



AGROHIDROLOGI

Andi Masnang
Fadhila Aziz
Henly Yulina
Septrial Arafat
Sujadi Priyansah
Anita Dwy Fitria
Utik Tri Wulan Cahya
Abdi Suprayitno
Suci Ristiyana
Erni Dwi Puji Setyowati



AGROHIDROLOGI

**Andi Masnang
Fadhila Aziz
Henly Yulina
Septrial Arafat
Sujadi Priyansah
Anita Dwy Fitria
Utik Tri Wulan Cahya
Abdi Suprayitno
Suci Ristiyana
Erni Dwi Puji Setyowati**



GETPRESS INDONESIA

AGROHIDROLOGI

Penulis : Andi Masnang

Fadhila Aziz

Henly Yulina

Septrial Arafat

Sujadi Priyansah

Anita Dwy Fitria

Utik Tri Wulan Cahya

Abdi Suprayitno

Suci Ristiyana

Erni Dwi Puji Setyowati

ISBN : 978-623-125-071-1

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatrini Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit: GETPRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tangah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Februari 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadiran Allah SWT, atas limpahan rahmat dan hidayahNya, maka Penulisan Buku dengan Judul Agrohidrologi dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini berisi mengenai konsep, prinsip dasar dan ruang lingkup ilmu hidrologi dalam bidang pertanian, faktor-faktor dan komponen parameter yang mempengaruhi siklus hidrologi, konsep presipitasi dan karakteristik serta mekanisme perhitungan dan pengukurannya, konsep evapotranspirasi dan karakteristik serta mekanisme perhitungan dan pengukurannya, konsep filtrasi dan karakteristik serta mekanisme perhitungan dan pengukurannya, limpasan permukaan, airtanah, dan irigasi.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi Perguruan Tinggi yang mudah dipahami.

Padang, Februari 2024
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 KONSEP, PRINSIP DASAR DAN RUANG LINGKUP	
ILMU HIDROLOGI DALAM BIDANG PERTANIAN.....	1
1.1 Pendahuluan.....	1
1.2 Konsep Hidrologi dalam Bidang Pertanian	2
1.3 Prinsip Dasar Hidrologi dalam Bidang Pertanian	7
1.3 Ruang Lingkup Ilmu Hidrologi dalam Bidang Pertanian	12
DAFTAR PUSTAKA	15
BAB 2 HIDROLOGI.....	20
2.1. Pengertian dan Ruang Lingkup	20
2.2. Siklus Hidrologi	21
2.3. Jenis-jenis Siklus Hidrologi	26
2.4. Pentingnya Siklus Hidrologi	29
DAFTAR PUSTAKA	32
BAB 3 FAKTOR-FAKTOR DAN KOMPONEN	
PARAMETER YANG MEMPENGARUHI SIKLUS	
HIDROLOGI.....	34
3.1 Pendahuluan.....	34
3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siklus Hidrologi.....	35
3.3 Komponen yang Mempengaruhi Siklus Hidrologi	42
DAFTAR PUSTAKA	48
BAB 4 KONSEP PRESIPITASI, KARAKTERISTIK,	
MEKANISME, PERHITUNGAN DAN PENGUKURANNYA.....	54
4.1 Pendahuluan.....	54
4.2 Konsep Presipitasi.....	54
4.3 Mekanisme Presipitasi.....	58
4.4 Karakteristik Presipitasi	60

4.5 Pengukuran dan Perhitungan Presipitasi.....	61
DAFTAR PUSTAKA	73
BAB 5 KONSEP EVAPOTRANSPIRASI, KARAKTERISTIK, MEKANISME, PERHITUNGAN DAN PENGUKURANNYA	74
5.1 Pendahuluan	74
5.2 Konsep Evapotranspirasi	74
5.3 Karakteristik Evapotranspirasi	75
5.4 Mekanisme Evapotranspirasi.....	77
5.5 Perhitungan dan Pengukuran Evapotranspirasi	78
DAFTAR PUSTAKA	84
BAB 6 KONSEP INFILTRASI, MEKANISME, PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN.....	85
6.1 Infiltrasi	85
6.2 Konsep dan Mekanisme Infiltrasi	85
6.3 Faktor Yang Mempengaruhi Infiltrasi.....	87
6.4 Metode Pengukuran Infiltrasi	94
6.5 Perhitungan Laju Infiltrasi	97
DAFTAR PUSTAKA	99
BAB 7 LIMPASAN PERMUKAAN.....	101
7.1 Limpasan Permukaan.....	101
7.2 Proses Limpasan Permukaan	101
7.3 Faktor yang Mempengaruhi.....	103
7.4 Penentuan Limpasan Permukaan.....	108
7.5 Pengukuran Limpasan Permukaan	109
DAFTAR PUSTAKA	111
BAB 8 AIRTANAH: KONSEP, PERGERAKAN, PENGELOLAAN DAN KUALITAS.....	114
8.1 Pendahuluan	114
8.2 Konsep Airtanah.....	118
8.3 Mekanisme Pergerakan Airtanah	125
8.4 Pengelolaan dan Kualitas Airtanah	128
DAFTAR PUSTAKA	131

BAB 9 FUNGSI, MANFAAT, SUMBER DAN KOMPONEN	
SALURAN IRIGASI	133
9.1 Pendahuluan.....	133
9.2 Fungsi Saluran Irigasi	134
9.3 Manfaat Saluran Irigasi	137
9.4 Sumber Air Pada Saluran Irigasi	139
9.5 Komponen Saluran Irigasi	141
DAFTAR PUSTAKA	149
BAB 10 TEKNOLOGI PENGAIRAN DI BIDANG	
AGROINDUSTRI.....	151
10.1 Pengertian.....	151
10.2 Macam-macam Saluran Irigasi dan Fungsinya.....	152
10.3 Teknologi Pengairan Irigasi	155
DAFTAR PUSTAKA	162
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Siklus Hidrologi	6
Gambar 2.1.	Siklus Hidrologi	22
Gambar 2.2.	Siklus Hidrologi Pendek.....	27
Gambar 2.3.	Siklus Hidrologi Sedang	28
Gambar 2.4.	Siklus Hidrologi Panjang.....	29
Gambar 3.1.	Siklus Hdrologi.....	44
Gambar 3.2.	Siklus Hidrologi Menunjukkan Siklus Perpindahan Air Antara Atmosfer, Litosfer, Dan Hidrosfer	46
Gambar 4.1.	Metode Rata-rata Aljabar	66
Gambar 4.2.	Metode Poligon Thiessen	68
Gambar 4.3.	Metode Isohyet	69
Gambar 4.4.	Pengukur hujan manual (kiri); pengukur hujan otomatis (kanan)	44
Gambar 5.1.	Penguapan Air dari Tanah	76
Gambar 5.2.	Komponen Kesetimbangan Energi Pada Tanaman.....	76
Gambar 5.3.	Evapotranspirasi Standar.....	77
Gambar 6.1.	Proses infiltrasi dan Perkolasi Pada Tanah	86
Gambar 6.2.	Perubahan Penggunaan Lahan	90
Gambar 6.3.	Hubungan Penggunaan Lahan dan Kemampuan Infiltrasi	91
Gambar 6.4.	Simulasi Muka Air tanah pada Berbagai Kemiringan Lahan.....	92
Gambar 6.5.	Hubungan Kelerengan dan Sifat Fisika Tanah.....	93
Gambar 7.1.	Proses Limpasan Permukaan	102
Gambar 7.2.	Berbagai Tutupan Lahan dan Kondisi Hidrologinya	107
Gambar 7.3.	Ilustrasi Kondisi Permukaan Tanah Saat Terkena Hujan	107
Gambar 7.4.	Pembagian Penampang Melintang Sungai	109
Gambar 7.5.	Alat Ukur Tinggi Muka Air Manual dan AWLR	110
Gambar 7.6.	Current Meter Sumbu Tegak.....	110
Gambar 7.7.	Current Meter Horisontal.....	111
Gambar 7.8.	Perhitungan Debit dengan Mid Area Method	111
Gambar 8.1.	Siklus Hidrologi	118
Gambar 8.2.	Akuifer Bebas	119
Gambar 8.3.	Skema Akuifer Tertekan	120

Gambar 8.4. Zona Jauh dan Zona Air Bebas	123
Gambar 8.5. Arah Pola Aliran Tanah	127
Gambar 8.6. Peta Kerentanan Pencemaran Airtanah	128
Gambar 9.1. Lima Pilar Irigasi	134
Gambar 9.2. Air Irigasi di Saluran Sekunder	136
Gambar 9.3. Pembasahan Air di Saluran Irigasi.....	137
Gambar 9.4. Sumber Air Irigasi dari Sungai	138
Gambar 9.5. Irigasi Waduk Kedungombo.....	139
Gambar 9.6. Bangunan Alat Ukur Drampel.....	142
Gambar 9.7. Bangunan Alat ukur Flume	142
Gambar 9.8. Bangunan Untuk Debit Kecil	142
Gambar 9.9. Bangunan Luas Kurang dari 1,0 ha.....	143
Gambar 9.10. Bangunan Pengatur Jaringan Tersier.....	143
Gambar 9.11. Bangunan Talang.....	144
Gambar 9.12. Bangunan Siphon	144
Gambar 9.13. Bangunan Terjunan.....	145
Gambar 9.14. Bangunan Gorong-gorong.....	145
Gambar 10.1. Saluran Primer	152
Gambar 10.2. Saluran Sekunder	152
Gambar 10.3. Saluran Tersier.....	153
Gambar 10.4. Saluran Kuartar.....	153
Gambar 10.5. Irigasi Permukaan.....	154
Gambar 10.6. Climate Smart Agriculuture	158
Gambar 10.7. Alternate Wetting And Drying.....	159

DAFTAR TABEL

Tabel 6.1. Laju Infiltrasi Pada Berbagai Kelas Tekstur Tanah	88
Tabel 6.2. Hubungan Penggunaan Lahan, Tekstur dengan Laju Infiltrasi	89
Tabel 6.3. Hubungan Penggunaan Lahan dan Potensi Infiltrasi	91
Tabel 6.4. Contoh Perhitungan Double Ring infiltrometer	95
Tabel 6.5. Contoh Perhitungan dengan Sprinkle Rain Simulator	96
Tabel 6.6. Permodelan Laju Infiltrasi	97
Tabel 7.1. Pembagian Jenis Tanah Kaitannya dengan Limpasan Permukaan	105
Tabel 8.1. Tujuan Dan Relevansi Topik Airtanah	114
Tabel 8.2. Perbedaan Airtanah Dangkal dan Dalam.....	120

BAB 1

KONSEP, PRINSIP DASAR DAN RUANG LINGKUP ILMU HIDROLOGI DALAM BIDANG PERTANIAN

Oleh Andi Masnang

1.1 Pendahuluan

Air merupakan komponen sentral dalam sistem bumi. Hal ini sangat diperlukan bagi kehidupan di bumi saat ini dan mempengaruhi hampir setiap aspek sistem pendukung kehidupan di planet kita. Dalam skala waktu yang relatif singkat, uap air di atmosfer berinteraksi dengan sirkulasi atmosfer dan sangat penting dalam membentuk zona iklim bumi. (Bengtsson *et al.*, 2014). Menurut Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC), masalah air akan menjadi salah satu konsekuensi paling rentan dari perubahan iklim seiring dengan kenaikan permukaan air laut serta tidak tersedianya air (Ganoulis & Fried, 2018).

Di sisi lain, penduduk yang semakin bertambah, sangat bergantung pada pertanian, yang sangat sensitif terhadap iklim. Oleh karena itu, perubahan kualitas dan kuantitas air yang kurang akan mengancam ketahanan pangan (Masnang *et al.*, 2023). Perubahan suhu atmosfer juga mengubah keseimbangan radiasi, mengganggu laju penguapan, pola curah hujan, dll. Oleh karena itu, siklus hidrologi alami juga terganggu dengan seringnya terjadinya banjir dan kekeringan (Thokchom, 2020).

Kekeringan adalah salah satu fenomena meteorologi dan hidrologi ekstrem yang mempengaruhi fungsi ekosistem dan banyak sektor penting aktivitas ekonomi manusia. Di seluruh

dunia, berbagai perubahan langsung kondisi meteorologi dan iklim, seperti: suhu udara, kelembapan, dan evapotranspirasi dapat diamati. Mereka mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap pembentukan fenomena kekeringan. Tutupan lahan dan penggunaan lahan juga dapat menjadi faktor tidak langsung yang mempengaruhi evapotranspirasi, dan juga keseimbangan air di daerah tangkapan air. Perubahan iklim yang diamati, yang dimanifestasikan terutama oleh peningkatan suhu, yang pada gilirannya mempengaruhi evapotranspirasi, dapat menyebabkan intensifikasi baik dari segi derajat maupun frekuensi kekeringan. Kekeringan berhubungan dengan perubahan rezim hidrologi dan penurunan sumber daya air. Dampaknya dapat dilihat pada berbagai sektor, antara lain terkait dengan kebutuhan air bagi masyarakat, pertanian, dan Industri. Hal ini juga dapat menimbulkan masalah bagi ekosistem air. Untuk mencerminkan informasi di atas, manajemen risiko kekeringan yang wajar sangat diperlukan untuk meringankan masalah terkait kebutuhan air di berbagai sektor aktivitas manusia ("Drought Risk Management in Reflect Changing of Meteorological Conditions," 2022).

1.2 Konsep Hidrologi dalam Bidang Pertanian

Selama beberapa dekade terakhir, kebutuhan akan air tawar terus meningkat sumber daya alam telah meningkatkan risiko kekurangan air yang parah di banyak wilayah dunia. Menurut Persatuan Bangsa-Bangsa (PBB), dunia diproyeksikan menghadapi 40 persen defisit pasokan air pada tahun 2030, kecuali komunitas internasional secara intensif meningkatkan pengelolaan pasokan air. Faktor-faktor seperti peningkatan populasi, pertumbuhan sosial ekonomi, perubahan pola konsumsi, kebocoran air, penarikan air tanah berlebihan sehingga membuat estimasi kebutuhan air menjadi tugas yang rumit (Sung *et al.*, 2011)

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya air serta desainnya dan pengoperasian infrastruktur air tetap penting untuk penyediaan layanan pasokan air, dan menjadi dasar perkiraan kebutuhan air (Oyebode *et al.*, 2019). Keputusan

mengenai investasi yang berhubungan dengan air adalah sangat bergantung pada bagaimana perkiraan kebutuhan air di masa depan. Oleh karena itu, perkiraan kebutuhan air merupakan hal yang strategis penting, terutama di daerah dengan persediaan air terbatas dimana peran kebijakan manajemen permintaan menjadi semakin signifikan. Penelitian telah menunjukkan hal itu, untuk masing-masing tingkat pemanasan global, hampir 7% populasi global akan terkena dampaknya terkena penurunan sumber daya air terbarukan minimal 20% (Joshi, 2017).

Sumber daya air dapat dinilai berdasarkan badan air permukaan dan bawah permukaan. Dampak perubahan iklim terhadap air tanah telah dipelajari jauh lebih kecil dibandingkan dampaknya terhadap air permukaan. Air tanah bereaksi terhadap perubahan iklim terutama karena perubahan dalam pengisian ulang air tanah, tetapi juga perubahan permukaan sungai sebagai respons terhadap peningkatan suhu rata-rata, curah hujan, variabilitas dan permukaan laut sebagai curah hujan rata-rata (Mishra, 2023). Perubahan pola penggunaan lahan karena meningkatnya, urbanisasi, industrialisasi dan kegiatan pertanian merupakan permasalahan serius yang menyebabkan bertambahnya lahan pengambilan air yang mengakibatkan menipisnya sumber daya air tanah dan penambangan sumber daya air tanah, seiring dengan penurunan kualitas air (Lana-Renault *et al.*, 2020). Curah hujan yang tidak menentu serta menurun dari tahun ke tahun untuk mengubah kondisi iklim sebagai akibat dari penggundulan hutan yang parah, pemanasan global, dll (Thokchom, 2020). Perubahan iklim akan mempengaruhi kualitas air dan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Sekitar 70% permukaan bumi adalah air dan 97,5% di antaranya adalah air asin dan 2,5% adalah air (Fernandes *et al.*, 2023). Kurang dari 1% dari 2,5% jumlah air tawar ini dapat diakses (Mishra, 2023). Cuaca ekstrem dan variabilitas iklim merupakan pendorong utama produksi pangan global saat ini. Hal ini akan menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, termasuk perubahan siklus hidrologis, yang sangat dipengaruhi oleh aktivitas antropogenik. Pupuk kimia mempunyai dampak buruk mempengaruhi flora,

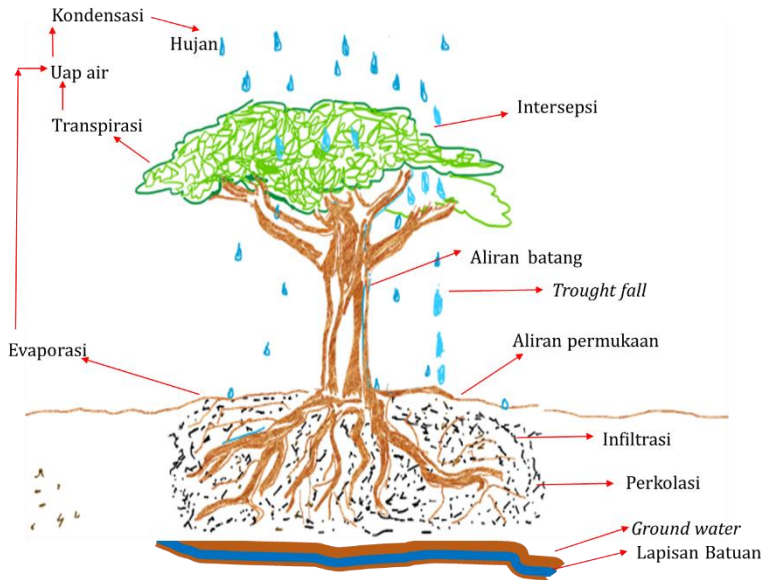
fauna, dan kualitas tanah. Sumber air dapat dinilai berdasarkan badan air permukaan dan bawah permukaan.

Dampak perubahan iklim terhadap air tanah yang diteliti jauh lebih sedikit dibandingkan dampaknya terhadap air permukaan perairan. Air tanah bereaksi terhadap perubahan iklim terutama karena perubahan pengisian ulang air tanah, tetapi juga perubahan permukaan sungai sebagai respons terhadap peningkatan suhu rata-rata, curah hujan, variabilitas dan permukaan laut berarti curah hujan (Oyebode *et al.*, 2019). Perubahan pola penggunaan lahan karena peningkatan, urbanisasi, industrialisasi dan kegiatan pertanian merupakan permasalahan serius yang menyebabkan peningkatan pengambilan air tanah sehingga mengakibatkan penurunan sumber daya air tanah dan penambangan sumber daya air tanah, serta memburuknya kualitas air. Curah hujan sangat tidak teratur dan tidak menentu serta menurun dari tahun ke tahun karena adanya perubahan kondisi iklim sebagai akibat dari pemanasan global yang serius. Dampak kenaikan permukaan laut terhadap intrusi salinitas secara global perubahan iklim telah mengakibatkan kenaikan permukaan air laut secara bertahap (Sánchez-Azofeifa *et al.*, 2014; Acosta-Quezada *et al.*, 2016). Siklus air 80-90% ketersediaan air, di bumi 75% air tersedia. Di hidrosfer di 14 juta kilometer kubik air tersedia 97% ketersediaan air laut, 3% tersedia air tawar 22,4% air tersedia di air tanah. Hanya 4% dari ketersediaan air di kolam dan sungai (Ghani *et al.*, 2022). Meningkatnya populasi dunia menyebabkan pertanian ekstensif dan perluasan industri, sehingga meningkatkan kebutuhan akan air. Dalam beberapa dekade terakhir, terjadi peningkatan kesadaran akan pentingnya keberadaan dan distribusi air di bumi. Hidrologi di seluruh dunia kini menjadi sangat penting dalam pengembangan dan pengelolaan sumber daya air. Kehidupan di bumi berhubungan langsung dengan suhu, udara dan air. Air asin mencakup sekitar 97% dari total air. Hanya 1% yang tersedia untuk organisme hidup. Kualitas 1% ini terus terdegradasi. Beberapa di antaranya sudah terkontaminasi dan tidak dapat menunjang kehidupan. Kelangkaan air telah menjadi faktor yang umum saat ini dan

intensitas permasalahannya semakin meningkat dari hari ke hari. Penggunaan air alami oleh manusia khususnya sumber daya air tawar terus meningkat selama berabad-abad. Air tanah digunakan sebagai sumber utama air minum dan sekitar 30% air tawar dunia disimpan sebagai air tanah. Dengan menyadari pentingnya masalah ini, permasalahan penurunan kadar air tanah telah diatasi secara global.

Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari peredaran air di bumi, termasuk air permukaan dan air tanah, serta interaksi air dengan lingkungan fisik dan biologis. Dalam konteks pertanian, hidrologi memainkan peran penting dalam manajemen sumber daya air, perencanaan irigasi, dan pemahaman pola hujan, sehingga mempengaruhi produksi pertanian (da Silva Barros *et al.*, 2023). Hidrologi dalam bidang pertanian meliputi siklus air dan pergerakan air di dalam sistem pertanian. Konsep hidrologi ini melibatkan pemahaman tentang sumber daya air, distribusi air, dan pengelolaannya dalam konteks pertanian. Beberapa konsep utama dalam hidrologi pertanian melibatkan siklus air, interaksi air tanah dan tanaman, serta pengelolaan air untuk pertanian yang efisien.

Memahami sumber daya air, bagaimana distribusinya, dan bagaimana mengelolanya dalam lingkungan pertanian semuanya diperlukan untuk konsep hidrologi ini. Siklus air, interaksi antara tanah dan air tanaman, serta pengelolaan air yang efektif adalah beberapa gagasan utama dalam hidrologi pertanian. Di bidang pertanian, hidrologi adalah studi tentang aliran dan siklus air dalam sistem pertanian. Memahami sumber daya air, distribusi, dan pengelolaan dalam lingkungan pertanian diperlukan untuk memahami konsep hidrologi ini. Hidrologi pertanian mencakup berbagai gagasan utama, termasuk siklus air, interaksi antara tanah dan air tanaman, dan praktik pengelolaan air yang efektif. Siklus hidrologi (Gambar 1.1) merupakan sirkulasi air tanpa henti dari atmosfer ke bumi dan kembali lagi ke bumi melalui proses kondensi, presipitasi, aliran permukaan, infiltrasi, perkolasi, aliran air bawah tanah, evaporasi dan transpirasi (Voltz *et al.*, 2018).



Gambar 1.1. Siklus hidrologi

Dasar-Dasar Hidrologi memberikan pengantar yang menarik dan komprehensif tentang subjek ini dan memberikan contoh nyata pengelolaan sumber daya air di dunia yang terus berubah. Ahli hidrologi, ahli iklim, ilmuwan tanah, dan insinyur lingkungan sering kali diminta untuk menganalisis permasalahan lingkungan yang kompleks. Semakin jelas bahwa permasalahan ini biasanya melibatkan umpan balik antara sistem atmosfer, ekologi, dan hidrologi, serta manusia. Seringkali umpan balik antar sistem merupakan hal yang paling penting karena dapat menghasilkan tanggapan yang tidak diantisipasi (Bronstert *et al.*, 2005). Kekeringan merupakan bencana alam yang dampaknya sangat dipengaruhi oleh berbagai komponen siklus hidrologi. Di antara berbagai variabel hidrologi, komponen kelembaban tanah memegang peranan besar dalam menentukan kekeringan karena dikendalikan oleh berbagai subproses lainnya, (Drisya *et al.*, 2018; Masnang, 2022). Penggunaan air yang sangat efisien diperlukan karena meningkatnya kekhawatiran akan kelangkaan air akibat

perubahan siklus hidrologi (pemanasan global) dan hak atas air yang telah ditetapkan untuk pertanian beririgasi. Efisiensi irigasi telah mengubah konsep produktivitas air, menjadikan irigasi sebagai praktik yang presisi, menuntut lebih banyak pengetahuan demi optimalisasi sumber daya yang tersedia (Ardakani *et al.*, 2023). Daerah yang paling terkena dampak perubahan iklim, dalam hal peningkatan suhu dan penurunan curah hujan, akan memiliki potensi terbesar untuk perluasan pertanian beririgasi, serta tanaman yang membutuhkan irigasi yang lebih terlokalisasi dan tepat untuk mencapai target perubahan iklim. Kelestarian lingkungan yang dikategorikan berdasarkan produktivitas air, (da Silva Barros *et al.*, 2023).

Eksplorasi sumber daya air bersih secara berlebihan untuk memenuhi pertumbuhan populasi dan kebutuhan industri telah menyebabkan masalah kelangkaan air antropogenik dan mengakibatkan pendangkalan sungai, pencemaran sumber daya air, salinitas, kekeringan, dan masalah lainnya. Oleh karena itu, penggunaan air secara sadar dan bijaksana, peningkatan efisiensi, pengelolaan wilayah sungai secara terpadu, keberlanjutan, dan lain-lain menjadi semakin penting untuk melindungi dan memanfaatkan sumber daya air yang terbatas secara optimal (Muratoglu, 2022).

1.3 Prinsip Dasar Hidrologi dalam Bidang Pertanian

Dengan bertambahnya jumlah penduduk, terjadi peningkatan permintaan akan infrastruktur perkotaan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat. Urbanisasi menyebabkan peningkatan tutupan lahan perkotaan dan secara bersamaan menurunkan penggunaan lahan lain seperti pertanian, hutan, dan lain-lain. Hal ini menyebabkan peningkatan permukaan kedap air yang mempengaruhi hidrologi suatu daerah. Dengan meningkatnya sifat kedap air ini, limpasan permukaan yang dihasilkan tetap berada di permukaan dan tidak terserap (Ghosh, 2016; Ghosh & Desai, 2016; Sood *et al.*, 2021). Oleh

karena itu, siklus hidrologi alami juga terganggu dengan seringnya terjadinya banjir dan kekeringan. Perluasan lahan irigasi dan wilayah perkotaan, yang sering kali disertai dengan pengembangan pariwisata, meningkatkan konsumsi air secara signifikan, yang juga dapat menyebabkan penurunan debit sungai dan eksploitasi akuifer yang berlebihan. Proyeksi penurunan ketersediaan sumber daya air tawar dan peningkatan kebutuhan air di masa depan, yang diperburuk oleh konteks perubahan kondisi iklim saat ini, menjadikan penetapan strategi pengelolaan lahan dan air yang berkelanjutan menjadi mendesak. Hal ini memerlukan pemahaman mendalam mengenai dampak perubahan penggunaan lahan terhadap sumber daya air (Bengtsson *et al.*, 2014). Kemajuan signifikan apa pun dalam pemahaman siklus air memerlukan observasi dan pengukuran lapangan yang disertai dengan pendekatan pemodelan hidrologi yang mensimulasikan perubahan hidrologi berdasarkan skenario penggunaan lahan dan iklim yang berbeda (Lana-Renault *et al.*, 2020).

Mengembangkan daerah aliran sungai (DAS) yang berketahanan iklim merupakan strategi adaptasi yang penting untuk mengatasi kekurangan air akibat perubahan skenario iklim. DAS yang tahan iklim berperan sebagai penyimpan air, mengendalikan erosi tanah, mengurangi kehilangan karbon, dan menjamin pasokan air untuk irigasi tambahan. Kerangka kerja untuk mengintegrasikan aksi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim dalam program pengelolaan DAS harus mencakup aspek pertanian, pengelolaan air, pengelolaan energi, dan mitigasi emisi GRK (Bhattacharyya *et al.*, 2020). Dalam pengelolaan sumber daya air yang berketahanan iklim, penganggaran air, promosi irigasi mikro, pengembangan fasilitas penampungan air, dan pengisian ulang air tanah harus dipertimbangkan. Penting untuk fokus pada peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya secara keseluruhan dan memperkenalkan teknologi untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air (Masnang, *et al.*, 2022; Masnang & Dyah Budibruri

Wibaningwati, 2023). Integrasi konservasi air, mitigasi perubahan iklim, dan pembangunan daerah aliran sungai harus bekerja sama dengan mempertimbangkan tindakan bersama dan berbagi tanggung jawab (Ahuchaogu *et al.*, 2022). Pemanfaatan sumber air tradisional dan sumber air alternatif secara bijaksana harus dieksplorasi untuk memenuhi skenario permintaan dan pasokan, dalam kondisi iklim yang terus berubah (Karlik, 2022). Rencana darurat yang sesuai perlu dikembangkan untuk menghadapi segala jenis ketidakpastian iklim yang berkaitan dengan kelangkaan air (Bhattacharyya *et al.*, 2020)

Pengelolaan pertanian cerdas iklim (CSA), bertujuan untuk memberikan solusi guna menjamin ketahanan pangan dan meningkatkan kapasitas penyerapan karbon tanah untuk mitigasi dan adaptasi iklim, sekaligus meminimalkan dampak buruk terhadap lingkungan (misalnya emisi gas rumah kaca dari pertanian). Dalam konteks perubahan global, mengidentifikasi praktik pengelolaan CSA memerlukan informasi terpadu dan penilaian menyeluruh terhadap sistem produksi pangan serta dampak lingkungan terkait (misalnya emisi gas rumah kaca dan perubahan siklus hidrologi dan biogeokimia (Ren, 2019).

Pertanian dunia mengkonsumsi sekitar 70% air bersih yang diambil setiap tahunnya (UNESCO 2001). Pertambahan penduduk, perubahan iklim akibat gas rumah kaca, dan pengelolaan yang tidak tepat menjadi salah satu faktor penyebab sering terjadinya kekeringan dengan jangka waktu yang lama. Faktor-faktor ini memperburuk kekeringan, terutama di daerah kering dan semi kering. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air di bidang pertanian, pengelolaan irigasi harus dioptimalkan untuk menghindari pemborosan sumber daya air yang penting dan terkadang terbatas.

Tutupan lahan dan penggunaan lahan juga dapat menjadi faktor tidak langsung yang mempengaruhi evapotranspirasi, dan

juga keseimbangan air di daerah tangkapan air (Sood *et al.*, 2021). Perubahan iklim yang diamati, yang dimanifestasikan terutama oleh peningkatan suhu, yang pada gilirannya mempengaruhi evapotranspirasi, dapat menyebabkan intensifikasi baik dari segi derajat maupun frekuensi kekeringan. Kekeringan berhubungan dengan perubahan rezim hidrologi dan penurunan sumber daya air. Dampaknya dapat dilihat pada berbagai sektor, antara lain terkait dengan kebutuhan air bagi masyarakat, pertanian, dan Industri. Hal ini juga dapat menimbulkan masalah bagi ekosistem air. Untuk mencerminkan informasi di atas, manajemen risiko kekeringan yang wajar sangat diperlukan untuk meringankan masalah terkait kebutuhan air di berbagai sektor aktivitas manusia. ("Drought Risk Management in Reflect Changing of Meteorological Conditions," 2022).

Kekeringan berdampak buruk pada banyak komponen lingkungan seperti proses tanah, pertumbuhan vegetasi, satwa liar, kualitas air, dan ekosistem perairan. Meskipun kekeringan mempunyai dampak buruk terhadap sumber daya air permukaan dan air tanah, sistem hidrologi juga dapat terkena dampaknya, sehingga mengubah komposisi kimia air permukaan dan jalur limpasan, yang dapat berdampak negatif terhadap kualitas air (Ghosh, 2016; Ghosh & Desai, 2016; Sood *et al.*, 2021). Saat ini satu dari setiap tiga orang dihadapkan pada risiko kekeringan dan kekurangan air, sehingga terjadi kelangkaan air dan kekurangan air.

Konsep hidrologi melibatkan pemahaman tentang sumber daya air, distribusi air, dan pengelolaannya dalam konteks pertanian. Beberapa konsep utama dalam hidrologi pertanian melibatkan siklus air, interaksi air tanah dan tanaman, serta pengelolaan air untuk pertanian yang efisien. Di bidang pertanian, hidrologi adalah studi tentang aliran dan siklus air dalam sistem pertanian. Memahami sumber daya air, distribusi, dan pengelolaan dalam lingkungan pertanian diperlukan untuk memahami konsep hidrologi ini. Hidrologi pertanian mencakup

berbagai gagasan utama, termasuk siklus air, interaksi antara tanah dan air tanaman, dan praktik pengelolaan air yang efektif. Beberapa prinsip hidrologi pertanian meliputi siklus air, manajemen air, pengelolaan banjir, dan konservasi tanah dan air.

