

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

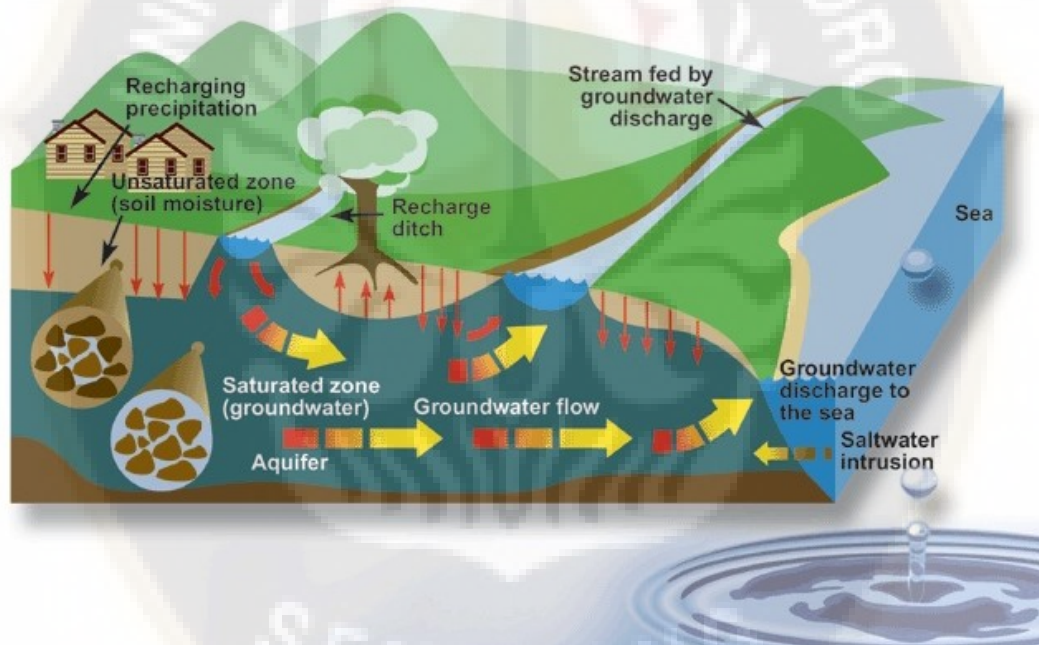
2.1. AIR TANAH

Air merupakan sumber utama dari semua kehidupan dan harus tersedia secara memadai untuk semua tuntutan yang dibutuhkan seperti kebutuhan rumah tangga, pertanian, industri, rekreasi dan ekologi (Gedam and Dagalo, 2020). Sekitar 75% permukaan bumi ditutupi oleh air. Namun ini hanya perkiraan karena sifat dinamis dan gerakan air yang permanen membuat sulit untuk secara andal menilai total cadangan air di bumi (du Plessis, 2017). Total tekanan eksternal dari paparan terkait air adalah penentu signifikan terhadap kesehatan manusia (Boelee *et al.*, 2019).

Sumber Daya Air yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan manusia jumlahnya kurang dari 1% total ketersediaan air di dunia (du Plessis, 2017) dan lebih dari 50% dari ketersediaan air tersebut dimanfaatkan dari air tanah (Milašinović *et al.*, 2019). Air tanah adalah salah satu sumber daya alam paling berharga yang mendukung kesehatan manusia dan pembangunan ekonomi. Karena ketersediaannya yang terus-menerus dan kualitas alami yang sangat baik, air tanah menjadi sumber penting pasokan air di banyak wilayah perkotaan dan pedesaan di dunia (Gedam and Dagalo, 2020).

Air cenderung tersimpan pada topografi yang lebih rendah daripada pada topografi yang lebih tinggi (Gambar 5). Oleh karena itu, semakin tinggi ketinggian, semakin kecil potensi air tanah dan sebaliknya. Oleh karena itu data ketinggian atau elevasi diperlukan untuk dipertimbangkan dalam studi sumur resapan air hujan. Kemiringan permukaan tanah adalah faktor lain yang mempengaruhi hidrologi daerah aliran sungai tertentu. Ini terutama mempengaruhi proses limpasan permukaan dan secara signifikan menentukan resapan air tanah dari suatu daerah aliran sungai. Nilai kemiringan yang lebih rendah menunjukkan medan yang lebih datar (*gentle slope*) dan nilai kemiringan yang lebih tinggi menunjukkan medan yang curam dan bergelombang. Daerah lereng yang lebih rendah dari dataran datar memungkinkan infiltrasi dan perkolasi curah hujan sementara daerah lereng yang

lebih tinggi menghasilkan limpasan cepat dari medan dan karenanya memberikan sedikit volume air untuk mengisi ulang air tanah. Dalam suatu DAS, efek gradien topografi memiliki pengaruh signifikan terhadap fluks daripada kedalaman dan gradien hidrolik. Ini dapat dikaitkan dengan masalah skala di mana efek dari gradien hidrolik air tanah dapat diabaikan tetapi efek dari gradien topografi tidak dapat diabaikan. Namun, paparan lereng lebih mempengaruhi faktor daripada gradien kemiringan untuk pengisian air tanah dan demikian juga untuk potensi air tanah (Gedam and Dagalo, 2020).



Gambar 5. Aliran Air Tanah
Sumber : (MVIHES, 2014)

Air tanah dibagi menjadi beberapa kategori menurut pada kondisi tertentu (Tabel 2). Perubahan dalam air tanah pada kondisi khusus juga dapat menyebabkan fenomena alam yang merugikan seperti banjir, salinisasi, tanah longsor, dan penurunan muka tanah (Li and Liu, 2019).

Tabel 2. Kategori air tanah pada beberapa kondisi yang berbeda.

	Under Different Condition			
	Origin	Salinity	Aquifer Property	Burial Condition
Different Categories	Infiltration Water	Fresh Water (<1)	Pore Water	Upper Stagnan Water
	Condensate	Brackish Water (1 – 3)	Fissure Water	Diving
	Primary Water	Salt Water (3 – 10)	Karst Water	Confined Water
	Buried Water	Brine (10 – 50)		
		Brine (>50)		

Sumber : (Li & Liu, 2019)

Geologi mempengaruhi porositas dan permeabilitas akuifer. Geologi atau litologi adalah salah satu parameter pengendali air tanah yang dipertimbangkan dalam studi air tanah yang memainkan peran penting dalam distribusi dan terjadinya air tanah. Permukaan lahan yang ditutupi oleh vegetasi seperti hutan dan pertanian dapat menahan air di akar tanaman sedangkan penggunaan tanah berbatu akan mempengaruhi resapan air tanah dengan meningkatkan limpasan selama curah hujan (Gedam and Dagalo, 2020).

Penggunaan lahan dan kondisi tutupan mempengaruhi siklus hidrologi dalam banyak hal terutama dengan mengubah perilaku limpasan permukaan dan demikian juga terkait pengisian ulang air tanah. Bahkan, juga mempengaruhi proses hidrologi lainnya seperti evapotranspirasi, transpirasi, infiltrasi, evaporasi dan intersepsi. Karena peningkatan populasi dan pengaruh antropogenik lainnya di banyak daerah ada perubahan penggunaan lahan dan tutupan dari satu bentuk ke bentuk lainnya (Jia *et al.*, 2019).

