

# Pemetaan Zona Imbuhan dan Lepasn Air Tanah pada Cekungan Air Tanah (CAT) Camplong Dengan GIS dan Penginderaan Jauh

Joko Suparmanto <sup>1</sup>, Welem Daga <sup>2</sup>, Yacob Victor Hayer <sup>3</sup>, Arnoldus Nama <sup>4</sup>, Thessa Bria <sup>5</sup>

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Kupang, Indonesia  
Jl. Prof. Dr. Herman Johannes Kupang Nusa Tenggara Timur  
Email: [suparmanto590@gmail.com](mailto:suparmanto590@gmail.com),

## ABSTRAK

Cekungan Air Tanah (KTA) Camplong terletak di Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat zona imbuhan air tanah di Waduk Camplong menggunakan SIG dan Analytical Hierarchy Process (AHP). Penentuan bobot faktor pengaruh menggunakan analisis hierarki dengan metode Analytical Hierarchy Process. Bobot masing-masing faktor pengaruh yang dihasilkan dari analisis hierarki AHP adalah: kerapatan garis geologi (LD) 28%, Geologi 24%, tutupan lahan penggunaan lahan (LULC) 19%, tanah (Soil/S) 16%, kemiringan lereng (SL) 8%, dan kerapatan jaringan sungai (Drainage density/DD) 5%. Zona imbuhan air tanah diperoleh dengan melapiskan peta tematik faktor-faktor pengaruh yang telah dibobot. Hasil overlay peta tematik, zona imbuhan airtanah di lokasi penelitian (GWB Camplong) diklasifikasikan menjadi 3, yaitu zona non potensial, rendah, dan tinggi dengan luas masing-masing zona: zona "Tinggi" dengan luas sekitar 51,05 km<sup>2</sup>; zona "Rendah" dengan luas sekitar 42,26 km<sup>2</sup>; zona "Non potensial" dengan luas sekitar 6,69 km<sup>2</sup>.

**Kata Kunci:** Penginderaan Jauh, SIG, AHP, Zona Imbuhan

## ABSTRACT

*Camplong Ground Water Basin (GWB) is located in Kupang Regency, East Nusa Tenggara Province. The purpose of this study is to create a groundwater recharge zone in Camplong Reservoir using GIS and Analytical Hierarchy Process (AHP). The determination of the influence factor weights uses hierarchical analysis with the Analytical Hierarchy Process method. The weight of each influence factor resulting from the AHP hierarchy analysis is: geological lineament density (LD) 28%, Geology 24%, Land use land cover (LULC) 19%, soil (Soil / S) 16%, slope (SL) 8%, and River network density (Drainage density / DD) 5%. The groundwater recharge zone is obtained by overlaying weighted thematic maps of influence factors. The results of the overlay of thematic maps, the groundwater recharge zone at the research location (Camplong GWB) is classified into 3, namely the non-potential zone, low, and high with the area of each zone being: the "High" zone with approximately 51.05 km<sup>2</sup>; the "Low" zone with an area of approximately 42.26 km<sup>2</sup>; the "Non-potential" zone with an area of approximately 6.69 km<sup>2</sup>.*

**Keywords:** Remote Sensing, GIS, AHP, Recharge Zone

## Pendahuluan

Air tanah adalah satu-satunya sumber air di banyak daerah. Terdapat sebagian besar wilayah yang air tanahnya menjadi sumber daya penyangga yang penting ketika sumber lain tidak mencukupi [1], [2], [3], [4]. Seperti halnya daerah Timor bagian barat khususnya Kabupaten Kupang, di banyak tempat air tanah merupakan satu-satunya sumber air terutama sebagai air baku bagi masyarakat, karena sumber air permukaan sangat terbatas. Hal ini karena kondisi iklim Timor barat yang semi kering dengan curah hujan yang rendah. Menurut klasifikasi iklim Schmidth-Ferguson Timor Barat didominasi oleh tipe iklim E yaitu daerah agak kering dengan curah hujan tahunan rendah sekitar 1.200 -1.500 mm[5], [6].

Potensi air tanah di Timor bagian barat tersebar pada tujuh Cekungan Air Tanah (CAT), yaitu CAT Camplong, Campong, Mina, Soe, Oemeu, Besikama, dan Aroki [7], [8]. Dari ketujuh CAT tersebut, dua CAT adalah CAT dalam Kabupaten, dan 5 merupakan CAT lintas Kabupaten/Kota. CAT Camplong adalah CAT dalam Kabupaten/Kota, yaitu berada di Kabupaten Kupang [9], [10]. Mengingat pentingnya air tanah bagi sebagian besar masyarakat, maka diperlukan pengelolaan air tanah yang baik dan benar. Untuk sumber daya air tanah pengelolannya harus dilakukan secara bijaksana yang bertumpu pada aspek hukum, yakni peraturan perundangan yang berlaku di bidang airtanah, serta aspek teknis yang menyangkut pengetahuan keairtanahan (*groundwater*

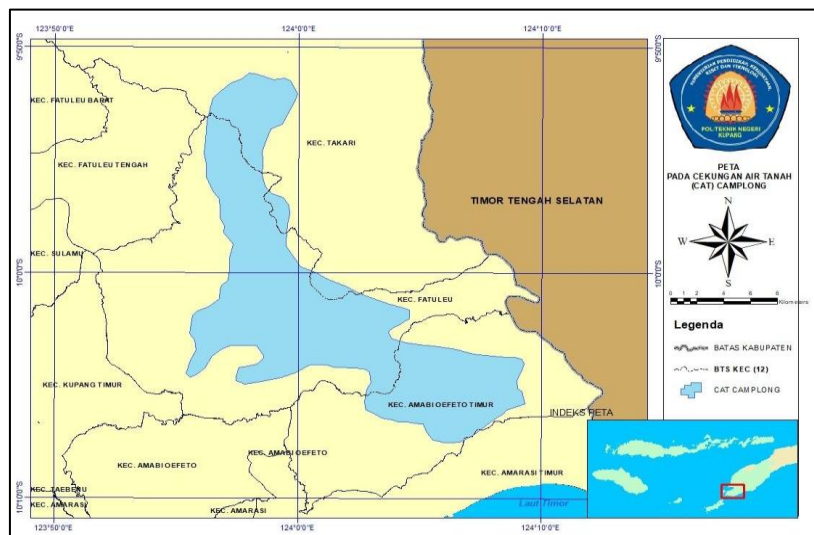
*knowledge*) suatu daerah. Pengelolaan air tanah juga harus dilakukan secara menyeluruh, terpadu dan berwawasan lingkungan hidup dengan tujuan untuk mewujudkan kemanfaatan air yang berkelanjutan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat, serta berdasarkan pada Cekungan Air Tanah (CAT) yang diselenggarakan berlandaskan pada kebijakan pengelolaan air tanah dan strategi pengelolaan air tanah [11], [12].

