yang paling mendekati solusi ideal: potensi pelanggan besar, okupansi relatif baik, serta Capex per port relatif kompetitif atau layak.
- STO dengan peringkat rendah (Maros, Malino, Pangkep) didominasi oleh tingginya Capex per port, rendahnya jumlah homepass / calon pelanggan, atau atribut lain yang bersifat cost sehingga mengurangi kelayakan investasi jangka pendek.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas dilakukan dengan memvariasikan bobot kriteria dominan (Jumlah Calon Pelanggan) pada skenario perubahan $\pm 5\%$, $\pm 15\%$, dan $\pm 25\%$ lalu merekalkulasi TOPSIS (penyesuaian proporsional bobot kriteria lain sesuai prosedur). Tujuan: menguji kestabilan peringkat terhadap perubahan preferensi manajemen.

Bobot kriteria tertinggi dalam penelitian ini adalah kriteria Jumlah Calon Pelanggan dengan nilai sebesar 17,542% sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 Selanjutnya, bobot kriteria selain Jumlah Calon Pelanggan tersebut diturunkan masing-masing sebesar 5%, 15%, dan 25%. Adapun sembilan kriteria lainnya mengalami penyesuaian, yakni penambahan bobot secara proporsional sesuai dengan besarnya peningkatan bobot pada kriteria Jumlah Calon Pelanggan ditampilkan dalam Tabel 6.

Tabel 7. Perubahan Bobot (Menaikkan Bobot Jumlah Calon Pelanggan)

Sub-Kriteria	Awal		Deviasi		
	Tambah/ Kurang	Bobot Awal	5%	15%	25%
Okupansi	-	11.06%	10.94%	10.71%	10.47%
Kualitas Core Idle	-	6.82%	6.75%	6.61%	6.46%
Perizinan Jalur Kabel	-	10.76%	10.65%	10.42%	10.19%
Sitac	-	7.52%	7.44%	7.28%	7.12%
Capex per Port	-	12.47%	12.34%	12.07%	11.81%
Jumlah Calon Pelanggan	+	17.54%	18.42%	20.17%	21.93%
Jumlah Homepass	-	10.99%	10.88%	10.64%	10.41%
Kepadatan Hunian	-	9.06%	8.97%	8.78%	8.58%
Pendapatan per kapita penduduk	-	7.57%	7.49%	7.32%	7.16%
Jalur Kabel	-	6.20%	6.14%	6.00%	5.87%
Total Bobot		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Tabel 8. Perubahan Ranking (Menaikkan Bobot Jumlah Calon Pelanggan)

Alternatif	Rank Awal	Rank Dev 5%	Δ Rank	Rank Dev 10%	Δ Rank	Rank Dev 25%	Δ Rank
STO Sungguminasa	1	1	0	1	0	1	0
STO Panakkukang	2	2	0	2	0	2	0
STO Balaikota	3	3	0	3	0	3	0
STO Mattoangin	4	4	0	4	0	4	0
STO Sudiang	5	5	0	5	0	5	0
STO Antang	6	6	0	7	+1	7	0
STO Watampone	7	7	0	6	-1	6	0
STO Tamalanrea	8	8	0	8	0	8	0

STO Bulukumba	9	9	0	9	0	9	0
STO Jeneponto	10	10	0	10	0	11	+1
STO Takalar	11	11	0	11	0	10	-1
STO Sinjai	12	12	0	12	0	12	0
STO Selayar	13	13	0	13	0	13	0
STO Bantaeng	14	14	0	14	0	14	0
STO Maros	15	15	0	15	0	15	0
STO Malino	16	16	0	16	0	17	+1
STO Pangkep	17	17	0	17	0	16	-1

Berdasarkan hasil pada Tabel 8 penyesuaian bobot kriteria sebesar 5%, 15%, hingga 25% menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan signifikan terhadap urutan alternatif STO, terutama ranking 1 sampai dengan 3. Dengan demikian, hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa model AHP–TOPSIS yang dikembangkan tergolong robust. Perubahan bobot kriteria hingga 25% tidak menyebabkan pergeseran signifikan terhadap urutan prioritas utama, sehingga model dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan jangka panjang dengan integrasi dengan *Decision Support System* (DSS) berbasis web sehingga dapat update secara berkala dan termonitor melalui *dashboard*.