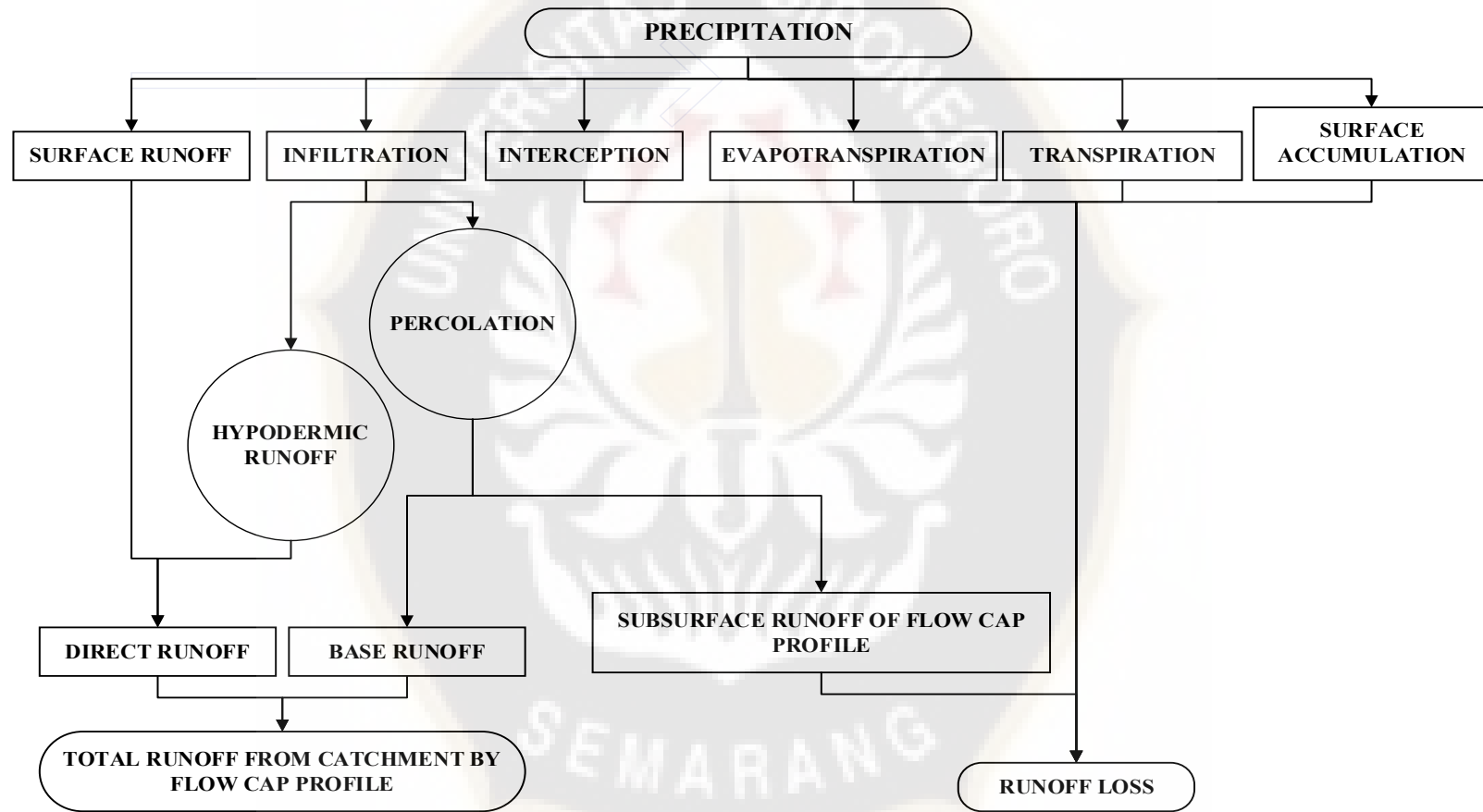
Sebagian Penggunaan lahan mendukung potensi resapan air tanah dan sementara sebagian yang lain membawa konsekuensi negatif terhadap resapan air tanah (Wang *et al.*, 2019). Misalnya, pemukiman dan daerah perkotaan menghasilkan proses limpasan yang besar dan karenanya telah mengurangi imbuhan (recharge). Area pertanian mungkin tidak berkontribusi positif terhadap air tanah tergantung pada prosedur manajemen yang diambil untuk konservasi tanah dan air (Gedam and Dagalo, 2020). Pengembangan penggunaan lahan memiliki pengaruh yang lebih kuat pada hidrologi terestrial daripada variabilitas iklim (Freitas *et al.*, 2019).

2.2. PRESIPITASI

Curah hujan memainkan peran penting dalam siklus hidrologi dan mengendalikan potensi air tanah. Keterwakilan data curah hujan adalah titik kunci dalam menentukan variabilitas spasial bidang curah hujan pada skala yang sangat kecil (Zeleňáková *et al.*, 2020). Mengetahui sifat dan karakteristik curah hujan memudahkan untuk membuat konsep dan memperkirakan pengaruhnya terhadap limpasan, infiltrasi, dan pengisian ulang air tanah. Kemungkinan resapan air tanah akan tinggi di tempat di mana curah hujan tinggi dan rendah di mana curah hujan rendah. Dapat juga dicatat bahwa fenomena imbuhan air tanah adalah hasil dari efek jangka panjang daripada tinggi atau rendah yang tidak disengaja, khususnya untuk lingkungan lembab. Oleh karena itu, lebih masuk akal untuk mempertimbangkan pengaruh curah hujan jangka panjang daripada nilai curah hujan jangka pendek untuk menentukan pengaruh curah hujan terhadap imbuhan air tanah (Gedam and Dagalo, 2020).

Pembentukan atau cara limpasan dapat dibagi menjadi jangka panjang dan pendek. Limpasan dibagi lagi menjadi permukaan, bawah permukaan dan bawah tanah. Dalam praktiknya, limpasan biasanya dibagi menjadi dua entitas yang lebih rinci: limpasan langsung dan limpasan dasar. Sementara limpasan langsung meliputi air mengalir ke permukaan, limpasan dasar sebagian besar terdiri dari air tanah saja (Gambar 6). Curah hujan dapat menurunkan atau menaikkan level air tanah, biasanya beberapa centimeter.

Aliran dasar dalam aliran alami disuplai dengan air dari air tanah yang dangkal, dan aliran ini kemudian menjadi bagian dari jaringan hidrografi. Dalam cekungan alami yang besar, limpasan dasar dapat menjadi komponen penting limpasan, dan jarang itu dapat menjadi signifikan di cekungan kecil pada perkotaan di mana limpasan permukaan terjadi.