Agar pemanfaatan air tanah dapat berkelanjutan, maka diperlukan tindakan konservasi air tanah. Konservasi air tanah adalah upaya memelihara keberadaan serta keberlanjutan keadaan, sifat, dan fungsi air tanah agar senantiasa tersedia dalam kuantitas dan kualitas yang memadai untuk memenuhi kebutuhan makhluk hidup, baik pada waktu sekarang maupun yang akan datang. Dalam rangka konservasi air tanah, maka perlu dilakukan delinasi zona konservasi air tanah dan zona perlindungan air tanah [13], [14]. Zona Konservasi air tanah adalah daerah yang ditentukan berdasarkan kesamaan kondisi daya dukung air tanah, kesamaan tingkat kerusakan air tanah, dan kesamaan pengelolaannya. Zona Perlindungan Air Tanah adalah daerah yang karena fungsinya terhadap Air Tanah sangat penting sehingga dilindungi. Dalam pemetaan zona perlindungan air tanah, langkah pertama yang harus dilakukan adalah delinasi zona imbuhan dan pelepasan air tanah, disusul kemudian dengan penetapan zona perlindungan air tanah [15], [16]. Zona imbuhan air tanah adalah daerah yang menjadi tempat pengisian ulang sebagian besar air tanah. Imbuhan air tanah merupakan bagian dari siklus hidrologi yang penting dalam perhitungan neraca air. Untuk daerah semi arid, karena ketersediaan sumberdaya air permukaan terbatas, maka pengisian air tanah adalah bagian dari pengelolaan sumber daya air dan berperan penting dalam menyeimbangkan kebutuhan air dan pasokan air untuk kebutuhan masyarakat [17], [18]. Dengan mempertimbangkan aspek konservasi air tanah maka perlu untuk melakukan kajian terkait dengan pemetaan daerah imbuhan dan lepasan air tanah di CAT Camplong. Kajian ini nantinya diharapkan dapat memberikan masukan bagi pihak-pihak terkait dengan pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya air tanah, terutama dalam rangka konservasi, perlindungan, dan pelestarian air tanah di CAT Camplong, agar pengelolaan dan pemanfaatan air tanah dapat berkelanjutan.

## Metodologi Penelitian

### Lokasi Penelitian

Lokasi studi adalah pada CAT Camplong. CAT Camplong terletak dalam Kabupaten Kupang dan lintas 3 Kecamatan yaitu Kecamatan Fatuleu, Kecamatan Takari, dan Kecamatan Amabi Oefeto Timur. Secara geografis CAT Camplong terletak di antara  $123^{\circ}55'11.96''$  -  $124^{\circ}09'13.14''$  bujur timur dan  $9^{\circ}51'31.45''$  -  $10^{\circ}07'13.02''$  lintang selatan. Adapun luas dari CAT Camplong adalah  $232 \text{ km}^2$ . Peta lokasi studi, CAT Camplong dapat dilihat pada gambar 1.



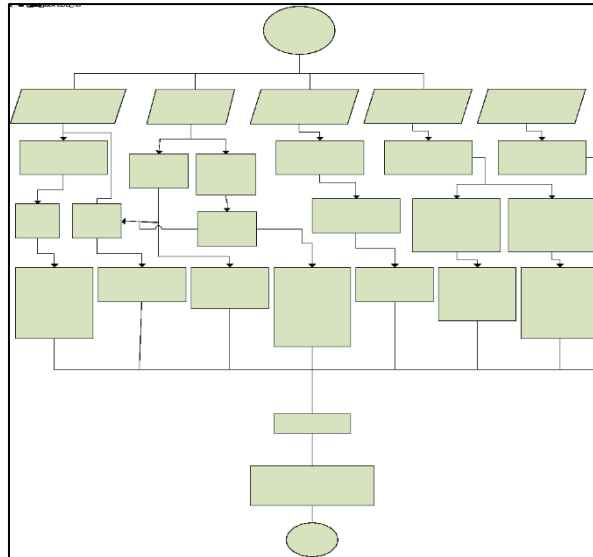
Gambar 1. Peta Lokasi Studi

### Data Dan Sumber Data

Data-data yang diperlukan untuk keperluan studi ini sesuai dengan permasalahan yang akan dibahas adalah:

1. Data Hujan, bersumber dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Kupang.
2. Peta Geologi Lembar Kupang dan Lembar Atambua, bersumber dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung
3. Peta Jenis Tanah Lembar Kupang, bersumber dari Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
4. Peta DEM (*digital Elevation Model*), bersumber dari Badan Informasi Geospasial.

5. Peta Jaringan Sungai, bersumber dari Badan Informasi Geospasial.
6. Peta Administarasi Kabupaten Kupang dan Kota Kupang yang bersumber dari Badan Pusat Statistik Kabupaten Sumba Barat.
7. Citra penginderaan jauh Satelit Lansat 8 OLI lokasi studi tahun perekaman 2023, yang bersumber dari Suvey Geologi Amerika (*United States Geological Survey / USGS*)



**Gambar 2.** CAT Camplong

Dalam studi ini, metodologi yang dikembangkan untuk menentukan zona potensi airtanah terdiri dari enam langkah utama (Gbr. 2). Langkah pertama dimulai dengan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi potensi airtanah. Berdasarkan tinjauan beberapa literatur yang relevan tentang potensi air tanah dari berbagai wilayah di dunia, tujuh parameter pengaruh imbuhan air tanah yaitu kerapatan kelurusan (LD), geologi (GL), penggunaan lahan/tutupan lahan (LULC), komposisi tanah (S), kemiringan (SL), dan kerapatan drainase (DD) dipilih untuk digunakan. Langkah kedua adalah menyiapkan dan mengubah peta tematik parameter potensi airtanah, menggunakan lingkungan GIS; langkah ketiga adalah pemberian bobot dan peringkat menggunakan teknik AHP; langkah kelima mengintegrasikan semua peta tematik dengan teknik weighted overlay pada SIG, dan tahap terakhir adalah reklasifikasi peta terintegrasi untuk mengklasifikasikan zona potensi air tanah.

## Hasil Dan Diskusi

### Penentuan Faktor pengaruh

Langkah pertama dimulai dengan identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi potensi airtanah dan mengurutkan tingkat pengaruh dari masing-masing factor dari yang paling berpengaruh sampai dengan yang paling sedikit pengaruhnya terhadap keberadaan air tanah. Berdasarkan tinjauan beberapa literatur yang relevan tentang potensi air tanah dari berbagai wilayah di dunia, enam parameter pengaruh potensi air tanah dipilih dan diurutkan tingkat pengaruhnya, yaitu kerapatan kelurusan (*Leanament Density*) (LD), geologi (GL), penggunaan lahan/tutupan lahan (*land use/land cover*) (LULC), komposisi tanah (*soil composition*) (S), kemiringan (*slope*) (SL), dan kerapatan drainase (*drainage density*) (DD). Keenam faktor tersebut disiapkan dalam bentuk data spasial (peta).

### Persiapan dan Perhitungan Peta Tematik

Setelah pemilihan parameter, tujuh peta tematik disiapkan menggunakan GIS. Peta tematik geologi dan jenis tanah didapatkan melalui beberapa langkah pengolahan peta dengan GIS, yaitu proses georeferencing peta raster konvensional dan mendigitasi jenis geologi dan jenis tanah yang berbeda.