Siklus Air:

- Penguapan (Evaporation): Proses penguapan air dari tanah, permukaan air, dan tanaman menjadi uap air.
- Transpirasi: Proses keluarnya uap air dari stomata tanaman ke atmosfer.
- Presipitasi: Air yang jatuh ke permukaan bumi dalam bentuk hujan, salju, embun, atau hujan es.
- Aliran Permukaan dan Infiltrasi: Air hujan yang tidak meresap ke dalam tanah dapat mengalir di permukaan tanah atau meresap ke dalam tanah.
- Infiltrasi Tanah: Proses masuknya air ke dalam tanah setelah hujan atau irigasi.
- Air Tanah: Air yang berada di dalam lapisan tanah yang dapat diakses oleh tanaman.
- Kapasitas Lapang Tanah: Jumlah maksimum air yang dapat diserap oleh tanah.
- Defisit Air Tanaman: Perbedaan antara kebutuhan air tanaman dan pasokan air yang tersedia.

Manajemen Air Pertanian:

- Irigasi: Pemberian air secara buatan untuk memenuhi kebutuhan tanaman.
- Drainase: Pengelolaan air tanah untuk mencegah genangan dan kelebihan air.
- Pemantauan Tanah dan Air: Pemantauan kondisi tanah dan ketersediaan air untuk mengoptimalkan penggunaan air.

Pengelolaan Banjir: Pencegahan Banjir: Pengaturan tata air untuk mencegah banjir.

Penanganan Banjir: Pengelolaan air selama periode banjir untuk mengurangi dampak negatifnya pada tanaman dan lingkungan pertanian.

Konservasi Tanah dan Air:

Praktik Konservasi Tanah: Upaya untuk mempertahankan struktur tanah agar tidak tererosi baik dengan metode mekanik maupun dengan pengelolaan vegetatif. Prinsip hidrologi diterapkan di bidang pertanian untuk membantu petani dan pengelola sumber daya air memaksimalkan penggunaan air, meningkatkan hasil pertanian, dan mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Ketahanan pangan dan keberlanjutan pertanian bergantung pada hal ini. Prinsip dasar hidrologi dalam bidang pertanian mencakup pemahaman tentang pergerakan air, distribusi air, dan pengelolaan air dalam sistem pertanian. Pemahaman tentang distribusi, aliran, dan pengelolaan air dalam sistem pertanian merupakan salah satu dasar hidrologi dalam pertanian (Masnang, *et al.*, 2022).

1.4 Ruang Lingkup Ilmu Hidrologi dalam Bidang Pertanian

Ruang lingkup ilmu hidrologi dalam pertanian terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan pemahaman kita tentang interaksi kompleks antara air, tanah, dan tanaman. Penerapan pengetahuan hidrologi dalam pertanian dapat membantu meningkatkan produktivitas tanaman, efisiensi penggunaan air, dan keberlanjutan sistem pertanian. Ruang lingkup ilmu hidrologi dalam bidang pertanian mencakup sejumlah aspek yang berkaitan dengan pergerakan dan pengelolaan air dalam konteks pertanian. Beberapa aspek ruang lingkup ilmu hidrologi dalam bidang pertanian:

- Siklus Hidrologi Pertanian: Memahami siklus hidrologi dalam sistem pertanian, melibatkan penguapan, transpirasi, presipitasi, dan aliran air di dalam pertanian.

- **Interaksi Air Tanah dan Tanaman:** Mempelajari cara air berinteraksi dengan tanah dan tanaman, termasuk infiltrasi tanah, kapasitas air tanah, dan defisit air tanaman.
- **Manajemen Air Pertanian:** Mengembangkan teknik dan strategi manajemen air untuk memastikan kebutuhan air tanaman terpenuhi dengan optimal, termasuk praktik irigasi yang efisien.
- **Drainase dan Pengelolaan Genangan:** Mempelajari sistem drainase untuk mencegah kelebihan air atau genangan yang dapat merusak tanaman dan merusak struktur tanah.
- **Pengelolaan Banjir:** Meneliti cara mengelola air selama periode banjir untuk melindungi lahan pertanian dan mencegah kerusakan akibat genangan.
- **Konservasi Tanah dan Air:** Mengembangkan praktik konservasi tanah untuk mencegah erosi dan menjaga kualitas tanah, termasuk penggunaan penutup tanah vegetatif.
- **Irigasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Air:** Mempelajari sistem irigasi yang efisien dan berkelanjutan, serta manajemen sumber daya air untuk mendukung keberlanjutan pertanian.
- **Monitoring dan Pemantauan:** Mengembangkan sistem pemantauan kondisi tanah, air, dan tanaman untuk memahami kebutuhan air, mendeteksi potensi masalah, dan mengoptimalkan manajemen sumber daya air.
- **Model Hidrologi dan Prediksi:** Menggunakan model hidrologi untuk memprediksi pergerakan air dalam sistem pertanian, mendukung perencanaan dan pengambilan keputusan.
- **Pengaruh Perubahan Iklim:** Dampak perubahan iklim terhadap pola hujan, suhu, dan ketersediaan air dalam konteks pertanian.
- **Pendidikan dan Penelitian Terapan:** Melibatkan edukasi dan penelitian untuk mengembangkan pengetahuan dan teknologi terbaru dalam hidrologi pertanian, serta

mentransfer pengetahuan tersebut kepada praktisi pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Acosta-Quezada, P. G., Raigón, M. D., Riofrío-Cuenca, T., García-Martínez, M. D., Plazas, M., Burneo, J. I., Figueroa, J. G., Vilanova, S., Prohens, J., Ågren, G. I., Weih, M., Amaral, F., Abelho, M., Amtmann, A., Armengaud, P., Asner, G. P., Elmore, A. J., Olander, L. P., Martin, R. E., ... Rebollosa-Fuentes, M. M. (2016). Land Use Policy Effect of Good Agricultural and Environmental Conditions on erosion and soil organic carbon balance : A national case study. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(3), 408–421. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri197>
- Ahuchaogu, I., Ehiomogwe, P., & Udoumoh, U. (2022). Effects of soil and water conservation measures on the environment: A review. *Poljoprivredna Tehnika*, 47(3). <https://doi.org/10.5937/poljteh2203042a>
- Andi Masnang, & Dyah Budibruri Wibaningwati. (2023). Effectiveness of application of organic fertilizer on plant growth and yield of taro on dry Land. *The 5th International Conference on Agriculture and Life Science 2021 (ICALS 2021)*, 1–6.
- Ardakani, M. K., Rahimi, H., & Babaei, M. A. (2023). Irrigation and crop management using multi-objective optimization – A case study. *Asia Pacific Management Review*. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2023.06.002>
- Bengtsson, L., Bonnet, R.-M., Calisto, M., Destouni, G., Gurney, R., Johannessen, J., Kerr, Y., Lahoz, W. A., & Rast, M. (2014). The Earth's Hydrological Cycle. In *Surveys in Geophysics* (Vol. 46).
- Bhattacharyya, P., Pathak, H., & Pal, S. (2020). Water Management for Climate-Smart Agriculture. In *Green Energy and Technology*. https://doi.org/10.1007/978-981-15-9132-7_5
- Bronstert, A., Kabat, P., Carrera, J., Lütkeemeier, S., Abarca, E., Arandes, R., Band, L. E., Bastidas, L. A., Bonell, M., Chase, T. N., Claussen, M., Demidov, V. N., Eickhout, B., Ganopolski, A., Gelfan, A. N., Georgiadi, A., Gottschalk, L., Gryning, S. E., Hall,

- F. G., ... Walko, R. L. (2005). Coupled models for the hydrological cycle: Integrating atmosphere, biosphere, and pedosphere. In *Coupled Models for the Hydrological Cycle: Integrating Atmosphere, Biosphere, and Pedosphere*. <https://doi.org/10.1007/b138919>
- da Silva Barros, T. H., Abreu-Junior, C. H., Coelho, R. D., da Silva, F. R. B., & Lizcano, J. V. (2023). Irrigation Developments in Brazil. In *Handbook of Irrigation Hydrology and Management: Irrigation Case Studies*. <https://doi.org/10.1201/9781003353928-16>
- Drisya, J., Sathish Kumar, D., & Roshni, T. (2018). Spatiotemporal Variability of Soil Moisture and Drought Estimation Using a Distributed Hydrological Model. In *Integrating Disaster Science and Management: Global Case Studies in Mitigation and Recovery*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812056-9.00027-0>
- Drought Risk Management in Reflect Changing of Meteorological Conditions. (2022). In *Drought Risk Management in Reflect Changing of Meteorological Conditions*. <https://doi.org/10.3390/books978-3-0365-2839-7>
- Fernandes, L. S., Galvão, A., Santos, R., & Monteiro, S. (2023). Impact of water reuse on agricultural practices and human health. *Environmental Research*, 216. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114762>
- Ganoulis, J., & Fried, J. (2018). Transboundary hydro-governance: From conflict to shared management. In *Transboundary Hydro-Governance: From Conflict to Shared Management*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-78625-4>
- Ghani, J. S., Billah, M. B., Abdullah, M. U., Javaid, A., & Ul Abidin, M. Z. (2022). Investigation of potential sites for ground water recharge in urban areas (Faisalabad). *International Journal of Current Engineering and Technology*, 12(02). <https://doi.org/10.14741/ijcet/v.12.2.6>

- Ghosh, S. N. (2016). Environmental Hydrology and Hydraulics. In *Environmental Hydrology and Hydraulics*. <https://doi.org/10.1201/b11004>
- Ghosh, S. N., & Desai, V. R. (2016). Environmental hydrology and hydraulics: Eco-technological practices for sustainable development. In *Environmental Hydrology and Hydraulics: Eco-technological Practices for Sustainable Development*. <https://doi.org/10.5860/choice.44-1541>
- Joshi, H. (2017). Water balancing: Principles and importance. *ENVIS Newsletter on Himalayan Ecology*, 14(1).
- Karlik, J. (2022). Principles for Landscape Water Conservation. In *Principles for Landscape Water Conservation*. <https://doi.org/10.3733/ucanr.6713>
- Lana-Renault, N., Morán-Tejeda, E., Moreno de las Heras, M., Lorenzo-Lacruz, J., & López-Moreno, N. (2020). Land-use change and impacts. In *Water Resources in the Mediterranean Region*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818086-0.00010-8>
- Masnang, A., Jannah, A., Andriyanty, R., & Haryati, U. (2022). The Effectiveness and Valuation of Using Silt Pit to Reduce Erosion and Nutrient Loss of Andosol. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 27(1), 27. <https://doi.org/10.5400/jts.2022.v27i1.27-35>
- Masnang, A., Jannah, A., Hasibuan, R. S., & Fitri, R. (2023). Water Holding Capacity And Soil Organic Carbon In Teak (*Tectona Grandis* Linn. F) Agroforestry. *Journal of Sustainability Science and Management*, 18(7), 1–10.
- Masnang, A., Jannah, A., Wibaningwati, D. B., Nurilmala, F., & Nurhayati, L. (2022). Placement Precision of Organic Fertilizer Based on Soil Conservation in Taro Cultivation. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 11(3), 396. <https://doi.org/10.23960/jtep-l.v11i3.396-404>

- Mishra, R. K. (2023). Fresh Water availability and It's Global challenge. *Journal of Marine Science and Research*, 2(1). <https://doi.org/10.58489/2836-5933/004>
- Muratoglu, A. (2022). Water Footprint: Concept and Methodology. In *Imperiled: The Encyclopedia of Conservation: Volume 1-3* (Vols. 1–3). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821139-7.00034-9>
- Oyebode, O., Babatunde, D. E., Monyei, C. G., & Babatunde, O. M. (2019). Water demand modelling using evolutionary computation techniques: integrating water equity and justice for realization of the sustainable development goals. In *Heliyon* (Vol. 5, Issue 11). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02796>
- Ren, W. (2019). Towards an integrated agroecosystem modeling approach for climate-smart agriculture management. In *Bridging Among Disciplines by Synthesizing Soil and Plant Processes* (Vol. 8). <https://doi.org/10.2134/advagricsystmodel8.2018.0004>
- Sánchez-Azofeifa, A., Calvo-Alvarado, J., Espírito-Santo, M. M. Do, Fernandes, G., Powers, J., & Quesada, M. (2014). Tropical Dry Forests in the Americas - Ecology, Conservation, and Management. *Tropical Dry Forests in the Americas*.
- Sood, A., Ghosh, S. K., & Upadhyay, P. (2021). Impact of land cover change on surface runoff. In *Advances in Remote Sensing for Natural Resource Monitoring*. <https://doi.org/10.1002/9781119616016.ch10>
- Sung, C. T. B., Joo, G. K., Chien, L. C., & Seng, S. T. (2011). Short-term changes in the soil physical and chemical properties due to different soil and water conservation practices in a sloping land oil palm estate. *Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science*, 34(1).
- Thokchom, B. (2020). Water-related problem with special reference to global climate change in India. In *Water Conservation and Wastewater Treatment in BRICS Nations*:

Technologies, Challenges, Strategies and Policies.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818339-7.00003-5>
Voltz, M., Dagès, C., Prévot, L., & Bruand, A. (2018). Soils and regulation of the hydrological cycle. In *Soils as a Key Component of the Critical Zone 1: Functions and Services* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1002/9781119438069.ch3>

BAB 2

HIDROLOGI

Oleh Fadhila Aziz

2.1. Pengertian dan Ruang Lingkup

Kata hidrologi berasal dari bahasa Yunani, yaitu hydro, yang berarti air, dan logos, yang berarti ilmu. Jadi, hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari tentang air di bumi, kejadian, distribusi dan sirkulasinya, sifat-sifat fisika dan kimianya, pengaruhnya terhadap lingkungan dan kehidupan dalam berbagai bentuk. Sekarang ini kajian hidrologi berkaitan dengan distribusi air di permukaan bumi dan pergerakannya di atas maupun di bawah permukaan serta melalui atmosfer (Davie, 2008).

Hidrologi merupakan salah satu ilmu interdisipliner. Dalam penerapannya, ilmu ini menggunakan banyak prinsip dari cabang-cabang ilmu lain seperti kimia, fisika, biologi, geologi, mekanika fluida, matematika, statistik, dan operasi riset. Ketika air menguap ke udara, hidrologi berinteraksi dengan ilmu-ilmu hidrometeorologi, meteorologi dan klimatologi. Ketika hidrologi membahas air permukaan, ilmu pendukung yang diperlukan adalah potamologi (ilmu tentang aliran permukaan), limnologi (ilmu tentang danau), kriologi (ilmu tentang salju dan es), glasiologi dan oseanologi. Demikian pula ketika berkaitan dengan air tanah, hidrologi mencakup ilmu agronomi, hidrogeologi (menekankan aspek geologi), geohidrologi (menekankan aspek hidrologi) dan geomorfologi (Reddy, 2005).

Dikarenakan air juga mempengaruhi tanaman dan hewan, kajian hidrologi meluas menjadi ekologi tumbuhan (ekologi merupakan cabang ilmu biologi tentang interaksi makhluk hidup dan lingkungannya), silvikultur (penanaman dan pemeliharaan pohon sebagai cabang dari kehutanan), biohidrologi (menekankan pada aspek hidrologi) dan hidrobiologi (menekankan pada aspek biologi). Karena hidrologi merupakan ilmu yang mendasari pengembangan dan pengendalian sumber daya air, maka hidrologi memiliki pengaruh yang penting dalam bidang pertanian, kehutanan, geografi, pengelolaan daerah aliran sungai, ilmu politik, ekonomi dan sosiologi. Kajian hidrologi juga dapat diterapkan dalam desain struktural, pasokan air, pembuangan dan pengolahan air limbah. Drainase, irigasi, pengendalian banjir, pembangkit listrik tenaga air, navigasi, pengendalian erosi dan sedimen, pengendalian salinitas, pengurangan polusi. Penggunaan air untuk rekreasi, pelestarian ikan dan satwa liar, pengendalian serangga, dan pekerjaan pesisir (Reddy, 2005).

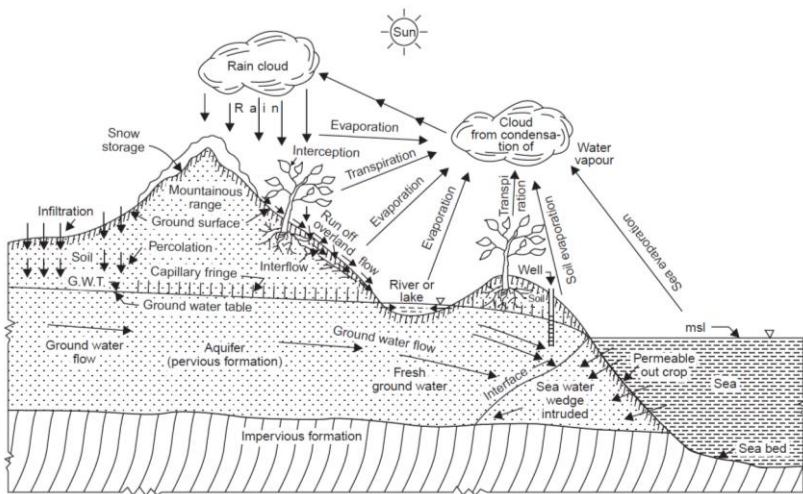
2.2. Siklus Hidrologi

Tahap awal untuk mempelajari hidrologi dengan memahami siklus hidrologi. Siklus hidrologi dikenal juga dengan siklus air. Siklus ini membahas tentang pergerakan air di bumi menuju atmosfer dalam berbagai bentuk sebagai gas, cair atau padat dan mengalami presipitasi kembali lagi ke bumi. Selanjutnya terkumpul di sungai dan mengalir kembali ke laut. Proses inilah yang disebut sebagai siklus hidrologi (Wilson, 1990).

Peristiwa siklus hidrologi memang terjadi berulang, namun tidak sesederhana itu. Pertama, siklus tersebut dapat mengalami gangguan pada beberapa tahap, misalnya, curah hujan dapat jatuh langsung ke laut, danau atau sungai. Kedua, tidak ada keseragaman dalam waktu yang dibutuhkan oleh sebuah siklus.

Selama musim kemarau mungkin akan terhenti, selama musim hujan mungkin akan terus berlangsung. Ketiga, frekuensi dan intensitas siklus tergantung kepada kondisi geografis dan iklim suatu kawasan, karena siklus ini terjadi sebagai akibat dari radiasi sinar matahari yang bervariasi menurut garis lintang dan musim dalam setahun. Terakhir, berbagai bagian dari siklusnya bisa sangat rumit dan manusia hanya dapat melakukan kontrol pada bagian terakhir, ketika hujan turun di daratan dan kembali ke laut (Wilson, 1990).

Siklus hidrologi merupakan siklus perpindahan air yang terjadi secara kontinu di alam (Gambar 2.1). Siklus ini memiliki beberapa tahapan antara lain evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi, sublimasi, adveksi, presipitasi, run off (aliran permukaan) dan infiltrasi (Manamay, 2023).



Gambar 2.1 Siklus hidrologi
(Sumber: Raghunath, 2006)

2.2.1. Evaporasi

Siklus hidrologi diawali dengan proses penguapan air yang ada di permukaan bumi. Air yang terdapat di permukaan tanah dan air yang tertampung di badan air seperti sawah, sungai, danau, laut, waduk atau bendungan menguap karena panas matahari. Penguapan ini disebut dengan evaporasi. Evaporasi merupakan proses penguapan yang mengubah air menjadi gas sehingga memungkinkan untuk naik ke atmosfer (Naharuddin *et al.*, 2018). Evaporasi dipengaruhi oleh suhu udara. Apabila suhu udara tinggi maka proses evaporasi akan meningkat, sebaliknya jika suhu udara rendah proses evaporasi pun juga rendah (Jesiani *et al.*, 2019). Pada musim kemarau jumlah air yang menguap ke atmosfer dalam bentuk gas akan semakin banyak karena semakin tinggi panas yang diberikan oleh matahari.

2.2.2. Transpirasi

Proses penguapan air yang berasal dari jaringan tumbuhan dikenal sebagai transpirasi. Transpirasi adalah proses menguapnya air dari tumbuhan ke atmosfer melalui permukaan daun akibat terjadinya proses respirasi dan fotosintesis (Salsabila and Nugraheni, 2020). Dibandingkan dengan proses evaporasi, pada transpirasi umumnya jumlah air yang menguap jauh lebih sedikit (Naharuddin *et al.*, 2018). Selain dari sinar matahari, suhu udara, kelembaban tanah dan kecepatan angin, proses transpirasi juga dipengaruhi oleh karakteristik tumbuhan serta jenis dan kerapatan vegetasi (Luo *et al.*, 2016).

2.2.3. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi merupakan gabungan antara proses evaporasi dan transpirasi. Evaporasi merupakan proses menguapnya air dari tanah dan air permukaan (sungai, danau, lahan basah dan laut) ke atmosfer, sedangkan transpirasi adalah proses penguapan air dari tumbuhan ke atmosfer. Kedua proses ini saling terpisah namun sama-sama merupakan proses

penguapan air dari faktor abiotik dan biotik di bumi menuju atmosfer (Salsabila and Nugraheni, 2020).

Terjadinya evaporasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya suhu udara dan air, kelembaban, kecepatan angin, luas permukaan (terbuka), tekanan barometrik dan salinitas air (Raghunath, 2006). Di Indonesia dengan lingkungan yang heterogen, suhu udara adalah variabel pengendali utama dari proses evapotranspirasi (Marganingrum and Santoso, 2019). Semakin tinggi suhu ditambah tingginya kecepatan angin, maka proses penguapan akan semakin besar, sedangkan semakin tinggi kelembaban udara maka semakin kecil penguapan yang terjadi (Raghunath, 2006)(Wirangga *et al.*, 2023). Di Indonesia di wilayah katulistiwa evaporasi tertinggi biasanya terjadi pada bulan Oktober dan yang terendah terjadi pada bulan Februari (Tuheteru *et al.*, 2021).

2.2.4. Sublimasi

Sublimasi merupakan proses perubahan bentuk es yang terdapat di gunung maupun di kutub menjadi gas dan menuju atmosfer tanpa melalui proses cair. Penguapan dalam proses sublimasi tidak sebanyak hasil evaporasi maupun transpirasi dan proses ini juga membutuhkan waktu yang lebih lama. Meskipun demikian sublimasi tetap berperan dalam siklus hidrologi sehingga tidak dapat diabaikan (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.2.5. Kondensasi

Uap air hasil proses evaporasi, transpirasi, evapotranspirasi maupun sublimasi pada ketinggian tertentu di atmosfer akan berubah bentuk menjadi partikel es yang sangat kecil. Partikel es ini terbentuk karena pengaruh suhu dingin pada titik ketinggian tersebut. Proses ini disebut dengan kondensasi. Partikel-partikel es tersebut akan saling mendekat dan menyatu membentuk awan. Semakin banyak jumlah

partikel es yang bersatu maka awan yang terbentuk akan semakin tebal dan hitam (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.2.6. Adveksi

Awan di atmosfer yang terbentuk pada proses kondensasi akan berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya secara horizontal yang disebabkan oleh dorongan angin atau perbedaan tekanan udara. Proses ini dikenal dengan adveksi. Proses adveksi menyebabkan awan berpindah dari atmosfer laut menuju atmosfer daratan. Adveksi tidak terjadi pada siklus hidrologi pendek (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.2.7. Presipitasi

Presipitasi merupakan proses jatuhnya air dalam bentuk cair maupun padat di atas daratan maupun lautan dan menjadi pendorong utama terjadinya siklus hidrologi di daratan. Menurut para ahli hidrologi curah hujan merupakan awal dari siklus hidrologi karena semua fenomena hidrologi lainnya (seperti penguapan, aliran permukaan, dan lainnya) berasal dari curah hujan. Sehingga presipitasi ini merupakan proses penting dalam siklus hidrologi (Pegano and Sorooshian, 2002).

Awan yang telah mengalami adveksi selanjutnya akan mengalami presipitasi. Presipitasi merupakan proses mencairnya awan karena suhu udara yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya hujan atau jatuhnya butiran air ke permukaan bumi. Jika suhu di sekitar awan rendah bahkan < 0 derajat Celcius, maka yang turun berupa hujan es ataupun salju seperti yang terjadi di negara dengan iklim subtropis (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.2.8. Run Off (Aliran Permukaan)

Pada tahap ini air hujan yang jatuh ke permukaan bumi akan mengalami pergerakan atau mengalir menuju tempat yang lebih rendah. Kelebihan air di tanah akan mengalir ke sungai,

danau, laut, ataupun rawa-rawa (Pegano and Sorooshian, 2002). Pergerakan ini melewati berbagai saluran seperti sungai, got, danau, laut bahkan samudera. Air tersebut nantinya akan kembali ke atmosfer melalui siklus hidrologi (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.2.9. Infiltrasi

Air hujan yang jatuh ke permukaan bumi tidak seluruhnya akan melewati proses run off. Sebagian kecil akan melewati pori-pori tanah, merembes dan terakumulasi menjadi air tanah. Proses ini yang disebut dengan infiltrasi. Melalui infiltrasi nantinya akan membawa air tanah menuju laut. Setelah air kembali ke laut maka akan terjadi kembali siklus hidrologi (Naharuddin *et al.*, 2018).

2.3. Jenis-jenis Siklus Hidrologi

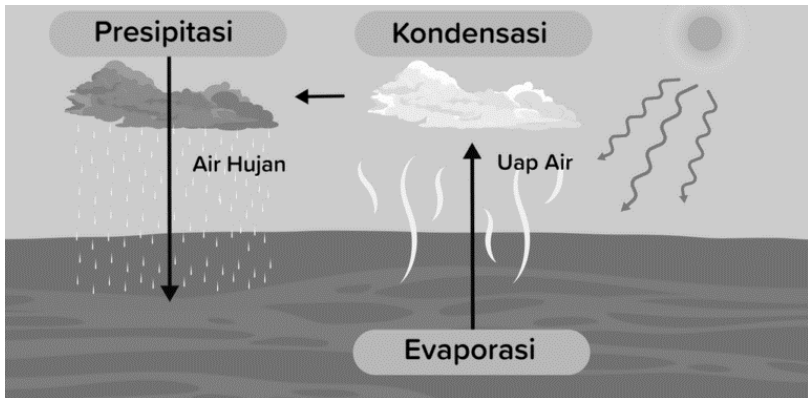
Siklus hidrologi dapat terjadi dalam tiga jenis berdasarkan panjang pendeknya proses yang dilalui. Jenis-jenis siklus hidrologi tersebut antara lain siklus pendek, siklus sedang dan siklus panjang.

2.3.1. Siklus Hidrologi Pendek

Siklus hidrologi pendek merupakan siklus yang paling sederhana karena hanya mengalami beberapa tahapan saja. Dalam siklus ini tidak terjadi proses adveksi (perpindahan awan). Jadi molekul air laut yang telah mengalami perubahan menjadi uap akan turun kembali ke laut dalam bentuk hujan (Gambar 2.2). Secara singkat tahapan siklus hidrologi pendek adalah sebagai berikut:

1. Molekul air yang ada di laut mengalami evaporasi dan berubah bentuk menjadi uap air yang disebabkan oleh panas matahari

2. Uap air tersebut akan mengalami kondensasi dan membentuk awan
3. Awan yang mengandung uap air tersebut kemudian jenuh dengan uap air dan menyebabkan hujan turun kembali ke laut.



Gambar 2.2 Siklus hidrologi pendek

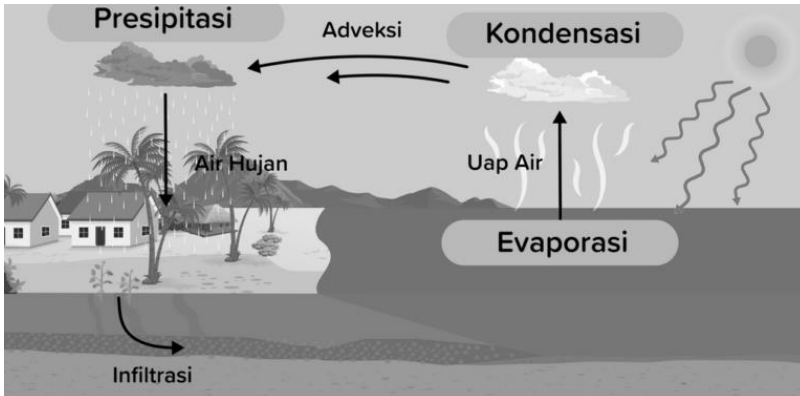
(Sumber: roboguru.ruangguru.com)

2.3.2. Siklus Hidrologi Sedang

Siklus hidrologi sedang merupakan siklus hidrologi yang melalui proses adveksi. Dalam siklus ini akan terjadi hujan di daratan akibat proses adveksi yang membawa awan ke atmosfer daratan (Gambar 2.3). Siklus hidrologi ini yang biasanya terjadi di Indonesia. Secara singkat tahapan siklus hidrologi sedang adalah sebagai berikut:

1. Molekul air yang ada di laut mengalami evaporasi dan berubah menjadi uap air yang disebabkan oleh panas matahari
2. Uap air yang terbentuk tersebut mengalami adveksi yang disebabkan oleh angin sehingga bergerak menuju daratan
3. Uap air yang berada di atmosfer daratan tersebut akan mengalami kondensasi dan membentuk awan
4. Awan yang mengandung uap air kemudian jenuh dan menyebabkan hujan turun

5. Air hujan yang turun di permukaan daratan tersebut akan mengalami infiltrasi dan run off menuju sungai dan kembali mengalir ke laut.



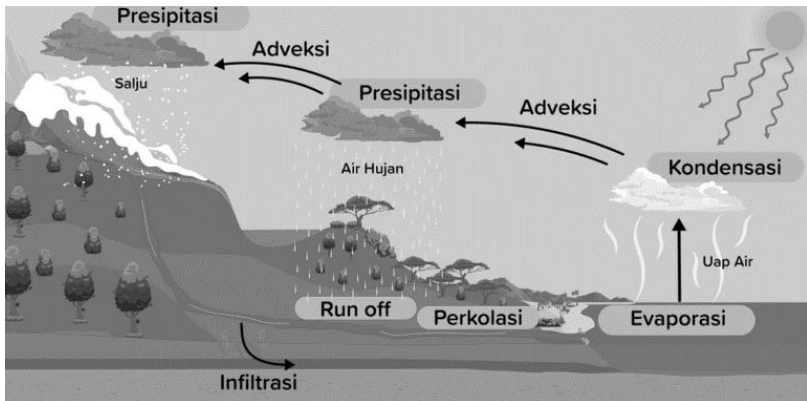
Gambar 2.3 Siklus hidrologi sedang
(Sumber: roboguru.ruangguru.com)

2.3.3. Siklus Hidrologi Panjang

Siklus hidrologi panjang merupakan siklus hidrologi yang umumnya terjadi di daerah pegunungan dan daerah beriklim subtropis. Dalam siklus ini sebelum berubah menjadi air, awan terlebih dahulu menurunkan salju dan gletser (Gambar 2.4). Secara singkat tahapan siklus hidrologi panjang adalah sebagai berikut:

1. Molekul air yang ada di laut mengalami evaporasi dan berubah menjadi uap air yang disebabkan oleh panas matahari
2. Uap air yang terbentuk tersebut mengalami sublimasi dan membentuk awan yang mengandung kristal es
3. Awan yang terbentuk mengalami adveksi dan bergerak ke daratan karena dorongan angin dan mengalami presipitasi kemudian turun ke daratan dalam bentuk salju
4. Salju kemudian terakumulasi menjadi gletser

5. Ketika suhu udara naik, gletser mencair dan membentuk aliran sungai
6. Air tersebut mengalir menuju sungai dan kembali lagi ke laut



Gambar 2.4 Siklus hidrologi panjang
(Sumber: roboguru.ruangguru.com)

2.4. Pentingnya Siklus Hidrologi

2.4.1. Peran Fisika

1. **Menjaga keseimbangan dalam pertukaran air antara daratan dan lautan.** Sebagian besar air yang turun ke daratan akan melewati sungai dan danau atau dapat mengalami penguapan di permukaan tanah. Sebagian besar air kembali ke laut dalam bentuk air permukaan maupun run off dan sisanya mengalami evaporasi. Jika hanya evaporasi saja yang terjadi maka dapat menyebabkan air sungai dan danau serta air tanah akan mengering. Akibatnya dapat menyebabkan tumbuhan mati, tanah akan mengalami kekeringan dan menjadi gurun. Namun, hal itu tidak pernah terjadi. Air laut yang menguap naik ke atmosfer dan sampai ke daratan didorong oleh bantuan angin. Melalui proses kondensasi dan presipitasi, air tersebut jatuh kembali ke daratan

kemudian mengalami infiltrasi dan run off menuju sungai ataupun danau. Sehingga sungai dan danau digenangi air serta air tanah juga meningkat. Apabila tidak terjadi penguapan, tanah akan tergenang oleh air secara bertahap. Namun, karena rasio penguapan dan turunnya air ke permukaan tanah hampir sama, hampir tidak ada kemungkinan terjadinya genangan atau kekeringan pada lahan. Dengan demikian, proses penguapan dan turunnya hujan melalui pertukaran air dapat menjaga keseimbangan air di bumi.