Gambar 6. Skema Presipitasi
 Sumber : (Zeleňáková et al., 2020)

faktor yang menentukan sifat limpasan yaitu faktor iklim, faktor geografis, dan faktor antropogenik. Sumber utama limpasan permukaan adalah presipitasi atmosfer. Jumlah, luas dan waktu distribusi telah menentukan mode aliran air. Curah hujan membentuk bagian dari siklus sirkulasi air alami, yang memastikan pemulihan air permukaan dan air tanah (Zeleňáková *et al.*, 2020).

Perubahan kondisi permukaan tanah dan iklim mempengaruhi perubahan curah hujan, limpasan dan frekuensi banjir pada berbagai skala tangkapan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa frekuensi limpasan areal dipengaruhi paling signifikan oleh perubahan rata-rata klimatologis dan koefisien variasi curah hujan titik positif, kapasitas menahan air tanah, kedap air, dan skala korelasi spasial dari curah hujan titik positif yang memungkinkan terjadinya curah curah hujan ekstrem, dan bahwa sejumlah kecil statistik orde rendah curah hujan titik dapat menggambarkan frekuensi limpasan areal mengingat model distribusi probabilitas bersyarat untuk titik presipitasi dan area limpasan (Norouzi *et al.*, 2019).

Proses urbanisasi menentukan banyak perubahan dalam faktor fisik dan geografis yang tercermin dalam modifikasi kuantitatif efek kubah, modifikasi kualitatif aerosol, dan perubahan keseimbangan radiatif. Mengurangi intersepsi vegetasi, mengurangi peran topografi mikrodepresi alami dan mengurangi infiltrasi menyebabkan curah hujan yang tinggi dan banjir perkotaan (Mares, 2018).

Risiko bencana banjir berskala besar semakin meningkat dengan adanya perubahan iklim. Suhu udara rata-rata telah meningkat secara global sebesar $0,72^{\circ}\text{C}$ sejak abad ke-19, dan di wilayah Asia Timur, peningkatan curah hujan yang tinggi terkait dengan banjir yang sering dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur, mata pencaharian, dan pemukiman (IPCC, 2014).

Beberapa daerah di Pekalongan sudah di bawah rata-rata permukaan laut, kemungkinan besar sebagai dampak dari penurunan muka tanah. Dengan demikian, setelah laju penurunan muka tanah diterapkan dalam model, ditunjukkan bahwa setelah setahun, ketinggian genangan banjir meningkat pada kisaran 8 - 14 cm. Proyeksi lebih lanjut menunjukkan bahwa pada tahun 2025, ketinggian genangan di Jeruksari mendekati 1,5 meter sedangkan pada tahun 2050, mungkin mencapai

2,51 meter. Pada tingkat ini, banjir dapat sangat merusak kehidupan kota di Pekalongan. Seperti yang terjadi di Jakarta, tanggul pantai yang menjaga daerah pesisir adalah salah satu solusi yang diusulkan. Namun, ini hanya untuk jangka pendek karena penurunan muka tanah akan menurunkan ketinggian tanggul. Sangat disarankan untuk mengontrol konsumsi air tanah untuk melawan penurunan muka tanah dan ancaman banjir (Pratama, 2019).

Infrastruktur konvensional (*gray infrastructure*) telah banyak digunakan untuk mengurangi risiko bencana banjir tetapi mungkin tidak cukup untuk mencegah bencana di masa depan karena besarnya dan intensitas bencana, peningkatan biaya pemeliharaan, dan pendapatan pajak yang terbatas. Di bawah kondisi alam dan sosial ekonomi ini, infrastruktur hijau telah mendapatkan perhatian sebagai salah satu strategi adaptasi terhadap banjir besar.

Infrastruktur hijau (*green infrastructure*) didefinisikan sebagai “jaringan strategis wilayah alami dan semi alami yang direncanakan secara strategis dengan fitur lingkungan lainnya yang dirancang dan dikelola untuk merancang berbagai layanan ekosistem seperti pemurnian air, kualitas udara, ruang untuk rekreasi dan mitigasi dan adaptasi iklim. Infrastruktur hijau lebih unggul dari infrastruktur konvensional dalam hal biaya pengenalan dan pemeliharaan serta ketentuan layanan ekosistem. Dengan demikian, pemanfaatan infrastruktur hijau dan/atau kombinasi infrastruktur konvensional dan infrastruktur hijau adalah solusi yang memungkinkan untuk pengurangan risiko bencana di masa mendatang (Yamanaka *et al.*, 2020).

Infrastruktur yang dapat digunakan dalam penanganan banjir menggunakan pendekatan teknologi infiltrasi ataupun retensi. Teknologi infiltrasi air hujan, antara lain *marshes*, lubang resapan (Sa’ud and Wiguna, 2013; Putra and Suprayogi, 2014; Muliawati and Mardiyanto, 2015), tangki, sistem bioreaktor, jalur berpori dengan fitur karakteristiknya membantu mengembalikan jumlah air tanah melalui limpasan bawah permukaan. Teknologi retensi air hujan, antara lain: *wetlands*, kolam (Wahyudi, 2010), *vegetation roofs*, pengumpulan curah hujan (tangki dan tangki

penyimpanan). Cirinya membantu menjaga air hujan di tempat hujan dan bertindak untuk mengurangi limpasan (Zeleňáková *et al.*, 2020).

2.3. INFILTRASI

Zona deep vadose memiliki sistem dinamik nonlinier “*balance-unbalance-balance*” dan infiltrasi air merupakan proses nonlinier yang khas. Mekanisme pembentukan terdiri dari vektor parameter kontrol internal yang ditentukan oleh litologi zona vadose yaitu ukuran partikel tanah, retensi spesifik tanah, dan konduktivitas hidrolik tanah, dan eksternal ditentukan oleh curah hujan, penguapan dan aktivitas manusia.

Waktu dan skala ruang cukup besar membantu sistem non-otonom berubah menjadi sistem bebas dan sistem linear. Ketika sistem cenderung konstan, sistem menjadi sistem bebas dan proses infiltrasi akan ditentukan oleh karakteristik litologi tanah pada setiap lapisan di zona vadose. Parameter ukuran partikel tanah dan retensi spesifik tanah dapat konstan pada kedalaman tertentu, sedangkan parameter konduktivitas hidrolik tanah adalah variabel yang berubah sesuai dengan kadar air tanah. Kedalaman aerasi menjadi lebih besar jika terjadi penurunan tingkat air tanah yang terus-menerus. Ini adalah sistem nonlinier khas di bawah interaksi curah hujan, penguapan dan aktivitas manusia (He and Wang, 2019).

Infiltrasi terdiri dari proses langsung, tidak langsung, buatan dan lokal, yang tumpang tindih dan tidak saling eksklusif. Kemampuan infiltrasi tinggi dapat terjadi jika lahan memiliki permeabilitas yang baik. Sebagian besar area perkotaan memiliki potensi perkotaan yang rendah jika memiliki permeabilitas yang rendah. Infiltrasi dengan potensi air tanah memiliki hubungan linier (Freitas *et al.*, 2019).