Hasil ringkasan analisis sensitivitas (perubahan bobot Jumlah Calon Pelanggan):

- Dalam variasi penurunan bobot Jumlah Calon Pelanggan hingga –25% maupun peningkatan hingga +25%, **tiga STO teratas (Sungguminasa, Panakkukang, Balaikota)** tetap berada di kelompok prioritas teratas.
- Perubahan bobot menyebabkan beberapa pergeseran peringkat menengah—mis. Mattoangin, Sudiang, Antang—tetapi tidak menggeser urutan puncak.
- Peringkat terbawah cenderung tetap sama (Maros, Malino, Pangkep) karena faktor cost dominan seperti Capex per Port dan jumlah homepass yang rendah.

Kesimpulan analisis sensitivitas: keputusan akhir relatif **robust** terhadap variasi wajar pada bobot kriteria dominan; rekomendasi lokasi prioritas (top 3) stabil pada rentang variasi bobot yang diuji.

Catatan metodologis: analisis sensitivitas fokus pada bobot kriteria teratas karena perubahan bobot mayoritas paling mungkin terjadi pada prioritas bisnis (marketing vs. engineering). Untuk validasi lebih lanjut, dapat diuji skenario alternatif (mis. perubahan besar pada Capex atau kondisi perizinan) jika diperlukan.

Pembahasan Singkat

1. **Kesesuaian antara temuan dan masalah awal:** temuan konfirmasi hipotesis awal bahwa penentuan lokasi selama ini cenderung berfokus ke 1–2 aspek (Capex, calon pelanggan) sehingga menghasilkan ODP Black. Dengan MCDM (AHP–TOPSIS) diperoleh keputusan lebih holistik yang mempertimbangkan 10 subkriteria.
2. **Alasan STO teratas:** STO Sungguminasa dan Panakkukang unggul karena kombinasi jumlah calon pelanggan yang besar, jumlah homepass tinggi, okupansi relatif baik, serta Capex per port yang masih kompetitif—mempercepat kemungkinan pengembalian modal.
3. **Sisi manajerial teknis:** perizinan jalur kabel dan SITAC tetap kritikal walau bobotnya tidak sebesar Jumlah Calon Pelanggan; hambatan perizinan dapat menunda implementasi sehingga pada praktik operasional STO alternatif harus disiapkan.
4. **Pengurangan risiko ODP Black:** pembangunan bertahap sesuai peringkat TOPSIS, dikombinasikan strategi pemasaran terfokus, akan mengurangi risiko ODP Black karena investasi diarahkan ke area berpotensi pasar nyata.

Implikasi Manajerial (ringkas)

Berdasarkan hasil di atas, rekomendasi singkat untuk manajemen Telkom Makassar:

1. **Implementasi bertahap:** jadwalkan pembangunan tahap 1 di STO Sungguminasa, Panakkukang, Balaikota. Alokasikan Capex awal ke STO prioritas untuk mempercepat ROI.
2. **Koordinasi perizinan:** bentuk tim koordinasi (Legal / Public Affairs) untuk memitigasi delay perizinan jalur kabel; siapkan STO cadangan apabila perizinan tertunda.
3. **Kolaborasi sales–deployment:** sinkronkan target marketing (penjualan pra-instalasi) dengan jadwal konstruksi untuk memastikan ODP terisi (mengurangi ODP Black).
4. **Monitoring & evaluasi:** gunakan model AHP–TOPSIS secara periodik (mis. triwulanan) untuk menyesuaikan prioritas berdasarkan perubahan pasar, Capex, atau kondisi lapangan.
5. **Kebijakan harga & promosi:** implementasikan paket menarik di STO prioritas untuk mempercepat aktivasi pelanggan (mis. bundling, promo awal).