Data penginderaan jauh (*Landsat 8 OLI*) digunakan untuk mempersiapkan peta LULC dan LD. Data penginderaan jauh mentah mengandung distorsi, oleh karena itu sebelum citra diolah menjadi peta LULC dan LD, terlebih dahulu harus dilakukan teknik *pra-pemrosesan* pada citra (koreksi radiometrik dan atmosferik). *Pra-pemrosesan* adalah pemrosesan gambar yang dilakukan sebelum analisis untuk memperbaiki atau meminimalkan distorsi gambar dari, misalnya, sistem gambar, sensor, dan kondisi lingkungan. Koreksi radiometrik dan atmosferik dari citra dilakukan dengan ENVI 4.5. Selanjutnya, citra tersebut diklasifikasikan menggunakan teknik klasifikasi terbimbing dalam *tool* GIS. Hasil klasifikasi LULC terdiri dari 7 kelas (Gambar 5.3) yaitu, hutan,

kawasan pemukiman, padang rumput, semak belukar, badan air, dan persawahan. Garis kelurusan diekstraksi secara otomatis dari gambar Landsat 8 OLI dengan PCI Geomatics. Garis kelurusan tersebut kemudian diklasifikasi (*reclassify*) untuk mendapatkan peta kerapatan kelurusan (*Lineament density*) (LD). Peta LD diklasifikasi menjadi lima kelas yaitu kelas sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah, dan sangat rendah (Gambar 3).

**Tabel 1.** Kelas kemiringan lereng diusulkan oleh Kementerian Kehutanan Republik Indonesia

Kelas	Keterangan	Slope
1	Datar	> 8 %
2	landai	8 – 15%
3	Agak curam	16 - 25%
4	Curam	26 – 40%
5	Sangat curam	< 40%

Data DEM digunakan untuk mendapatkan peta temaik kelas kemiringan lereng. Proses pembangkitan kelas kemiringan lereng dari data DEM dilakukan dengan perangkat lunak QGIS. Setelah lereng terdefinisi, lereng diklasifikasi ulang sesuai dengan pedoman dari Kementerian Kehutanan Republik Indonesia (Tabel 1). Peta kelas kemiringan lereng dapat dilihat pada Gambar 5. DEM juga digunakan untuk membangkitkan peta jaringan sungai (*stream network*). Proses pembuatan jaringan sungai melibatkan fungsi *fill*, *flow direction*, *flow akumulasi*, *cont*, dan *raster to polyline*. pada QGIS. Dengan menggunakan fungsi kerapatan garis pada QGIS,

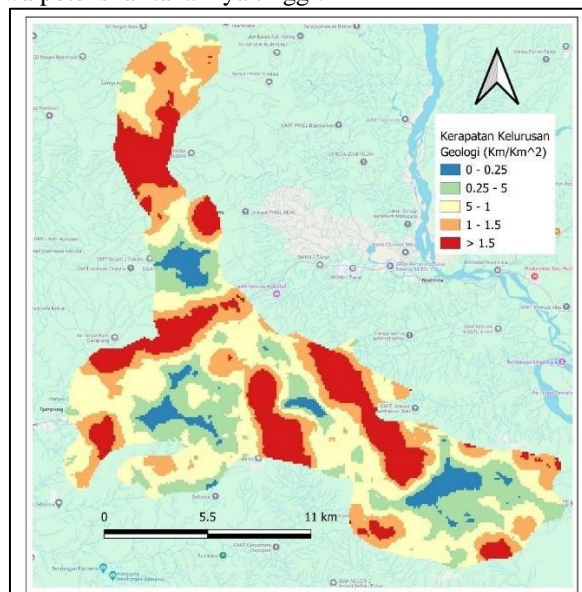
**Tabel 2.** Klasifikasi DD diusulkan oleh Soewarno (1991)

DD (km/km <sup>2</sup> )	Kelas kerapatan
<0.25	Rendah
0.25-10	Sedang
10-25	Tinggi
>25	Sangat tinggi

Dibuat kerapatan drainase (*Drainage density*) (DD) per km persegi. DD diklasifikasi ulang menjadi empat kelas menurut klasifikasi Suwarno [19], yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, dan rendah (Tabel 2). Peta kerapatan DD dapat dilihat pada Gambar 7

**Peta-Peta Tematik Lokasi Studi  
 Kerapatan Kelurusan (*Lineament Density*) (LD)**

Kelurusan adalah bidang permukaan yang mengekspresikan kekar, rekahan, dan struktur linier atau lengkung lainnya yang terjadi di permukaan dan di bawah permukaan bumi [20]. Kelurusan dapat digunakan untuk menyimpulkan pergerakan dan penyimpanan air tanah [21]. Kelurusan memberikan petunjuk pergerakan dan penyimpanan air tanah dan oleh karena itu merupakan panduan penting untuk eksplorasi air tanah [22]. Semakin tinggi LD menunjukkan bahwa potensi airtanahnya tinggi.



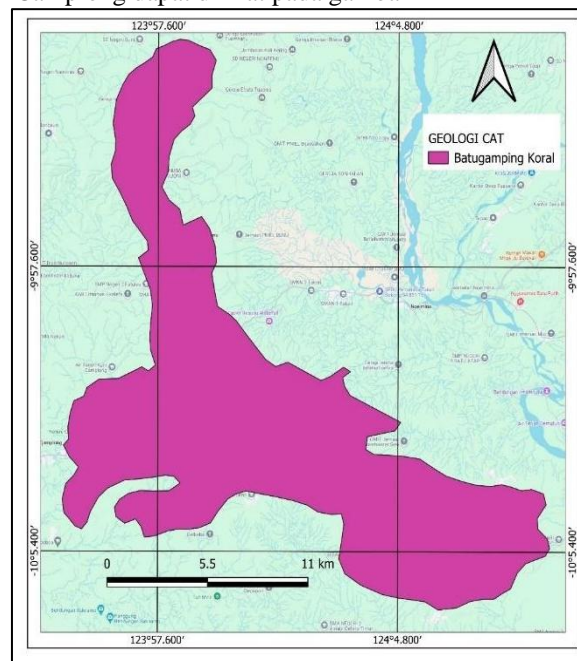
**Gambar 3.** Peta Lineament density (LD) CAT Camplong

Peta LD daerah penelitian dapat dilihat pada gambar 5.1. Pada peta LD ini, terlihat bahwa kerapatan LD lebih tinggi berada pada bagian tengah wilayah studi, sedangkan di bagian utara dan bagian selatan wilayah studi memiliki LD lebih rendah. LD diklasifikasikan menjadi lima kelas, yaitu Sangat Rendah (0 - 0,25 km/km<sup>2</sup>), Rendah (0,25 - 0,50 km/km<sup>2</sup>), Sedang (0,5 - 1 km/km<sup>2</sup>), Tinggi (1 - 1,5 km/km<sup>2</sup>) dan sangat tinggi (>1,5 km/km<sup>2</sup>). Kelas dengan kepadatan rendah adalah zona berpotensi rendah, oleh karena itu diberi skor rendah, sedangkan kelas dengan kepadatan tinggi adalah zona berpotensi tinggi, karenanya diberi skor tinggi. Tabel 5.6 menunjukkan skor untuk setiap kelas LD.