Potensi imbuhan dapat ditingkatkan melalui peningkatan infiltrasi ke dalam air tanah dengan menggunakan infrastruktur yang sesuai. Instalasi dapat dilakukan salah satunya pada area yang memiliki jaringan aliran air terputus-putus dan singkat (Shanafiel *et al.*, 2020). Peningkatan potensi air tanah dengan sumur resapan memberikan kemampuan resapan air yang stabil dan penyimpanan air hujan ke dalam akuifer sebagai regenerasi air tanah. Desain infiltrasi yang tepat pada lokasi

yang akurat akan membantu masuknya air seperti dalam kondisi alami, khususnya pada area padat bangunan. Regenerasi air tanah akan meningkatkan kuantitas bahkan kualitas air tanah, baik pada parameter fisik, kimia, maupun biologi.

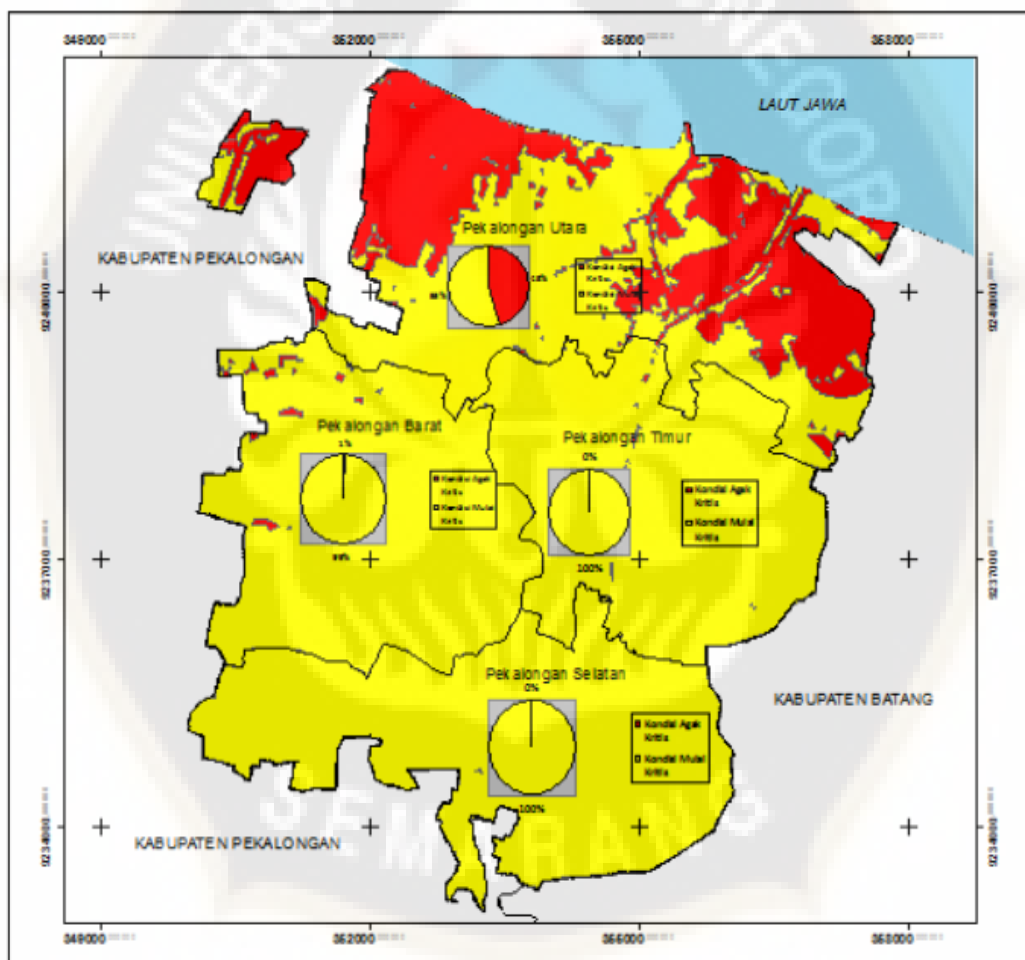
Infiltrasi juga berhubungan dengan kerentanan air tanah. Hasil studi sebelumnya terkait kerentanan air tanah intrinsik menyatakan bahwa kota pekalongan memiliki kerentanan sedang hingga sangat tinggi (Putranto *et al.*, 2016). Intensitas curah hujan dan impermeabilitas perkotaan memainkan peran penting dalam perubahan infiltrasi tanah yang mempengaruhi proses limpasan perkotaan. Di bawah intensitas hujan yang rendah dan impermeabilitas perkotaan, ada nilai kritis dari laju infiltrasi yang stabil. Nilai kritis tidak konstan tetapi meningkat dengan intensitas curah hujan dan peningkatan impermeabilitas perkotaan. Dibandingkan dengan mengubah tingkat infiltrasi awal tanah, mengubah tingkat infiltrasi yang stabil atau keseluruhan infiltrasi dapat mengurangi banjir perkotaan secara lebih efektif (Ren *et al.*, 2020).

Daerah resapan air secara kontinyu mengalami penurunan maka timbul berbagai permasalahan lingkungan, seperti tingginya volume air larian permukaan atau limpasan sebagai pemicu terjadinya bencana banjir. Kondisi resapan air di wilayah Kota Pekalongan (Gambar 7) yaitu kondisi agak kritis (16%) dan kondisi mulai kritis (84%) (Adibah *et al.*, 2013).

Infrastruktur resapan air di perkotaan sangat mendesak untuk dibangun guna melestarikan sumberdaya air tanah dan mencapai keseimbangan sumber daya air secara keseluruhan dengan mengacu pada prinsip pengelolaan air perkotaan sebagai berikut :

1. untuk mengelola siklus air kota secara berkelanjutan (dengan mempertimbangkan permukaan dan air tanah serta wilayah sungai dan dampaknya terhadap erosi tanah);
2. untuk menjaga dan mengembalikan rezim aliran sedekat mungkin dengan karakter alami;
3. untuk melindungi dan memulihkan kualitas air (air permukaan dan air tanah);
4. untuk melindungi dan memulihkan kesehatan air hujan;

5. untuk melestarikan sumber daya air (dengan mempertimbangkan air hujan yang dianggap sebagai sumber daya);
6. untuk memperkuat lanskap perkotaan dan kesejahteraan dengan memasukkan langkah-langkah pengelolaan air hujan yang menawarkan banyak manfaat bagi lanskap (Zeleňáková *et al.*, 2020).



Gambar 7. Peta Sebaran Kondisi Resapan Air Kecamatan di Kota Pekalongan

Keterangan : = mulai kritis; = agak kritis

Sumber : (Adibah, Kahar and Sasmito, 2013)

2.4. SUMUR RESAPAN AIR HUJAN

Upaya memaksimalkan resapan air salah satunya dapat menggunakan sumur resapan (Putra and Suprayogi, 2014; Muliawati and Mardyanto, 2015). Sumur

resapan merupakan poros atau lubang resapan berdiameter besar yang digali atau dibor untuk memotong material permeabilitas rendah yang ada di dekat permukaan tanah. Diameter besar menyediakan penyimpanan air dan area permukaan yang lebih besar untuk infiltrasi lateral. Sumur resapan dibangun untuk menciptakan sistem hibrida. Cekungan menyediakan penyimpanan dan peningkatan kualitas air, sementara sumur resapan memungkinkan tingkat infiltrasi yang lebih besar dengan memintas strata yang kurang konduktif yang terletak di dekat permukaan tanah. (Maliva, 2020b).