2. **Menyeimbangkan perpindahan air dari satu tempat ke tempat lain di daratan.** Melalui jumlah penguapan yang mungkin lebih sedikit atau lebih banyak di beberapa tempat di permukaan tanah, uap air tersebut dipindahkan oleh angin. Mungkin saja terjadi bahwa di tempat yang lebih banyak penguapan, curah hujan lebih sedikit dan di tempat yang lebih sedikit penguapan, curah hujan lebih banyak. Namun karena tidak ada halangan yang disebabkan oleh gunung dan bukit serta tidak ada uap air dari laut, maka tidak terjadi hujan. Sekali lagi karena iklim kering di dasar sungai yang rendah karena perjalanan panjang mereka, dan kurangnya curah hujan, defisit air dikompensasi oleh curah hujan, salju yang turun dan air tanah. Dengan demikian melalui perpindahan air dan uap air, peran siklus hidrologi dapat berjalan secara efisien.
3. **Peran siklus hidrologi dalam evolusi lanskap.** Siklus hidrologi memainkan peran utama dalam perubahan lanskap yang terjadi di bumi. Sungai mempengaruhi perubahan permukaan tanah. Sumber air sungai adalah siklus hidrologi. Permukaan tanah dipengaruhi oleh air tanah. Siklus hidrologi memegang peranan penting dalam hal ini dan juga kondisi di bawah tanah karena jika tidak ada resapan, maka tidak akan ada air tanah (Paul, 2014).

2.4.2. Peran Biologi

1. **Sebagai pemasok air bagi kehidupan.** Kekurangan air akan mempengaruhi fisik bumi karena kehidupan tidak akan terjadi tanpa air. Air tanah, air Sungai dan danau merupakan sumber air bagi kehidupan.
2. **Untuk pertumbuhan tumbuhan.** Tidak ada tumbuhan yang dapat tumbuh tanpa air. Jumlah air yang berlebihan menciptakan hutan di daerah yang lembab. Tumbuhan adalah tempat hidup bagi hewan. Tumbuhan menyerap air dari tanah dan melepaskan uap air ke atmosfer dalam proses transpirasi.
3. **Budidaya tanaman.** Melalui proses hidrologi, tanah akan basah dapat menciptakan irigasi sehingga tanaman dapat tumbuh subur.
4. **Memelihara Ekosistem Perairan.** Keberadaan air akibat siklus hidrologi memungkinkan mempertahankan sistem lingkungan akuatik di daratan. Ikan Ular, Katak, Buaya, dan hewan air lainnya serta tumbuhan air merupakan penghuni ekosistem perairan.
5. **Pertumbuhan peradaban dan konservasi.** Hewan dan tumbuhan hidup membutuhkan air. Keberadaan air sungai memungkinkan manusia memanfaatkan kawasan di sekitar sungai untuk budidaya. Dengan adanya siklus hidrologi peradaban manusia akan terus berkembang ditunjang dengan modernisasi industri dan teknologi (Paul, 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- Davie, T. (2008) *Fundamentals of Hydrology, Second Edition*. New York: Taylor & Francis e-Library.
- Jesiani, E.M., Apriansyah, A. and Adriat, R. (2019) 'Model Pendugaan Evaporasi dari Suhu Udara dan Kelembaban Udara Menggunakan Metode Regresi Linier Berganda di Kota Pontianak', *Prisma Fisika*, 7(1), pp. 46–50. Available at: <https://doi.org/10.26418/pf.v7i1.32515>.
- Luo, X., Liang, X. and Lin, J.-S. (2016) 'Plant transpiration and groundwater dynamics in water-limited climates: Impacts of hydraulic redistribution', *Water Resources Research*, 52, pp. 4416–4437. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x>.
- Manamay, R. (2023) 'The Water Cycle: A Natural Process Essential for Life on Earth', *Hydrology: Current Research*, 14(03), pp. 1–2. Available at: <https://doi.org/10.37421/2157-7587.2023.14.464>.
- Marganingrum, D. and Santoso, H. (2019) 'Evapotranspiration of Indonesia Tropical Area', *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(3), pp. 106–116. Available at: <https://doi.org/10.14710/presipitasi.v16i3.106-116>.
- Naharuddin, Harijanto, H. and Wahid, A. (2018) *Buku Ajar: Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Aplikasinya dalam Proses Belajar Mengajar*. Sulawesi Tengah: UNTAD Press.
- Paul, A. (2014) 'The Importance of Hydrological Cycle on Earth', *Bhatter College Journal of Multidisciplinary Studies*, IV(December), pp. 112–119. Available at: http://bcjms.bhattercollege.ac.in/V4/12_Hydrological_Cycle.pdf.
- Pegano, T. and Sorooshian, S. (2002) 'Hydrologic Cycle', in *Encyclopedia of Global Environmental Change*. Chichester: John Wiley & Sons, pp. 1–15. Available at:

- <https://doi.org/10.4135/9781412953924.n545>.
- Raghunath, H.M. (2006) *Hydrology: Principles, Analysis, Design*. Manipal: New Age International Publisher.
- Reddy, P.J.R. (2005) *A Textbook of Hydrology*. University Science Press. Available at: [http://file//localhost\(null\)%0Apapers3://publication/uuid/F016C131-647A-4503-9AF9-0DEDAA1A3772](http://file//localhost(null)%0Apapers3://publication/uuid/F016C131-647A-4503-9AF9-0DEDAA1A3772).
- roboguru.ruangguru.com (no date) <https://roboguru.ruangguru.com/search?grade=3GAWQ3PJR&subject=matematika&text=siklus+hidrologi>.
- Salsabila, A. and Nugraheni, I.L. (2020) *Pengantar Hidrologi*. Bandar Lampung: Anugrah Utama Raharja. Available at: http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR_HIDROLOGI.pdf.
- Tuheteru, E.J. *et al.* (2021) 'Water balance of pit lake development in the equatorial region', *Water*, 13(21), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/w13213106>.
- Wilson, E.M. (1990) *Engineering Hydrology*. United Kingdom: Springer.
- Wirangga, R. *et al.* (2023) 'The Impact of Wind Speed on the Rate of Water Evaporation in a Desalination Chamber', *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 106(1), pp. 39–50. Available at: <https://doi.org/10.37934/arfmts.106.1.3950>.

BAB 3

FAKTOR-FAKTOR DAN KOMPONEN PARAMETER YANG MEMPENGARUHI SIKLUS HIDROLOGI

Oleh Henly Yulina

3.1 Pendahuluan

Bumi mengandung sejumlah besar air dalam bentuk reservoir. Air ada di atmosfer, litosfer, hidrosfer, dan biosfer. Di antara semua segmen ini, massa air berada dalam sirkulasi yang terus menerus. Secara umum disebut siklus hidrologi (Balasubramanian & Nagaraju, 2015). Siklus air merupakan siklus yang tidak pernah berakhir dimana air mencapai bumi dari atmosfer, mengalami kondensasi, curah hujan, penguapan, transpirasi, dan kembali ke atmosfer. (Salsabila & Nugraheni, 2020). Siklus hidrologi terdiri dari proses hidrologi di seluruh wilayah hidrosfer yang disebabkan sinar matahari dan gaya Tarik bumi. Peredaran air dimungkinkan oleh hubungan laut, atmosfer, serta daratan, pertukaran air juga energi (Kleidon & Renner, 2013).

Dalam arti luas, hidrologi mencakup studi tentang kejadian, pergerakan, serta karakteristik fisik dan kimia air dalam segala bentuknya di hidrosfer bumi. Konsep dasar siklus air (atau siklus hidrologi), yang menyatakan bahwa air laut menguap, selanjutnya terkondensasi di atmosfer, jatuh ke bumi sebagai presipitasi, dan akhirnya mengalir kembali dari sungai ke laut

(Beven, 2023). Hidrologi mempelajari bagian dari siklus air mulai dari masuknya air ke permukaan tanah sebagai presipitasi hingga akhirnya hilang dari tanah baik melalui penguapan atau transpirasi kembali ke atmosfer atau melalui aliran permukaan dan bawah permukaan ke laut (Beven, 2023). Air adalah sumber daya alam mendasar yang mendukung kehidupan, ekosistem, dan masyarakat manusia. Oleh karena itu mempelajari siklus air penting untuk pembangunan berkelanjutan (D. Yang et al., 2021).

3.2 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi merupakan siklus material dan energi yang penting dalam sistem bumi, yang dipengaruhi oleh banyak faktor (Andréassian et al., 2015). Faktor-faktor tersebut diantaranya adalah variasi (perubahan iklim), aktivitas manusia (Y. Liu et al., 2019), dan perubahan penggunaan lahan yang mempunyai pengaruh paling signifikan (Johnny et al., 2022). Evolusi alam dan aktivitas manusia bersama-sama mendorong perubahan global dalam berbagai skala; Secara khusus, variasi iklim dapat mempengaruhi proses siklus air, limpasan dan keseimbangan air regional dengan mempengaruhi curah hujan dan penguapan pada suatu daerah aliran sungai (Piao et al., 2010; Y. Yang et al., 2016).

3.2.1 Perubahan Iklim

Peredaran air merupakan faktor utama aturan iklim di bumi. Peredaran air mendistribusikan energi yang diperoleh dari matahari ke bumi dan kembali ke atmosfer dalam bentuk fluks panas laten. Peredaran air yang berubah akan berpengaruh secara langsung terhadap banjir, kekeringan, sumber daya air, serta ekosistem (Wu et al., 2013). Perubahan iklim merupakan faktor pendorong yang signifikan terhadap ketersediaan sumber

daya air, yang mempengaruhi besarnya limpasan permukaan, pengisian kembali akuifer, dan aliran sungai. Iklim yang berubah akan menyebabkan sumberdaya air berubah, kemudian mengakibatkan *recharge* air bawah tanah berkurang sehingga pada musim kemarau terjadi kekeringan (Supatmanto & Yusuf, 2015). Selain itu, iklim yang berubah juga mengakibatkan peningkatan suhu. Berdasarkan data dari IPCC (2007) peningkatan suhu udara global terjadi sejak 1861 sebesar 0,6°C terutama disebabkan oleh aktivitas manusia.

Perubahan iklim pada akhirnya mengakibatkan modifikasi pada siklus hidrologi yang menyebabkan perubahan ketersediaan air (Abbasa et al., 2016; Al-Mukhtar et al., 2014; Mahmood & Jia, 2016). Perubahan ketersediaan air dikaitkan dengan perubahan waktu aliran rendah dan aliran tinggi yang dapat mempengaruhi hasil panen, pengisian air tanah, dan potensi pembangkit listrik tenaga air (Akbar & Gheewala, 2020; Jahandideh-Tehrani et al., 2015; X. Liu et al., 2016; Pervez & Henebry, 2015; Strasser et al., 2019; Woldesenbet et al., 2018).

Selain itu Perubahan pola curah hujan dan sebaran curah hujan dapat terjadi di beberapa daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia, termasuk DAS Citarum di Jawa Barat. Perubahan yang terjadi adalah peningkatan curah hujan sebesar 0-10% pada musim hujan dan penurunan sebesar 5-25% pada musim kemarau. Fenomena ini memberikan dampak terhadap peningkatan risiko banjir serta kekeringan di DAS Citarum. Dampak lainnya adalah 1) hilangnya hasil panen hingga dua kali lipat dibandingkan saat ini, 2) peningkatan jumlah wilayah yang terimbas dampak banjir (28 kecamatan), dan 3) peningkatan kapasitas pembangkit listrik tenaga air, terutama di wilayah kering. Dimana jumlahnya menurun secara signifikan di musim kemarau. DAS Jatilufur adalah salah satu daerah di DAS Citarum yang terkena pengaruh perubahan iklim.

3.2.2 Aktivitas Manusia

Iklim dan aktivitas manusia merupakan dua faktor yang dapat mempengaruhi siklus hidrologi dengan cara yang berbeda. Perubahan iklim mengubah sistem hidrologi dengan menginduksi variasi *spatiotemporal* curah hujan regional dan perubahan suhu (Pereira et al., 2016; Woldesenbet et al., 2018). Dibandingkan dengan perubahan iklim, aktivitas manusia lebih terkendali, oleh karena itu perubahan aktivitas manusia merupakan langkah utama dalam menangani potensi dampak perubahan iklim terhadap sistem hidrologi.

Dengan perkembangan masyarakat dan teknologi terkini, aktivitas manusia secara bertahap meningkat dan dampaknya terhadap siklus hidrologi pada skala ruang dan waktu yang berbeda, seperti daerah aliran sungai (DAS) , telah diketahui secara luas. Secara umum, aktivitas manusia di wilayah sungai dapat dibagi menjadi penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan, misalnya degradasi vegetasi, penggundulan hutan, dan urbanisasi, serta perilaku dan kebijakan pemanfaatan sumber daya air, misalnya irigasi pertanian (Zhang et al., 2016) , regulasi reservoir (Buytaert et al., 2006; Shen et al., 2009; Wang et al., 2018), ekstraksi air tanah dalam, dan pengalihan air antar cekungan.

Sejumlah riset menunjukkan penggunaan lahan dan perubahan tutupan lahan dapat memberikan dampak besar terhadap hidrologi DAS dalam hal kuantitas dan kualitas air. Misalnya, degradasi vegetasi menyebabkan penurunan kapasitas penyimpanan air, yang pada akhirnya menyebabkan perubahan komponen keseimbangan hidrologi (misalnya evapotranspirasi, infiltrasi, dan aliran dasar), atau sebaliknya (Pacheco et al., 2014). Selain itu, perubahan albedo (fraksi cahaya yang dipantulkan dari benda atau permukaan), kekasaran aerodinamis permukaan, luas daun, dan kedalaman perakaran akibat perubahan penggunaan lahan dapat mempengaruhi siklus hidrologi melalui proses yang berbeda. Konflik penggunaan lahan berdampak pada konsentrasi atau hasil nitrat, fosfor, dan

sulfat, baik di air permukaan maupun air tanah (Junior et al., 2014; Pacheco et al., 2015). Aktivitas manusia lain seperti irigasi pertanian, penggunaan air untuk industri dan pembangunan waduk telah mengubah siklus hidrologi (Y. Liu et al., 2022).

3.2.3 Perubahan Penggunaan Lahan

Efek perubahan penggunaan lahan pada siklus hidrologi sangat mempengaruhi untuk pengembangan sumber daya air berkelanjutan di daerah tangkapan air di dataran tinggi. Hasil penelitian Johnny, and Muniraj and Suresh (2022) menunjukkan bahwa perbedaan sifat-sifat tanah dan hidrologi pada daerah tangkapan air di dataran tinggi, yang sebagian direklamasi dari daerah tangkapan hutan, dibandingkan dengan daerah tangkapan air hutan lainnya. Sifat-sifat tanah lapisan permukaan dan bawah permukaan diselidiki di dua daerah tangkapan air. Tanah menjadi padat dan kapasitas menahan air tanah di daerah tangkapan air di dataran tinggi menjadi lebih kecil setelah adanya reklamasi dari hutan ke dataran tinggi, sehingga menurunkan laju infiltrasi dan penyimpanan air di lapisan tanah. Kami menemukan bahwa limpasan permukaan langsung di daerah tangkapan air di dataran tinggi meningkat dibandingkan dengan daerah tangkapan air di hutan. Evapotranspirasi tahunan dari daerah tangkapan air di dataran tinggi cenderung lebih rendah karena perubahan jenis vegetasi dan sifat tanah.

Hasil penelitian Septriana *et al.* (2020) menunjukkan penurunan tutupan vegetasi Jakarta secara signifikan menggunakan citra Landsat. Tahun 1999, luas wilayah perkotaan Jakarta sebesar 65,5% dan luas vegetasi sebesar 35,5%, namun tahun 2019 persentasenya mengalami perubahan yang signifikan, yaitu menjadi 93,6% wilayah perkotaan dan sisa wilayah vegetasi hanya sebesar 6,4%. Seiring bertambahnya wilayah perkotaan, maka luas wilayah yang kedap air pun semakin bertambah. Lapisan kedap air pada lahan maju mengurangi tingkat infiltrasi dan meningkatkan limpasan

permukaan atau limpasan, yang pada akhirnya dapat terjadi banjir.

Hampir seluruh wilayah tropis mengalami perubahan yang disebabkan penggunaan lahan yang berubah pula terkait dengan meningkatnya urbanisasi dan penggundulan hutan. Beberapa penelitian menunjukkan penggunaan lahan yang berubah serta penurunan kualitas dan kuantitas lahan di wilayah tropis mengubah respon hidrologi daerah aliran sungai. Perpindahan penduduk dari desa ke kota serta penggundulan hutan meningkatkan daya tanggap sungai, meningkatkan volume air, serta meningkatkan risiko banjir selama musim hujan. Salah satunya air di Sungai Ciliwung yang meluap ketika turun hujan pada tahun 1996, 2002, 2007, 2013, serta 2014 (Remondi et al., 2016). Gabungan kekuatan curah hujan yang besar serta topografi yang rawan banjir, dan sistem pembuangan yang buruk di wilayah metropolitan Jakarta, juga menjadi penyebab terjadinya banjir baru-baru ini.

Seperti yang telah disebutkan, fenomena banjir adalah salah satu bentuk gangguan pada sistem perairan, yang dimulai dengan peningkatan kecepatan aliran permukaan, peningkatan volume air limpasan, dan penurunan kecepatan aliran dasar. Menurut Rahardjo *et al.* (2016), limpasan air dipengaruhi oleh meluasnya permukaan tanah kedap air dan berkurangnya kawasan hijau. Pemanfaatan air tanah sebagai bahan baku air minum mampu menyebabkan penurunan muka air tanah, sehingga dapat mengakibatkan penurunan permukaan tanah dalam jangka panjang.

Perubahan penggunaan lahan dapat berpengaruh terhadap siklus air. Hal ini tidak hanya menyebabkan kelebihan limpasan permukaan saat musim hujan, namun juga berkurangnya tampungan dan infiltrasi permukaan, yang dapat mengakibatkan kekeringan dan kekurangan air tanah pada musim kemarau. Berkurangnya air tanah berpengaruh terhadap rendahnya tingkat penguapan, yang berpengaruh terhadap iklim mikro di

wilayah yang siklus curah hujan sangat dipengaruhi oleh penguapan (Remondi et al., 2016).

Selanjutnya Rahardjo *et al.* (2016) mengemukakan pentingnya konservasi air tanah melalui berbagai cara, termasuk (1) taman lingkungan (2) kawasan pemukiman yang melindungi air tanah melalui drainase alami. Limpasan permukaan dapat disebabkan karena banyaknya permukaan tanah yang kedap air dan berkurangnya ruang hijau. Di tingkat kota, perlindungan air tanah meliputi (1) ruang terbuka hijau di sepanjang tepi jalan untuk sepeda, pejalan kaki, dan lain-lain, (2) koridor sungai yang menggunakan sempadan sungai, (3) sepanjang koridor saluran listrik tegangan tinggi, (4) kawasan yang dimanfaatkan, seperti danau/kolam, taman kota/hutan.

3.2.4 Kombinasi Perubahan Iklim dan Penggunaan Lahan

Perubahan iklim dan penggunaan lahan mempengaruhi siklus hidrologi dengan mengubah respon hidrologi termasuk aliran sungai/ streamflow (SF), limpasan permukaan/ surface runoff (SR), aliran dasar/base-flow (BF), dan evapotranspirasi (ET). Beberapa penelitian telah membahas dampak-dampak terpisah dari penggunaan lahan atau perubahan iklim terhadap hidrologi daerah aliran sungai, namun hanya sedikit yang mengeksplorasi dampak gabungannya.

Hasil penelitian Teklay et al. (2021) di Daerah Aliran Sungai Gumara, Ethiopia dengan mengkaji empat skenario penggunaan lahan yang mencakup penggunaan lahan saat ini dan proyeksi berdasarkan tren business-as-usual (BAU), perluasan tanaman irigasi (EIC), dan perluasan lahan hutan (EFL). Variabel iklim disimulasikan menggunakan model Weather Research and Forecasting (WRF) untuk periode baseline (2005-2015) dan proyeksi (2045-2055) dengan skenario RCP4.5 dan RCP8.5. Hasil menunjukkan bahwa SR meningkat sebesar 5,1% pada skenario BAU sementara BF menurun sebesar 6,5% tanpa mengubah SF dan ET secara nyata. Sebaliknya, SF mengalami penurunan masing-masing sebesar

12,5% dan 5,2% pada skenario EIC dan EFL, sedangkan ET meningkat masing-masing sebesar 4,8% dan 8,9% pada skenario EIC dan EFL. SF, SR, dan ET yang disimulasikan pada RCP8.5 dapat meningkat secara signifikan masing-masing sebesar 34,3%, 51,8%, dan 12,2%. Demikian pula, simulasi SF, SR dan ET dapat meningkat secara signifikan pada kombinasi ketiga skenario penggunaan lahan dan RCP8.5. Hal ini menunjukkan perubahan iklim akan mempunyai dampak yang lebih besar terhadap respons hidrologi dibandingkan perubahan penggunaan lahan.

Hasil penelitian (Chen et al., 2019) di Daerah Aliran Sungai Jinsha, China menggunakan metode simulasi skenario dengan alat penilaian tanah dan air/the soil and water assessment tool (SWAT). Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) peningkatan dan penurunan risiko banjir dan kekeringan terdeteksi selama tahun 1960–2017. Penggunaan lahan tidak banyak berubah selama tahun 1980–2015, kecuali badan air dan lahan bangunan. (2) Model SWAT memiliki efek simulasi yang lebih baik pada arus tinggi dibandingkan dengan arus rendah. Selain itu, data GCM yang diturunkan skalanya dapat mensimulasikan nilai rata-rata limpasan dengan baik, dan efek simulasi yang dapat diterima dapat dicapai untuk indikator limpasan ekstrem, dengan pengecualian frekuensi dan durasi banjir serta arus sangat rendah. (3) Selama periode 1970–2017, perubahan tata guna lahan hanya berdampak kecil terhadap limpasan air yang ekstrem, sementara perubahan iklim adalah salah satu penyebab utama yang mengakibatkan perubahan situasi hidrologis yang ekstrem. (4) Dalam konteks perubahan iklim global, indikator limpasan maksimum 3 hari dan minimum limpasan 3 hari kemungkinan akan meningkat dalam waktu dekat (2021–2050) dibandingkan dengan periode historis (1970–2005).

3.3 Komponen yang Mempengaruhi Siklus Hidrologi

Peredaran jumlah air yang terjadi pada belahan bumi melibatkan beberapa faktor penyebab serta komponen. Komponen utama (atau) elemen siklus hidrologi yaitu:

1. Curah hujan (presipitasi)

Presipitasi menggambarkan air yang turun ke bumi akibat kondensasi di atmosfer. Curah hujan terdiri dari hujan, salju, serta hujan es. Kabut bukanlah presipitasi. Air dalam kabut tidak cukup mengembun untuk mengendap, atau mencair dan jatuh ke bumi. Kabut merupakan bagian dari siklus air yang dinamakan suspensi. Curah hujan adalah salah satu dari banyak cara air bersirkulasi dari atmosfer ke bumi atau laut.

2. Evaporasi (Penguapan)

Evaporasi yaitu proses berubahnya zat cair menjadi gas. Dalam peredaran air, air yang ada di laut, danau, atau sungai menguap. Proses penguapan siklus air didorong oleh matahari. Saat matahari berinteraksi dengan air di permukaan laut, air tersebut menjadi gas yang tidak terlihat (uap air). Penguapan juga dipengaruhi oleh angin, suhu, dan kepadatan badan air.

3. Transpirasi

Transpirasi adalah bagian penting lainnya dari siklus air. Transpirasi yaitu proses penguapan uap air dari tanaman. Tumbuhan melepaskan uap air melalui pori-pori mikroskopis yang dinamakan stomata. Cahaya matahari sangat berpengaruh terhadap pembukaan stomata, sehingga sering dikaitkan dengan sinar matahari dan proses penguapan.

4. **Evapotranspirasi**
Evapotranspirasi adalah gabungan komponen evaporasi dan transpirasi, dan terkadang digunakan untuk mengevaluasi pergerakan air di atmosfer.
5. **Limpasan Permukaan**
Limpasan menggambarkan beberapa metode pergerakan air di atas permukaan tanah. Salju yang mencair merupakan jenis limpasan yang dihasilkan ketika salju atau gletser mencair dan membentuk sungai atau kolam.
6. **Kondensasi**
Kondensasi merupakan proses mengubah gas menjadi cair. Dalam peredaran air, uap air di atmosfer mengembun dan menjadi cair. Awan terbentuk ketika uap air mengembun, atau menjadi lebih pekat (padat). Uap air mengembun di sekitar partikel kecil yang disebut inti kondensasi awan (CCN). CCN bisa berbentuk partikel debu, garam, atau polutan.
7. **Infiltrasi**
Infiltrasi adalah masuknya air hujan ke dalam tanah. Air hujan yang turun ke permukaan bumi khususnya di darat kemudian akan masuk ke dalam tanah melalui celah-celah atau pori-pori tanah dan batuan sehingga mencapai permukaan air tanah dan akan menjadi air bawah tanah.
8. **Aliran dasar air tanah**
Air hujan yang turun akan masuk ke bawah tanah dan mencapai zona air tanah. Tergantung pada kemiringan sistem air tanah, air tanah bergerak menuju sungai, danau, atau lautan. Aliran air tanah ini disebut aliran dasar. Hal ini tergantung pada hidrologinya sifat-sifat batuan yang membentuk sistem air tanah. Ini adalah aliran air yang tidak terlihat. Sebuah sungai mungkin menjadi aliran yang hilang (atau) aliran yang bertambah tergantung pada kontribusi air aliran ke bumi (atau) air tanah ke sungai masing-masing (Balasubramanian & Nagaraju, 2015).

9. Sublimasi

Daerah yang tertutup salju juga mengalami kehilangan air melalui penguapan langsung. Proses langsung penguapan salju menjadi uap air disebut sublimasi. Sangat sulit membedakan antara evaporasi dan sublimasi dengan salju. Suhu udara memainkan peran penting selain angin, dalam terjadinya sublimasi (Balasubramanian & Nagaraju, 2015).

10. Intersepsi

Air hujan yang turun di kawasan hutan terkadang tidak langsung sampai ke permukaan tanah karena tertahan oleh dedaunan atau batang pohon. Ini adalah akibat dari intersepsi.



Gambar 3.1. Siklus Hidrologi (Inglezakis et al., 2016)

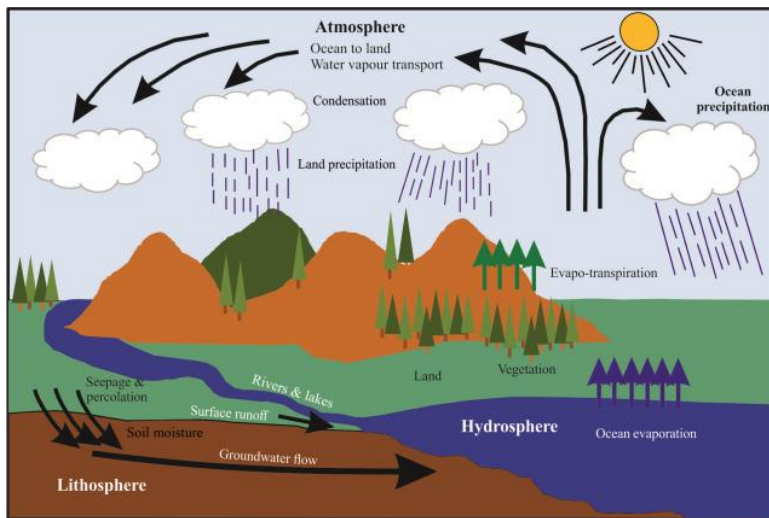
Siklus hidrologi bumi merupakan jumlah total seluruh proses perpindahan air dari permukaan daratan dan lautan ke atmosfer kemudian kembali lagi dalam bentuk presipitasi. Siklus hidrologi bergantung pada berbagai faktor dan sama-sama dipengaruhi oleh lautan dan permukaan tanah. Dalam kasus permukaan tanah, vegetasi memainkan peranan penting dalam

pemeliharaan hidrologi. Kehadiran vegetasi meningkatkan kemampuan permukaan tanah dalam mempertahankan kelembapan. Curah hujan kemudian tertahan oleh tanaman dan langsung menguap ketika ditangkap oleh kanopi. Tumbuhan itu sendiri melakukan transpirasi dan membantu pembentukan sejumlah besar uap air melalui proses evapotranspirasi. Limpasan permukaan, pada lahan kosong, jauh lebih besar dibandingkan pada lahan bervegetasi. Karena tumbuhan mendominasi proses energi, uap air, dan pertukaran karbon, kehadiran tumbuhan sangat penting bagi berfungsinya siklus hidrologi (Chakravarty & Kumar, 2019).

Siklus hidrologi berkaitan erat dengan perubahan suhu atmosfer dan keseimbangan radiasi. Pemanasan sistem iklim dalam beberapa dekade terakhir sangatlah nyata, seperti yang terlihat melalui peningkatan suhu rata-rata udara serta lautan global, meluasnya proses mencairnya salju dan es, dan kenaikan permukaan laut secara global. Siklus hidrologi diperkirakan akan terpengaruh oleh pemanasan global akibat meningkatnya efek rumah kaca (Inglezakis et al., 2016).

Siklus hidrologi yaitu peredaran air yang terus menerus antara hidrosfer, atmosfer, serta litosfer secara siklis (Gambar 3.2). Pergerakan air terjadi dari satu reservoir ke reservoir lainnya melalui proses fisik seperti penguapan, kondensasi, presipitasi, infiltrasi, dan limpasan permukaan. Air yang menguap dari permukaan bumi mencapai atmosfer dan mengembun menjadi tetesan air dan selanjutnya mencapai daratan dalam bentuk presipitasi (hujan dan salju) yang menyumbang hampir 20% curah hujan dunia. Kelebihan air, yang diterima di darat, kembali ke lautan melalui sungai serta air tanah sehingga menyelesaikan siklus air (Pimentel et al., 2007). Oleh karena itu, energi matahari memindahkan sejumlah besar air dari lautan ke daratan melalui atmosfer setiap tahunnya, sehingga menjadikan siklus hidrologi penting tidak

hanya bagi kehidupan manusia dan ekosistem alam, namun juga bagi produksi pertanian dan industri.



Gambar 3.2. Siklus hidrologi menunjukkan siklus perpindahan air antara atmosfer, litosfer, dan hidrosfer (Singh & Singh, 2021)

Namun, siklus hidrologi mulai berubah akibat dampak buruk perubahan iklim dan kenaikan suhu global. Suhu sangat berpengaruh terhadap siklus hidrologi. Telah diamati bahwa suhu global terus meningkat selama jutaan tahun dan secara langsung mempengaruhi pola curah hujan, intensitas musun, konsentrasi uap air, pembentukan awan, perubahan musim, dan pola aliran sungai. Meningkatnya suhu dan perubahan iklim telah memperparah siklus ini karena kenaikan suhu global menyebabkan lebih banyak air menguap dari laut dan daratan. Udara hangat menyimpan jumlah uap air yang lebih banyak yang pada gilirannya menghasilkan curah hujan yang lebih intensif sehingga menyebabkan banjir di wilayah pesisir. Udara hangat juga meningkatkan laju penguapan yang mengintensifkan proses penguapan di tanah yang menyebabkan kelembaban tanah menguap selama jangka waktu tertentu dan dengan demikian,

memperparah kondisi kekeringan di daerah pedalaman benua. Oleh karena itu, perubahan pola iklim dan peningkatan suhu global mempercepat siklus air yang menyebabkan perubahan fenomena iklim ekstrem berupa curah hujan yang lebih intensif, situasi semburan awan, seringnya terjadi badai dan kondisi kekeringan. Dampak langsung terhadap siklus hidrologi ini juga akan menyebabkan perubahan pada sumber daya air (Singh & Singh, 2021).