### Geologi (GL)

Lokasi penelitian terdiri dari 4 formasi geologi, yaitu Formasi batu gamping koral, Formasi Noele, Formasi Bari, dan Formasi alluvial (Gambar 5.2). Sebagian besar wilayah penelitian merupakan formasi batu gamping koral dengan luas 451.09 km<sup>2</sup> (63,36%). Formasi terbesar kedua adalah Formasi Aluvial dengan luas 161.68 km<sup>2</sup> (22.71%). Luas Formasi Noele adalah sekitar 86.89 km<sup>2</sup> (12.2%). Hanya sebagian kecil saja yang termasuk dalam formasi Bari yaitu 12,34 km<sup>2</sup> (01,73%). (0,42%).

Berdasarkan informasi peta geologi dari Puslitbang Geologi, komposisi geologi Formasi batu gamping koral terdiri dari: Sedimen, bahan kimia, dan batu kapur. Komposisi geologi formasi Aluvium adalah Sedimen, klastik, dan pasir. Komposisi geologi formasi Noele adalah *marlstone* (batuan lumpur kaya kapur), dan batuan sedimen klastik. Sedangkan komposisi geologi Formasi Bari adalah Sedimen klastik, dan batugamping. Berdasarkan tinjauan beberapa literatur dan masukan dari ahli hidrogeologi, ditentukan bahwa formasi yang paling berpengaruh berturut-turut adalah Formasi aluvium, Formasi batu gamping koral, Formasi Noele, dan formasi Bari (5.5). Peta geologi CAT Camplong dapat dilihat pada gambar 2



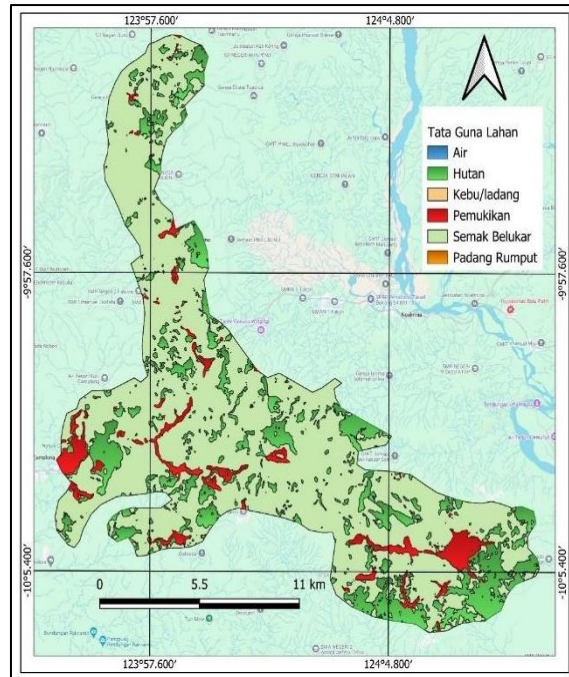
Gambar 4. Peta Geologi CAT Camplong

### Penggunaan Lahan (*Landuse/Land cover*) (LULC)

Tata guna lahan lokasi penelitian dibangkitkan dari citra penginderaan jauh (Landsat 8 OLI) dengan teknik klasifikasi terbimbing dengan ENVI 4.5 dan QGIS 10.5. Tata guna lahan dibagi menjadi tujuh kelas yaitu hutan, kawasan pemukiman, padang rumput, semak belukar, badan air, dan persawahan (Gambar 5.3). Penentuan tingkat pengaruh masing-masing kelas didasarkan pada pengaruh kelas penggunaan lahan terhadap koefisien limpasan (C). C didefinisikan sebagai perbandingan volume air yang mengalir sebagai limpasan pada saat hujan dengan total volume curah hujan selama periode tertentu .

Semakin besar nilai C berarti semakin besar jumlah air hujan yang menjadi limpasan permukaan; Dengan demikian, air hujan yang terinfiltrasi semakin sedikit. Factor C dapat diperkirakan dengan menggunakan tabel hubungan antara C dan sifat permukaan tanah [23]. Nilai C untuk rumus Rasional dapat ditentukan berdasarkan penggunaan lahan di suatu wilayah . Skor untuk setiap kelas penggunaan lahan (kecuali untuk sawah) ditentukan berdasarkan nilai C untuk rumus rasional. Nilai tertinggi diberikan pada kelas lahan dengan nilai C terendah, sedangkan kelas lahan dengan nilai C tertinggi memiliki nilai terendah (Tabel 5).



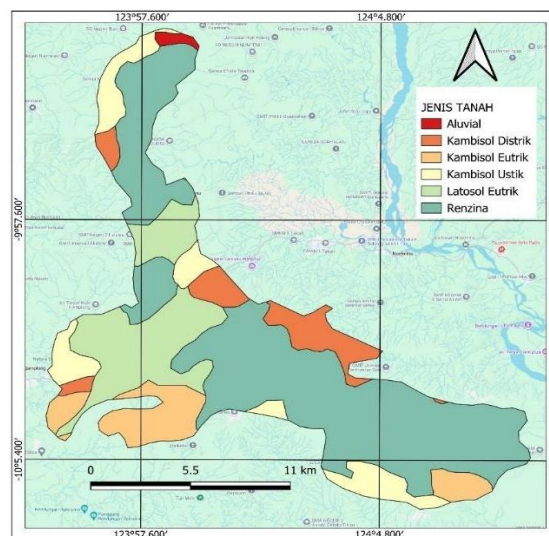


Gambar 5. Peta Land Use / Land Cover (LULC) CAT Camplong

### Jenis Tanah (Soil Composition) (S)

Terdapat 6 jenis tanah di lokasi penelitian (Gambar 5.4), yaitu *Endoaquepts Halaquepts* dengan luas 26,86 km<sup>2</sup> (3.77%), *Hapludands Endoaquepts* seluas 24,18 km<sup>2</sup> (3.04%), *Haplustepts Haplustalfs* seluas 14,61 km<sup>2</sup> (2.05%), *Haplustepts Ustorthents* seluas 512,82 km<sup>2</sup> (72.45%), *Haplusterstis Haplustepts* seluas 107,56 km<sup>2</sup> (15.11%), dan *Haplutolls Haplustepts* seluas 22,91 km<sup>2</sup> (3.22%).