Berdasarkan SNI 8456:2017 mengenai sumur dan parit resapan air hujan, bahwa persyaratan umum yang harus dipenuhi kaitannya dengan sumur resapan air hujan yaitu:

- a) Sumur resapan ditempatkan pada lahan yang relatif datar dengan kemiringan maksimum $<2\%$;
- b) Air yang masuk ke dalam sumur resapan adalah limpasan air hujan;
- c) Sumur resapan air hujan bisa dibuat secara individual dan komunal;
- d) Harus memperhatikan peraturan daerah setempat;
- e) Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui oleh instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis lainnya juga diatur dalam pembuatan sumur resapan, diantaranya yaitu:

- a) Sumur resapan air hujan yang digunakan untuk kedalaman air tanah >2 m, jika kedalaman air tanah < 2 m bisa menggunakan parit resapan air hujan.
- b) Penampang sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran, dimungkinkan untuk bentuk lainnya dengan memperhatikan kemudahan dalam pengerjaan;
- c) Ukuran sisi penampang sumur resapan air hujan 80 cm sampai dengan 100 cm;
- d) Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai koefisien permeabilitas tanah > 2.0 cm/jam, dengan klasifikasi dalam Tabel 3 sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai koefisien permeabilitas tanah

Koefisien Permeabilitas Tanah	Nilai	Jenis Tanah
Sedang	2,0 – 3,6 cm/jam atau 0,48 – 0,864 m ³ /m ² /hari	Lanau
Agak Cepat	3,6 – 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 m ³ /m ² /hari	Pasir halus
Cepat	>36 cm/jam atau 8,64 m ³ /m ² /hari	Pasir kasar

Sumber : (Republik Indonesia, 2017c)

- e) Periode ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali terlampaui;
- f) Intensitas hujan ditentukan dengan analisis Intensity Duration Frequency (IDF) dari daerah lokasi pembangunan dengan durasi hujan 2 jam dan periode ulang 2 tahunan, dengan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

Metode Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

T : Lamanya curah hujan/durasi curah hujan (jam)

R₂₄ : Curah hujan rencana dalam suatu periode ulang, yang nilainya didapat dari tahapan sebelumnya (tahapan analisis frekuensi)

- g) Koefisien limpasan (c) ditetapkan sebesar 0,95.
- h) Luas bidang tadah yang mempunyai kemiringan seperti atap rumah ditetapkan sebagai luas bidang proyeksi.
- i) Debit limpasan dihitung dengan metode rasional dengan parameter koefisien limpasan (c), intensitas hujan dan luas bidang tadah;
- j) Rumus yang dapat digunakan untuk perhitungan kedalaman sumur (H) dapat dilihat pada persamaan :

$$H = \frac{Q}{\omega \pi r K} \dots\dots\dots(2)$$

Harga $\omega = 2$, untuk sumur kosong berdinding kedap air atau sumur tanpa dinding dengan batu pengisi

Harga $\omega = 5$, untuk sumur kosong berdinding porous.

Keterangan :

H : kedalaman parit (m)

R : panjang parit (m)

K : lebar parit (m)

Q : debit andil banjir

$Q = C.I.A$ (m³/jam).....(3)

Pemerintah Indonesia telah menetapkan 4 (empat) tipe konstruksi sumur resapan air hujan yang dapat digunakan sebagai acuan. Tipe konstruksi yang dipilih sebaiknya menyesuaikan dengan karakteristik wilayah dan ketersediaan anggaran. Konstruksi sumur resapan yang sesuai akan memaksimalkan aliran infiltrasi dan memudahkan penduduk dalam melakukan pemeliharaan. Tipe konstruksi sumur resapan air hujan sebagai berikut :

Tipe I Sumur resapan air hujan dengan dinding tanah

Tipe II Sumur resapan air hujan dengan dinding pasangan batako/bata merah tanpa dipelester, dan diantara pasangan diberi celah lubang

Tipe III Sumur resapan air hujan dengan dinding buis beton

Tipe IV Sumur resapan air hujan dengan dinding buis beton porous

(Republik Indonesia, 2017c)

2.5. SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS

Sistem informasi geografis (SIG) efektif untuk studi eksplorasi dan pemetaan air tanah. SIG dianggap sebagai alat vital untuk studi air tanah, terutama untuk sistem yang rumit. SIG menawarkan fleksibilitas tinggi dalam integrasi data spasial dengan berbagai analisis matematika, statistik, dan teknik pengambilan keputusan (Thomas, 2015; Achu et al., 2020). SIG mampu menyimpan, mengelola/menganalisis dan memvisualisasikan data temporal, spasial dan non-spasial yang besar. SIG merupakan alat yang paling efisien untuk menangani data geometri dan

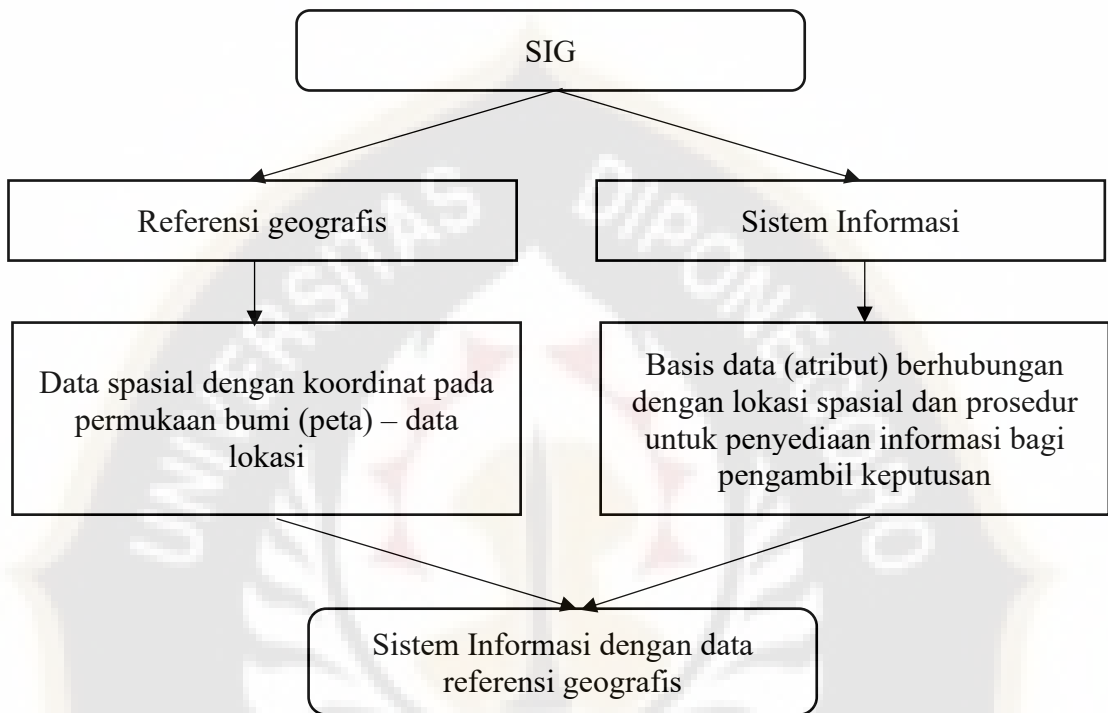
alfanumerik. Ini membuat SIG sebagai kandidat yang sempurna untuk memajukan dan memfasilitasi pengelolaan sejumlah besar data dan lingkungan yang kompleks (Rossetto *et al.*, 2018).