Ringkasan Hasil

- Delphi → terpilih 10 subkriteria (mean ≥ 5).
- AHP → bobot konsisten (CR = 0.0233). Bobot tertinggi: Jumlah Calon Pelanggan (0.1754).
- TOPSIS → prioritas lokasi: **1) Sungguminasa, 2) Panakkukang, 3) Balaikota**.

- Analisis sensitivitas → peringkat puncak relatif stabil terhadap variasi bobot utama ($\pm 5\text{--}25\%$).
- Implikasi: rekomendasi pembangunan bertahap, koordinasi perizinan, sinkronisasi pemasaran & pembangunan, serta monitoring berkala.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa dari 17 kriteria yang diuji, terdapat 10 kriteria utama yang menjadi dasar penentuan prioritas pembangunan jaringan fiber optic dengan metode AHP dan TOPSIS. Hasil AHP menempatkan jumlah calon pelanggan, capex per port (CPP), dan okupansi sebagai kriteria terpenting, sementara hasil TOPSIS menghasilkan STO Sungguminasa, STO Panakkukang, dan STO Balaikota sebagai lokasi prioritas utama. Integrasi AHP dan TOPSIS terbukti lebih efektif dibandingkan hanya mengandalkan CPP, karena mampu membantu manajemen menekan biaya investasi dan mengambil keputusan yang lebih tepat.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan kriteria lain yang relevan serta melibatkan stakeholder yang lebih luas agar hasil lebih objektif. Selain itu, metode integrasi AHP dan TOPSIS dapat diterapkan pada level wilayah, regional (Jawa, Sulawesi, Kalimantan, Maluku, dan Papua), hingga pusat, sehingga manajemen dapat menyusun prioritas pembangunan jaringan fiber optic secara konsisten, efisien, dan terintegrasi dalam mendukung strategi ekspansi Telkom. Selain itu, dalam penentuan prioritas lokasi pembangunan jaringan dapat menggunakan kombinasi metode lain selain AHP-TOPSIS, sehingga hasilnya lebih akurat dan adanya keterkaitan antar kriteria. Dalam pengaplikasiannya, kedepannya penelitian ini dapat *Decision Support System* (DSS) berbasis *web/dashboard*, agar keputusan pembangunan STO bisa diperbarui otomatis saat data berubah.