DAFTAR PUSTAKA

- Abbasa, N., Wasimia, S. A., & Al-Ansari, N. (2016). Assessment of Climate Change Impact on Water Resources of Lesser Zab, Kurdistan, Iraq Using SWAT Model. *Engineering*, 8, 697–715. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:113532857>
- Akbar, H., & Gheewala, S. H. (2020). Effect of climate change on cash crops yield in Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*, 13, 1–15. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:218761987>
- Al-Mukhtar, M., Dunger, V., & Merkel, B. J. (2014). Assessing the Impacts of Climate Change on Hydrology of the Upper Reach of the Spree River: Germany. *Water Resources Management*, 28, 2731–2749. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:155051543>
- Andréassian, V., Coron, L., Lerat, J., & Le Moine, N. (2015). Climate elasticity of streamflow revisited - An elasticity index based on long-term hydrometeorological records. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, 3645–3679. <https://doi.org/10.5194/hess-20-4503-2016>
- Balasubramanian, A., & Nagaraju, D. (2015). The Hydrologic Cycle. In <https://www.researchgate.net/publication/315125743>. [https://doi.org/10.1016/S0074-6142\(08\)60562-8](https://doi.org/10.1016/S0074-6142(08)60562-8)
- Beven, K. J. (2023). Hydrologic Sciences. In *Britannica*.
- Buytaert, W., Céleri, R., Bièvre, B. De, Cisneros, F., Wyseure, G., Deckers, J., & Hofstede, R. G. M. (2006). Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews*, 79, 53–72. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:55585173>
- Chakravarty, P., & Kumar, M. (2019). Chapter 6 - Floral Species in Pollution Remediation and Augmentation of Micrometeorological Conditions and Microclimate: An Integrated Approach. In V. C. Pandey & K. Bauddh (Eds.),

- Phytomanagement of Polluted Sites* (pp. 203–219). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813912-7.00006-5>
- Chen, Q., Chen, H., Zhang, J., Hou, Y., Shen, M., Chen, J., & Xu, C. (2019). Impacts of climate change and LULC change on runoff in the Jinsha River Basin. *Water*, 11, 1–25.
<https://doi.org/10.1007/s11442-020-1716-9>
- Inglezakis, V. J., Pouloupoulos, S. G., Arkhangelsky, E., Zorpas, A. A., & Menegaki, A. N. (2016). Chapter 3 - Aquatic Environment. In S. G. Pouloupoulos & V. J. Inglezakis (Eds.), *Environment and Development* (pp. 137–212). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62733-9.00003-4>
- Jahandideh-Tehrani, M., Haddad, O. B., & Loáiciga, H. A. (2015). Hydropower Reservoir Management Under Climate Change: The Karoon Reservoir System. *Water Resources Management*, 29, 749–770.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:154646486>
- Johnny, J. C., and Muniraj, K., & Suresh, and D. (2022). Factors That Influence the Hydrological Process: A Climate and Land Use/Land Cover Perspective. In Panneerselvam Balamurugan, C. B. and Pande, and M. Kirubakaran, and B. Anand, & and R. Nagavinothini (Eds.), *Climate Change Impact on Groundwater Resources: Human Health Risk Assessment in Arid and Semi-arid Regions* (pp. 25–46). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-04707-7_3
- Junior, R. F. V., Varandas, S. G. P., Fernandes, L. F. S., & Pacheco, F. A. L. (2014). Groundwater quality in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of The Total Environment*, 493, 812–827.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.06.068>
- Kleidon, A., & Renner, M. (2013). Thermodynamic limits of

hydrologic cycling within the Earth system: concepts, estimates and implications. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(7), 2873–2892. <https://doi.org/10.5194/hess-17-2873-2013>

Liu, X., Tang, Q., Voisin, N., & Cui, H. (2016). Projected impacts of climate change on hydropower potential in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 3343–3359. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:53476542>

Liu, Y., Wang, N., Zhang, J., & Wang, L. (2019). Climate change and its impacts on mountain glaciers during 1960–2017 in western China. *Journal of Arid Land*, 11(4), 537–550. <https://doi.org/10.1007/s40333-019-0025-6>

Liu, Y., Yu, K., Zhao, Y., & Bao, J. (2022). Impacts of Climatic Variation and Human Activity on Runoff in Western China. *Sustainability*, 14(2). <https://doi.org/10.3390/su14020942>

Mahmood, R., & Jia, S. (2016). Assessment of Impacts of Climate Change on the Water Resources of the Transboundary Jhelum River Basin of Pakistan and India. *Water*, 8(6). <https://doi.org/10.3390/w8060246>

Pacheco, F. A. L., Santos, R. M. B., Sanches Fernandes, L. F., Pereira, M. G., & Cortes, R. M. V. (2015). Controls and forecasts of nitrate yields in forested watersheds: A view over mainland Portugal. *Science of The Total Environment*, 537, 421–440. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.127>

Pacheco, F. A. L., Varandas, S. G. P., Sanches Fernandes, L. F., & Valle Junior, R. F. (2014). Soil losses in rural watersheds with environmental land use conflicts. *Science of The Total Environment*, 485–486, 110–120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.069>

Pereira, D. dos R., Martinez, M. A., Pruski, F. F., & da Silva, D. D. (2016). Hydrological simulation in a basin of typical tropical

- climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 7, 14–37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2016.05.002>
- Pervez, M. S., & Henebry, G. M. (2015). Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3, 285–311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.003>
- Piao, S., Ciais, P., Huang, Y., Shen, Z., Peng, S., Li, J., Zhou, L., Liu, H., Ma, Y., Ding, Y., Friedlingstein, P., Liu, C., Tan, K., Yu, Y., Zhang, T., & Fang, J. (2010). The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467(7311), 43–51. <https://doi.org/10.1038/nature09364>
- Pimentel, D., Berger, B., Filiberto, D., Newton, M., Wolfe, B., Karabinakis, E., Clark, S., Poon, E., Abbett, E., & Nandagopal, S. (2007). Water resources: Agricultural and environmental issues. *Food, Energy, and Society, Third Edition*, 54(10), 183–200. <https://doi.org/10.1201/9781420046687>
- Rahardjo, P., Hartono, D. M., Suganda, E., & Arifin, H. S. (2016). Conservation of Underground Water with the Ecosystem Approach to the Development of the New Towns in Bogor, Tangerang, Bekasi (Botabek) Region. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227, 720–727. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:147760397>
- Remondi, F., Burlando, P., & Vollmer, D. (2016). Exploring the hydrological impact of increasing urbanisation on a tropical river catchment of the metropolitan Jakarta, Indonesia. *Sustainable Cities and Society*, 20, 210–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.10.001>
- Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). Pengantar Hidrologi. In *Pengantar Hidrologi*. AURA CV. Anugrah Utama Raharja. http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR_HIDROLOGI.pdf

- Septriana, F. E., Alnavis, N. B., Gustia, R., Wirawan, R. R., Putri, N. P., Hasibuan, H. S., & Tambunan, R. P. (2020). Dampak Perubahan Penutupan Lahan Terhadap Sistem Hidrologi Di Jakarta. *Majalah Ilmiah Globe*, 51–57. <https://doi.org/10.24895/mig.2020.22-1.1150>
- Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H., Hong, Q., Xu, L., & Liu, R. M. (2009). A comparison of WEPP and SWAT for modeling soil erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area. *Agricultural Water Management*, 96(10), 1435–1442. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.04.017>
- Singh, A. A., & Singh, A. K. (2021). Chapter 6 - Climatic controls on water resources and its management: challenges and prospects of sustainable development in Indian perspective. In B. Thokchom, P. Qiu, P. Singh, & P. K. Iyer (Eds.), *Water Conservation in the Era of Global Climate Change* (pp. 121–145). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820200-5.00015-4>
- Strasser, U., Förster, K., Formayer, H., Hofmeister, F., Marke, T., Meissl, G., Nadeem, I., Stotten, R., & Schermer, M. (2019). Storylines of combined future land use and climate scenarios and their hydrological impacts in an Alpine catchment (Brixental/Austria). *The Science of the Total Environment*, 657, 746–763. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:59249938>
- Supatmanto, B. D., & Yusuf, S. M. (2015). Studi Hidrologi Berdasarkan Climate Changes Menggunakan Model Swat Di Daerah Tangkapan Air Waduk Jatiluhur. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 16(2), 55–60. <https://doi.org/10.29122/jstm.v16i2.1047>
- Teklay, A., Dile, Y. T., Asfaw, D. H., Bayabil, H. K., & Sisay, K. (2021). Impacts of Climate and Land Use Change on Hydrological Response in Gumara Watershed, Ethiopia. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 21(2), 315–332.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2020.12.001>

- Wang, Y., Zhang, N., Wang, D., Wu, J., & Zhang, X. (2018). Investigating the impacts of cascade hydropower development on the natural flow regime in the Yangtze River, China. *Science of The Total Environment*, 624, 1187–1194. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.212>
- Woldesenbet, T. A., Elagib, N. A., Ribbe, L., & Heinrich, J. (2018). Catchment response to climate and land use changes in the Upper Blue Nile sub-basins, Ethiopia. *Science of The Total Environment*, 644, 193–206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.198>
- Wu, P., Christidis, N., & Stott, P. (2013). Anthropogenic impact on Earth's hydrological cycle. *Nature Climate Change*, 3(9), 807–810. <https://doi.org/10.1038/nclimate1932>
- Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*, 2(2), 115–122. <https://doi.org/10.1016/j.geosus.2021.05.003>
- Yang, Y., Cui, Y., Luo, Y., Lyu, X., Traore, S., Khan, S., & Wang, W. (2016). Short-term forecasting of daily reference evapotranspiration using the Penman-Monteith model and public weather forecasts. *Agricultural Water Management*, 177, 329–339. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.08.020>
- Zhang, X., Ren, L., & Kong, X. (2016). Estimating spatiotemporal variability and sustainability of shallow groundwater in a well-irrigated plain of the Haihe River basin using SWAT model. *Journal of Hydrology*, 541, 1221–1240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.08.030>

BAB 4

KONSEP PRESIPITASI, KARAKTERISTIK, MEKANISME, PERHITUNGAN DAN PENGUKURANNYA

Oleh Septrial Arafat

4.1 Pendahuluan

Presipitasi adalah proses di mana uap air dalam atmosfer berubah menjadi bentuk cair atau padat dan jatuh ke permukaan bumi. Contoh yang termasuk kategori presipitasi adalah hujan, salju, hujan es, embun beku, dan lainnya (Tallar, 2023). Berikut adalah beberapa konsep, karakteristik, mekanisme, perhitungan, dan pengukuran terkait dengan presipitasi.

4.2 Konsep Presipitasi

Hujan terjadi sebagai bagian dari siklus air di atmosfer Bumi. Proses terjadinya hujan melibatkan beberapa langkah utama, dan ini biasanya dijelaskan dengan konsep siklus hidrologi. Berikut adalah langkah-langkah utama dalam terjadinya hujan:

Penguapan (Evaporation): Proses dimulai ketika matahari memanaskan permukaan air, seperti sungai, danau, atau lautan. Panas matahari menyebabkan molekul air bergerak lebih cepat, dan sebagian dari mereka berubah menjadi uap air.

Transpirasi: Selain penguapan dari permukaan air, tanaman juga melepaskan uap air melalui proses yang disebut transpirasi. Ini terjadi ketika tanaman menyerap air melalui akar dan mengeluarkannya melalui daun dalam bentuk uap.

Kondensasi: Uap air yang terangkat ke atmosfer mendingin dan berubah kembali menjadi titik-titik air atau embun. Proses ini disebut kondensasi. Kondensasi terjadi di sekitar partikel-partikel kecil, seperti debu atau inti pembekuan yang terdapat di atmosfer.

Pembentukan Awan: Titik-titik air yang terkondensasi berkumpul untuk membentuk awan. Awan terbentuk ketika uap air mengkondensasi pada inti pembekuan, seperti partikel debu atau kristal es.

Pertumbuhan Awan: Awan terus tumbuh seiring dengan penambahan uap air ke dalamnya. Ini dapat terjadi melalui proses difusi atau adveksi, di mana uap air diangkut oleh angin.

Presipitasi (Hujan): Ketika awan menjadi terlalu berat untuk menahan uap air di dalamnya, tetesan air atau kristal es jatuh ke permukaan Bumi sebagai hujan. Jika suhu di atas lapisan atmosfer rendah cukup rendah, presipitasi dapat berupa salju, hujan es, atau bentuk lainnya.

Proses tersebut diatas merupakan bagian penting dari siklus air global dan terjadi terus-menerus di seluruh dunia. Faktor-faktor seperti suhu, tekanan udara, dan kelembaban udara memainkan peran penting dalam menentukan apakah uap air akan berkondensasi menjadi awan dan apakah awan tersebut akan menyebabkan hujan. (Selamet, 2017)

Presipitasi merupakan faktor yang mudah diamati. Namun, penting untuk diingat bahwa terjadinya hujan melibatkan faktor-faktor lain seperti kelembaban udara, energi matahari, arah dan kecepatan angin, serta suhu udara.

Kelembaban udara memainkan peran kunci sebagai pelindung bagi permukaan bumi dengan kemampuannya menyerap atau memantulkan radiasi matahari gelombang pendek yang mencapai bumi. Selain itu, kelembaban udara juga memiliki peran vital dalam menahan pelepasan radiasi matahari gelombang panjang dari permukaan bumi selama siang dan malam hari (Dimas, 2022).

Peningkatan suhu udara berdampak pada peningkatan kapasitas udara untuk menyimpan air, sementara suhu udara yang lebih rendah cenderung membentuk gumpalan awan yang lebih besar yang akhirnya turun sebagai hujan. Dalam mengukur kemampuan udara untuk menampung air, terdapat dua faktor kelembaban udara utama, yaitu kelembaban spesifik dan kelembaban absolut.

Kelembaban spesifik mengukur jumlah uap air (dalam gram) dalam satu kilogram udara basah, sementara kelembaban absolut mengukur perbandingan massa uap air dengan total volume udara. Perbedaan utama antara keduanya terletak pada respons terhadap perubahan tekanan udara, di mana kelembaban spesifik tidak dipengaruhi oleh perubahan tekanan udara, sedangkan kelembaban absolut responsif terhadap perubahan tekanan udara di lokasi tertentu.

1. Energi Matahari.

Energi dari matahari berperan sebagai pendorong utama dalam menjalankan siklus hidrologi dan memiliki dampak yang besar pada dinamika iklim. Secara keseluruhan, jumlah energi matahari yang mencapai permukaan bumi adalah sekitar 0,5 langley per menit. Namun, jumlah energi matahari yang benar-benar diterima oleh permukaan bumi dapat berbeda tergantung pada lokasi geografis dan kondisi permukaan bumi.

Perbedaan dalam kondisi geografis memicu pergerakan udara di atmosfer, yang juga berperan dalam mendistribusikan energi matahari. Energi matahari

membantu menggerakkan massa udara di atmosfer dan di atas lautan, menjadi sumber daya untuk proses evaporasi dan transpirasi. Evaporasi terjadi di permukaan air, sementara transpirasi adalah proses kehilangan air dari tanaman (Sinambela, dkk. 2010).

Energi dari matahari menjadi pemicu utama dalam menjalankan siklus hidrologi melalui proses radiasi. Sementara itu, redistribusi energi matahari terjadi melalui konduksi dari daratan dan konveksi yang terjadi di dalam air dan atmosfer. Konduksi merujuk pada transfer panas antara dua lapisan udara yang berdekatan saat terdapat perbedaan suhu di antara keduanya. Di sisi lain, konveksi adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh gerakan massa udara atau air, dengan arah pergerakan yang bersifat vertikal.

2. Angin

Angin merupakan pergerakan massa udara, yakni pergerakan atmosfer atau udara relatif terhadap permukaan bumi. Faktor-faktor yang umumnya dianalisis terkait angin adalah arah dan kecepatannya. Kecepatan angin memiliki signifikansi penting karena dapat memengaruhi tingkat kehilangan air melalui evapotranspirasi dan memiliki dampak pada hujan. Untuk terjadinya hujan, diperlukan pergerakan terus-menerus dari udara lembab. Dalam konteks ini, pergerakan udara atau angin berperan sebagai kekuatan penggerak bagi pergerakan udara lembab tersebut (Al Mughozali, 2013).

Kecepatan dan arah angin cenderung mengalami fluktuasi dalam rentang waktu satu hari. Variabilitas ini seringkali dipicu oleh perbedaan suhu antara daratan dan lautan. Secara umum, angin biasanya berhembus dari daerah permukaan yang lebih dingin menuju ke daerah permukaan yang lebih hangat. Perubahan gerakan horizontal atmosfer terhadap permukaan bumi disebabkan oleh satu atau kombinasi dari gradien tekanan, gaya Coriolis, dan gaya gesekan.

3. Suhu udara

Pengaruh suhu tidak hanya terbatas pada jumlah curah hujan, tingkat penguapan, dan transpirasi, tetapi juga dianggap sebagai variabel kunci dalam memprediksi serta menjelaskan distribusi dan pergerakan air di permukaan bumi. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam terkait metode penentuan suhu udara menjadi suatu hal yang penting dalam konteks ini.

4.3 Mekanisme Presipitasi

Mekanisme berikut ini digunakan untuk menjelaskan presipitasi:

1. Proses Terbentuknya Hujan: Dinamika Atmosfer

Proses terbentuknya hujan diawali oleh pergerakan uap air di atmosfer menuju ketinggian yang lebih tinggi, dipicu oleh perbedaan tekanan uap air. Uap air mengalir dari daerah dengan tekanan uap air tinggi ke daerah dengan tekanan uap air rendah. Pada saat mencapai ketinggian tertentu, suhu udara menurun, menyebabkan uap air mengalami penjumlahan. Kondisi ini berpotensi memicu kondensasi, yang pada gilirannya mengubah uap air menjadi butiran-butiran air hujan.

2. Pendinginan Udara dan Pembentukan Awan

Udara di atmosfer mengalami pendinginan melalui berbagai mekanisme, seperti pertemuan dua massa udara dengan suhu yang berbeda atau melalui sentuhan dengan objek atau benda dingin. Salah satu cara utama pendinginan udara terjadi ketika massa udara bergerak ke tempat yang lebih tinggi karena perbedaan tekanan uap air. Meskipun pembentukan awan tidak selalu diikuti oleh hujan, keberadaan awan dapat menjadi indikator potensial untuk adanya presipitasi.

3. Mekanisme dan Faktor-Faktor Utama Hujan

Dalam gambaran singkat, hujan terjadi karena perpindahan massa air basah ke tempat yang lebih tinggi sebagai respons terhadap perbedaan tekanan udara antara dua lokasi yang berbeda ketinggiannya. Di lokasi tersebut, akumulasi uap air pada suhu rendah menyebabkan terjadinya kondensasi, dan akibatnya adalah air hujan yang jatuh ke bumi. Meskipun demikian, mekanisme hujan melibatkan tiga faktor utama: kenaikan massa uap ke tempat yang lebih tinggi sampai atmosfer menjadi jenuh, kondensasi partikel uap air di atmosfer, dan pertumbuhan partikel tersebut seiring waktu sehingga jatuh ke bumi sebagai hujan akibat gaya gravitasi.

4. Tipe-Tipe Hujan di Daerah Tropis

Hujan juga dapat terjadi melalui pertemuan dua massa udara basah dan panas. Di daerah tropis, terdapat tiga tipe hujan umum yang melibatkan proses yang telah dijelaskan sebelumnya. Perpindahan massa air, kondensasi, dan pertumbuhan partikel uap air menjadi kunci dalam pemahaman dinamika kompleks yang memicu berbagai tipe hujan di lingkungan tropis.

Proses hujan mencakup berbagai kategori, termasuk hujan konvektif, hujan frontal, dan hujan orografik, yang masing-masing memiliki karakteristik dan mekanisme pembentukan yang khas.

Hujan konvektif terjadi karena perbedaan suhu antara permukaan tanah dan lapisan udara di atasnya, menunjukkan intensitas tinggi dan berlangsung dengan cepat di area yang relatif kecil. Di sisi lain, hujan frontal terjadi ketika dua massa udara yang berbeda suhu dan kelembaban saling bergulung, menghasilkan kondisi untuk hujan yang dapat dibedakan menjadi frontal dingin dengan gerakan udara cepat dan frontal hangat dengan hujan yang berlangsung lebih lama. Selanjutnya, hujan orografik terjadi di daerah pegunungan, dipicu oleh pergerakan massa udara ke tempat yang lebih tinggi mengikuti

kontur pegunungan, dan hujan orografik memiliki intensitas yang cenderung meningkat dengan ketebalan lapisan udara lembab yang bergerak ke tempat yang lebih tinggi. Kesemua kategori hujan ini mencerminkan kompleksitas proses atmosfer dalam menciptakan fenomena cuaca yang mempengaruhi kondisi iklim dan hidrologi di berbagai wilayah.

4.4 Karakteristik Presipitasi

Hujan memiliki berbagai karakteristik yang dapat diukur dan digunakan untuk menggambarkan sifatnya. Beberapa karakteristik utama hujan termasuk:

Intensitas Hujan (Rainfall Intensity): Intensitas hujan merujuk pada jumlah air yang jatuh per satuan waktu dan luas. Biasanya diukur dalam milimeter per jam. Hujan ringan memiliki intensitas yang rendah, sedangkan hujan lebat memiliki intensitas yang tinggi.

Durasi Hujan (Rainfall Duration): Durasi hujan adalah lama waktu ketika hujan terjadi. Dapat berkisar dari beberapa menit hingga beberapa hari. Durasi hujan memainkan peran penting dalam menentukan seberapa banyak air yang dapat diserap oleh tanah atau mengalir ke sungai dan saluran air.

Curah Hujan (Rainfall Amount): Curah hujan adalah total volume air yang jatuh ke permukaan Bumi selama periode tertentu, umumnya diukur dalam milimeter atau inci. Ini mencakup jumlah air yang dihasilkan selama satu episode hujan.

Distribusi Waktu (Temporal Distribution): Distribusi waktu hujan mengacu pada cara di mana hujan terdistribusi selama periode tertentu. Beberapa hujan mungkin terjadi dalam waktu singkat, sementara yang lain mungkin merata sepanjang waktu.

Frekuensi Hujan (Rainfall Frequency): Frekuensi hujan mengukur seberapa sering hujan terjadi dalam satu periode

waktu tertentu. Ini dapat diukur harian, bulanan, tahunan, atau dalam interval lainnya.

Tipe Hujan (Type of Rain): Hujan dapat memiliki berbagai bentuk, seperti hujan gerimis, hujan deras, hujan salju, hujan es, dan lainnya. Tipe hujan ini tergantung pada kondisi suhu di atmosfer.

Polanya (Spatial Distribution): Pola distribusi spasial hujan mengacu pada cara di mana hujan terdistribusi di suatu wilayah. Beberapa daerah mungkin menerima hujan lebih merata daripada yang lain.

Jenis Hujan (Rainfall Types): Terdapat beberapa jenis hujan, termasuk hujan konvektif yang dihasilkan oleh proses konveksi, dan hujan frontal yang terkait dengan pergerakan massa udara dan pertemuan front udara.

Pemahaman tentang karakteristik hujan sangat penting dalam bidang meteorologi, hidrologi, dan rekayasa, karena memengaruhi berbagai aspek seperti drainase, banjir, irigasi, dan manajemen sumber daya air.

4.5 Pengukuran dan Perhitungan Presipitasi

4.5.1 Alat Pengukur Hujan

Sistem jaringan alat pengukur hujan perlu direncanakan sesuai dengan kebutuhan pengumpulan data curah hujan. Tingkat akurasi hasil pengukuran dalam suatu jaringan kerja tidak hanya tergantung pada jumlah alat pengukur hujan, tetapi juga pada penyebaran alat-alat tersebut.

Ada dua jenis alat pengukur hujan, yaitu manual dan otomatis. Alat pengukur hujan manual umumnya berupa ember dengan diameter yang diketahui, sering dibuat berbentuk bulat memanjang untuk menghindari percikan air hujan. Ukuran

standar alat ini adalah diameter 20 cm dan tinggi 79 cm. Untuk mempermudah pengukuran curah hujan, disarankan menggunakan alat dengan diameter 15-30 cm dan tinggi 50-75 cm.

Alat pengukur hujan otomatis mencatat curah hujan secara otomatis, membantu mengukur lama waktu hujan dan intensitasnya. Dua jenis alat yang umum digunakan adalah weighing bucket raingauge dan tipping bucket raingauge. Weighing bucket raingauge memiliki corong penangkap air yang terhubung dengan timbangan, sedangkan tipping bucket raingauge menggunakan ember yang bergerak (tipping) setiap kali menerima sejumlah air hujan. Alat ini dapat mencatat data tanpa menggunakan tinta dan kertas, dan data tersebut dapat diakses dan dianalisis dengan bantuan komputer. Alat pengukur hujan otomatis yang lebih canggih dapat terhubung ke pusat pemantauan hujan melalui satelit, memungkinkan pemantauan curah hujan dalam waktu nyaris instan pada jarak yang jauh.

Dalam upaya melakukan pengukuran presipitasi, terdapat dua masalah dasar yang perlu diatasi. Pertama, perlu merancang alat pengukur hujan yang akurat untuk mengukur presipitasi dengan tepat di suatu tempat atau daerah. Hal ini melibatkan perancangan alat yang sensitif dan dapat memberikan hasil yang dapat diandalkan terkait dengan volume dan intensitas hujan. Kedua, penting untuk menentukan lokasi jaringan kerja alat pengukur tersebut agar dapat mewakili daerah yang diinginkan dengan akurasi. Pemilihan lokasi yang strategis akan memastikan bahwa data yang diperoleh mencerminkan kondisi presipitasi secara representatif di daerah tersebut. Dengan mengatasi kedua masalah dasar ini, dapat dihasilkan pengukuran presipitasi yang dapat diandalkan dan bermanfaat untuk pemahaman lebih lanjut terkait kondisi cuaca dan iklim di suatu wilayah.

Masalah yang seringkali timbul dalam pengukuran curah hujan dapat dibagi menjadi dua kategori utama. Pertama, kesalahan yang sering muncul terkait dengan alat pengukur itu sendiri, dikenal sebagai kesalahan instrumental. Alat pengukur hujan dapat terpengaruh oleh hembusan angin di sekitarnya, yang dapat disebabkan oleh rintangan seperti bangunan tinggi, deretan pohon, atau punggung gunung. Faktor-faktor ini dapat memengaruhi arah dan kecepatan angin, pada gilirannya mempengaruhi akurasi data yang dikumpulkan. Menemukan lokasi yang optimal untuk alat pengukur hujan merupakan tantangan tersendiri; alat tersebut harus dapat mewakili daerah yang diamati, dan tempat terbaiknya adalah di bidang permukaan tanah yang landai, menghindari daerah miring yang dapat menghambat arah angin.

Ketidakpastian dalam pengukuran curah hujan juga dapat berasal dari kesalahan dalam cara pengambilan sampel, yang dikenal sebagai kesalahan sampel. Lokasi alat pengukur hujan perlu diawasi secara teratur untuk memastikan tidak ada perubahan atau gangguan yang dapat memengaruhi data, seperti perubahan arah angin atau penutupan oleh pohon. Selain itu, ukuran penangkap air hujan pada alat pengukur sebaiknya disesuaikan dengan tingkat curah hujan, terutama pada hujan ringan yang berlangsung lama. Dengan memperhatikan kedudukan penangkap air hujan pada alat pengukur, dapat meminimalkan kesalahan dan meningkatkan akurasi pengukuran.

Pemasangan alat pengukur hujan di suatu daerah harus didasarkan pada kebutuhan pengukuran curah hujan di wilayah tersebut. Dalam penilaian efisiensi sistem jaringan alat pengukur curah hujan, penerapan metode statistika, termasuk analisis korelasi, menjadi penting untuk mengukur hubungan antar alat pengukur hujan. Melalui analisis ini, kita dapat memproyeksikan tingkat ketidakpastian yang mungkin timbul saat hasil

pengukuran curah hujan diinterpolasikan dari daerah dengan sistem jaringan ke daerah tanpa sistem serupa.

Penempatan alat pengukur hujan juga memerlukan pertimbangan matang. Alat tersebut harus ditempatkan dengan memperhatikan beberapa persyaratan esensial, seperti posisinya yang bebas dari halangan, tinggi permukaan penakar yang optimal, dan perlindungan dari gangguan angin balik serta ancaman binatang atau manusia. Adapun keberhasilan teknis alat tersebut seiring dengan ketelitian dan keandalannya.

Mengukur curah hujan dengan tingkat ketelitian yang tinggi juga melibatkan pemahaman terhadap pola variabilitas spasial di lokasi pengukuran. Variabilitas ini menjadi dasar penentuan jumlah dan penempatan alat pengukur hujan agar mampu mencerminkan kondisi curah hujan secara akurat. Faktor-faktor seperti tujuan penggunaan data hujan dan pola variabilitas ini turut menentukan kepadatan jaringan pengukuran hujan dalam konteks perancangan hidrologi.

Dalam perancangan hidrologi, ditemui ketidakpastian yang melibatkan konversi masukan hujan menjadi debit, penyusunan model, dan ekstrapolasi informasi dari titik ke wilayah (DAS). Keterbatasan panjang data juga menjadi pertimbangan penting. Selain itu, tantangan dalam menentukan jumlah stasiun pengukur mencakup aspek pembelian, pemasangan, pengamatan, perawatan, dan administrasi data. Upaya untuk mengatasi kendala ini mencakup penetapan jumlah stasiun optimal, penentuan pola penyebaran di Daerah Aliran Sungai, akuisisi informasi yang komprehensif, pencapaian ketelitian maksimum, dan efisiensi biaya pemasangan serta pengoperasian.

4.5.2 Pengukuran Presipitasi

Sistem jaringan alat pengukur hujan merupakan representasi titik-titik pengamatan curah hujan di suatu wilayah.

Penggunaan sistem jaringan alat pengukur hujan sangat penting dalam menentukan rata-rata presipitasi di suatu daerah aliran sungai. Tingkat ketelitian dalam pengukuran presipitasi sangat bergantung pada variasi spasial curah hujan, sehingga diperlukan lebih banyak alat pengukur hujan, terutama di daerah yang memiliki kemiringan lereng besar dan mengalami curah hujan lebat seperti pada badai petir, dibandingkan dengan curah hujan frontal (Asdak, 2023).

Secara umum, peningkatan ketelitian pengukuran presipitasi dapat dicapai melalui peningkatan jumlah alat pengukur hujan yang digunakan. Meskipun demikian, tingkat kerapatan alat pengukur hujan yang tinggi seringkali sulit diimplementasikan di lapangan dan memerlukan biaya yang signifikan. Sebagai solusi yang mencapai kompromi, klasifikasi karakteristik topografi, seperti ketinggian tempat dan kemiringan lereng, digunakan untuk mengelompokkan wilayah yang memiliki persamaan karakteristik sehingga meminimalkan jumlah alat pengukur hujan yang dibutuhkan.

Hasil pengukuran hujan dari setiap alat pengukur hujan memberikan data hujan pada titik tertentu di wilayah tersebut. Namun, untuk analisis yang lebih menyeluruh, diperlukan data hujan di seluruh wilayah, yang disebut sebagai data hujan wilayah. Terdapat beberapa metode untuk memperoleh data hujan wilayah, antara lain melalui cara rata-rata aljabar, poligon Thiessen, dan isohyet. Setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangan tertentu, dan pemilihan metode harus disesuaikan dengan karakteristik dan tujuan pengukuran curah hujan di wilayah tersebut (Achmad, 2021).

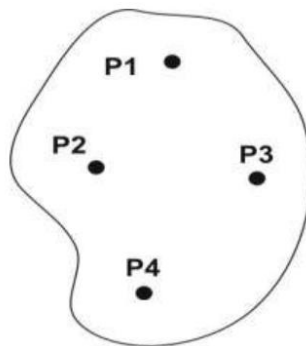
1. Cara rata-rata Aljabar

Pendekatan pengukuran curah hujan dengan menggunakan metode rata-rata merupakan suatu teknik yang paling sederhana. Teknik ini melibatkan pembagian merata hasil pengukuran pada setiap stasiun hujan dengan jumlah total

stasiun yang ada di dalam wilayah pengamatan. Metode ini disarankan khususnya untuk wilayah yang cenderung datar, di mana sifat hujannya bersifat homogen dan tidak terlalu bervariasi.

Pendekatan ini dapat diaplikasikan dengan membagi jumlah total curah hujan yang terukur pada semua stasiun di wilayah tersebut dengan jumlah keseluruhan stasiun pengukuran. Namun, perlu diperhatikan bahwa kesederhanaan metode ini berimplikasi pada keterbatasannya untuk digunakan di wilayah yang memiliki kemiringan relatif dan memiliki sifat curah hujan yang kasar.

Penggunaan metode rata-rata ini sebaiknya dipertimbangkan secara cermat, dan alternatif metode yang lebih canggih mungkin perlu dieksplorasi, terutama jika wilayah pengamatan memiliki topografi yang kompleks atau variasi curah hujan yang signifikan. Metode rata-rata aljabar dapat dilihat pada figure 1.



Gambar 4.1. Metode rata-rata aljabar

$$\frac{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}{4} = \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

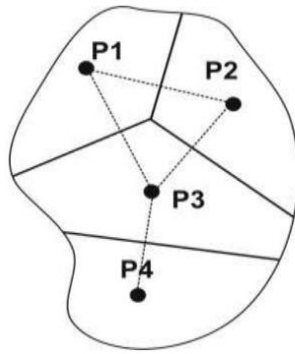
P= hujan rata-rata

P1; P2; P3; P4 = tebal hujan stasiun 1, 2, 3, 4.