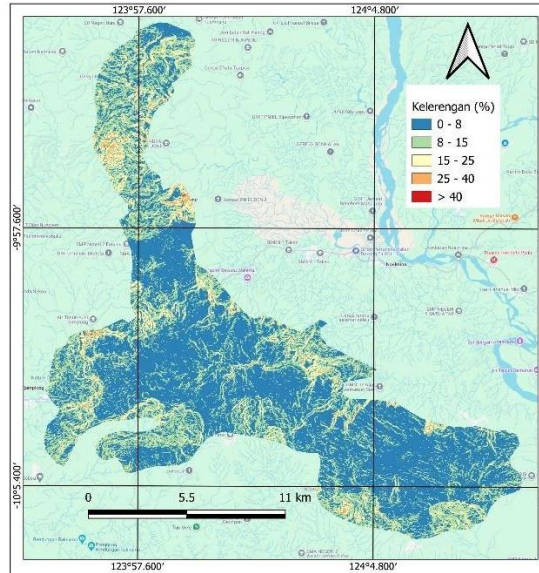
Komposisi tanah dari *Endoaquepts Halaquepts* sebagian besar mengandung pasir; komposisi *Hapludands Endoaquepts* terbesar adalah bahan vulkanik; tanah *Haplustepts Haplustalfs* sebagian besar merupakan tanah yang berasal dari pelapukan batuan sedimen; tanah *Haplustepts Ustorthents* merupakan tanah yang kandungannya sebagian besar sama dengan tanah *Haplustepts Haplustalfs*, yang merupakan tanah yang berasal dari pelapukan batuan sedimen; tanah *Haplusterstis Haplustepts* komposisi terbesarnya hampir sama dengan tanah *Endoaquepts Halaquepts* yang sebagian besar mengandung pasir; dan tanah *Haplutolls Haplustepts* adalah tanah yang sebagian besar mengandung bahan plutonik (batuan intrusi) (Soil Survey Staff, 2014a; Soil Survey Staff, 2014b). Tanah dengan kandungan pasir paling berpengaruh terhadap infiltrasi air tanah dan tanah dengan kandungan cinder memiliki pengaruh paling kecil terhadap infiltrasi air tanah. Skor untuk masing-masing jenis tanah dari yang tertinggi sampai yang terendah dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 6. Peta jenis tanah CAT Camplong

### Kemiringan Lereng (*Slope*) (SL)

Kemiringan merupakan faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi. Hubungan antara kemiringan lereng dengan laju infiltrasi merupakan hubungan yang tidak linier. Jika kemiringan bertambah, maka laju infiltrasi akan menurun, dan dengan demikian akan meningkatkan limpasan permukaan (Fox, D.M., et.al., 1997). Kemiringan lokasi penelitian diklasifikasikan menjadi lima kelas (Tabel 5.1), sesuai dengan klasifikasi kemiringan yang diusulkan oleh Kementerian Kehutanan Republik Indonesia (Anonim, 2009). Skor untuk setiap kelas kemiringan diberikan sesuai dengan pengaruhnya terhadap laju infiltrasi. Lereng yang lebih curam diberi skor terendah, sedangkan lereng yang datar diberi skor tertinggi (Tabel 5.5).

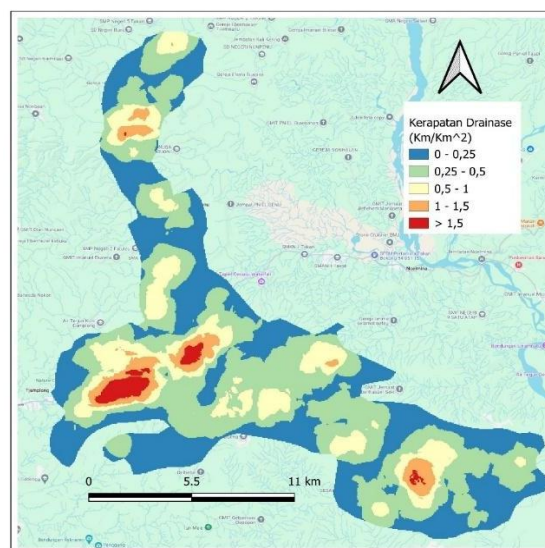


Gambar 7. Peta kemiringan lereng CAT Camplong

### Kerapatan Jaringan Sungai (*drainage density*) (DD)

DD berpengaruh signifikan terhadap puncak banjir di suatu DAS. Kerapatan jaringan sungai yang tinggi di DAS akan mempersingkat waktu konsentrasi ( $t_c$ ), karena kecepatan aliran lebih tinggi di saluran daripada di permukaan tanah.  $t_c$  merupakan faktor yang mempengaruhi debit puncak banjir. DD yang tinggi menyiratkan  $t_c$  yang lebih pendek dan meningkatkan debit puncak banjir (Pallard, B., et.al., 2009).

Debit banjir puncak yang tinggi menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil air hujan yang terinfiltrasi (dan meresap untuk resapan air tanah), sebagian besar air hujan menjadi limpasan. Dalam penelitian ini, DD dibagi menjadi empat kelas (Gambar 5.7) menurut klasifikasi DD yang dikemukakan oleh Soewarno (Tabel 2) (Soewarno, 1991). Skor untuk setiap kelas diberikan sesuai dengan pengaruhnya terhadap debit puncak banjir. Kerapatan drainase tinggi diberi skor terendah, sedangkan kepadatan drainase terendah diberi skor tertinggi (Tabel 5).



Gambar 8. Peta drainage density CAT Camplong

**Menetapkan Bobot Masing-masing factor pengaruh dengan AHP**  
**Menentukan sklala prioritas (*pairwise comparison*)**

Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) [24] digunakan untuk memberikan bobot pada setiap faktor yang mempengaruhi potensi air tanah. AHP adalah metode untuk mengidentifikasi faktor yang paling berpengaruh untuk sistem yang kompleks seperti air tanah berdasarkan penilaian ahli kualitatif. Metode ini adalah cara mudah untuk membandingkan elemen keputusan yang sulit diukur. Metode ini mengandalkan membangun hierarki elemen keputusan dan kemudian membuat perbandingan berpasangan dalam bentuk matriks.

Langkah pertama dalam AHP adalah merumuskan hirarki faktor pengaruh atau kriteria (langkah ini sudah dilakukan pada point 5.1). Dalam penelitian penentuan zona imbuhan air tanah, hirarki kriteria ditentukan berdasarkan derajat atau tingkat pengaruh faktor terhadap imbuhan air tanah. Derajat atau tingkat pengaruh faktor-faktor imbuhan air tanah ditentukan berdasarkan hasil review beberapa literature dan juga masukan dari ahli hidrogeologi. Hirarki yang sudah dirumuskan kemudian dibuatkan matrik perbandingan berpasangan (*pairwise comparison matrix*). Formula matriks perbandingan berpasangan dapat dilihat pada Rumus 1. Dalam matrik perbandingan berpasangan hubungan hirarki antara satu kriteria dengan kriteria yang lain ditentukan menurut skala kepentingan relative yang dapat dilihat pada table 3. Matrik perbandingan berpasangan untuk 6 kriteria (factor pengaru) dapat dilihat pada table 5.3.

$$A = \begin{matrix} & a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{1n} \\ a_{21} & & & & \\ a_{31} & & & & \\ a_{n1} & & & & \end{matrix} \quad (1)$$

Dimana A adalah matriks perbandingan berpasangan  $n \times n$ ;  $a_{ij}$  adalah alternatif sehubungan dengan kriteria yang diberikan;  $a_{ij} > 0$ ;  $1 < i < n$ ;  $1 < j < n$ ; dan adalah jumlah parameter.