Sistem informasi geografis merepresentasikan permukaan bumi dalam bentuk peta digital yang mudah dilihat, dinilai dan memiliki informasi spasial (Gambar 8). Peta tersebut terdiri dari titik, garis dan poligon dilengkapi dengan sistem koordinat (*latitude* dan *longitude*) yang digambarkan dengan skala dan proyeksi secara spesifik (Benjmel *et al.*, 2020).

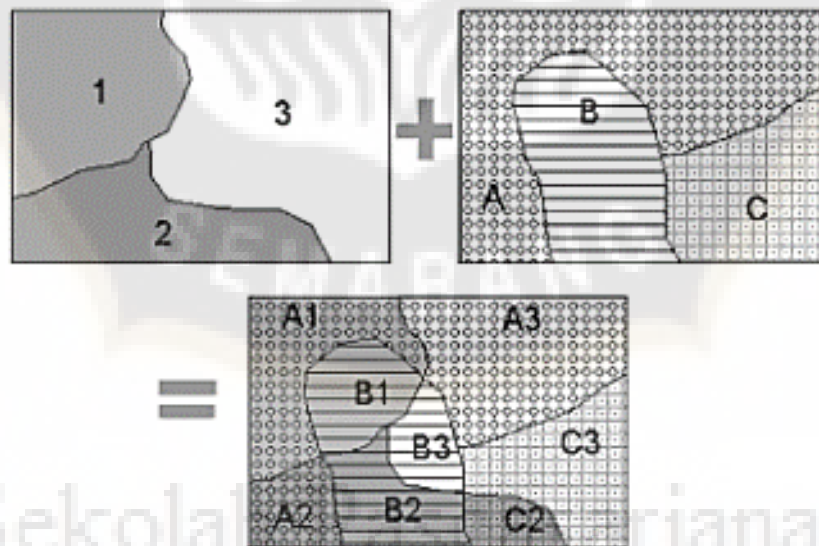
Pada penentuan zona potensi air tanah dan resapan air dimulai dengan teknik *overlay* pada peta tematik (Gambar 9). Penerapan *overlay* peta dengan menumpuk poligon *pada* peta satu dengan yang lain untuk menghasilkan peta baru menjadi poligon baru kombinasi. Peta yang dilakukan *overlay* harus memiliki kesamaan batas yang tepat. Batas yang tepat antar peta hanya dapat terjadi jika peta memiliki skala dan proyeksi yang sama. Untuk memiliki bentuk yang tepat sama, dapat dilakukan transformasi skala dan proyeksi sebelum dilakukan analisis geografis.

SIG memberikan efektifitas untuk perhitungan berbasis data geostatistik yang asli dan seragam. Geostatistik sering digunakan dalam operasi SIG di berbagai bidang, baik spasial ataupun non spasial, diadopsi dari teknik interpolasi. Interpolasi disebut juga deterministik menghasilkan permukaan yang diciptakan melalui titik yang terukur. Metode pembobotan jarak terbalik ini atau titik smoothing analisis kecenderungan permukaan. Interpolasi geostatistik berdasarkan model prediksi permukaan, kriging, menghadapi adanya kesalahan dan ketidakpastian dari prediksi. Metode GIS dan geostatistik merupakan alternatif kuat untuk melakukan interpolasi dan analisis data spasial (Benjmel *et al.*, 2020).

Sekolah Pascasarjana



Gambar 8. Flowchart SIG
Sumber : (Benjmel et al., 2020)



Gambar 9. Ilustrasi overlay peta
Sumber : (Benjmel et al., 2020)

Visualisasi data spasial dari output peta SIG memiliki keterangan yang jelas dengan beberapa kelompok poligon berwarna atau memiliki motif tertentu. Hal tersebut memberikan penggambaran yang jelas bagi pengguna data umum maupun

ahli. SIG dapat membangun bermacam tema dan sangat mendukung untuk keperluan operasional database seperti membuat data spasial baru, memperbarui data, dan perhitungan. Akurasi peta bergantung pada kualitas data yang diinput. SIG merupakan alat pengambilan keputusan yang penting dan memberikan pengaruh signifikan, baik pada administrasi, kebijakan, maupun instruksi (Benjmel *et al.*, 2020). Hasil analisis berbasis SIG sesuai untuk mengembangkan rencana aksi jangka panjang untuk pengelolaan air tanah berkelanjutan di suatu wilayah (Achu *et al.*, 2020).

2.6. PERAN SERTA MASYARAKAT

Manusia tidak dapat dipisahkan dari lingkungannya. Manusia dipengaruhi oleh lingkungannya dan manusia sama-sama memberikan pengaruhnya terhadap lingkungannya. Konsep lingkungan hidup memberikan beberapa dasar untuk memahami interaksi ini. Sedangkan determinisme lingkungan menyatakan bahwa manusia berada dalam cengkeraman lingkungannya sedemikian rupa sehingga semua yang dilakukan atau dilakukan oleh manusia ditentukan oleh lingkungannya, kemungkinan lingkungan menyiratkan bahwa manusia dapat mengubah lingkungannya sedemikian besar untuk memenuhi keinginan dan kebutuhannya. Pendudukan suatu masyarakat dapat dipengaruhi secara signifikan oleh kondisi lingkungan yang ada. Hubungan antara manusia dan lingkungannya mungkin “akomodatif” dalam banyak hal. Namun, jika hubungan tersebut terlalu tegang, konsekuensi yang merugikan dapat terjadi (Alphonsus Oriaiifo *et al.*, 2020).