2. Cara Poligon Thiessen.

Teknik polygon melibatkan penghubungan garis lurus antara alat pengukur hujan satu dengan yang lain. Dalam peta daerah tangkapan air, setiap alat pengukur hujan menetapkan area tertentu yang dibagi menjadi beberapa polygon. Jarak antara dua alat pengukur hujan yang berdekatan diukur sekitar sama. Hasil pengukuran di setiap alat diberi bobot terlebih dahulu dengan mempertimbangkan bagian wilayah dari total daerah tangkapan air yang diwakili oleh alat pengukur hujan tersebut, dan kemudian hasilnya dijumlahkan.

Meskipun teknik polygon dapat dianggap memadai untuk mengukur curah hujan di suatu wilayah, akurasi hasil masih tergantung pada sejauh mana penempatan alat pengukur hujan dapat mencerminkan kondisi pengamatan di seluruh daerah. Teknik polygon kurang cocok digunakan di daerah berbukit atau berpegunungan. Pendekatan ini tidak hanya mempertimbangkan intensitas dan jumlah stasiun pengukur hujan, tetapi juga memasukkan estimasi luas wilayah yang direpresentasikan oleh setiap stasiun sebagai salah satu faktor dalam menghitung rata-rata curah hujan di wilayah tersebut. Polygon terbentuk dengan menghubungkan garis-garis diagonal terpendek dari stasiun hujan yang ada. Penggambaran tentang metode polygon Thiessen dapat dilihat pada figure 2.



Gambar 4.2. Metode Poligon Thiessen

$$\frac{P_1A_1 + P_2A_2 + P_3A_3 + P_4A_4}{A_1 + A_2 + A_3 + A_4} = \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

P= hujan rata-rata

P₁; P₂; P₃; P₄ = tebal hujan stasiun 1, 2, 3, 4.

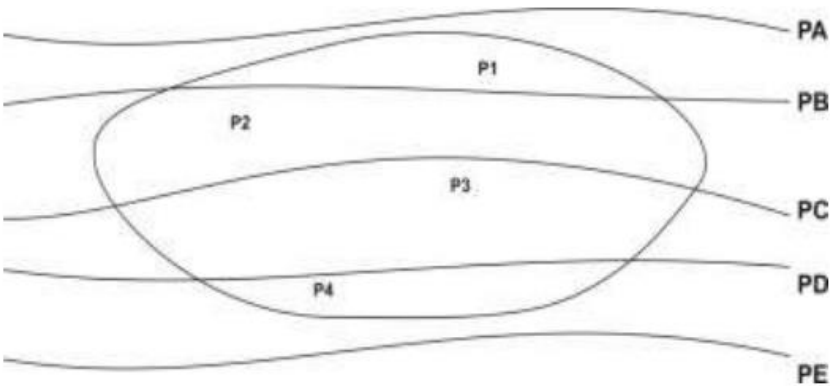
A₁, A₂, A₃, A₄= luas wilayah yang diwakili oleh stasiun 1,2,3,4

3. Cara Isohiet

Isohiet adalah garis yang menghubungkan lokasi-lokasi dengan tingkat curah hujan yang setara. Dalam metode ini, isohiet berfungsi sebagai garis pemisah untuk membagi wilayah aliran sungai menjadi sub-wilayah yang mewakili stasiun pengukur terkait. Luas sub-wilayah digunakan sebagai variabel koreksi dalam menghitung rata-rata curah hujan.

Meskipun teknik Isohiet dianggap lebih baik, namun bersifat subjektif dan sangat bergantung pada keahlian, pengalaman, serta pengetahuan pengguna mengenai karakteristik curah hujan di wilayah setempat. Tingkat ketepatan dalam meramalkan rata-rata curah hujan suatu daerah dipengaruhi oleh kerapatan stasiun pencatat hujan dan jenis serta ukuran hujan yang terjadi. Di daerah gurun dengan badai hujan lokal, menentukan besarnya curah hujan rata-rata di lokasi tersebut

sulit dibandingkan dengan daerah yang memiliki curah hujan secara umum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode isohiet lebih akurat, namun perhitungannya memerlukan waktu yang cukup lama karena harus menentukan garis isohiet baru untuk setiap tingkat curah hujan. Metode isohiet terutama bermanfaat untuk memahami dampak curah hujan pada perilaku aliran sungai, terutama di daerah dengan karakteristik curah hujan orografik. Metode Isohyet dapat dilihat pada figure 3.



Gambar 4.3. Metode Isohyet

$$P1 = \frac{PA + PB}{2}$$

$$P2 = \frac{PB + PC}{2}$$

$$P3 = \frac{PC + PD}{2}$$

$$P4 = \frac{PD + PE}{2}$$

$$P = \frac{P1A1 + P2A2 + P3A3 + P4A4}{A1 + A2 + A3 + A4} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan: PA, PB, PC, PD, PE = tebal hujan pada isohyet
A, B, C, D, E yang bersifat siklon (cyclonic stroms).

A. Intensitas dan Lama Waktu Hujan

Penting untuk memahami parameter-parameter kunci dalam karakterisasi hujan, termasuk intensitasnya, lama waktu berlangsung, dan kecepatan jatuhnya air hujan. Intensitas hujan atau ketebalan hujan per satuan waktu umumnya dilaporkan dalam satuan milimeter per jam. Stasiun Pengukur Cuaca Otomatis merupakan fasilitas yang dilengkapi dengan alat pengukur hujan, mampu merekam data intensitas hujan secara terus-menerus. Data ini umumnya diungkapkan dalam bentuk tabel atau grafik yang dikenal sebagai hyetograph.

Lama waktu hujan mencerminkan durasi berlangsungnya hujan, menjadi indikator penting dalam merepresentasikan total curah hujan atau mengidentifikasi periode hujan singkat dengan curah hujan yang relatif seragam. Untuk menentukan intensitas hujan, data yang dihasilkan oleh alat pengukur hujan weighing bucket dapat dimanfaatkan secara efektif.

Selain intensitas dan lama waktu hujan, informasi tentang kecepatan jatuhnya hujan juga memiliki nilai signifikan. Kecepatan curah hujan merujuk pada kecepatan jatuhnya air hujan, yang secara langsung dipengaruhi oleh intensitas hujan. Memahami kecepatan air hujan saat mencapai permukaan tanah memiliki relevansi khusus dalam konteks proses erosi dan sedimentasi. Kecepatan ini, pada gilirannya, bergantung pada bentuk dan ukuran diameter tetesan air hujan. Ketika kecepatan mencapai tingkat yang cukup tinggi, air hujan dapat pecah membentuk tetesan air yang lebih kecil dengan kecepatan jatuh yang lebih lambat (Hendri, 2016).

B. Analisis Data Presipitasi

Pada umumnya, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) menggunakan satuan millimeter (mm) untuk mengukur curah hujan. Oleh karena itu, jumlah curah hujan yang

diukur sebenarnya mencerminkan tebal atau tinggi permukaan air hujan yang menutupi suatu daerah luasan di permukaan bumi atau tanah. Sebagai ilustrasi, curah hujan sebanyak 1 (satu) millimeter berarti air hujan tertampung setinggi 1 (satu) millimeter pada satu meter persegi daerah yang datar, atau setara dengan 1 (satu) liter atau 1000 ml air. Sebagai contoh, jika curah hujan di suatu daerah mencapai 10 mm, itu berarti daerah tersebut tergenangi oleh air hujan dengan tinggi atau tebal 10 millimeter (mm) (Maryono, 2020).

Gambar di bawah ini menunjukkan contoh alat pengukur hujan, terdiri dari pengukur hujan manual (kiri) dan pengukur hujan otomatis (kanan).



Gambar4. 4. Pengukur hujan manual (kiri); pengukur hujan otomatis (kanan)

Siklus hidrologi air hujan yang mencapai permukaan bumi terjadi terus-menerus melalui tiga jalur berbeda. Intensitas hujan tidak konstan, dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti penguapan, kelembaban udara, tekanan udara, dan angin.

Variasi intensitas curah hujan dapat diklasifikasikan ke dalam spektrum curah hujan. Spektrum ini dibagi menjadi tiga kategori, yaitu:

1. Hujan Ringan: Intensitas sekitar 75% (0-20 mm)
2. Hujan Sedang: Intensitas sekitar 20% (21-51 mm)
3. Hujan Sangat Deras (Ekstrim): Intensitas sekitar 5% (>50 mm)

Dengan memahami variasi intensitas ini, kita dapat lebih baik memahami pola curah hujan dalam konteks siklus hidrologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, N., Widyasari, T., & Syaifullah, M. (2021). Analisis Hujan Wilayah dengan Metode Poligon Thiessen dan Isohiet di Kabupaten Bantul Menggunakan Software Qgis dan Ms Access. *Rancang Bangun Teknik Sipil*, 7(1), 7.
- Al Mughozali, S., Firdianto, P. U., & Irawan, A. M. (2017). Analisis Hujan Lebat dan Angin Kencang di Wilayah Banjarnegara Study Kasus Rabu 8 November 2017. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 65-69.
- Asdak, C. (2023). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. UGM PRESS.
- Dimas, S. N. (2022). Peran Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (Bmkg) Kelas Ii Tanjung Emas Semarang Dalam Memprakirakan Dan Menginformasikan Laporan Berita Cuaca Untuk Kapal Sebagai Penunjang Keselamatan Pelayaran. *Karya Tulis*.
- Hendri, A. (2016, January). Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar. In *Proceedings ACES (Annual Civil Engineering Seminar)* (Vol. 1, pp. 297-304).
- Maryono, A. (2020). *Memanen air hujan*. UGM PRESS.
- Selamet, S. R. (2017). *Dahsyatnya Hujan*. Bhuana Ilmu Populer.
- Sinambela, W., Dani, T., Rusnadi, I. E., & Nugroho, J. T. (2010). Pengaruh aktivitas matahari pada variasi curah hujan di Indonesia. *Jurnal Sains Dirgantara*, 5(2).
- Tallar, R. Y. (2023). *Dasar-Dasar Hidrologi Terapan*. Ideas Publishing.
- Yulihastin, E. (2012). Mekanisme hujan harian di Sumatera. *Berita Dirgantara*, 13(3).

BAB 5

KONSEP EVAPOTRANSPIRASI, KARAKTERISTIK, MEKANISME, PERHITUNGAN DAN PENGUKURANNYA

Oleh Sujadi Priyansah

5.1 Pendahuluan

Siklus hidrologi bertanggung jawab untuk membalikkan udara menuju atmosfer adalah evapotranspirasi. Proses ini sangat penting untuk menghitung jumlah udara yang dibutuhkan tanaman dan juga untuk hidrologi. Namun, USGS menyatakan bahwa evapotranspirasi didefinisikan dengan cara yang berbeda dari hidrologi. Ini berkaitan dengan neraca air, sedangkan evapotranspirasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman.

5.2 Konsep Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah proses yang terdiri dari evaporasi dan transpirasi. Evaporasi mengacu pada penguapan air dari permukaan tanah, sedangkan transpirasi mengacu pada pelepasan air dari tanaman melalui proses respirasi dan fotosintesis. Kombinasi kedua proses ini disebut evapotranspirasi (ET).

Proses ini penting dalam hidrologi karena dapat mengurangi penyimpanan air di berbagai tempat seperti badan air, tanah, dan tanaman. Data evapotranspirasi digunakan untuk menghitung neraca air dan menentukan kebutuhan air untuk tanaman selama masa memproduksi. Oleh sebab itu, data

evapotranspirasi penting bagi keperluan, perencanaan, dan konservasi air.

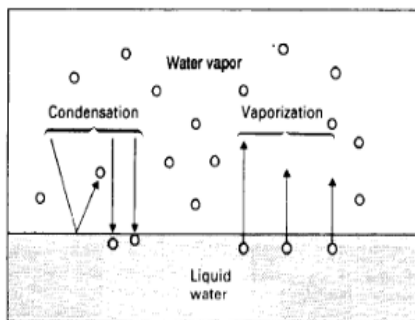
Penguapan mempengaruhi berbagai aspek pengelolaan air, termasuk jumlah sungai, keperluan waduk, keperluan pemompaan irigasi, dan penggunaan konsumtif tanaman. Penelitian menunjukkan transpirasi berpartisipasi sekitar 10% kelembaban atmosfer. Evaporasi terjadi ketika badan air seperti lautan, danau, sungai, dan sungai menguap, menyumbang hampir 90%, dengan jumlah kecil yang berasal dari proses sublimasi. Mengenai kebutuhan air tanaman, evapotranspirasi mengacu pada air yang digunakan untuk produktivitas tanaman (transpirasi) dan penguapan dari tanah dan tempat asal tanam.

5.3 Karakteristik Evapotranspirasi

Penguapan adalah proses ketika air berubah berwujud uap dan berproses dari tanah dan permukaan air menuju udara. Penguapan berasal tanaman disebut transpirasi. Keduanya disebut evapotranspirasi. Indikatornya seperti suhu air, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, tekanan udara, sinar matahari, dan lainnya mempengaruhi evaporasi dan evapotranspirasi, dan bersinkronisasi satu sama lain. Saat mengukur evaporasi, kondisi lingkungan saat itu perlu dilihat karena faktor tersebut mempengaruhi perubahan lingkungan. Namun, tidak merata di semua daerah. Misalnya, satu bagian bisa cerah sementara bagian lainnya berawan. Oleh karena itu, memperkirakan evaporasi dan evapotranspirasi dengan menggunakan data yang hanya diukur di sebagian wilayah sulit dan tidak akurat. Transpirasi juga terbatas oleh kondisi tanaman, seperti kelembaban tanah dan potensi layu. Ini membuat situasinya menjadi lebih sulit.

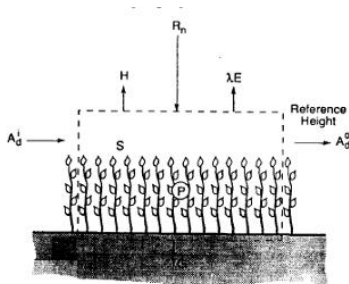
Evapotranspirasi adalah proses penguapan air dari tanah dan tumbuhan dan ini dipengaruhi oleh banyak faktor. Sangat penting untuk membedakan antara dua jenis evapotranspirasi:

evapotranspirasi prospektif (PET) dan evapotranspirasi aktual (AET). Faktor lingkungan seperti radiasi matahari, suhu udara, kelembaban, angin, dan tekanan barometrik mempengaruhi PET. Sementara itu, faktor fisiologis dan elemen tanah seperti karakteristik kapiler tanah, kedalaman permukaan air, warna tanah, jenis, kerapatan, dan ketinggian vegetasi, dan ketersediaan air termasuk curah hujan dan irigasi mempengaruhi AET. Faktor geografis juga penting dan harus dipertimbangkan dalam menghitung evapotranspirasi. Faktor-faktor lain seperti kualitas air, ukuran badan air, dan bentuk permukaan air juga memiliki pengaruh terhadap evapotranspirasi. Dalam mempelajari evapotranspirasi, penting untuk memahami faktor-faktor ini dan bagaimana mereka saling berinteraksi untuk mempengaruhi besarnya evapotranspirasi.



Gambar 5.1 Penguapan Air dari tanah

(Sumber : Doorenbos J., A.H Kassam, (1979)



Gambar 5.2 Komponen Kesetimbangan energi pada tanaman

(Sumber : Doorenbos J., A.H Kassam, (1979)

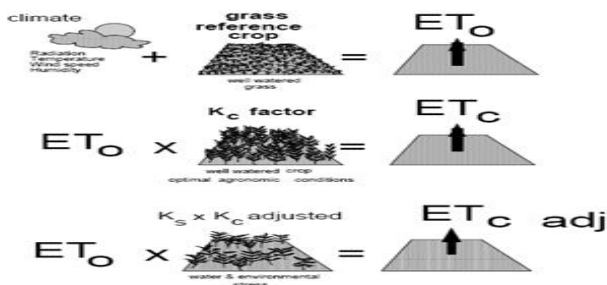
5.4 Mekanisme Evapotranspirasi

Evapotranspirasi mempengaruhi kebutuhan air dan pertumbuhan tanaman. Ada dua jenis evapotranspirasi, yaitu evapotranspirasi potensial (ETp) dan evapotranspirasi aktual (ETA). ETA lebih praktis karena mengukur penggunaan air oleh tanaman dengan memperhatikan persediaan air di dalam tanah dan tanaman mampu mengekstraknya. ETp adalah jumlah evapotranspirasi yang dibutuhkan untuk mencukupi keperluan air tanaman tanpa merasa kurang air, tetapi ini hanya berlaku ketika air tanah berlebih dan masa pertumbuhan tanaman dengan tutupan tanah penuh. ETp tidak memperhitungkan keterbatasan air dan nilainya bergantung pada kondisi meteorologi. ETA, juga dikenal sebagai penggunaan air konsumtif, merupakan faktor penentu pengelolaan manajemen sumber daya air untuk pertumbuhan tanaman.

Faktor fisiologis tanaman dan elemen tanah secara umum mempengaruhi ETA.

Evapotranspirasi potensial (ETp) dibagi menjadi tiga kategori:

1. evapotranspirasi standar (ET₀),
2. evapotranspirasi tanaman standar (ET_c), dan
3. evapotranspirasi tanaman di bawah kondisi yang tidak terstandardisasi (ET_{c adj}).



Gambar 5.3 Evapotranspirasi Standar (Eto),

(Sumber : Doorenbos J., A.H Kassam, (1979)

FAO menyatakan bahwa memperkirakan evapotranspirasi aktual (ETA) lebih sulit daripada evapotranspirasi potensial (ETp), karena melibatkan pengambilan sampel tanah yang memakan waktu dan membutuhkan keakuratan. Metode perhitungan ETp menggunakan parameter meteorologi, tetapi sulit digunakan dalam pertanian karena biaya dan keragaman tanaman.

5.5 Perhitungan dan Pengukuran Evapotranspirasi

Studi hidrometeorologi memerlukan perkiraan evapotranspirasi yang akurat. Pengukuran langsung evapotranspirasi dari air atau permukaan lahan yang luas adalah tantangan.

Karena itu, ada metode yang dikembangkan untuk memperkirakan evapotranspirasi menggunakan data masukan yang mempengaruhi evapotranspirasi. Evapotranspirasi mencapai potensi maksimumnya ketika pengaliran air tidak dibatasi oleh stomata atau permukaan tanah. Curah hujan memiliki pengaruh terbesar pada laju evapotranspirasi di lingkungan kering.

Pengembangan Formula Empiris oleh Meyer, Turc, Langbein, dan Thornthwaite dapat digunakan untuk memperkirakan evapotranspirasi menggunakan data meteorologi. Evapotranspirasi aktual adalah istilah yang digunakan untuk menyebut evapotranspirasi di daerah kering. Perkiraan yang akurat tentang evapotranspirasi sangat mempengaruhi pengelolaan sumber daya air yang tepat.

5.5.1 Metode Meyer

$$E = 0,35 (ea - ed) (1 + \bar{V}/100) \text{ mm/hari}$$

$$Ed = ea * RH$$

ea → lihat tabel berdasar t bola kering

RH → lihat tabel berdasar t bola basah & □ t

V= kecepatan angin (mile/hari)

Evapotranspirasi merupakan faktor penting dalam menentukan kebutuhan air untuk rencana irigasi dan merupakan proses yang signifikan dalam siklus hidrologi.

5.5.2 Metode Thornwaite

Metode Thornwaite menggunakan suhu udara sebagai sinyal tersedianya panas energi agar proses ET dapat berlangsung. Strategi ini didasarkan pada asumsi bahwa dampak radiasi matahari dan elemen lain yang bergantung pada proses ET berhubungan dengan suhu udara. Metode ini bergantung pada proses ET dan membutuhkan data suhu perbulan yang diperoleh dari data suhu perhari. Rumus berikut ini digunakan untuk menganalisis data:

$$Ep^* = 16 \left(\frac{10 T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

$$I = \left(\frac{T}{5} \right)^{1.514}$$

$$a = 675 * 10^{-9} I^3 - 771 * 10^{-7} I^2 + 1792 * 10^{-5} I + 0,49239$$

$$Ep = Ep^* \times f$$

Keterangan:

Ep* = evapotranspirasi potensial baku (mm/bulan)

Ep = evapotranspirasi potensial terkoreksi (mm/bulan)

T = suhu rata-rata bulanan (°C)

I = indeks panas tahunan

i = indeks panas bulanan

a = tetapan

f = faktor koreksi

5.5.3 Metode Thornwaite Mather

Fungsi meteorologi sangat penting untuk menghitung neraca air dan menentukan ketersediaan air di suatu wilayah. Hal ini berkontribusi dalam menentukan apakah ada peningkatan atau penurunan ketersediaan air. Metode Thornthwaite Mather digunakan untuk mengumpulkan data yang dibutuhkan untuk perhitungan ini.

1. Curah hujan perbulan;
2. Suhu udara perbulan;
3. Penggunaan lahan;
4. Jenis dan tekstur tanah;
5. Posisi garis lintang

Proses perhitungan:

1. Tentukan rerata suhu perbulan Di Area Tersebut Dengan Menggunakan Data Suhu Yang Tersedia. Perlu Dicatat Bahwa Informasi Suhu Udara Bisa Jadi Sulit Didapat.

$$\Delta t = 0,006 \times \Delta h$$

$$t_1 = t_2 \pm \Delta t$$

Δh = beda tinggi tempat lokasi 1 dengan lokasi 2 (dalam meter)

Δt = beda suhu udara ($^{\circ}\text{C}$);

t_2 = suhu udara di lokasi 2.

2. Hitung Evapotranspirasi dengan metode Thornthwaite Mather (E_p)
3. Hitung selisih hujan (P) dengan evapotranspirasi
4. Hitung accumulated potential water losses|| ($APWL$)
5. Hitung Water Holding Capacity (St_o)
6. Hitung soil moisture storage (St_i) $APWL$ St_o $St_i = St_o - e$ e = bilangan napier St_o dihitung atas dasar data tekstur tanah, kedalaman akar.
7. Hitung delta St tiap bulannya $\Delta St = St_i$ bulan ke i dikurangi ΔSt bulan ke $(i - 1)$
8. Hitung evapotranspirasi aktual (E_a)
untuk bulan basah ($P > E_p$), maka $E_a = E_p$

- untuk bulan kering ($P < E_p$), maka $E_a = P + | - \Delta St |$
9. Hitung surplus air (S); Bila $P > E_p$, maka $S = (P - E_p) - \Delta St$.
10. Hitung defisit (D), $D = E_p - E_a$.

5.5.4 Metode Turc Langbein

Jumlah air permukaan dan air tanah yang dapat diakses secara rata-rata tahunan disebut sebagai sumber daya air potensial. Rata-rata tahunan air permukaan dan air tanah dapat dihitung. Setelah memperhitungkan evapotranspirasi, jumlah air yang tersedia untuk menopang kehidupan adalah 25% - 35% dari curah hujan. Air yang ada ini disebut sebagai aliran tetap, yang merupakan laju aliran rata-rata tahunan yang ada pada waktu tertentu. Neraca air hidrometeorologi dengan area perhitungan yang ditentukan oleh sebuah pulau atau unit daerah aliran sungai dapat digunakan untuk memperkirakan jumlah air di suatu wilayah.

Rumus umum didasarkan pada ide neraca air hidrometeorologi.

$$P = R + E_a \pm \Delta St.$$

Keterangan:

P = curah hujan

R = limpasan permukaan

E_a = evapotranspirasi aktual

ΔSt = perubahan simpanan

Ketika neraca air digunakan untuk jangka waktu, $St = nol$. Hasilnya, kelebihan air yang tersedia adalah $R = P - E_a$, dan proyeksi jumlah air yang ada dapat dihitung. Hal ini memungkinkan untuk memperhitungkan 25% hingga 35% dari surplus air. Evapotranspirasi aktual dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus Turc-Langbein.

$$E = \frac{P}{\sqrt{(0,9 + P^2/E_o^2)}}$$

$$E_o = 325 + 21T + 0,9 T^2$$

Keterangan:

E = evapotranspirasi aktual (mm/tahun)

E_o = evaporasi air permukaan (mm/tahun)

P = curah hujan rata-rata (mm/tahun)

T = suhu udara rata-rata (oC)

Nilai suhu udara dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berdasarkan informasi suhu udara stasiun pertahun.

$$T_1 = T_2 \pm (Z_1 - Z_2) 0,006$$

Keterangan:

T₁ = suhu udara yang dihitung pada stasiun 1

T₂ = suhu udara yang diketahui dari stasiun 2

Z₁ = elevasi stasiun 1

Z₂ = elevasi stasiun 2

5.5.5 Metode Pan Evaporasi

Penurunan ketinggian air dalam panci dimanfaatkan untuk secara langsung mengukur penguapan permukaan air bebas.

$$\text{Evaporasi (Eo)} = \frac{(\text{air yang dituang dalam panci} + \text{curah hujan}) - \text{air yang tersisa}}{\text{luas permukaan panci}}$$

$$E_{To} = K_p \times E_p$$

Keterangan:

K_p = Koefisien Panci

E_p = Evaporasi Panci (mm/hari)

5.5.6 Metode Penman

$$E_{To} = c (W R_n + (1 - W) f(u) (e_a - e_d))$$

Dengan memanfaatkan data suhu, kelembaban, kecepatan angin, dan durasi penyinaran matahari, metode Penman yang dimodifikasi (FAO) digunakan untuk menentukan evapotranspirasi lahan (Doorenbos dan Pruitt, 1977).

Koefisien penguapan panci (KP) dipengaruhi oleh banyak hal, seperti iklim, jenis panci, dan lingkungannya. Untuk panci tipe A dengan dedaunan pendek, koefisien KP berkisar antara 0,4 dan 0,85. Koefisien juga disebabkan oleh kecepatan angin dan kelembaban udara rata-rata. Koefisien Kp adalah 0,65–0,85 di negara tropis seperti Indonesia, di mana percepatan angin lemah hingga lumayan dan tingkat kelembapan lebih dari 70%.

DAFTAR PUSTAKA

- Black, Peter E. 1991. Watershed Hydrology, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey
- Chay Asdak. 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- David Keith Todd. 1980. Ground Water Hydrology. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Doorenbos J., A.H Kassam. 1979. Yield Respons to Water, FAO, Rome.
- Kodoatie, R.J. dan Roestam Sjarief. 2005. Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu. Yogyakarta: Andi.
- Linsley Ray K., Joseph B. Franzini, (1985), Teknik Sumber Daya Air, Eralanga, Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono. 2006. Hidrologi Untuk Pengairan. Pradnya Paramita. Jakarta.
- Soewarno. 1991. Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hdrometri), Nova, Bandung.
- USGS: Evapotranspiration and the Water Cycle

BAB 6

KONSEP INFILTRASI, MEKANISME, PENGUKURAN DAN PERHITUNGAN

Oleh Anita Dwy Fitria

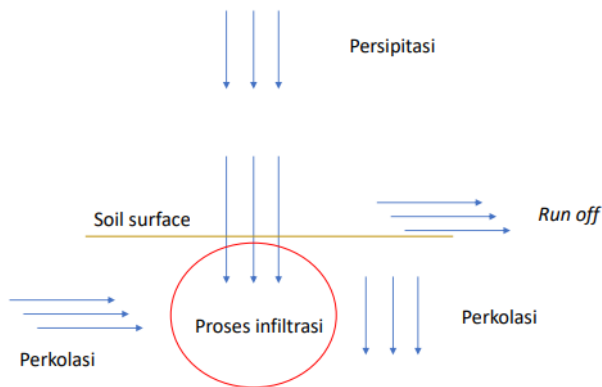
6.1 Infiltrasi

Kebutuhan air tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor selain curah hujan, evapotranspirasi, dan limpasan permukaan juga dipengaruhi faktor alami tanah dalam memasukkan air dari permukaan tanah ke dalam tanah. Proses masuknya air ke dalam tanah disebut sebagai infiltrasi, proses infiltrasi mempengaruhi ketersediaan air pada tanah. Baik ketersediaan untuk tanaman maupun sebagai cadangan air tanah (Sun et al., 2018; Sudarmanto et al., 2013). Infiltrasi merupakan salah satu bagian dari siklus hidrologi oleh karena itu, proses infiltrasi menjadi penting. Mengapa demikian, karena ketersediaan air yang ada di dalam tanah dimanfaatkan untuk proses evaporasi serta transpirasi, selain untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Sebagai parameter hidrologi yang penting laju infiltrasi tanah dapat digunakan sebagai indikator degradasi dan kekeringan lahan (Wu et al., 2016)

6.2 Konsep dan Mekanisme Infiltrasi

Infiltrasi merupakan proses masuknya air dari permukaan tanah ke dalam tanah yang bersumber dari air irigasi dan curah hujan (Gebrekios, 2016). Dalam proses masuknya air ke dalam tanah terdapat pergerakan air di dalam tanah mengalir melalui

gaya gravitasi dan kapiler dari satu titik ke titik lain yang disebut sebagai perkolasi. Ada beberapa definisi yang perlu dipahami dalam konsep infiltrasi diantaranya adalah laju infiltrasi dan kapasitas infiltrasi. Laju infiltrasi merupakan kecepatan air yang masuk kedalam tanah persatuan waktu dinyatakan dalam bentuk cm/jam. Sedangkan kapasitas infiltrasi merupakan kemampuan tanah dalam menginfiltrasi air pada suatu jenis tanah. Infiltrasi dalam konsep hidrologi mempengaruhi pengisian cadangan air tanah (*ground water*), selain itu infiltrasi akan berpengaruh terhadap kontinuitas aliran permukaan baik pada *subsurface flow* dan *base flow* (Sudarmanto et al., 2013).



Gambar 6.1. Proses infiltrasi dan perkolasi pada tanah

Proses infiltrasi dan perkolasi dalam mengisi air tanah dan mengisi ketersediaan air pada zona perakaran diawali dengan masuknya air hujan (persipitasi) dan air irigasi kedalam tanah. Tanah dengan tutupan lahan berupa vegetasi air akan lebih banyak terinfiltrasi dibandingkan dengan tutupan yang kedap air akan lebih banyak mengalami *runoff* atau limpasan permukaan. Air yang terinfiltrasi selanjutnya akan berjalan kesemua arah secara vertikal dan horizontal sebagai air perkolasi. Air dari proses infiltrasi dan perkolasi ini lah yang akan mengisi cadangan air tanah dan menambah ketersediaan

air untuk tanaman. Infiltrasi akan mencapai nilai maksimum atau konstan apabila tanah telah jenuh dengan air.

6.3 Faktor Yang Mempengaruhi Infiltrasi

Proses dan laju infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah sifat fisika tanah berupa bobot isi, tekstur, struktur; kondisi permukaan tanah; kadar kelembaban tanah; suhu tanah; aktivitas manusia dipermukaan tanah termasuk pengolahan lahan serta aktivitas biologi (Mangala et al., 2016). Selain itu perbedaan penggunaan lahan atau vegetasi yang tumbuh, input bahan organik dan kemiringan lahan juga menjadi faktor penentu laju infiltrasi. Lahan dengan pembatas infiltrasi perlu dikaji serta dievaluasi untuk menentukan perbaikan-perbaikan berupa pengelolaan lahan ataupun management yang tepat sesuai dengan peruntukan lahannya. Oleh karena itu pada sub bab ini akan dibahas lebih lanjut faktor-faktor yang mempengaruhi proses dan laju infiltrasi.

6.3.1 Sifat Fisika Tanah

Selain sifat kimia dan biologi tanah, sifat fisika tanah menjadi ukuran dalam menentukan laju infiltrasi tanah. Sifat fisik tanah yang terdiri dari kepadatan tanah, tekstur, porositas, daya hisap tanah, dan konduktivitas hidrolik, mengambil peranan mempengaruhi laju infiltrasi. Tekstur tanah merupakan komponen penting tanah yang akan berdampak pada manajemen lahan karena mempengaruhi ketersediaan air dan nutrisi bagi tanaman (Allo, 2016). Tekstur tanah berpasir cenderung menghasilkan laju infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tekstur tanah liat, hal tersebut berhubungan dengan porositas. Tanah pasir memiliki tingkat porositas yang tinggi dibandingkan dengan liat. Sedangkan pada tanah liat meskipun porositasnya rendah namun jumlah ruang porinya lebih banyak sehingga kapasitas menahan airnya lebih

tinggi dibanding tanah berpasir. Tanah dengan tekstur lempung merupakan jenis tanah yang lebih baik dalam menginfiltrasi dan menahan air (Mangala et al., 2016). seperti pada Tabel 1 disajikan laju infiltrasi pada berbagai kelas tekstur tanah.