**Tabel 3.** Matriks Perbandingan Berpasangan AHP (untuk enam parameter)

Para-meter	LD	GL	LULC	S	SL	DD
LD	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00
GL	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00
LULC	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00
S	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00
SL	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,40
DD	0,14	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00

Tingkat kepentingan masing-masing faktor pengaruh diberikan menurut skala Santi (1-9) (Tabel 3). Berdasarkan tinjauan beberapa literatur dan masukan dari ahli hidrogeologi, faktor yang pengaruhnya paling rendah adalah DD sehingga skalanya adalah 1; tingkat kepentingan GM berada antara “*Equal important*” sampai “*moderate important*” dibandingkan dengan DD, maka skalanya adalah 2; tingkat kepentingan SL adalah “*Moderate importance*” dibandingkan dengan DD, maka skalanya adalah 3; tingkat kepentingan S antara “*Essential*” sampai dengan “*Very strong importance*” dibandingkan dengan DD, maka skalanya adalah 6; tingkat kepentingan faktor LULC adalah “*Very strong importance*” dibandingkan dengan DD, sehingga skalanya adalah 7; tingkat kepentingan GL berada di antara “*Very strong importance*” hingga “*Extreme importance*” dibandingkan dengan DD, sehingga skalanya adalah 8; dan yang terakhir, tingkat kepentingan LD adalah “*Extreme importance*” dibandingkan dengan DD, sehingga skalanya adalah 9. Setelah ditentukan tingkat kepentingan masing-masing factor pengaruh, selanjutnya dibuat matriks normalisasi baru untuk mendapatkan bobot masing-masing faktor yang mempengaruhi (Tabel 4). Bobot yang dinormalisasi ini nantinya akan diterapkan pada setiap factor pengaruh dalam proses overlay tertimbang untuk menghasilkan peta zona potensi air tanah.

**Tabel 4.** Skala kepentingan relatif 1-9 Saaty (Saaty, 1980)

Intensity of importance	Interpretation
1	Equal importance
3	Moderate importance
5	Essential
7	Very strong importance
9	Extreme importance
2,4,6,8	Intermediate value between adjacent scale values

**Tabel 5.** Matriks perbandingan yang dinormalisasi untuk pengaruh factor pembobotan

Parameter	LD	GL	LULC	S	SL	DD	Bobot
LD	0,4122	0,4669	0,4235	0,3692	0,3226	0,3271	0,387
GL	0,2061	0,2335	0,2824	0,2769	0,2581	0,2336	0,248
LULC	0,1374	0,1167	0,1412	0,1846	0,1935	0,1869	0,160



S	0,1030	0,0778	0,0706	0,0923	0,1290	0,1402	0,102
SL	0,0824	0,0584	0,0471	0,0462	0,0645	0,0654	0,061
DD	0,0589	0,0467	0,0353	0,0308	0,0323	0,0467	0,042

**Normalisasi Bobot Matirks Perbandingan Berpasangan**

Setelah table matriks perbandingan berpasangan dibuat, selanjutnya dari matrks tersebut dibuat table normalisasi untuk mendapatkan bobot untuk masing-masing kriteria (factor pengaruh). Caranya adalah membagi nilai setiap kolom dengan toral nilai kolom yang bersangkutan. Selanjutnya dihitung bobot untuk tiap kriteria dengan cara menjumlahkan setiaqp baris table normalisasi dan dibagi dengan jumlah kriteria. Bobot untuk masing-masing kriteria inilah yang akan digunakan dalam overlay tertimbang (*weighted overlay*) dengan software QGIS. Table normalisasi dan bobot hasil perhitungan dapat dilihat pada table 5

**Uji Konsistensi konsistensi matriks**

Untuk menilai bobot ternormalisasi yang dihitung dapat diterima atau memerlukan perbaikan, uji konsistensi harus dilakukan pada matriks perbandingan berpasangan. Inkonsistensi dalam perbandingan berpasangan meningkat dengan bertambahnya jumlah parameter . Consistency ratio (CR) digunakan dalam AHP untuk menilai konsistensi matriks perbandingan berpasangan yang telah dibangun. Pada AHP, matriks perbandingan berpasangan konsisten ketika nilai CR kurang dari 0,1 (10%)[25], [26]. Matriks perbandingan berpasangan memerlukan perbaikan atau revisi jika nilai CR lebih besar dari 10%. CR dihitung dengan rumus:

$$CR=CI/RI (2)$$

Dimana, CI adalah indeks konsistensi; RI adalah Indeks Rasio (nilai RI untuk jumlah parameter yang berbeda disajikan pada Tabel 5.6). CI dihitung dengan rumus:

$$CI=\max-n/n-1(3)$$

Dimana,  $\lambda_{\max}$  adalah jumlah total Eigen value (Tabel 7) dan n adalah jumlah parameter. Eigen value diperoleh dengan cara perkalian matiriks, yaitu matriks berpasangan 5 x 5 dikalikan dengan matriks baris bobot. Nilai  $\lambda_{\max}$  sendiri merupakan penjumlahan dari nilai eigen. Nilai  $\lambda_{\max}$  harus lebih besar dari n.  $\lambda_{\max}$  telah dihitung dan nilainya adalah 6.08; jumlah parameter (n) adalah 6, maka CI adalah 0,02417. RI untuk 6 kriteria adalah 1.24. Rasio Konsistensi = CI / RI = 0,02417 / 1,24 = 0,019 = 1,9 %. Nilai CR kurang dari 10%, oleh karena itu, bobot yang dinormalisasi (Tabel 5) dapat diterima, dan kemudian dapat digunakan untuk overlay berbobot pada GIS.

**Tabel 6.** Saaty's ratio index (RI) for different n values

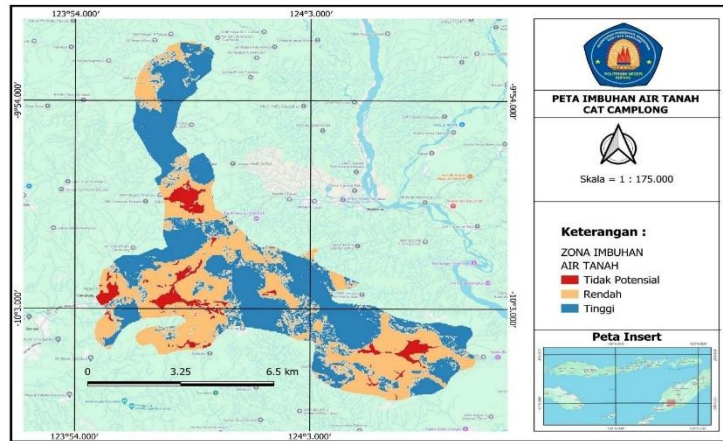
N	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0.58	0.89	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

**Delinasi Zona imbuhan air tanah**

Zona imbuhan air tanah diperoleh dengan menggabungkan semua peta raster yang telah diberi bobot untuk setiap kriteria, dan nilai untuk masing-masing sub kriteria (Table 5.8) dengan teknik overlay berbobot pada QGIS. Pada teknik ovelay berbobot, dilakukan input bobot masing-masing factor pengaruh (kriteria) dan skor untuk masing-masing kelas factor pengaruh (Table 5.8). Setelah peta hasil overlay terbentuk, langkah selanjutnya adalah reklasifikasi raster baru dengan *natural break interval* untuk mendapatkan peta peta zona imbuhan air tanah.