Daftar Pustaka

- [1] M. Alfarizi, M. Rosmiati, and G. A. Mutiara, "Pembuatan desain jaringan Fiber to the Home (FTTH) pada perumahan Buah Batu Square Bandung," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2015. [Online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id>
- [2] U. Ciptomulyono, "Integrasi metode Delphi dan prosedur analisis hierarki (AHP) untuk identifikasi dan penetapan prioritas objektif/kriteria keputusan," *Majalah IPTEK: Jurnal Pengetahuan Alam dan Teknologi*, vol. 12, no. 1, 2001.
- [3] R. M. Sari and R. Munadi, "Penentuan prioritas pembangunan jaringan FTTH menggunakan metode Delphi dan AHP-TOPSIS," *Jurnal Teknologi dan Sistem Telekomunikasi*, vol. 11, no. 2, pp. 45–56, 2023.
- [4] H. A. Linstone and M. Turoff, *The Delphi Method: Techniques and Applications*. Reading, MA: Addison-Wesley, 2002.
- [5] C. Okoli and S. D. Pawlowski, "The Delphi method as a research tool: An example, design considerations and applications," *Information & Management*, vol. 42, no. 1, pp. 15–29, 2004.
- [6] M. Bernasconi, C. Choirat, and R. Seri, "The analytic hierarchy process and the theory of measurement," *Management Science*, vol. 56, no. 4, pp. 699–711, 2010.
- [7] T. L. Saaty and L. G. Vargas, *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Boston, MA: Springer, 2012.
- [8] J. Golden, E. Wasil, and P. Harker, *The Analytic Hierarchy Process: Applications and Studies*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1989.
- [9] A. Yudhistira, J. Wang, Y. Rahmanto, and S. Setiawansyah, "Decision support system for optimizing supplier selection using TOPSIS and entropy weighting methods," *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, vol. 4, no. 5, pp. 175–185, Nov. 2024, doi: 10.52436/1.jpti.456.
- [10] K. Palczewski and W. Sałabun, "The fuzzy TOPSIS applications in the last decade," *Procedia Computer Science*, vol. 159, pp. 2294–2303, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.09.404.
- [11] G. M. Magableh and M. Z. Mistarihi, "Applications of MCDM approach (ANP-TOPSIS) to evaluate supply chain solutions in the context of COVID-19," *Heliyon*, vol. 8, no. 3, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.heliyon.2022.e09062.
- [12] H. S. Shih, H. J. Shyur, and E. S. Lee, "An extension of TOPSIS for group decision making," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 45, no. 7–8, pp. 801–813, 2007.
- [13] S. Ghosh and S. Roy, "Integrating AHP and TOPSIS methods for decision making in supply chain management," *Decision Science Letters*, vol. 9, no. 3, pp. 301–312, 2020.
- [14] A. N. Abdullah and H. H. Zaidan, "Integration of AHP and TOPSIS for multi-criteria decision making in engineering applications," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 17, no. 3, pp. 2154–2168, 2022.
- [15] A. Fitriyani, T. N. Damayanti, and M. S. Yudha, "Perancangan jaringan Fiber to the Home (FTTH) perumahan Nataendah Kopo," *e-Proceeding of Applied Science*, vol. 1, no. 2, pp. 1404–1408, 2015.

- [16] C. L. Hwang and K. Yoon, *Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications*. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1981.
- [17] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990, doi: 10.1016/0377-2217(90)90057-I.
- [18] U. Ciptomulyono, *Pengambilan Keputusan Multi Kriteria: Konsep Dasar, Teknik dan Terapannya*. Surabaya, Indonesia: ITS Press, 2024.
- [19] A. Nugroho, "Teknologi Gigabit-Capable Passive Optical Network (GPON) sebagai Triple Play Services," Undergraduate Thesis, Faculty of Engineering, Diponegoro University, Semarang, Indonesia, 2012.
- [20] H. Taherdoost and M. Madanchian, "Multi-criteria decision making (MCDM) methods and concepts," *Encyclopedia*, vol. 3, no. 1, pp. 77–87, 2023, doi: 10.3390/encyclopedia3010006.
- [21] S. M. Turpin and M. A. Marais, "Decision-making: Theory and practice," *ORiON*, vol. 20, no. 2, pp. 143–160, 2004. [Online]. Available: <http://www.orssa.org.za>
- [22] M. A. Adam and Y. Saragih, "Perancangan jaringan fiber to the home (FTTH) untuk wilayah perumahan Perum Bumi Kotabaru Indah Cikampek menggunakan aplikasi Google Earth Pro," *Jurnal Polektro: Power Elektronik dan Telekomunikasi*, vol. 11, no. 2, pp. 156–161, 2022.
- [23] M. Marimin and N. Maghfiroh, *Aplikasi Teknik Pengambilan Keputusan dalam Manajemen Rantai Pasok*. Bogor, Indonesia: IPB Press, 2011.
- [24] C. L. Hwang, Y. J. Lai, and T. Y. Liu, "A new approach for multiple objective decision making," *Computers & Operations Research*, vol. 20, no. 8, pp. 889–899, 1993.
- [25] H. T. Lin, "An application of fuzzy TOPSIS method to evaluate key risk factors in new product development," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 55, no. 1, pp. 12–29, 2008.