Tabel 6.1. Laju infiltrasi pada berbagai kelas tekstur tanah

Kelas Tekstur Tanah	Kapasitas Air Efektif (Cw) mm	Laju Infiltrasi (f) mm/jam	Grup Konduktivitas Hidraulik
Pasir	8,89	210,1	A
Pasir berlempung	7,87	61,2	A
Lempung berpasir	6,35	25,9	A
Lempung	4,83	13,2	B
Lempung berdebu	4,32	6,9	B
Lempung pasir berliat	3,56	4,3	C
Lempung berliat	3,56	2,3	D
Lempung liat berdebu	2,79	1,5	D
Liat berpasir	2,28	1,3	D
Liat berdebu	2,28	1	D
Liat	2,03	0,5	D

Sumber: (Berhanu et al., 2013; SCS, 2023)

Keterangan: A = infiltrasi tinggi, konduktivitas hidraulik jenuh 23,56 cm/jam; B= infiltrasi sedang, konduktivitas hidraulik jenuh 1,32 cm/jam; C = infiltrasi rendah, konduktivitas hidraulik jenuh 0,20 cm/jam; D = infiltrasi sangat rendah, konduktivitas hidraulik jenuh 0,06 cm/jam.

6.3.2 Penggunaan Lahan

Pada jenis tekstur tanah yang sama namun, pengelolaan lahan dan vegetasi yang berbeda memungkinkan laju infiltrasi yang tidak sama. Perubahan penggunaan lahan akan secara signifikan menyebabkan perubahan sifat fisika tanah sehingga berpengaruh terhadap laju infiltrasi (Fu et al., 2000; Yimer et al., 2008). Penggunaan lahan merupakan kontrol, meski kemampuan infiltrasi lahannya tinggi, namun apabila kondisi resapan air rendah mengartikan penggunaan lahannya tidak sesuai.

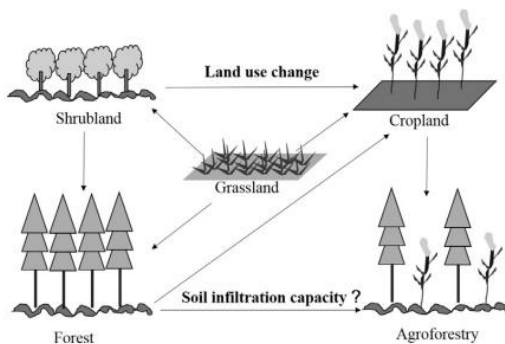
Tabel 6.2. Hubungan penggunaan lahan, tekstur dengan laju infiltrasi

Kelas Tekstur Tanah	Padang Rumput		Pertanian Intensif	
	in/jam	mm/jam	in/jam	mm/jam
Liat	0,25	6,5	0,1	2,5
Lempung berdebu	0,35	9	0,15	4
Lempung berliat	0,3	7,5	0,2	5
Lempung	0,35	9	0,2	5
Lempung berpasir halus	0,4	10	0,25	6,5
Lempung berpasir	0,45	11,5	0,25	6,5
Pasir berlempung	0,65	16,5	0,35	9
Pasir	0,75	19	0,4	10

Sumber: Mangala et al (2016)

Pada beberapa hasil review penelitian yang dilakukan oleh (Sun et al., 2018) menerangkan bahwa perubahan penggunaan lahan

adalah faktor utama yang mempengaruhi infiltrasi tanah. Perubahan penggunaan lahan dari padang rumput ke hutan menambah laju infiltrasi hingga (+41,35%), semak belukar ke hutan (+42,73%), dan lahan pertanian intensif ke agroforestri (+70,28%). Perubahan padang rumput ke lahan pertanian intensif mengurangi laju infiltrasi (-45,23%), semak belukar ke lahan pertanian intensif (-62,24%), hutan ke lahan pertanian (-53,58%).



Gambar 6.2. Perubahan penggunaan lahan

Sumber: (Sun et al., 2018)

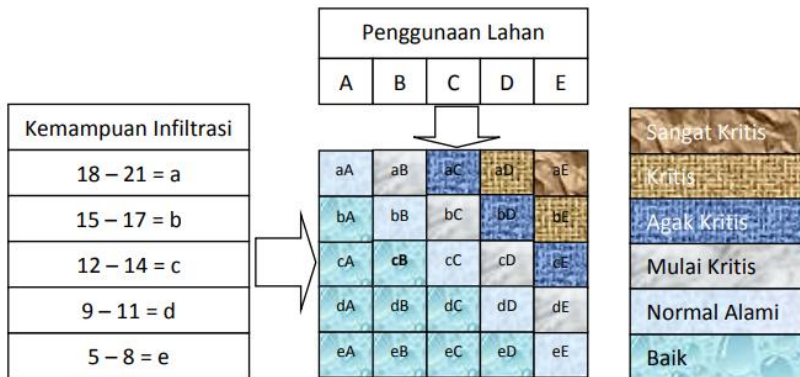
Dalam hal ini berkurangnya laju infiltrasi akibat perubahan penggunaan lahan dengan vegetasi bertajuk dan tanpa tajuk dipengaruhi oleh porositas total tanah dan kandungan bahan organik tanah. Sumber lainnya menguatkan bahwa laju infiltrasi berkorelasi positif dengan bahan organik tanah, total C, dan kandungan N total. Hal tersebut berhubungan dengan kepadatan tanah (Anderson et al., 2020).

Klasifikasi hubungan penggunaan lahan dengan laju infiltrasi disajikan pada Tabel 3. Hal ini merujuk pada permodelan pengkajian daerah resapan oleh Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, (1998) dalam pedoman rencana teknik lapangan rehabilitasi lahan dan konservasi tanah.

Tabel 6.3. Hubungan penggunaan lahan dan potensi infiltrasi

Kelas	Penggunaan Lahan	Potensi Infiltrasi	Notasi
I	Hutan lebat	Besar	A
II	Perkebunan	Agak besar	B
III	Semak, padang rumput	Sedang	C
IV	Hortikultura, Tegalan	Agak kecil	D
V	Pemukiman, sawah	Kecil	E

Sumber: Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, (1998)



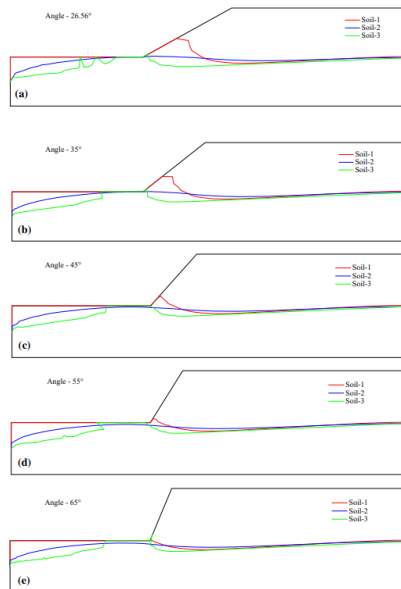
Gambar 6.2. Hubungan penggunaan lahan dan kemampuan infiltrasi

Sumber: Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, (1998)

Selain sifat fisik tanah, sistem perakaran, aktivitas hewan, retakan, dan batu juga mempengaruhi kapasitas infiltrasi tanah dan perkolasi (Chen et al., 2021).

6.3.3 Kemiringan Lahan

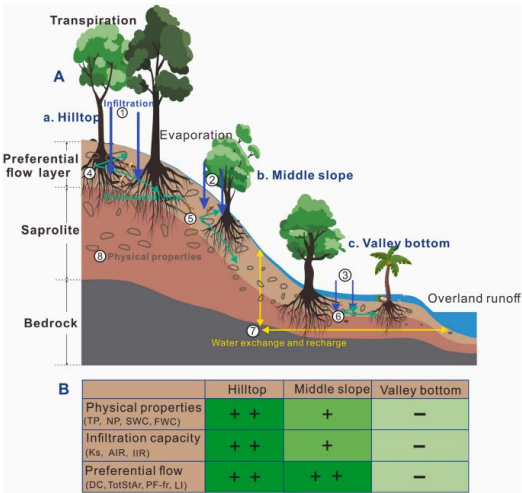
Faktor yang paling merusak lereng adalah infiltrasi dari air hujan apabila lereng tersebut tidak tertutup oleh vegetasi. Permukaan lereng yang terkikis dipengaruhi oleh energi kinetik air hujan. Pada kondisi alami sudut kelerengan bervariasi mulai dari datar hingga curam, hal ini menentukan proses hidrologi pada lahan berlereng. Kondisi jenis tanah dan tekstur berbeda serta kemiringan lahan yang bervariasi menyebabkan laju infiltrasi berbeda. Pada ilustrasi gambaran muka air tanah pada berbagai kemiringan lahan saat terjadi hujan ditampilkan pada Gambar 4. Soil-1 menunjukkan tanah dengan tekstur lempung berliat, soil-2 menunjukkan tanah dengan tekstur debu berpasir, dan soil-3 menunjukkan tanah dengan tekstur lempung berliat. Permeabilitas jenuh secara berurutan soil-1; soil-2; dan soil-3 yaitu $8,38 \times 10^{-6}$; $6,6 \times 10^{-5}$; $8,3 \times 10^{-2}$. Porositas (n) antara soil-1; soil-2; dan soil-3 secara berurutan 1,26%; 1,22%; 1,92%.



Gambar 6.3. Simulasi muka air tanah pada berbagai kemiringan lahan

Sumber: (Chatterjee & Murali, 2019)

Gambar 4 menunjukkan bahwa lereng datar memungkinkan lebih banyak air terinfiltrasi sehingga menyebabkan penurunan tekanan air pori. Bukit berlereng merupakan gradien spasial alami yang penting mempengaruhi proses hidrologi karena mempengaruhi distribusi air, aliran permukaan, erosi, dan pengisian air tanah. Pada review yang dilakukan oleh Chen et al (2021) menguraikan bahwa sifat fisika tanah seperti porositas total, kapasitas jenuh air, dan kapasitas lapang menurun beriringan dengan menurunnya ketinggian tempat dari puncak bukit ke lereng tengah dan dasar lembah. Begitupula pada kapasitas infiltrasi, konduktivitas hidrolik jenuh, dan laju infiltrasi rata-rata menurun dari puncak bukit ke bagian dasar lembah. Perkolasi mendominasi pergerakan air tanah pada bagian atas lereng dibandingkan dengan bagian lembah.



Gambar 6.4. Hubungan kelerengan dan sifat fisika tanah
Sumber: (Chatterjee & Murali, 2019)

Perbedaan proses hidrolik pada setiap posisi lereng antara bukit dan pelembahan berpengaruh terhadap redistribusi, transportasi, dan penyimpanan air permukaan dan air bawah tanah. Sehingga mengakibatkan perbedaan ketersediaan

sumberdaya air tanah dan pemanfaatan tanaman. Sebagai gambaran ditampilkan ilustrasi hubungan kelerengan dengan sifat fisika dan laju infiltrasi tanah pada Gambar 5.

6.4 Metode Pengukuran Infiltrasi

Pengukuran infiltrasi di lapang dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan diantaranya adalah *single ring infiltrometer*, *double ring infiltrometer*, *sprinkle infiltrometer* - *rain simulator*.

6.4.1 Single Ring Infiltrometer

Infiltrometer single ring memiliki tinggi 15 cm diameter 30 cm. Penggunaan ring ini dengan memasukkan kedalam tanah sedalam 5 cm. Kemudian air dimasukkan kedalam bagian dalam ring. Untuk menjaga agar terhindar dari penguapan bagian atas ring infiltrometer ditutup. Penggunaan ring infiltrometer memerlukan skala berupa penggaris atau meteran yang dimasukkan kebagian dalam ring untuk mengukur penurunan muka air. Dalam penggunaan ring infiltrometer membutuhkan kehati-hatian agar air yang dimasukkan kedalam ring infiltrometer tidak merembes kebagian samping ring (Mangala et al., 2016).

6.4.2 Double Ring Infiltrometer

Pengukuran dengan *double ring infiltrometer* merupakan teknik yang sering digunakan untuk memperkirakan laju infiltrasi tanah. Metode ini membagi ring menjadi dua bagian satu bagian terluar dan satu bagian dalam. Metode ini dikembangkan dari single ring infiltrometer yang cenderung menyerap air berlebih karena air tidak hanya mengalir secara vertikal namun secara horizontal. Penggunaan *double ring infiltrometer* memperkecil kesalahan karena ring terluar digunakan agar air terinfiltrasi secara vertikal kedalam bagian tanah. Ukuran *double ring infiltrometer* bagian dalam

berdiameter 45 cm dan terluar berdiameter 60 cm. Penggunaan *double ring infiltrometer* ini menerapkan air terinfiltrasi ditunggu sampai konstan, dengan menambahkan air kedalam ring dalam dan luar secara sistematis (Mangala et al., 2016).

Berikut contoh hasil pengukuran *double ring infiltrometer*

Tabel 6.3. Contoh perhitungan *double ring infiltrometer*

Jam	Interval (menit)	KT (menit)	H (cm)	Intake	Kumulatif Intake	Laju infiltrasi (cm/jam)	
						Immediate	Mean
10.48			12	-	-	-	-
10.53	5	5	9,1-10,9	2,9	2,9	34,8	34,8
10.58	5	10	10,1-12,1	0,8	3,7	9,6	22,2
11.03	5	15	11,7	0,4	4,1	4,8	16,4
11.08	5	20	11,6	0,1	4,2	1,2	12,6
11.13	5	25	11,1-13,5	0,5	4,7	6,0	11,3
11.18	5	30	13,0	0,5	5,2	6,0	10,4
11.23	5	35	12,2	0,8	6,0	9,6	10,3
11.28	5	40	11,5	0,7	6,7	8,4	10,1
11.33	5	45	10,2-14,8	1,3	8,0	15,6	10,7
11.38	5	50	13,5	1,3	9,3	15,6	11,2
11.43	5	55	12,2-14,5	1,3	10,6	15,6	11,6
11.48	5	60	13,2	1,3	11,9	15,6	11,9

6.4.3 *Springkle Infiltrometer – Rain Simulator*

Penggunaan alat untuk mengukur infiltrasi ini dilakukan dengan simulasi hujan dengan bantuan *rain simulator*. Prinsip kerja alat ini adalah dengan memercikkan air dengan kecepatan yang seragam melebihi kapasitas infiltrasi pada area percobaan

(Michale Gebrekiros, 2016). Limpasan yang dihasilkan dari *rain simulator* diamati dan dilakukan pengukuran infiltrasi menggunakan rumus:

$$F = (P-R)/t$$

- Dimana
 F: Infiltrasi
 P: Hujan yang turun
 R: Limpasan yang terkumpul
 t : lamanya hujan

Pada suatu studi kasus penggunaan *infiltrrometer rain simulator* pada tanah lempung berpasir dengan kecepatan curah hujan 20 cm/jam. Maka didapatkan nilai infiltrasi sebagai berikut:

Tabel 6.4. Contoh perhitungan dengan *sprinkle rain simulator*

t (menit)	t (jam)	P (cm)	R (cm)	P-R (cm)	F/t (cm/jam)
0	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00
5	0,08	1,67	0,84	0,83	9,92
10	0,17	3,33	1,76	1,57	9,44
15	0,25	5,00	2,76	2,24	8,96
20	0,33	6,67	3,77	2,90	8,69
25	0,42	8,33	4,85	3,48	8,36
30	0,50	10,00	5,93	4,07	8,14
60	1,00	20,00	13,27	6,73	6,73
90	1,50	30,00	21,15	8,85	5,90
120	2,00	40,00	29,33	10,67	5,34

t (menit)	t (jam)	P (cm)	R (cm)	P-R (cm)	F/t (cm/jam)
150	2,50	50,00	37,87	12,13	4,85

Sumber: Michale Gebrekiros, (2016)

6.5 Perhitungan Laju Infiltrasi

Pendugaan laju infiltrasi dihitung dengan berbagai pendekatan bergantung pada kesesuaian wilayah dan parameter fisik. Permodelan tersebut tersaji pada Tabel 6 berikut ini:

Tabel 6.5. Permodelan laju infiltrasi

Permodelan	Rumus	Keterangan
Horton	$f_t = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) f_0 : kapasitas infiltrasi awal (cm/jam) f_c : kapasitas infiltrasi konstan (cm/jam) k : konstanta empiris t : waktu dalam jam
Kostiakov	$f_t = f_0 t^u$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) f_0 : kapasitas infiltrasi awal (cm/jam) t : waktu (jam) u : parameter bergantung pada kondisi tanah
Dvorak-Mezencev	$f_t = f_0 + (f_1 - f_c) t^{-b}$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) f_1 : kapasitas infiltrasi selama waktu tertentu $t = 1$ jam (cm/jam) f_c : kapasitas infiltrasi konstan (cm/jam) t : waktu dalam jam b : konstanta
Philip	$f_t = \frac{1}{2} s t^{0.5} + A$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) s : sorptivity [$\text{cm s}^{-0.5}$]

Permodelan	Rumus	Keterangan
		A: komponen gravitasi bergantung pada kejenuhan konduktivitas hidraulik (cm/jam) t : waktu dalam jam
Dooge	$f_t = a (F_{max} - Ft)$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) a : konstanta F_{max} : kapasitas retensi maksimal Ft : kuantitas air tertahan pada tanah per waktu
Green & Ampt	$f_t = ks \left(1 + \frac{(n-\theta_i)\psi}{F} \right)$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) ks: kejenuhan konduktivitas hidraulik (cm/jam) n : porositas atau kadar kejenuhan air θ_i: initial water content ψ: wetting front soil suction head (cm) F: infiltrasi kumulatif
Holtan	$Ft = a Fp^n + fc$	f_t : kapasitas infiltrasi pada waktu t (cm/jam) fc: kapasitas infiltrasi konstan (cm/jam) Fp: kapasitas tanah tidak terisi air (penentuan AWC) a: konstanta (1,4 untuk kebanyakan tanah)

Sumber: Michale Gebrekiros, (2016); (Mangala et al., 2016)

DAFTAR PUSTAKA

- Allo, M. K. 2016. Kondisi Sifat Fisik dan Kimia Tanah pada Bekas Tambang Nikkel serta Pengaruhnya terhadap Pertumbuhan Trengguli dan Mahoni. *Jurnal Hutan Tropis*, 4(2), 207–217.
- Anderson, R. L., Brye, K. R., & Wood, L. S. 2020. Landuse and soil property effects on infiltration into Alfisols in the Lower Mississippi River Valley, USA. *Geoderma Regional*, 22, e00297. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00297>
- Berhanu, B., Melesse, A. M., & Seleshi, Y. 2013. GIS-based hydrological zones and soil geo-database of Ethiopia. *Catena*, 104, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2012.12.007>
- Chatterjee, D., & Murali Krishna, A. 2019. Effect of Slope Angle on the Stability of a Slope Under Rainfall Infiltration. *Indian Geotechnical Journal*, 49(6), 708–717. <https://doi.org/10.1007/s40098-019-00362-w>
- Chen, C., Zou, X., Singh, A. K., Zhu, X., Zhang, W., Yang, B., Jiang, X., & Liu, W. 2021. Effects of hillslope position on soil water infiltration and preferential flow in tropical forest in southwest China. *Journal of Environmental Management*, 299(August), 113672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113672>
- Direktur Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. 1998. *Pedoman Penyusunan RTL-RLKT DAS*. Departemen Kehutanan.
- Fu, B., Chen, L., Ma, K., Zhou, H., & Wang, J. 2000. The relationships between land use and soil conditions in the hilly area of the loess plateau in northern Shaanxi, China. *Catena*, 39(1), 69–78. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(99\)00084-3](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(99)00084-3)
- Mangala, S., Toppo, P., & Ghoshal, S. 2016. Study of infiltration capacity of different soils. *International Journal of Trend in Research and Development*, 3(2), 2394–9333. www.ijtrd.com

- Michale Gebrekiros. 2016. *Surface Water Hidrologi*. Aksum University.<https://mgebrekiros.github.io/IntroductoryHydrology/Infiltration.pdf>
- SCS. 2023. Infiltration Methode. In 6.4 (Issue December, pp. 3–10). Hydrologic Engineering Center. <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/r2du/m/latest/developing-a-terrain-model-and-geospatial-layers/infiltration-methods>
- Sudarmanto, A., Buchori, I., & Sudarno. 2013. Analisis Kemampuan Infiltrasi Lahan Berdasarkan Kondisi Hidrometeorologis dan Karakteristik Fisik DAS Pada Sub DAS Kreo Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan 2013*, 175, 175–182. <http://eprints.undip.ac.id/40664/>
- Sun, D., Yang, H., Guan, D., Yang, M., Wu, J., Yuan, F., Jin, C., Wang, A., & Zhang, Y. 2018. The effects of land use change on soil infiltration capacity in China: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 626, 1394–1401. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.104>
- Wu, G. L., Yang, Z., Cui, Z., Liu, Y., Fang, N. F., & Shi, Z. H. 2016. Mixed artificial grasslands with more roots improved mine soil infiltration capacity. *Journal of Hydrology*, 535, 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.059>
- Yimer, F., Messing, I., Ledin, S., & Abdelkadir, A. 2008. Effects of different land use types on infiltration capacity in a catchment in the highlands of Ethiopia. *Soil Use and Management*, 24(4), 344–349. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2008.00182.x>

BAB 7

LIMPASAN PERMUKAAN

Oleh Utik Tri Wulan Cahya

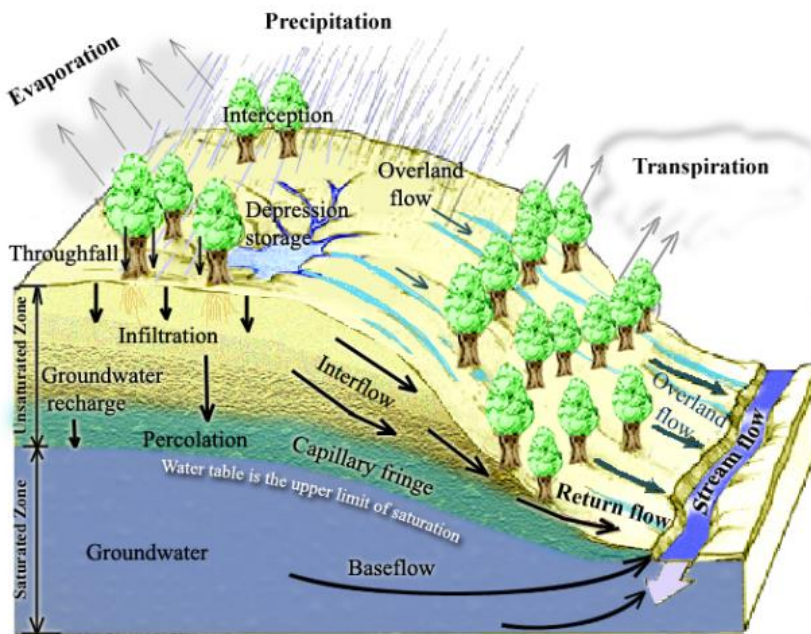
7.1 Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan (*Runoff*) merupakan bagian dari curah hujan yang mengalir melalui permukaan tanah setelah terjadinya proses intersepsi, *depression storage*, dan infiltrasi (Linsley *et al.*, 1982) menuju aliran sungai dan berakhir di laut.

Apabila laju masuknya air hujan ke permukaan tanah melebihi laju infiltrasi, kelebihan air tersebut terakumulasi di permukaan tanah (jika permukaannya tidak rata, air terkumpul dalam cekungan atau biasa disebut *depression storage*). Ketika permukaan tanah sudah terisi dan air mulai meluap barulah proses limpasan permukaan dimulai. Istilah limpasan permukaan mewakili pasokan air yang jatuh ke permukaan tanah yang tidak terserap oleh tanah dan mengalir ke bawah lereng (Hillel, 2005). Selain itu, limpasan permukaan bisa terjadi tanpa menunggu permukaan tanah terisi air. Jika laju infiltrasi lebih rendah dari intensitas curah hujan, dan topografi relative sedang hingga curam, maka limpasan permukaan bisa terbentuk. Sedangkan, air yang masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dapat mengalir menuju sungai dan berkontribusi terhadap aliran *interstream* (Tarboton, 2003).

7.2 Proses Limpasan Permukaan

Proses atau mekanisme limpasan permukaan dapat dilihat pada Gambar 7.1, berikut:



Gambar 7.1. Proses limpasan permukaan (sumber: Tarboton, 2003)

Curah hujan atau *precipitation* yang turun ke permukaan tanah dapat berupa air hujan dan salju. Selama proses ini, beberapa bagian mengalami proses evaporasi dan kembali lagi ke atmosfer dan sebagian lagi terintersepsi oleh pohon/tanaman dan sisanya kembali ke tanah. Dalam proses intersepsi, air mengalami evaporasi dan sisanya jatuh kembali ke tanah dalam bentuk *throughfall*. Curah hujan yang jatuh ke tanah masuk ke dalam tanah melalui proses infiltrasi. Air yang berada dalam tanah akan bergerak turun kebawah (*percolation*) dan kesamping (*interflow*). Air melalui proses perkolasi dapat melalui lapisan tanah dan batuan yang lebih dalam dan terdistribusi ke dalam air tanah. Muka air tanah merupakan permukaan dibawah tanah dan bebatuan yang berada dalam kondisi jenuh dan pada tekanan yang lebih besar dari atmosfer. Muka air tanah berfungsi sebagai batas antara zona jenuh yang mengandung air tanah dan zona tidak jenuh. Air yang masuk ke dalam air tanah disebut sebagai *groundwater recharge*. Tepat diatas permukaan air tanah terdapat lapisan tanah yang

mendekati jenuh, karena air tertahan oleh gaya kapiler (*capillary fringe*). Aliran air secara lateral pada air tanah menuju sungai disebut sebagai *baseflow*, aliran ini sebagai penunjang selama periode tanpa hujan. Air bawah permukaan, baik dari aliran *interstream* maupun dari air tanah dapat mengalir kembali melintasi permukaan dan bergabung bersama limpasan permukaan disebut sebagai *reverse flow*. Aliran permukaan (*overland flow*) dan aliran *interstream* yang mengangkut air ke sungai dalam waktu sekitar satu hari/lebih diklasifikasikan sebagai limpasan permukaan (*runoff*). Sedangkan, air yang masuk ke air tanah bergerak ke sungai dengan jangka waktu seminggu, sebulan bahkan bertahun-tahun bergerak relative lambat (*baseflow*). Istilah aliran cepat dan aliran tertunda juga digunakan untuk mendeskripsikan dan membedakan antara limpasan permukaan (*runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*). Berdasarkan mekanisme tersebut, limpasan permukaan meliputi *overland flow* dan limpasan bawah permukaan atau aliran *interflow* (Tarboton, 2003; Reddy, 2011).

7.3 Faktor yang Mempengaruhi

Dalam siklus hidrologi, diketahui bahwa tidak semua hujan yang jatuh akan menjadi limpasan permukaan. Sebagian, akan mengalami proses intersepsi, sebagian terinfiltrasi ke dalam tanah dan terevapotranspirasi ke udara. Sehingga, dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa jumlah hujan yang menjadi limpasan permukaan tergantung pada berbagai faktor. Diantaranya adalah iklim, jenis tanah, vegetasi tutupan lahan (Samawi *et al.*, 2019) dan kemiringan lereng.

7.3.1 Iklim

Secara prinsip, faktor iklim yang mempengaruhi limpasan permukaan adalah durasi dan intensitas curah hujan. Durasi adalah lamanya hujan sedangkan untensitas ialah kecepatan turunnya hujan. Hujan yang berlangsung singkat biasanya tidak menghasilkan limpasan permukaan. Sedangkan, hujan dengan

intensitas lebih kecil namun berdurasi lama dapat mengakibatkan limpasan permukaan. Intensitas curah hujan mempengaruhi laju dan volume dari limpasan permukaan. Pada kondisi jumlah curah hujan dengan intensitas berbeda akan menghasilkan volume limpasan permukaan yang berbeda. Intensitas curah hujan yang tinggi, tidak memberikan kesempatan air untuk masuk kedalam tanah (intensitas hujan melebihi laju infiltrasi) memiliki total volume limpasan lebih besar dari pada intensitas curah hujan rendah meskipun total curah hujan sama (NEDS, 1989). Intensitas curah hujan yang tinggi, akan menghantarkan energy kinetik (daya pukul air hujan) yang besar terhadap permukaan tanah yang kemudian akan menyebabkan menurunnya laju infiltrasi (Vaezi, 2017).

7.3.2 Kemiringan Lereng

Limpasan permukaan akan mengalir lebih cepat pada lereng yang lebih curam yang kemudian akan menghasilkan *peak* yang lebih tinggi di sungai di daerah hilir (NEDS, 1989).

7.3.3 Jenis Tanah

Jenis tanah mempunyai pengaruh besar terhadap limpasan permukaan melalui laju infiltrasinya. Porositas atau ukuran pori tanah dan distribusinya sangat penting untuk diketahui. Pada tanah pasir, pori-pori relative stabil karena partikel pasir tidak mudah hancur dan berubah. Tanah yang mengandung liat atau lempung mudah hancur karena daya pukul atau energy kinetic dari air hujan. Proses hancurnya atau lepasnya partikel tanah disebut sebagai erosi percik. Hasil lepasan partikel akan menyumbat pori-pori disekitarnya yang kemudian akan menyebabkan terbentuknya kerak tanah (*crusting*) yang kemudian dapat menurunkan atau mengurangi laju infiltrasi. Berdasarkan NEDS (1989), tanah dibagi menjadi 4 group hidrologi dengan penelitian tanpa adanya vegetasi atau tutupan lahan (Tabel 1).

Tabel 7.1. Pembagian jenis tanah kaitannya dengan limpasan permukaan

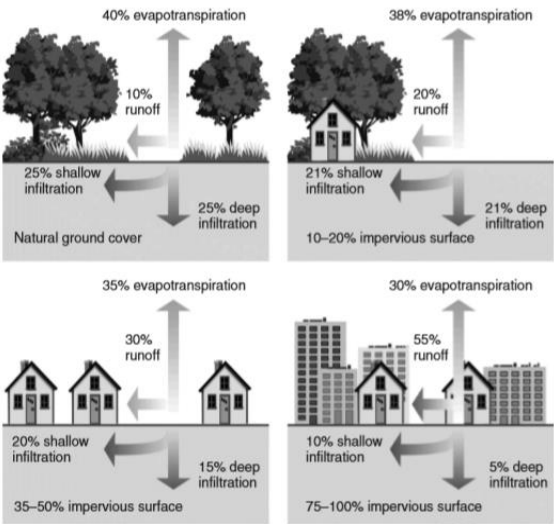
Group	Tekstur tanah	Sifat drainase	Deskripsi	Laju perkolasi (in/hr)
A	Sebagian besar terdiri dari pasir	Baik hingga berlebih	Tanah mempunyai potensi limpasan yang rendah dan laju infiltrasi yang tinggi meskipun tanah dalam kondisi jenuh.	>0.3
B	Agak halus sampai kasar	Cukup baik sampai baik	Tanah mempunyai laju infiltrasi sedang dalam kondisi jenuh dan terdiri dari tanah agak dalam sampai dalam.	0.15–0.3
C	Halus hingga agak halus	Kurang baik	Tanah yang mempunyai laju infiltrasi rendah dalam kondisi jenuh dan terdiri dari tanah dengan lapisan yang menghambat pergerakan air	0.05–0.15

			ke bawah.	
D	Tanah liat pada atau dekat permukaan dan tanah dangkal dekat dengan lapisan kedap air	Buruk	Tanah mempunyai potensi limpasan yang tinggi. Mempunyai laju infiltrasi rendah dalam kondisi jenuh dan terutama terdiri dari tanah liat dengan potensi mengembang tinggi, tanah dengan muka air tanah yang tinggi.	0.0–0.15

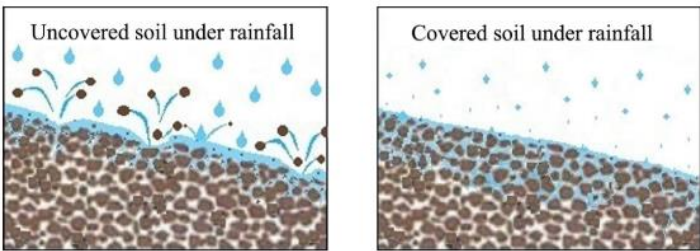
7.3.4 Tutupan Lahan (Vegetasi)

Vegetasi atau pohon atau tanaman mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap limpasan permukaan. Banyak penelitian yang menunjukkan bahwa untuk tanah yang sama dengan kondisi yang sama, laju infiltrasi paling tinggi terjadi pada hutan dan padang rumput, kemudian lebih rendah pada tanaman ladang, dan paling rendah pada tanah bera atau gundul (NEDS, 1989). Jika dilihat dari Gambar 2, perubahan penggunaan lahan dari lahan hutan menjadi pemukiman akan meningkatkan runoff sebesar 20% bahkan meningkat sebanyak 45% jika dikonversi menjadi bangunan (USEPA, 1999). Hal ini disebabkan karena peranan vegetasi sangat penting untuk menurunkan limpasan permukaan melalui peningkatan laju infiltrasi. System perakaran meningkatkan ruang pori, bahan organik tanah hasil dekomposisi sisa tanaman yang mati dapat

meningkatkan struktur tanah menjadi gembur dan meningkatkan permeabilitas. Vegetasi dan sisa tanaman melindungi permukaan tanah dari daya pukul air hujan (erosi percik) yang menyebabkan hancurnya partikel tanah (Gambar 3). Selain itu, vegetasi membuat permukaan tanah menjadi kasar sehingga menghambat limpasan permukaan, mengurangi kecepatan aliran, dan memberikan waktu untuk air masuk ke dalam tanah.