**Tabel 7.** Matriks perbandingan berpasangan, bobot dan nilai Eigen

Parameter	LD	GL	LULC	S	SL	DD	Weight	Nilai Eigen	
LD	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	7,00	0,387	2,37	
GL	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	0,248	1,52	
LULC	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	0,160	0,97	
S	0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	0,102	0,61	
SL	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	1,40	0,061	0,36	
DD	0,14	0,20	0,25	0,33	0,50	1,00	0,042	0,25	
Principal Eigen value ( $\lambda_{\max}$ )									6,08



**Gambar 9.** Peta Zona Imbuhan Air Tanah

Zona imbuhan air tanah di lokasi penelitian (CAT Camplong) diklasifikasikan menjadi 3 yaitu zona tidak potensial, rendah, dan tinggi. Gambar 5.8 menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah CAT Camplong merupakan wilayah dengan zona imbuhan “sedang” dengan jumlah luas sekitar 312.55 km<sup>2</sup> atau 43.34% dari total luas CAT. Zona imbuhan kedua adalah “zona tidak potensial” dengan luas sekitar 259,03 km<sup>2</sup> atau 35,92% dari total luas CAT. Zona berikut adalah zona imbuhan “tinggi” memiliki luas sekitar 2,03 km<sup>2</sup> atau 1,56% dari total luas CAT Camplong.

Zona imbuhan “sedang” umumnya tersebar hamper di seluruh CAT Camplong, namun sona ini sebagian besar berada disekitaran kota kupang yaitu dari Kecamatan Kupang barat (Kabupaten Kupang), Kecamatan Alak bagian selatan, Kecamatan Maulafa bagian selatan dan timur, kecamatan kelapa lima bagian timur, kecamatan Nekamese bagian utara, dan kecamatan Kupang Tengah bagian barat.. Zona imbuhan “tidak Potensial” merata di dalam CAT, yaitu di kecamatan Kupang barat bagian selatan, kecamatan Maulafa bagian barat, Kota Bagian tenga (Kecamatan Maulata, Oebobo, dan Kelapa Lima), kecamatan Kupang Tengah, dan Kecamatan Amabi Oefeto. Zona imbuhan “tinggi” tersebar di beberapa kecamatan, sebagian besar berada di Kabupaten Kupang (Kecamatan Nekamese Bagian Utara, sedikit di Kecamatan Kupang Tengah bagian Utara, Kecamatan Amarasi Bagian barat, sebagian besar Kecamatan Kupang Timur, dan Kecamatan Sulamu bagian Ternggara), dan hanya sebagian kecil berada di Kota Kupang (Kecamatan Alak).

**Table 7**

Bobot ternormalisasi untuk masing-masing kriteria dan skor untuk setiap sub kriteria

Factor pengaruh	Kelas	Bobot ternorma-lisasi	Pengaruh (%)	Skor
LD (km/km <sup>2</sup> )	Very high	0,284	28,4	5
	high			4
	Moderate			3
	Low			2
	Very low			1
GL	Jawila formation	0,240	24,0	3
	Waikabubak formation			4
	Kaliangga formation			2
LULC	Residential Area	0,187	18,7	1
	Rice field			5
	Forest			4
	Pasture			2
	Scrubs			3
S	Haplustolls Ustorthens	0,155	15,5	4
	Haplusterts Haplustepts			4
	Hapludolls Eutrudepts			2
	Haplustepts Ustorthents			3
SL (%)	0-8	0,082	8,2	5
	9-15			4
	16-25			3
	26-40			2
	>40			1

	<0.25			1
	0.25-10			2
DD (km/km <sup>2</sup> )	10-25	0,052	5.2	3
	>25			4
	<0.25			5

## Simpulan

Penentuan bobot faktor pengaruh menggunakan analisis hirarki dengan metode Analytical Hierarchy Process. Bobot masing-masing faktor pengaruh hasil analisis hirarki AHP adalah: kerapatan garis geologi (LD) 28%, Geologi 24%, Tata guna lahan tutupan lahan (LULC) 19%, tanah (Soil/S) 16%, kemiringan lereng (SL) 8%, dan kerapatan jaringan sungai (Drainage density/DD) 5%. Zona imbuhan airtanah diperoleh dengan melakukan overlay peta tematik faktor pengaruh yang telah diberi bobot. Hasil overlay peta tematik, zona imbuhan airtanah di lokasi penelitian (GWB Camplong) diklasifikasikan menjadi 3, yaitu zona non potensial, rendah, dan tinggi dengan luas masing-masing zona adalah: zona “Tinggi” dengan luas sekitar 51,05 km<sup>2</sup>; zona “Rendah” dengan luas sekitar 42,26 km<sup>2</sup>; zona “Non potensial” dengan luas sekitar 6,69 km<sup>2</sup>.