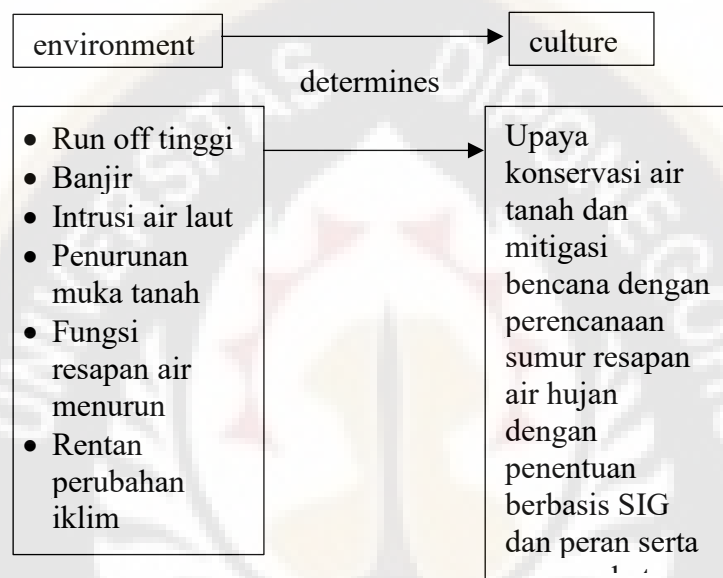
Pengelolaan air tanah bukan hanya tentang pengisian akuifer tetapi juga tentang pengelolaan sumberdaya air tanah secara komprehensif, termasuk mengakui peran air tanah dalam lingkungan dan dalam memberikan jasa lingkungan. Semua ini perlu menjadi bagian dari proses pada skala lokal, mengingat keunikan atomistik penggunaan air tanah. Selain itu, jumlah agregat pengambilan air tanah akan memiliki konsekuensi yang berbeda dalam pengaturan akuifer regional. Perlu adanya proses pemahaman akuifer dan proses sosial katalisator keputusan dan tindakan masyarakat atau secara kolektif (Joshi *et al.*, 2019).

Upaya mewujudkan konservasi air tanah melalui peningkatan kualitas dan kuantitas air tanah dengan infiltrasi di Kota Pekalongan merupakan wujud dari environmental determinism (Gambar 10). Berbagai pencemaran dan kerusakan lingkungan memicu tumbuhnya budaya baru dalam pengelolaan air tanah. Keinginan masyarakat untuk bebas dari bahaya banjir dan bencana lainnya menjadi semangat untuk melakukan perubahan dengan disertai adanya edukasi lingkungan hidup dari berbagai pihak yang peduli. Kota Pekalongan telah memiliki kelompok peduli lingkungan yang secara rutin melakukan kegiatan bersih sungai dan patroli sungai, serta melakukan sosialisasi terhadap masyarakat akan pentingnya mengelola lingkungan secara berkelanjutan. Kelompok masyarakat memiliki organisasi yang bernama Komunitas Peduli Kali Loji (Az Zahra, 2017).

Integrasi antara pengetahuan ilmiah tentang akuifer, keputusan tingkat masyarakat tentang pasokan dan permintaan air tanah, tindakan tentang penggunaan air tanah yang efisien dan adil, fungsi peraturan dan kerangka kelembagaan menentukan tata kelola air tanah. Tata kelola air tanah sama pentingnya dengan keputusan dan tindakan dalam pengelolaan air tanah. Mengingat kecenderungan di negara berkembang terhadap akses desentralisasi ke sumberdaya air tanah, pendekatan bottom-up untuk tata kelola air tanah diperlukan guna mempertahankan upaya masyarakat dan peraturan pemerintah melalui instrumen langsung dan tidak langsung dari pengelolaan sumberdaya air tanah (Joshi *et al.*, 2019).

Studi terkait mengkonfirmasi bahwa kepentingan individual dalam eksploitasi sumberdaya air tanah akan menimbulkan kerugian secara umum bagi komunitas sosial disekitarnya, bahkan menimbulkan dampak secara regional. Inisiatif untuk melakukan perbaikan pengelolaan air tanah secara bottom up dari komunitas lokal terbukti berhasil dalam meningkatkan kuantitas dan kualitas air tanah. Aksi lokal yang dilakukan secara kolektif dan berkesinambungan yang dimulai dari sejumlah kecil kelompok hingga akhirnya dilakukan sekelompok besar masyarakat mendatangkan hasil perbaikan sumberdaya air tanah yang lebih signifikan bila dibandingkan dengan penerapan kebijakan command and control

yang menerapkan sanksi dan hukuman bagi pelanggar aturan pengelolaan air tanah yang diterapkan oleh pemerintah (Shalsi *et al.*, 2019).



Gambar 10. Environmental Determinism di Kota Pekalongan

Aksi kolektif dalam pengelolaan resapan air di Australia yang dilakukan dengan metode “pengelolaan bersama” (*co-management*) antara penduduk dengan pemerintah setempat antara lain : melakukan pembatasan penggunaan air tanah dengan mengeluarkan aturan lisensi pengguna air tanah, penduduk membentuk tim untuk melakukan kontrol penggunaan air tanah secara rutin dan terukur melalui pembangunan sumur pemantau sedalam 6m di lokasi yang kritis, koordinator petani mengusulkan substitusi penggunaan air tanah menjadi air danau sebagai sumber air irigasi, para petani membangun instalasi penyuntikan air danau ke dalam akuifer untuk ditabung selama 3 tahun dan tidak boleh dimanfaatkan sampai batas waktu yang ditetapkan berakhir, dan petani melakukan substitusi produk pertanian yang tidak membutuhkan air dalam jumlah besar (Shalsi *et al.*, 2019).

Dampak positif yang didapatkan yaitu penurunan pemompaan air tanah sebesar 80%, petani mendapatkan hasil ekonomi yang lebih baik dengan penurunan sejumlah penggunaan air, pemulihan akuifer dengan adanya penurunan tingkat salinitas dan peningkatan level muka air tanah, dan terbentuknya keamanan terhadap kebutuhan pasokan air baku dimasa mendatang bahkan mempengaruhi hingga ketahanan tingkat regional. Keberhasilan pengelolaan bersama

meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan mengembalikan fungsi lingkungan hidup. Pengelolaan bersama menimbulkan rasa kepemilikan bagi masyarakat sehingga dapat memelihara inisiatif untuk segera menyelesaikan permasalahan pengelolaan air tanah secara sukarela dengan mendapat dukungan dan arahan dari pemerintah (Shalsi *et al.*, 2019).

2.7. ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS

Pengambilan keputusan multi-kriteria (*Multi Criteria Decision Making – MCDM*) yang digunakan oleh banyak analis di seluruh dunia memiliki beberapa teknik. Metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) memiliki keuntungan dengan memberikan struktur keputusan yang komprehensif kepada evaluator dan memeriksa konsistensi respons yang tidak terhindarkan dalam kasus evaluator awam. Evaluator harus melengkapi dengan struktur hierarki yang jelas dari elemen pengelolaan air tanah (Tabel 4). Pemeriksaan konsistensi juga disarankan karena karakteristik non-ahli dari grup evaluator.