Gambar 7.2. Berbagai tutupan lahan dan kondisi hidrologinya (USEPA, 1999)



Gambar 7.3. Ilustrasi kondisi permukaan tanah saat terkena hujan (Vaezi, 2017)

7.4 Penentuan Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan dapat ditentukan melalui perhitungan debit banjir dan melalui pengukuran secara langsung di sungai. Jika dalam menentukan debit banjir terdapat keterbatasan data hidrologi, maka dalam memperkirakan debit banjir dapat dihitung dengan rumus-rumus empiris. Karakteristik yang tidak diketahui dari debit banjir yang diperkirakan dengan rumus empiris adalah frekuensi rata-rata. Namun, rumus empiris dapat memberikan perkiraan kasar secara tepat (Sosrodarsono dan Takeda, 1989). Rumus empiris untuk memperkirakan besarnya air limpasan adaah sebagai berikut: (USSCS, 1986)

- Untuk daerah dengan luas ≤ 80 Ha

$$Q = \frac{1}{360} \cdot C \cdot I \cdot A$$

Dimana:

Q : debit limpasan (liter/detik)

C : koefisien limpasan

I : rerata intensitas hujan (mm/jam)

A : luas wilayah (ha)

- Untuk daeran dengan luas > 80 ha

$$Q = \frac{1}{360} \cdot C \cdot Cs \cdot I \cdot A$$

Dimana:

Cs : koefisien penampungan

- Koefisien limpasan dapat dihitung menggunakan rumus: (Asdak, 1995)

$$C = \frac{\text{limpasan permukaan (mm)}}{\text{curah hujan (mm)}}$$

- Koefisien limpasan volumetric (Sosrodarsono dan Takeda 2003)

$$C_v = \frac{p}{q}$$

Dimana:

C_v : koefisien limpasan volumetric

p : jumlah hujan (mm)

q : limpasan langsung (mm)

- Koefisien limpasan puncak (Sosrodarsono dan Takeda 2003)

$$C_p = \frac{Q_p}{A.I}$$

Dimana:

C_p : koefisien limpasan puncak

Q_p : puncak limpasan ($m^3/detik$)

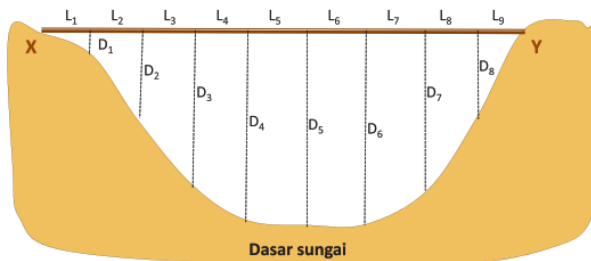
I : rerata intensitas hujan (mm/jam)

A : luas wilayah (ha)

7.5 Pengukuran Limpasan Permukaan

Pengukuran limpasan permukaan bisa dilakukan dengan mengukur debit sungai. Pengukuran debit secara langsung dapat menggunakan alat pengukur arus (*current meter*). Pengukuran debit sungai terdiri dari empat tahapan yakni mengukur penampang melintang sungai; mengukur tinggi muka air dan kedalaman air; mengukur kecepatan arus; dan perhitungan debit (P3SDA):

- Pengukuran penampang melintang sungai
Dengan menghitung penampang melintang sungai (Gambar 7.4), maka banyaknya air yang lewat setiap detik akan dapat dihitung. Pengukuran penampang melintang sungai biasanya dilakukan pada musim kemarau dan diperbarui setiap tahun (ICRAF).



Gambar 7.4. Pembagian penampang melintang sungai (ICRAF)

- Pengukuran tinggi muka air

Untuk mendapatkan hasil yang lebih teliti, pengukuran tinggi muka air dapat dilakukan pada beberapa titik di sepanjang tampang aliran. Jika pengukuran debit dilakukan pada lokasi yang terdapat stasiun pengukur tinggi muka air manual atau otomatis (AWLR) (Gambar 5), maka tinggi muka air dapat diketahui dari stasiun AWLR.



Gambar 7.5. Alat ukur tinggi muka air manual dan AWLR (P3SDA)

- Pengukuran kecepatan arus menggunakan *current meter*. *Current meter* merupakan alat pengukur debit sungai paling umum digunakan dan menghasilkan ketelitian yang cukup baik. Prinsip kerja alat ini dengan mencari hubungan antara kecepatan aliran dan kecepatan putaran baling-baling. Hubungan ini dituangkan dalam rumus:

$$V = an + b$$

Dimana:

V : kecepatan aliran

n : jumlah putaran tiap waktu tertentu

a,b : tetapan yang ditentukan dengan kalibrasi alat di laboratorium



Gambar 7.6. *Current meter* sumbu tegak (tipe canting) (P3SDA)



Gambar 7.7. *Current meter* horisontal (tipe baling-baling) (P3SDA)

Pengukuran menggunakan *current meter* dapat dilakukan dengan beberapa cara seperti berikut:

- Merawas, untuk sungai-sungai kecil dan dangkal
 - Melalui jembatan
 - Menggunakan perahu
 - Menggunakan kereta gantung
- Hitungan debit
Hitungan debit merupakan penjumlahan dari debit setiap pias tampang aliran. Perhitungan dilakukan dengan *mid-area method* (Gambar 8). Dengan rumus :

$$a_n = \frac{L_n + L_{n+1}}{2} \times d_n$$

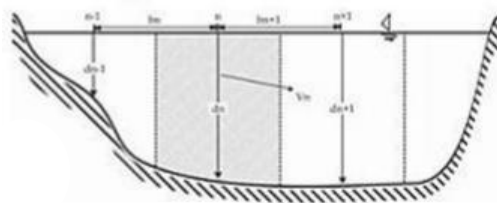
Cara menghitung debit (Q) dan debit seksi (q)

$$q_n = a_n \times V_{n+1}$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i$$

Dimana:

- q_n : debit seksi ke n
- q_i : debit tiap seksi ke i
- a_n : luas seksi ke n
- V_n : kecepatan rata-rata pada seksi n
- V_{n+1} : kecepatan rata-rata pada d_{n+1}
- d_n : kedalaman seksi ke n
- L_n : lebar penampang ke n
- Q : debit sungai



Menghitung Luas Seksi dengan Mid Section

Gambar 7.8. Perhitungan debit dengan *mid-area method* (P3SDA)

DAFTAR PUSTAKA

- Hillel, D. 2005. Water Harvesting. Columbia University. New York
- ICRAF. Panduang Teknis Pengukuran Debit Sungai Sederhana. World Agroforestry Center. Bogor
- Linsley, R.K., Kohler, M. A dan Paulhus, J, L.H. 1982. Hydrology for engineers 3rd Ed. (McGrawHill, Inc).
- NEDS (National Employee Development Staff). 1989. Hydrologi Training Series : Runoff Concepts. USDA. United States
- P3SDA (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi). Pengukuran Hidrologi Pelatihan Pengukuran Bidang SDA Tingkat Dasar. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Bandung
- Reddy, J.R. 2011. A Textbook of Hydrology: Third edition. University Science Press. New Delhi.
- Samawi, I., Noman, A., Khanbari, K., Quriaa, H., Areeq, N., Alqaish, M., Aklan, M. 2019. The Impacts of Land Use Change on the Runoff Characteristics Using HEC-HMS Model. Easy Chair Preprint no 2204. <https://easychair.org/publications/preprint/kF1r>
- Sosrodarsono, S., Takaeda, K., (2003). Hidrologi Intuk Pengairan. Pradnya Paramita, Jakarta.
- Tarboton, D.G. 2003. Rainfall-Runoff Processes. Utah State University
- U. S. Soil Conservation Service. (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55, 2nd ed., NTIS PB87-101580.
- USEPA (1999) Storm Water Technology Fact Sheet: Infiltration Trench, US Environmental Protection Agency: Washington, EPA 832-F-99-019. p. 7.
- Vaezi, A. R., Ahmadi, M., & Cerdà, A. (2017). Contribution of raindrop impact to the change of soil physical properties and water erosion under semi-arid rainfalls. Science of the Total Environment, 583, 382–392. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.078>.

BAB 8

AIRTANAH: KONSEP, PERGERAKAN, PENGELOLAAN DAN KUALITAS

Oleh Abdi Suprayitno

8.1 Pendahuluan

Airtanah, sebagai salah satu komponen siklus hidrologi, memainkan peran sentral dalam menopang kehidupan di planet ini. Ketersediaan airtanah memengaruhi berbagai aspek kehidupan sehari-hari manusia dan ekosistem. Oleh karena itu, pemahaman tentang pentingnya airtanah sangatlah vital untuk memastikan keberlanjutan sumber daya air dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Dibeberapa wilayah airtanah merupakan sumber air baku utama yang menopang hidup masyarakat di atasnya. Sumur airtanah dapat berfungsi sebagai sumber kehidupan yang bersih dan aman untuk kebutuhan konsumsi sehari-hari. Sebagian besar air tanah digunakan untuk irigasi, mendukung pertanian yang memasok kebutuhan pangan global (Soedireja, 2016). Tanaman memerlukan pasokan air yang stabil, dan air tanah sering menjadi sumber yang dapat diandalkan untuk keperluan ini. Dengan kuantitas yang besar dan kualitas yang terjaga dibawah permukaan.

Ekosistem darat dan air sangat bergantung pada airtanah. Akuifer dan mata air mewakili habitat yang kaya keanekaragaman hayati. Ketersediaan air tanah yang cukup mendukung kelangsungan hidup tanaman, hewan, dan mikroorganisme di ekosistem tersebut. Air tanah memiliki peran

dalam menjaga kelembaban tanah dan mengatur suhu di lingkungan (Winarna et al., 2017). Hal ini memengaruhi pola cuaca dan membantu menjaga stabilitas ekosistem secara keseluruhan.

Sumber daya airtanah juga merupakan aset ekonomi yang penting. Industri-industri seperti pertambangan, pengolahan, dan produksi energi sering kali memerlukan akses yang andal terhadap airtanah. Airtanah dapat bertindak sebagai cadangan air selama periode kekeringan. Mengandalkan airtanah dapat membantu melindungi komunitas dari dampak kekurangan air yang dapat terjadi akibat perubahan iklim atau faktor-faktor lainnya. Kualitas airtanah yang baik sangat penting untuk kesehatan masyarakat. Airtanah yang bersih dan bebas kontaminan meminimalkan risiko penyakit terkait air (Trisna, 2018).

Dengan memahami peran fundamental airtanah dalam kehidupan sehari-hari dan ekosistem, kita dapat menghargai urgensi perlindungan dan pengelolaan yang berkelanjutan terhadap sumber daya air tanah. Kesadaran akan pentingnya air tanah merupakan langkah awal yang krusial untuk menjaga keberlanjutan dan keseimbangan ekosistem serta memastikan ketersediaan air yang mencukupi untuk generasi mendatang.

Dibawah ini adalah tujuan dan relevansi mengenai pemahaman terhadap konsep pergerakan, pengelolaan dan kualitas airtanah.

Tabel 8.1. Tujuan Dan Relevansi Topik Airtanah

Topik	Tujuan	Relevansi
Pemahaman tentang siklus hidrologi	Memahami siklus hidrologi secara komprehensif, mulai dari proses	Pemahaman yang mendalam tentang siklus hidrologi adalah dasar bagi

	infiltrasi hingga penelitian-penelitian lebih lanjut terkait perubahan iklim, distribusi air, dan dampaknya pada keberlanjutan sumber daya air.
Optimalisasi Pengelolaan Sumber Daya Air	Mengidentifikasi metode dan strategi optimal untuk memanfaatkan sumber daya airtanah secara berkelanjutan. Dalam konteks peningkatan permintaan air, terutama untuk pertanian dan konsumsi manusia, penelitian ini memberikan panduan bagi pengambilan keputusan dalam merencanakan dan mengelola penggunaan airtanah.
Pencegahan Depleksi Airtanah	Mendeteksi potensi depleksi airtanah dan memahami dampaknya terhadap ekosistem dan masyarakat. Upaya pencegahan terhadap penurunan tingkat air tanah yang dapat menyebabkan kerugian ekologis, termasuk subsiden tanah dan kekeringan.
Penanganan	Mengidentifikasi Menjaga

Pencemaran Airtanah	sumber dan jenis pencemaran, serta cara-cara mengurangi risiko kontaminasi airtanah.	keberlanjutan sumber daya air dan melindungi kesehatan publik.
Perlindungan Ekosistem Airtanah	Melindungi ekosistem yang bergantung pada airtanah	Kehadiran airtanah yang memadai mendukung keanekaragaman hayati dan menjaga keberlanjutan ekosistem airtanah, termasuk habitat unik seperti akuifer dan mata air.
Keseimbangan Lingkungan	Membantu mencapai keseimbangan lingkungan yang berkelanjutan.	Mengelola sumber daya air dengan mempertimbangkan aspek ekologis, ekonomis, dan sosial.
Kesadaran Masyarakat	Meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya airtanah dan mendukung perilaku yang lebih berkelanjutan terkait penggunaan air.	Kesadaran masyarakat adalah faktor kunci dalam menjaga keberlanjutan sumber daya air dan melibatkan masyarakat secara aktif dalam upaya konservasi air.

Dengan mengidentifikasi tujuan dan relevansi penelitian mengenai airtanah, pergerakan, pengelolaan, dan kualitas airtanah, kita dapat memahami betapa pentingnya penelitian ini dalam menjawab tantangan terkait sumber daya air di masa depan dan menjaga keberlanjutan ekosistem serta kesejahteraan manusia.

8.2 Konsep Airtanah

Konsep airtanah meliputi definisi dan peranannya dalam siklus hidrologi, konsep akuifer beserta kedudukannya serta proses pembentukan airtanah dan pengaruh geologi terhadap sifatnya.

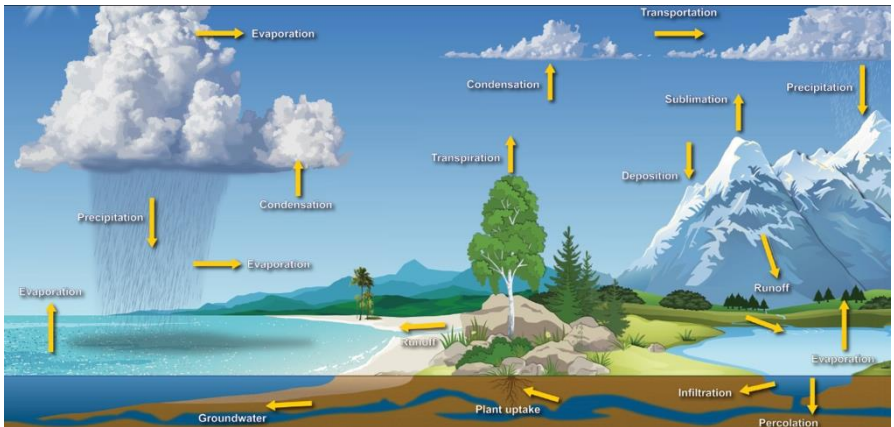
8.2.1 Definisi Airtanah

Airtanah adalah air yang terdapat di dalam pori-pori tanah dan batuan di bawah permukaan bumi. Sumber air tanah dapat ditemukan di berbagai kedalaman, dan ketersediaannya sangat bergantung pada jenis tanah dan batuan di suatu daerah. Airtanah merujuk pada air yang terdapat di dalam pori-pori atau rekahan di bawah permukaan tanah. Ini mencakup air yang terperangkap di dalam formasi geologis seperti batuan, kerikil, pasir, atau tanah liat. Airtanah merupakan komponen penting dalam siklus hidrologi, dan keberadaannya dapat ditemui dalam lapisan air bawah tanah yang disebut akuifer (Neven Kresic, 2023).

8.2.2 Siklus Hidrologi

Siklus air, yang juga dikenal sebagai siklus hidrologi, merupakan suatu proses alami di mana air bergerak secara terus-menerus. Perjalanan air dari atmosfer ke bumi dan sebaliknya digambarkan oleh sirkulasi air. Sirkulasi ini bersifat kontinu, membentuk rangkaian perjalanan melingkar yang disebut sebagai siklus. Air mengalami perubahan bentuk dari

uap menjadi cairan dan padat, berpindah antara atmosfer, daratan, dan lautan melalui berbagai tahapan. Proses dan tahapan ini terus berulang, memastikan bahwa air di bumi terus berputar dan tidak pernah habis.



Gambar 8.1. Siklus Hidrologi (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019)

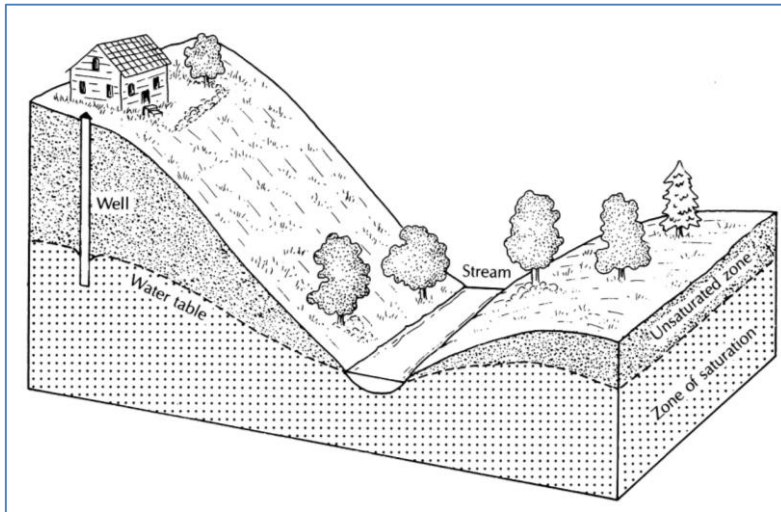
Siklus air menunjukkan pergerakan terus-menerus air di dalam Bumi dan atmosfer. Ini adalah sistem yang kompleks yang melibatkan banyak proses berbeda. Air dalam bentuk cair menguap menjadi uap air, mengembun membentuk awan, dan kemudian turun kembali ke bumi dalam bentuk hujan dan salju. Air dalam berbagai fase bergerak melalui atmosfer (transportasi). Air dalam bentuk cair mengalir melintasi daratan (*runoff*), masuk ke dalam tanah (infiltrasi dan perkolasi), dan melalui tanah (airtanah). Airtanah bergerak ke dalam tanaman (diserap oleh tanaman) dan menguap dari tanaman ke atmosfer (transpirasi). Es dan salju padat dapat langsung berubah menjadi gas (sublimasi). Sebaliknya, kejadian sebaliknya dapat terjadi ketika uap air menjadi padat (National Oceanic and Atmospheric Administration, 2019).

8.2.3 Akuifer dan Airtanah

Beberapa jenis sumber airtanah termasuk akuifer, airtanah dangkal, dan airtanah dalam. Pengertian akuifer adalah lapisan batuan atau tanah yang mampu menyimpan dan mengalirkan air di dalamnya. Menurut Dassargues (2019) akuifer berperan penting sebagai sumber air bagi sumur-sumur dan mata air. Ada dua jenis utama akuifer:

- **Akuifer Bebas (Unconfined Aquifer)**

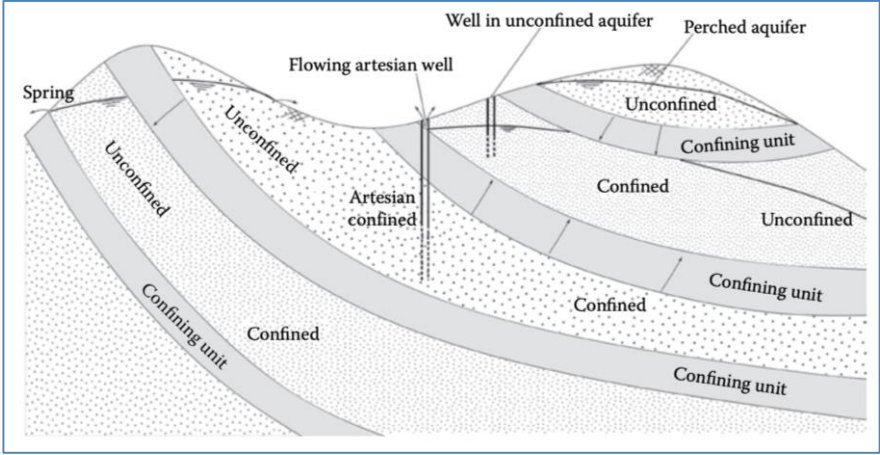
Akuifer bebas tidak memiliki lapisan impermeabel di atasnya. Air di dalamnya dapat terpengaruh langsung oleh kondisi atmosfer di atasnya. Oleh karena itu, mereka lebih rentan terhadap perubahan kualitas air dan dapat merespons cepat terhadap perubahan tekanan airtanah.



Gambar 8.2. Akuifer Bebas (Fetter & Kreameer, 2022)

- **Akuifer Tertekan (Confined Aquifer)**

Akuifer tertekan ditumpangi oleh lapisan impermeabel di atas dan di bawahnya. Lapisan impermeabel ini membentuk batas yang memisahkan akuifer dari lingkungan di sekitarnya. Tekanan air di akuifer tertekan bisa lebih tinggi karena terisolasi dari atmosfer dan lingkungan sekitarnya.



Gambar 8.3. Skema Akuifer Tertekan

(Alain Dassargues, 2019)

Sumber airtanah yang ditemukan di alam dapat dibedakan melalui kedudukannya dibawah permukaan berdasarkan tingkat kedalamannya.

Tabel 8.2. Perbedaan Airtanah Dangkal dan Dalam

Unit	Airtanah Dangkal	Airtanah Dalam
Kedalaman	Airtanah dangkal terletak di lapisan atas tanah, seringkali dalam zona akuifer terbuka	Airtanah dalam terletak pada kedalaman yang lebih besar, mungkin di dalam akuifer tertutup yang terletak lebih dalam di bawah permukaan tanah.
Kualitas Air	Airtanah dangkal mungkin	Airtanah dalam cenderung lebih

	rentan terhadap pencemaran karena lebih mudah diakses oleh polutan dari permukaan tanah	terlindungi dari pencemaran karena terletak di kedalaman yang lebih besar dan memiliki lapisan impermeabel di sekitarnya
Tekanan Air	Tekanan airtanah dangkal dapat berfluktuasi lebih banyak tergantung pada kondisi atmosfer dan aktivitas manusia di permukaan tanah	Airtanah dalam seringkali memiliki tekanan air yang lebih tinggi karena terisolasi oleh lapisan impermeable
Aksesibilitas	Airtanah dangkal lebih mudah diakses dan seringkali dapat ditemukan melalui sumur dangkal atau mata air	Airtanah dalam mungkin memerlukan sumur yang lebih dalam untuk diakses

Penting untuk memahami karakteristik dan perbedaan ini karena hal ini dapat memengaruhi cara pengelolaan dan perlindungan sumber airtanah.

8.2.4 Proses Pembentukan Airtanah

Proses pembentukan airtanah melibatkan serangkaian tahapan kompleks yang melibatkan siklus air, infiltrasi, perkolasi, dan interaksi dengan berbagai jenis material geologi di bawah permukaan tanah.

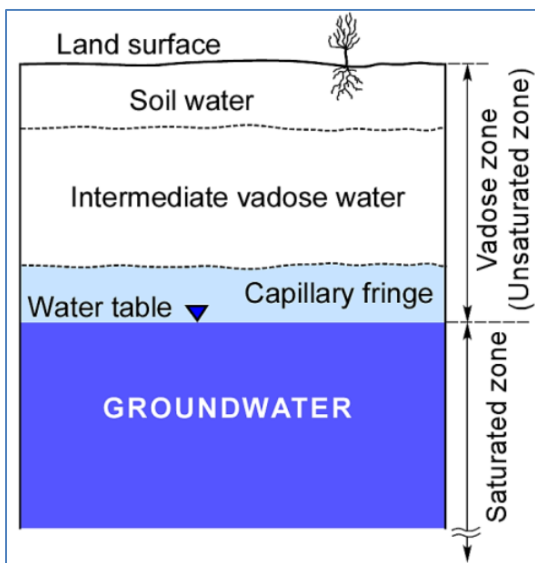
Pada awalnya presipitasi air hujan dipermukaan mengalami infiltrasi kedalam tanah. Proses masuknya air hujan atau air permukaan ke dalam tanah melalui pori-pori tanah atau celah-celah di permukaan tanah. Faktor-faktor yang memengaruhi infiltrasi meliputi tipe tanah, tekstur tanah, vegetasi, kemiringan tanah, dan keadaan hujan. Infiltrasi ini merupakan langkah awal dalam pembentukan air tanah.

Air yang telah meresap ke dalam tanah dapat mencapai zona akar tanaman. Pada tahap ini, sebagian air dapat digunakan oleh tanaman melalui proses transpirasi, dan sebagian lainnya terus meresap lebih dalam ke dalam tanah.

Dilanjutkan dengan pergerakan air melalui pori-pori tanah atau rekahan batuan ke lapisan yang lebih dalam. Air yang bergerak melalui tanah mengalami proses perkolasi yang dapat membawa air ke dalam lapisan air tanah yang lebih dalam.

Masuk kedalam akuifer yakni formasi geologi yang mampu menyimpan dan mengalirkan air secara signifikan. Akuifer dapat terdiri dari material seperti pasir, kerikil, atau batuan yang memiliki pori-pori atau rekahan yang memungkinkan air masuk dan tersimpan di dalamnya. Sehingga terbentuklah airtanah atas proses diatas.

Airtanah mengisi suatu zona batuan dibawah permukaan yang dinamakan zona tidak jenuh (*unsaturated zone*) dan zona jenuh (*saturated zone*). Zona jenuh adalah bagian tanah atau batuan di mana pori-porinya sepenuhnya diisi dengan air. Zona ini merupakan tempat penyimpanan utama airtanah. Di atas zona jenuh, terdapat zona tidak jenuh di mana pori-pori berisi campuran air dan udara (Neven Kresic, 2023).



Gambar 8.4. Zona Jenuh dan zona air bebas (Neven Kresic, 2023)

Proses pengisian kembali airtanah melalui masukan air dari berbagai sumber seperti hujan, sungai, atau danau disebut dengan recharge. Air yang mencapai zona jenuh menyumbang pada ketersediaan air tanah di daerah tersebut. Sedangkan proses keluarnya air dari akuifer disebut discharge. Pengertian discharge adalah proses pengeluaran air dari sistem akuifer melalui mata air, sumur, atau sungai. Airtanah dapat bergerak menuju permukaan bumi secara alami atau dapat ditarik keluar melalui aktivitas manusia seperti pengambilan air sumur (Alain Dassargues, 2019).

Proses diatas dapat berpengaruh terhadap sifat airtanah tersebut. Sifat-sifat kimia air tanah, seperti keasaman, kandungan mineral, dan konsentrasi zat-zat pencemar, dapat dipengaruhi oleh karakteristik geologi daerah tersebut. Misalnya, air yang melewati batuan kapur dapat memiliki kandungan kalsium yang lebih tinggi.

Proses pembentukan airtanah melibatkan interaksi antara air, tanah, dan batuan di bawah permukaan tanah. Penting untuk memahami geologi daerah tertentu untuk mengelola dan melindungi sumber daya air tanah secara efektif. Faktor-faktor

seperti jenis tanah, tekstur tanah, dan karakteristik akuifer memiliki dampak signifikan pada jumlah dan kualitas air tanah yang tersedia.

8.3 Mekanisme Pergerakan Airtanah

Mekanisme pergerakan airtanah melibatkan serangkaian proses kompleks yang mencakup infiltrasi, transpirasi, dan evaporasi. Dalam ekosistem bumi, air bergerak melalui berbagai fase dan jalur, memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan ekosistem dan menyediakan sumber daya air bagi berbagai bentuk kehidupan. Mari kita menjelaskan setiap elemen dari mekanisme pergerakan airtanah secara lebih rinci.

8.3.1 Infiltrasi

Infiltrasi adalah proses pertama dalam siklus air, di mana air dari berbagai sumber, seperti hujan atau salju leleh, meresap ke dalam lapisan tanah. Proses ini memainkan peran utama dalam mengisi dan menyimpan air dalam tanah. Beberapa faktor memengaruhi tingkat infiltrasi, termasuk tekstur tanah, struktur tanah, tumbuhan, dan tutupan tanah. Tanah dengan struktur yang longgar dan berpori besar cenderung memiliki tingkat infiltrasi yang lebih tinggi daripada tanah yang padat (Darwis, 2018).

Tekstur tanah, yang melibatkan ukuran partikel tanah, juga memainkan peran penting. Tanah berpasir memiliki pori-pori besar, memungkinkan air meresap lebih cepat, sementara tanah lempung dengan partikel-partikel kecil cenderung memperlambat infiltrasi. Akar tanaman juga dapat membantu meningkatkan infiltrasi dengan menciptakan saluran-saluran di tanah.

8.3.2 Perkolasi

Setelah air meresap ke dalam tanah melalui infiltrasi, proses perkolasi memungkinkan air untuk terus bergerak ke dalam lapisan tanah yang lebih dalam. Ini melibatkan pergerakan air melalui retakan, pori-pori, dan ruang-ruang di antara butiran-butiran tanah. Perkolasi memainkan peran kunci dalam penyimpanan air dalam akuifer, yang merupakan lapisan tanah atau batuan yang dapat menyimpan dan memberikan air secara berkelanjutan (Aryani et al., 2023).

Proses ini sangat bergantung pada sifat hidrogeologi tanah, yang mencakup permeabilitas dan kapasitas air tanah. Permeabilitas adalah kemampuan tanah atau batuan untuk memungkinkan air melewati, sedangkan kapasitas airtanah adalah jumlah air yang dapat disimpan oleh suatu material tanah.

8.3.3 Transpirasi

Transpirasi adalah proses dimana tanaman menyerap air dari tanah melalui akar dan kemudian melepaskannya ke atmosfer melalui daun dalam bentuk uap air. Ini adalah bagian dari siklus air yang melibatkan interaksi antara tanaman dan atmosfer. Transpirasi membantu memindahkan air dari zona akar ke atmosfer, mempertahankan keseimbangan air dalam ekosistem (Alain Dassargues, 2019).

Ketika tanaman melakukan fotosintesis, mereka membuka stomata di daun untuk mengambil karbon dioksida dan melepaskan oksigen. Selama proses ini, air juga menguap melalui stomata, menciptakan efek kapiler yang menarik air dari tanah melalui akar. Transpirasi membantu dalam sirkulasi air dan nutrisi di dalam tanaman, dan juga berkontribusi pada penyimpanan air di atmosfer.

8.3.4 Evaporasi

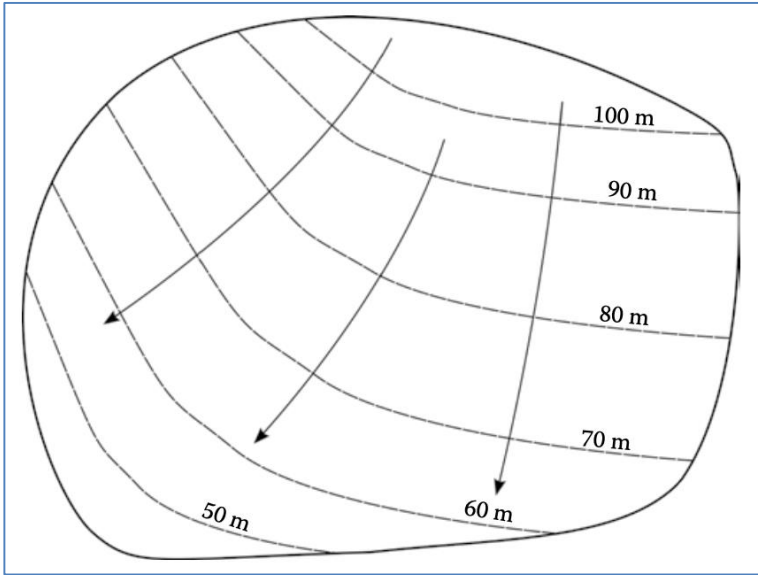
Evaporasi adalah proses perubahan air dalam bentuk cair menjadi uap air dari permukaan tanah atau perairan. Ini adalah hasil langsung dari energi matahari yang menyebabkan molekul air menjadi lebih aktif, bergerak lebih cepat, dan akhirnya berubah menjadi uap. Permukaan air, seperti sungai, danau, atau lautan, adalah sumber utama evaporasi, tetapi tanah basah juga dapat memberikan kontribusi.