## Daftar Pustaka

- [1] T. P. E.Pratama, W. P.Prihadita, And..., “Analisis Index Overlay Untuk Pemetaan Kawasan Berpotensi Banjir Di Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan,” *Jurnal Geosains Dan ...*, 2020, [Online]. Available: <https://jgrs.eng.unila.ac.id/index.php/geo/article/view/26>
- [2] A.Sasmita, M.Reza, Andr. M.Rozi, “Pemetaan Dan Perhitungan Pemaparan Tingkat Kebisingan Pada Industri Pengolahan Kayu Di Kecamatan Siak, Provinsi Riau,” *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan. Maret*, Vol. 6, No. 2, Pp. 68–79, 2021.
- [3] A.Fadhila Anda. B.Cahyono, “Pembuatan Webgis Untuk Pemetaan Usaha Mikro Kecil Menengah (Umkm) Di Kabupaten Blitar,” *Jurnal Teknik Its*, Vol. 6, No. 2, Pp. 2–7, 2017, Doi: 10.12962/J23373539.V6i2.23451.
- [4] Rofizar, Y. V.Jaya, Andh.Irawan, “Aplikasi Sig Untuk Pemetaan Kesesuaian Kawasan Budidaya Ikan Kerapu Menggunakan Keramba Di Perairan Laut Desa Genting Pulus Kabupaten Kepulauan Anambas,” *Intek Akuakultur*, Vol. 1, No. 1, Pp. 37–50, 2017.
- [5] Daryono, R. P.Setyanto, Hersugondo, S.Supriyati, Ands.Bakhri, “Pemetaan Dan Strategi Meningkatkan Kinerja Umkm Perkebunan Dengan Balance Scorecard,” *Sustainable Competitive Advantage-9 Feb Unsoed*, Vol. 9, No. 1, Pp. 331–338, 2019.
- [6] A. Z.Abidin Andn. A.Mahbubah, “Pemetaan Risiko Pekerja Konstruksi Berbasis Metode Job Safety Analysis Di Pt Bbb,” *Serambi Engineering*, Vol. Vi, No. 3, Pp. 2111–2119, 2021, Accessed: Jun.26, 2022. [Online]. Available: <http://ojs.serambimekkah.ac.id/jse/article/view/3124>
- [7] L.Susanti, L.Tania, H. W.Komala, Andc.Meiden, “Pemetaan Bibliometrik Terhadap Social Theory Pada Bidang Akuntansi Menggunakan Vosviewer,” *Jurnal Ekobistek*, Vol. 11, Pp. 272–277, 2022, Doi: 10.35134/Ekobistek.V11i4.393.
- [8] I.Irmayansyah Ands. E.Triyono, “Penerapan Algoritma K-Means Untuk Pemetaan Potensi Calon Mahasiswa Baru,” *Teknois : Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Dan Sains*, Vol. 12, No. 2, Pp. 139–150, 2022, Doi: 10.36350/Jbs.V12i2.139.
- [9] I. C.Kasih, G. M.Tinungki, Andn.Sirajang, “Pemetaan Wilayah Potensi Bencana Di Provinsi Sulawesi Tengah Menggunakan Analisis Korespondensi Sederhana,” *Estimasi: Journal Of Statistics And Its Application*, Vol. 2, No. 1, Pp. 1–10, 2021, Doi: 10.20956/Ejsa.V2i1.10234.
- [10] H.Rakuasa, J. K.Helwend, And..., “Pemetaan Daerah Rawan Banjir Di Kota Ambon Menggunakan Sistem Informasi Geografis,” *Jurnal Geografi: Media ...*, 2022, [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/jg/article/view/34240>
- [11] H.Hailudin, A.Daeng, M.Nasir, A.Abu Bakar, Andi.Suriadi, “Potensi Sektor Unggulan Serta Kontribusinya Dalam Menciptakan Kesempatan Kerja Di Kabupaten Lombok Barat,” *Elastisitas - Jurnal Ekonomi Pembangunan*, Vol. 5, No. 1, Pp. 59–73, 2023, Doi: 10.29303/E-Jep.V5i1.76.
- [12] R.Akmal, “Perancangan Dan Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Dengan Metode Scor Dan Ahp Di Pt. Bsi Indonesia,” *Jurnal Industri Kreatif (Jik)*, Vol. 2, No. 1, P. 1, 2018, Doi: 10.36352/Jik.V2i1.81.
- [13] M. D.Kurniawan, “Penerapan Metode Lean Dengan Menggunakan Value Stream Mapping Tools Untuk Efisiensi Waste Pada Pt. Sari Bumi Sidayu - Gresik,” *Matrik : Jurnal Manajemen Dan Teknik Industri Produksi*, Vol. 19, No. 2, Pp. 61–78, Mar.2019, Doi: 10.30587/Matrik.V19i2.767.

- [14] A.Herjito Andd.Setiawan, "Strategi Pengembangan Komoditas Pangan Menuju Ketahanan Pangan Nasional Dengan Pendekatan Swot-Ism-Bsc," *Rekayasa*, Vol. 14, No. 2, Pp. 159–167, 2021, Doi: 10.21107/Rekayasa.V14i2.10864.
- [15] E.Wirdianto, A.Rahman, Andm.Milana, "Music-3d Approach And Kraljic's Purchasing Portfolio Model In Determining Pt Semen Padang's Spare Parts Procurement Strategy," *Motivection: Journal Of Mechanical, Electrical And Industrial Engineering*, Vol. 6, No. 2, Pp. 155–166, 2024, Doi: 10.46574/Motivection.V6i2.326.
- [16] A. W.Rizqi, N. H.Ummah, Ands. D.Yuliana, "Analisis Risiko Halal Supply Chain Produk Otak-Otak Bandeng Bu Afifah Menggunakan Metode House Of Risk," *Jurnal Agro Industri Halal*, Vol. 9, No. 3, Pp. 269–277, 2023, Doi: <https://doi.org/10.30997/Jah.V9i3.9726>.
- [17] R.Komala, T. W.-Eproceedings, And Undefined2019, "Analisis Strategi Pemasaran Menggunakan Analisis Swot Studi Pada Eduplex Coworking Space Bandung," ... *Telkomuniversity.Ac.Id*, Accessed: Aug.25, 2021. [Online]. Available: <https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/management/article/view/9012>
- [18] V.Puspasari, K.Kunci, Andk.Pelayanan, "Perbaikan Kualitas Toko Dunia Foto Dengan Metode Servqual, Zot (Zone Of Tolerance), Dan Siklus Pdca," *Ejournal.Uin-Suska.Ac.Id*, Vol. 19, No. 2, Pp. 178–185, 2022, Accessed: Jun.05, 2022. [Online]. Available: <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/sitekin/article/view/9491>
- [19] E.Widiastuty Andn.Soewarno, "Csr Expenditure And Company Performance: Charity Or Signal? Evidence From Indonesia," *Quality Innovation Prosperity*, 2019, Doi: 10.12776/Qip.V23i3.1273.
- [20] P.Dobra, "Overall Equipment Effectiveness (Oee) Complexity For Semi-Automatic Automotive Assembly Lines," *Acta Polytechnica Hungarica*, Vol. 20, No. 2, Pp. 63–82, 2023, Doi: 10.12700/Aph.20.2.2023.2.4.
- [21] C.-Y.Lee, W.Chang, Andh.-C.Lee, "An Investigation Of The Effects Of Corporate Social Responsibility On Corporate Reputation And Customer Loyalty – Evidence From The Taiwan Non-Life Insurance Industry," *Social Responsibility Journal*, 2017, Doi: 10.1108/Srj-01-2016-0006.
- [22] B. W.Lope, A. T.Mandagi, Andj. E. .Sumampouw, "Pengaruh Penambahan Serbuk Arang Kayu Dan Serat Karung Plastik Terhadap Nilai Cbr Laboratorium Tanpa Rendam," *Jurnal Sipil Statik*, Vol. 7, No. 11, Pp. 1427–1434, 2019.
- [23] M. M.Mariani, I.Machado, V.Magrelli, Andy. K.Dwivedi, "Artificial Intelligence In Innovation Research: A Systematic Review, Conceptual Framework, And Future Research Directions," *Technovation*, Vol. 122, No. August 2022, P. 102623, 2023, Doi: 10.1016/J.Technovation.2022.102623.
- [24] T. L.Saaty, "Decision Making With The Analytic Hierarchy Process," *Scientia Iranica*, Vol. 9, No. 3, Pp. 215–229, 2002, Doi: 10.1504/Ijssci.2008.017590.
- [25] C. F.Glorya Andw.Setiafindari, "Pengukuran Kinerja Supply Chain Menggunakan Scor 12.0 Dan Ahp Pada Industri Batik Tulis," *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, Vol. 9, No. 2, Pp. 489–497, 2023.
- [26] A. A.Puji Andf. A.Yul, "Hor Model & Ahp-Topsis Untuk Pengelolaan Risiko Rantai Pasok Darah," *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Hasil Penelitian Dan Karya Ilmiah Dalam Bidang Teknik Industri*, Vol. 7, No. 1, Pp. 15–18, 2021.