Tabel 4. Skala penilaian tingkat kepentingan

Numerical Scale	Verbal Scale
1/9	Extremely less important
1/8	
1/7	Very strongly less important
1/6	
1/5	Strongly less important
1/4	
1/3	Moderately less important
1/2	
1	Equal importance
2	
3	Moderately more important
4	
5	Strongly more important
6	
7	Very strongly more important
8	
9	Extremely more important

Sumber : Saaty (1977) dalam Duleba & Moslem (2018)

Tahap pertama dari setiap aplikasi AHP adalah menyiapkan pohon keputusan di mana elemen keputusan dirancang dalam urutan hierarki. Level atas terhubung langsung dengan keputusan akhir, level bawah dihubungkan dengan elemen-

elemen level atas. Berdasarkan hierarki tersebut, matriks perbandingan berpasangan (*Pairwise Comparison Matrices* – PCM) harus dibuat. Ini adalah asumsi AHP bahwa evaluator dapat memutuskan dengan lebih baik antara dua masalah pada satu waktu daripada menyelesaikan keputusan yang lebih kompleks di antara lebih banyak faktor. Hierarki merupakan kelompok-kelompok dalam elemen-elemen keputusan kompleks yang mengikuti cabang-cabangnya, sehingga perbandingan berpasangan dapat dibuat dengan membandingkan faktor-faktor yang termasuk dalam cabang yang sama, berdasarkan skala penilaian Saaty (Duleba and Moslem, 2018).

AHP menggunakan karakteristik khusus dari matriks perbandingan berpasangan. PCM teoretis bersifat kuadrat, timbal balik, dan konsisten. Matriks A dianggap konsisten jika semua elemennya positif, transitif, dan resiprokal.

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \dots \dots \dots (4)$$

$$a_{ik} = a_{ij} \cdot a_{jk} \dots \dots \dots (5)$$

Pembuat keputusan kemungkinan besar tidak mengevaluasi PCM secara konsisten. Jadi, untuk aplikasi AHP, metode eigenvector dapat digunakan untuk memperoleh skor bobot elemen keputusan, namun hanya dalam kasus-kasus tersebut, di mana evaluasi berpasangan memenuhi toleransi inkonsistensi, diukur dengan Rasio Konsistensi, Akibatnya, selama proses AHP konsistensi jawaban harus diperiksa dengan *Consistency Index* (CI) Saaty dan *Consistency Ratio* (CR):

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \dots \dots \dots (6)$$

dimana CI adalah indeks konsistensi, λ_{max} adalah nilai eigen maksimum dari PCM dan n adalah jumlah baris dalam matriks. CR dapat ditentukan dengan:

$$CR = \frac{CI}{RI} \dots \dots \dots (7)$$

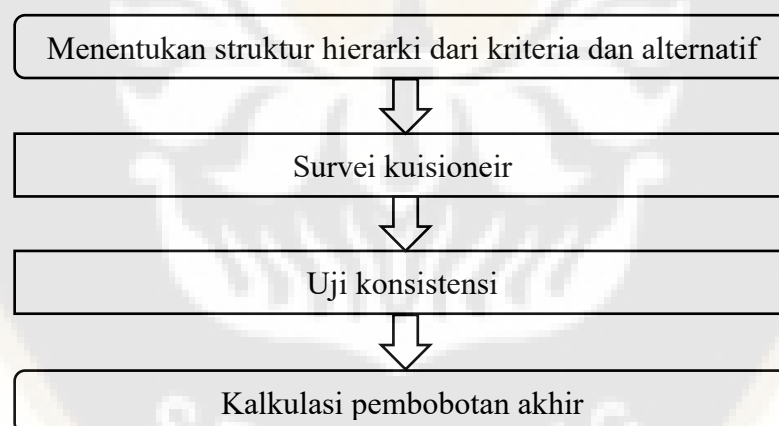
Saaty menyediakan hasil perhitungan nilai RI untuk matrik dengan beberapa ukuran berbeda yang ditunjukkan pada Tabel 5 berikut ini

Tabel 5. Indeks konsistensi Acak

N	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Sumber : Saaty (1977) dalam Duleba & Moslem (2018)

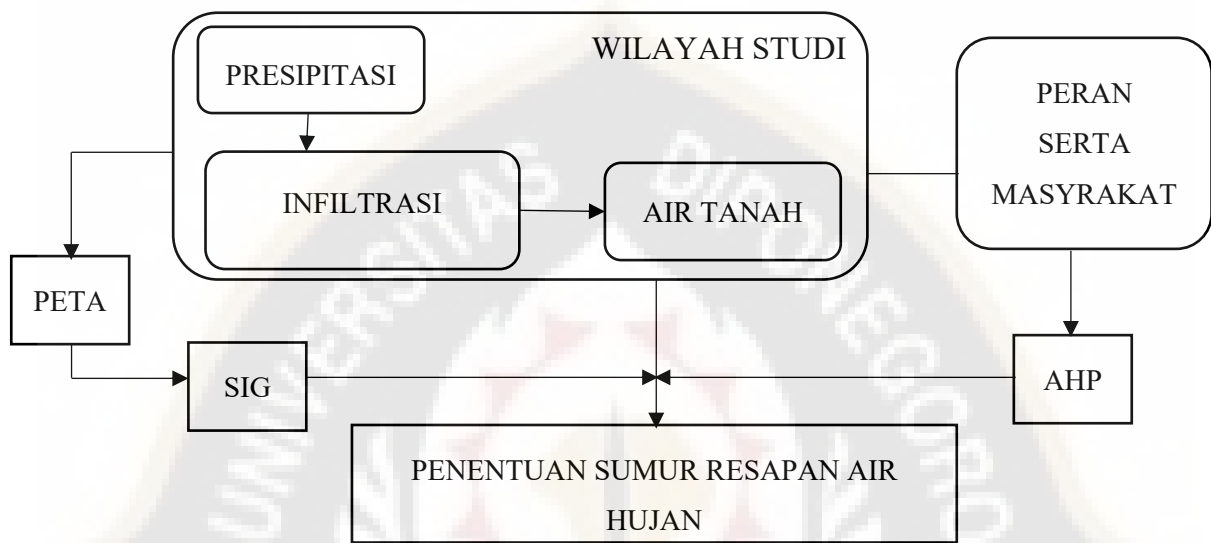
Dimana RI adalah indeks konsistensi acak. Ambang batas juga ditentukan oleh Saaty, jika CR di bawah 0,1 ($CR < 0,1$), PCM dianggap dapat diterima dari sudut pandang inkonsistensi. Karena sebagian besar aplikasi AHP melibatkan beberapa evaluator, skor individu harus dikumpulkan, dan menghindari pembalikan peringkat, perhitungan rata-rata geometris dari skor evaluator masing-masing direkomendasikan untuk menentukan hasil agregat. Langkah pelaksanaan analisis AHP secara jelas ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram alir proses AHP
Sumber : (Duleba & Moslem, 2018)

2.8. KERANGKA TEORI PENELITIAN

Tinjauan pustaka ini disusun berdasarkan teori literatur yang dibutuhkan dalam melaksanakan penelitian. Tinjauan pustaka memberikan arahan terhadap langkah yang harus dilakukan terkait pencapaian tujuan dan manfaat penelitian, dapat menjawab pertanyaan dalam rumusan masalah, memberikan arahan terhadap penerapan metodologi penelitian, pengolahan dan analisis data, serta pembahasan dan kesimpulan yang sesuai. Berikut kerangka teori penelitian dalam studi ini (Gambar 12).



Gambar 12. Kerangka Teori Penelitian