Kecepatan evaporasi dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembaban udara, kecepatan angin, dan insolasi matahari. Semakin tinggi suhu dan kecepatan angin, semakin cepat proses evaporasi terjadi. Proses ini menghasilkan uap air yang meningkatkan kelembaban atmosfer dan menyumbang pada pembentukan awan dan hujan (Sujalu et al., 2020).

Secara keseluruhan, mekanisme pergerakan air tanah melibatkan serangkaian interaksi yang rumit antara tanah, tanaman, dan atmosfer. Infiltrasi membawa air ke dalam tanah, perkolasi memungkinkannya mencapai lapisan tanah yang lebih dalam, transpirasi membantu mengangkut air melalui tumbuhan, dan evaporasi mengembalikan air ke atmosfer dalam bentuk uap. Keseluruhan proses ini membentuk siklus air yang penting bagi keberlanjutan ekosistem dan kehidupan di Bumi.

8.3.5 Pola Aliran Airtanah

Airtanah bergerak dari tekanan tinggi ke tekanan rendah. Secara horizontal maka airtanah bergerak relatif tegak lurus dengan garis potensial atau muka airtanah di bawah permukaan. Seperti pada Gambar dibawah, pola aliran airtanah tegak lurus dengan garis kontur muka airtanah. Berlaku pada akuifer tertekan dan bebas.



Gambar 8.5. Arah pola aliran airtanah (Alain Dassargues, 2019)

8.4 Pengelolaan dan Kualitas Airtanah

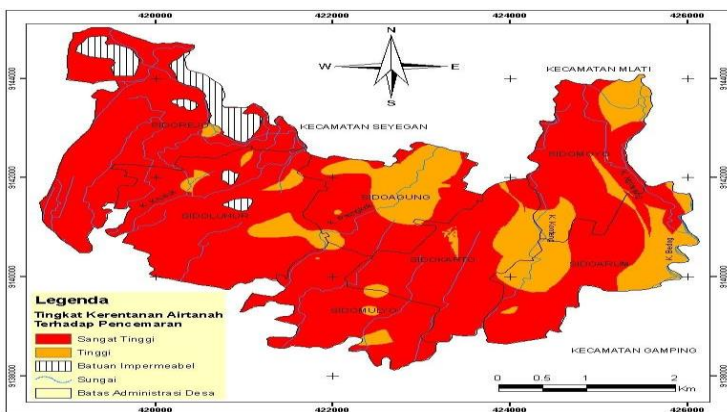
Penggunaan airtanah yang berkelanjutan sangat bergantung pada system pengelolaan yang baik dan terukur. Pengelolaan airtanah tidak hanya melihat dari segi kuantitas berupa volume airtanah dibawah permukaan, selain itu segi kualitas dalam hal kandungan unsur didalam airtanah. Dalam hal kuantitas maka perlu ditinjau banyaknya pengguna airtanah di suatu daerah yang menggunakan pompa air untuk memproduksi airtanah (Suprayitno, 2016).

Pengurasan airtanah yang berlebih atau overpumping maka dapat mengakibatkan penurunan muka airtanah di suatu daerah. Sangat diperlukan sistem pengaturan yang membatasi pengurasan airtanah di suatu area untuk menjaga penurunan muka airtanah melebihi standar yang ditentukan. Overpumping terjadi ketika tingkat pengambilan air dari akuifer melebihi tingkat penyumbangan atau recharge alami airtanah. Hal ini

dapat menyebabkan penurunan tingkat air tanah dan depleksi sumber daya air bawah tanah.

Menurut Sudarto (2015), penurunan tingkat airtanah dapat menyebabkan sumur-sumur mengering dan menyusutnya akuifer. Overpumping dapat mengakibatkan subsiden tanah, yaitu penurunan permukaan tanah, yang dapat merusak infrastruktur dan lingkungan. Penerapan praktik pengelolaan yang berkelanjutan, termasuk pengukuran dan pemantauan tingkat airtanah secara rutin. Pemberlakuan kebijakan kontrol pengambilan air dan alokasi sumber daya air yang berbasis pada pemahaman yang baik tentang kapasitas regenerasi akuifer.

Dilain hal, penyusutan kualitas airtanah juga menjadi perhatian penting dalam pengelolaan airtanah. Pencemaran airtanah terjadi ketika bahan kimia atau zat-zat kontaminan lainnya mencapai lapisan airtanah dan mengubah kualitas air. Kesehatan manusia dapat terancam jika air tanah yang tercemar digunakan untuk konsumsi manusia atau pertanian. Pencemaran airtanah juga dapat merusak ekosistem airtanah, mengurangi keanekaragaman hayati, dan merusak habitat akuifer (Adji et al., 2013).



Gambar 8.6. Peta Kerentanan Pencemaran Airtanah
(Suprayitno, 2016)

Pemantauan kualitas airtanah secara teratur untuk mendeteksi potensi pencemaran. Implementasi praktik-praktik pengelolaan limbah yang baik di sekitar sumber air tanah dan area resapan air. Edukasi masyarakat dan industri tentang risiko pencemaran serta promosi penggunaan teknologi yang ramah lingkungan. Sebagai contoh pada gambar diatas adalah peta yang menginformasikan daerah-daerah yang rentan untuk mengalami pencemaran airtanah. Peta tersebut adalah salah satu contoh pengelolaan airtanah yang berbasis geografis.

DAFTAR PUSTAKA

- Adji, T. N., Wicaksono, D., & Said, M. F. (2013). Analisis Potensi Pencemaran Air Tanah Bebas di Kawasan Gumuk Pasir Parangtritis. *Jurnal Riset Daerah*, 12(2), 1671–1720.
- Alain Dassargues. (2019). *Hydrogeology : Groundwater Science and Engineering*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Aryani, D., Jusriadi, J., & Ifdal, F. (2023). Rancang Bangun Alat Uji Perkolasi Tanah Berbasis Arduino. *Jurnal Teknologi Elektroika*, 20(1), 44–50.
- Darwis, H., & Sc, M. (2018). Dasar-dasar Mekanika Tanah. *Yogyakarta: Pena Indis*.
- Fetter, C. W., & Kreamer, D. (2022). *Applied Hydrogeology* (Fifth). Waveland Press, Inc.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. (2019, February 1). *Water Cycle*. <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/freshwater/water-cycle>.
- Neven Kresic. (2023). *Hydrogeology 101*. Blue Ridge Press LLC.
- Soedireja, H. R. (2016). Potensi dan upaya pemanfaatan air tanah untuk irigasi lahan kering di Nusa Tenggara. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 67–80.
- Sudarto, L. (2015). Prediksi Penurunan Muka Air Tanah Akibat Pemompaan di Daerah Jogonalan Klaten Jawa Tengah. *Seminar Nasional Informatika (SEMNASIF)*, 1(5).
- Sujalu, A. P., Pulihasih, A. Y., & Biantary, M. P. (2020). *Instrumentasi Klimatologi Dan Meteorologi*. Zahir Publishing.

- Suprayitno, A. (2016). Kerentanan Airtanah Di Daerah Kecamatan Godean, Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta. *Seminar Nasional Kebumian Ke-9 Peran Penelitian Ilmu Kebumian, UGM Yogyakarta*.
- Trisna, Y. (2018). Kualitas Air dan Keluhan Kesehatan Masyarakat di Sekitar Pabrik Gula Watoetoelis. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(2), 220–230.
- Winarna, M., Rahutomo, S., & Sutarta, E. S. (2017). Dampak Muka Air Tanah Dan Amelioran Terhadap Kelembapan Tanah, Emisi Co Dan Produksi Kelapa Sawit Pada Tanah 2 Gambut Impacts Of Water Table And Soil Ameliorant On Soil Moisture, Co Emission, And Oil Palm Yield On Peat Soil 2.

BAB 9

FUNGSI, MANFAAT, SUMBER DAN KOMPONEN SALURAN IRIGASI

Oleh Suci Ristiyana

9.1 Pendahuluan

Air merupakan sumber daya penting bagi air, kehidupan, dan kesehatan manusia (Karakus & Yildiz, 2019). Pentingnya hal ini lebih dari sekedar memuaskan dahaga kita; hal ini juga sangat diperlukan untuk pembangunan ekonomi, ketahanan pangan, pengentasan kemiskinan, dan fungsi ekologi yang berkelanjutan. Untuk memanfaatkan sepenuhnya potensi sumber daya air, penting untuk mengevaluasi dan mengelola kualitas dan kuantitas badan air. Salah satu aspek penting dalam pengelolaan sumber daya air adalah irigasi, khususnya di daerah aliran sungai. Irigasi di daerah aliran sungai merupakan komponen penting dalam praktik pertanian dan pengelolaan lahan (Tang et al., 2021). Irigasi mempunyai beberapa fungsi penting. Pertama, irigasi membantu meningkatkan produktivitas pertanian. Dengan meningkatkan ketersediaan air untuk tanaman, irigasi memungkinkan lahan yang lebih luas untuk ditanami dan peningkatan produksi tanaman agar lebih menghasilkan serta efisien. Kedua, irigasi memainkan peran penting dalam konservasi tanah. Dengan menyediakan pasokan air yang konsisten, irigasi mengurangi erosi tanah yang disebabkan oleh limpasan air hujan yang berlebihan. Hal ini membantu menjaga integritas struktur tanah dan mencegah penipisan unsur hara. Selain itu, irigasi di daerah aliran sungai mendorong diversifikasi tanaman dan penanaman tanaman

bernilai tinggi. Hal ini tidak hanya mendukung keberlanjutan pertanian tetapi juga memberikan peluang ekonomi bagi petani.

Irigasi sangat penting untuk berbagai tujuan, termasuk pertanian, pembangunan ekonomi, dan fungsi ekologi. Salah satu wilayah yang pengelolaan airnya sangat penting adalah wilayah daerah aliran sungai. Daerah aliran sungai didefinisikan sebagai bidang tanah yang ditentukan secara topografis di mana curah hujan mengalir ke sungai atau sistem aliran sungai tertentu (Mandugay dkk., 2022). Dalam bab ini akan dibahas fungsi, manfaat, dan komponen irigasi serta menyoroti pentingnya irigasi dalam pengelolaan sumber daya air secara efektif. Irigasi mengacu pada penerapan air secara terkendali pada tanaman atau tumbuhan untuk meningkatkan pertumbuhan dan produktivitasnya. Sistem irigasi mempunyai banyak fungsi, termasuk meningkatkan produktivitas pertanian, melestarikan tanah, mendorong diversifikasi tanaman, memungkinkan penanaman tanaman bernilai tinggi, dan memastikan ketersediaan pakan ternak (Maryati dkk., 2018).

9.2 Fungsi Saluran Irigasi

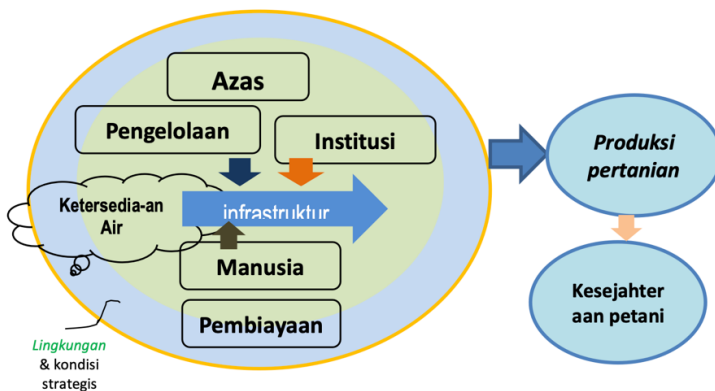
Prasarana untuk irigasi, air irigasi, manajemen irigasi, lembaga yang mengelola irigasi, dan sumber daya manusia adalah semua komponen sistem irigasi. Berbicara tentang irigasi, orang selalu berpikir tentang sistem infrastruktur yang kaku, tetapi ini tidak selalu benar. Irigasi dapat dibahas dari perspektif sistem dalam teori manajemen karena komponennya saling berhubungan untuk mencapai tujuan manajemen tertentu. Peraturan Menteri PUPR No.30/PRT/M/2015 tentang Pengembangan dan Pengelolaan Sistem Irigasi menetapkan bahwa sistem irigasi terdiri dari lima pilar: (i) ketersediaan air; (ii) infrastruktur; (iii) pengelolaan sistem irigasi; (iv) institusi irigasi; dan (v) individu yang menggunakan air. Sehingga irigasi

dapat dianggap sebagai suatu sistem, kelima komponen tersebut harus saling berhubungan satu sama lain.

Masing-masing komponen disebut sebagai Irigasi bekerja dengan cara manusia mengambil air dari sumber air, mengalirkannya ke dalam saluran, membagikannya ke petak sawah, memberikan air kepada tanaman, dan membuang air yang lebih banyak ke jaringan pembuang. Pemberitahuan air irigasi harus memenuhi persyaratan berikut:

- 1) Tempat: setiap daerah irigasi memiliki kebutuhan air yang berbeda tergantung pada jenis tanah dan iklim, seperti evapotranspirasi dan curah hujan efektif, serta kehilangan air di saluran.
- 2) Jumlah: setiap daerah irigasi memiliki luas dan usaha tani yang berbeda.
- 3) Waktu: setiap fase pertumbuhan tanaman (pengolahan tanah, pertumbuhan, dan panen) membutuhkan kebutuhan air.

Sistem harus sesuai dengan lingkungannya, baik ekologis maupun strategis, agar dapat bekerja sebagai sebuah sistem, seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.1.



Gambar 9.1. Lima Pilar irigasi (Arif & Subekti, 2013)

Saluran irigasi adalah infrastruktur yang memainkan peran krusial dalam pembangunan sektor pertanian. Fungsi saluran irigasi tidak terbatas hanya pada penyediaan air untuk tanaman, tetapi juga melibatkan aspek-aspek lain yang mendukung pertumbuhan ekonomi dan kesejahteraan masyarakat. Artikel ini akan membahas beberapa fungsi utama saluran irigasi dalam konteks pembangunan pertanian.

1. Penyediaan Air untuk Tanaman

Fungsi utama saluran irigasi adalah menyediakan air yang dibutuhkan oleh tanaman (Wahsyati, 2021)). Irigasi memungkinkan pertanian dapat dilakukan di daerah-daerah yang tidak mendapatkan curah hujan yang cukup. Dengan demikian, saluran irigasi membantu meningkatkan produksi tanaman, memastikan ketahanan pangan, dan mengurangi ketergantungan pada faktor cuaca.

2. Peningkatan Produktivitas Pertanian

Dengan adanya saluran irigasi, petani dapat mengontrol pasokan air ke ladang mereka. Ini memungkinkan mereka untuk merencanakan penanaman dan panen dengan lebih efisien, mengoptimalkan penggunaan air, dan meningkatkan produktivitas pertanian secara keseluruhan. Peningkatan produktivitas ini dapat membantu mengurangi kelaparan dan meningkatkan pendapatan petani (Nugraha dkk, 2023)

3. Pengendalian Banjir

Saluran irigasi juga berperan dalam pengendalian banjir. Dengan merencanakan dan mengarahkan aliran air secara terkontrol, saluran irigasi dapat membantu mencegah banjir yang dapat merusak tanaman dan infrastruktur pertanian. Pengendalian banjir ini penting untuk menjaga keberlanjutan produksi pertanian dan melindungi sumber daya alam (Sutrisno & Hamdani, 2019)

4. Penyediaan Air Bersih

Selain menyediakan air untuk irigasi, saluran irigasi juga dapat menyediakan akses ke air bersih untuk keperluan domestik dan industri. Ini membantu memenuhi kebutuhan

masyarakat sekitar dan mendukung pengembangan ekonomi local (Vuspitasari, 2020)

5. **Pengelolaan Sumber Daya Air**

Saluran irigasi juga berperan dalam pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan (Dharma, 2013). Dengan merencanakan penggunaan air secara efisien, saluran irigasi dapat membantu mencegah penurunan kualitas air dan menjaga ekosistem sungai dan danau yang terhubung dengan sistem irigasi.

9.3 Manfaat Saluran Irigasi

Irigasi, atau pengairan, memiliki banyak manfaat bagi alam dan semua makhluk hidup yang hidup di sana, termasuk kita sebagai manusia. Beberapa manfaat dari pengairan ini adalah sebagai berikut:

1. **Mengalirkan air ke sawah**

Keuntungan utama dari irigasi ini adalah pengalihan air ke sawah. Air yang mengalir ini berasal dari danau, sungai, waduk, atau sumber air lainnya. Dari sumber air ini dibuat saluran irigasi yang mengarah ke areal persawahan. Hal ini sangat membantu dalam menyuplai air ke sawah, terutama pada musim kemarau, dan semakin sedikit sawah yang mengering karena kekurangan air.



Gambar 9.2. Air irigasi di saluran sekunder (Luknanto, 2023)

2. Memastikan tanah persawahan basah

Manfaat aliran air ke lahan persawahan adalah tanah persawahan harus basah. Tanah yang basah akan lebih mudah ditanami. Tanah basah juga akan lebih mudah dibajak karena sudah gembur sebelumnya. Manfaat irigasi untuk membasahi tanah persawahan akan kurang terasa jika digunakan di daerah dengan curah hujan yang rendah atau tidak menentu.

3. Mengelola pembasahan persawahan

Pembasahan tanah persawahan tidak boleh berlebihan sehingga air menggenang di dalamnya, tetapi juga untuk memastikan tingkat air yang tepat saat memberikan irigasi. Akibatnya, irigasi memiliki kemampuan untuk mengontrol pembasahan pada tanah sawah ini.



Gambar 9.3. Pembasahan air di saluran irigasi (Ajeng, 2012)

4. Membantu petani mengairi sawah

Irigasi dibuat untuk membuat pengairan sawah petani sangat mudah jika mereka ingin mendapatkan air, terutama selama musim kemarau. Jika sumber air jauh dari sawah, petani tidak perlu menimba dan membawanya ke sawah karena ada saluran yang membawa air ke sawah.

5. Memenuhi kebutuhan air sawah

Umumnya diketahui bahwa persawahan memerlukan pasokan air yang cukup agar tanaman yang ditanam di dalamnya dapat tumbuh dengan subur dan menghasilkan

buah yang melimpah, sehingga petani dapat memperoleh hasil panen yang melimpah.

6. Mendukung ketahanan pangan

Irigasi dapat dianggap sebagai metode yang mendukung ketahanan pangan di Indonesia karena memberikan manfaat yang signifikan untuk tanah persawahan dan tanaman di dalamnya. Tanpa adanya sistem irigasi, risiko kekeringan pada persawahan dapat menghambat pertumbuhan tanaman, sehingga petani tidak akan memperoleh panen yang memadai.

9.4 Sumber Air Pada Saluran Irigasi

Beberapa sumber air utama untuk saluran irigasi adalah: Keberlanjutan pasokan air dan karakteristik lingkungan setempat menentukan sumber air mana yang akan digunakan.

1. Sungai dan Aliran Air:

Banyak saluran irigasi mendapatkan air langsung dari sungai, biasanya dengan pintu air atau dam yang mengarahkan sebagian aliran sungai ke dalam saluran irigasi. Sumber air dari sungai biasanya dapat memberikan pasokan air yang relatif stabil.



Gambar 9.4. Sumber air irigasi dari sungai (Admin DPU, 2021)

2. Danau dan Waduk

Beberapa saluran irigasi mendapatkan air dari danau atau waduk. Waduk biasanya dibangun untuk menyimpan air selama musim hujan atau saat banyak air, sehingga dapat digunakan untuk irigasi selama musim kering.



Gambar 9.5 Irigasi Waduk Kedungombo (Galih, 2018)

3. Air dalam Tanah

Beberapa area diirigasi dengan air tanah. Ada banyak metode untuk mendapatkan sumur irigasi, mulai dari yang sederhana seperti sumur gali hingga yang lebih canggih seperti sistem pompa. Air

4. Hujan

Dalam beberapa keadaan, saluran irigasi dapat mendapatkan air dari kolam penampungan air hujan. Kolam ini dapat menyimpan air, yang kemudian dialirkan ke saluran irigasi saat diperlukan.

5. Pengeluaran Limbah Terolah

Air limbah yang telah diolah secara efektif untuk memenuhi standar keamanan dapat dimasukkan ke dalam air yang telah diolah dari instalasi pengolahan limbah dan dapat digunakan untuk irigasi di beberapa lokasi.

6. Pengolahan Air Laut:

Proyek irigasi dapat menggunakan air laut setelah proses desalinasi dilakukan di wilayah pantai atau pulau. Ini memungkinkan penggunaan air laut yang pada awalnya tidak dapat digunakan untuk pertanian.

7. Saluran Distribusi Air

Dalam sistem distribusi air yang lebih besar, beberapa saluran irigasi mengalir ke area pertanian dari sumber utama sebelum mengalir ke saluran distribusi yang lebih kecil.

8. Kombinasi Sumber

Proyek irigasi kadang-kadang menggunakan kombinasi beberapa sumber air untuk memastikan pasokan air yang berkelanjutan sepanjang tahun.

9.5 Komponen Saluran Irigasi

Saluran irigasi terdiri dari banyak komponen yang bekerja sama untuk menjamin aliran air yang teratur dan efisien ke lahan pertanian. Beberapa komponen utama saluran irigasi adalah sebagai berikut:

a) Bangunan pengatur jaringan utama

Bangunan Pengatur Jaringan Utama terdiri dari empat jenis bangunan:

a. Bangunan Bagi

Berada di titik percabangan pada saluran primer dan sekunder, perangkat ini berperan dalam pembagian aliran di antara dua saluran atau lebih.

b. Bangunan Sadap

Terletak di saluran primer atau sekunder tersier penerima

c. Bangunan Pengatur (Individu)

Bangunan ini merupakan gabungan bangunan bagi dan sadap

d. Bangunan Bagi dan Sadap

Menggabungkan bangunan bagi dan sadap.

b) Komponen Konstruksi

Dari segi konstruksinya, struktur pengatur ini terbentuk dari beberapa komponen sebagai berikut:

1) Konstruksi Pengatur Muka Air

Konstruksi pengatur muka air dipasang di atas saluran utama untuk meningkatkan tinggi muka air pada saluran utama, sehingga memungkinkan air dapat mengalir ke lahan pertanian. Beberapa jenis konstruksi yang umum digunakan meliputi:

1. Skot Balok
2. Pintu pengatur
3. Bendung dan Pintu Kuras
4. Tanpa Konstruksi Pengatur

Pada situasi di mana aliran air diambil langsung dari saluran utama tanpa perlu alat pengatur, bangunan pengatur tidak diperlukan karena elevasi sudah mencukupi. Bangunan pengatur ini dilengkapi dengan mekanisme pengontrol aliran yang dapat diatur atau tetap, seperti pintu sorong, radial, atau skot balok.

2) Pintu Pengambilan

Pintu pengambilan berperan dalam mengontrol tinggi muka air pada sistem irigasi utama hingga tingkat yang diperlukan, sehingga dapat menyediakan debit air yang konsisten untuk struktur penyalur tingkat ketiga.

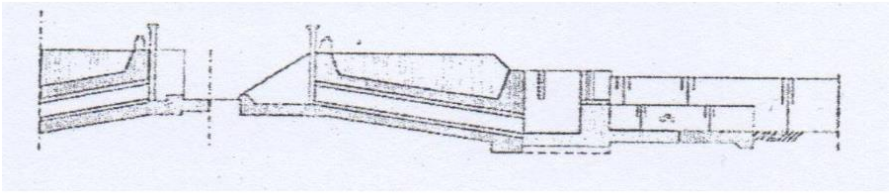
3) Bangunan Ukur

Bangunan ukur digunakan untuk mengukur debit yang dikeluarkan.

c) Tipe Sadap

1. Tipe 1

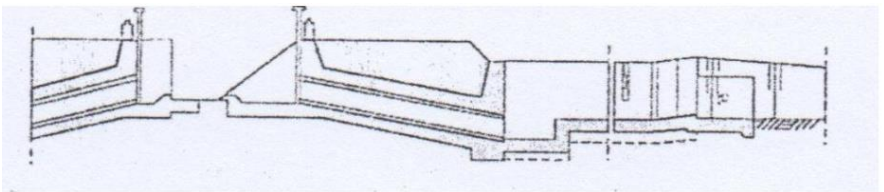
Struktur penyalur jenis ini dibangun ketika terdapat perbedaan tinggi air lebih dari 0,30 m antara muka air saluran dan muka air hilir. Umumnya, pembuatannya melibatkan penggunaan perangkat pengukur Drempel.



Gambar 9.6 Bangunan Alat Ukur Drampel (PUPR, 2019)

2. Tipe 2

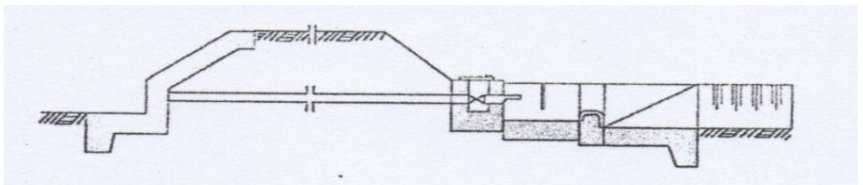
Struktur ini didesain untuk kondisi di mana perbedaan tinggi air kurang dari 0,30 m atau tidak terlalu jelas, mungkin disebabkan oleh pembangunan atau perbaikan. Alat ukur yang digunakan dalam konteks ini adalah bangunan ukur berupa flume.



Gambar 9.7 Bangunan Alat Ukur Flume (PUPR, 2019)

3. Tipe 3

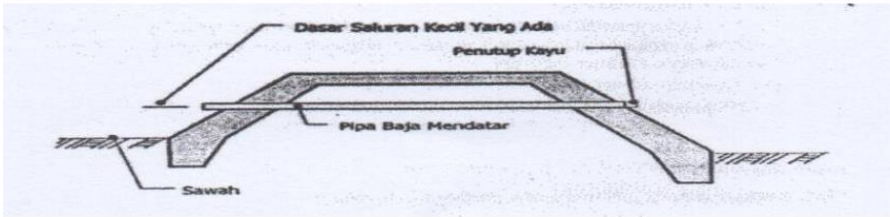
Struktur penyadap ini digunakan untuk aliran air dengan debit yang rendah.



Gambar 9.8 Bangunan Untuk Debit Kecil (PUPR, 2019)

4. Tipe 4

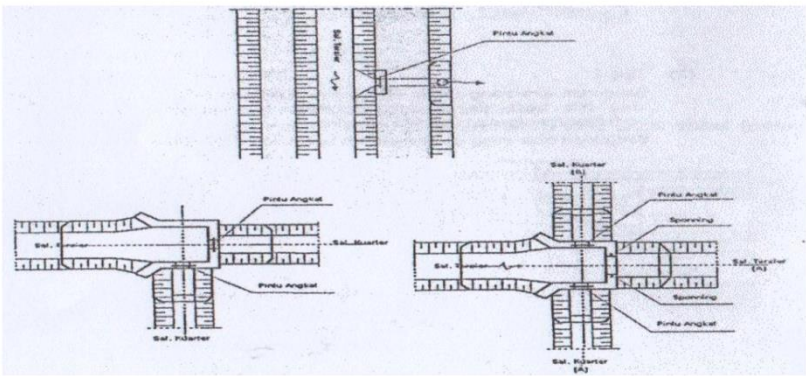
Digunakan untuk memberikan air secara langsung pada lahan persawahan yang memiliki luas kurang dari 1,0 hektar.



Gambar 9.9 Bangunan luas kurang dari 1,0 ha. (PUPR, 2019)

d) Bangunan Pengatur Jaringan tersier

Dalam sistem irigasi tersier, struktur pengatur terdiri dari box tersier, sub tersier, dan kuateer yang mengalirkan air ke dua atau lebih saluran tersier, sub tersier, atau kuateer. Kotak tersier dilengkapi dengan pintu untuk mengatur giliran penyediaan air, dan struktur pengatur jaringan dimana tidak melibatkan alat ukur. Oleh karena itu, distribusi air hanya dapat diatur dengan membuka dan menutup pintu.

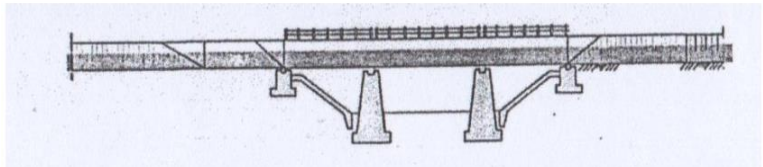


Gambar 9.10 Bangunan Pengatur Jaringan Tersier (PUPR, 2019)

e) Bangunan Pelengkap

1) Talang

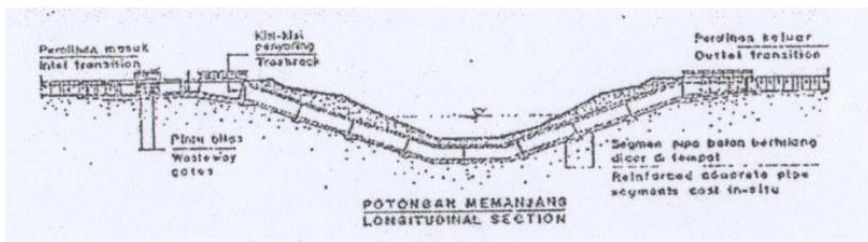
Talang merupakan saluran buatan yang melewati wilayah yang rendah seperti sungai, lembah, dan saluran irigasi. Biasanya digunakan di area di mana terdapat perbedaan ketinggian yang cukup signifikan antara saluran irigasi dan permukaan tanah yang dilaluinya. Metode ini dianggap lebih efisien jika dibandingkan dengan sistem siphon. Talang dapat terdiri dari berbagai bahan seperti paralon PVC/HDPE, baja, kayu, atau beton.



Gambar 9.11 Bangunan Talang (PUPR, 2019)

2) Siphon

Siphon merupakan struktur saluran tertutup yang difungsikan untuk mengarahkan aliran air irigasi secara gravitasi di bawah saluran pembuangan, cekungan, anak sungai, atau sungai. Selain itu, siphon juga digunakan untuk mengalirkan air irigasi di bawah jalan, jalur kereta api, atau struktur lainnya.

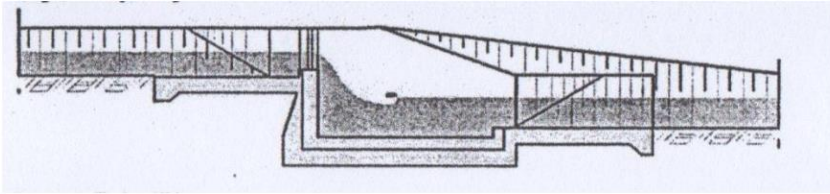


Gambar 9.12 Bangunan Siphon (PUPR, 2019)

3) Bangunan Terjun

Struktur terjun dibuat untuk mengurangi kecuraman dari saluran, dan terdiri dari dua jenis: terjun tegak dan terjun miring. Terjun tegak biasanya diterapkan pada ketinggian sekitar 1,5 m, dengan debit air kurang dari 2,5

m³/detik atau ketinggian sekitar 0,75 m dengan debit lebih dari 2,5 m³/detik. Terjun miring digunakan ketika ketinggian air berkisar antara 1,5 dan 2,5 m. Mercu tetap atau celah kontrol berbentuk trapesium (trapezoidal notch) digunakan untuk mengatur tinggi atau rendahnya muka air di saluran akibat adanya terjunan.



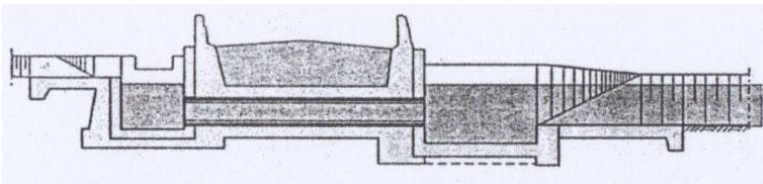
Gambar 9.13 Bangunan Terjunan (PUPR, 2019)

4) Got Miring

Got miring digunakan pada trase saluran dengan kemiringan yang cukup tajam. Got miring biasanya mengikuti kemiringan medan alami dengan beda tinggi lebih dari 2,5 m. Pada bagian hilir bangunan ini terdapat kolam olak, dan untuk mencegah muka air yang tinggi atau rendah di saluran karena terjunan, digunakan mercu tetap atau celah kontrol trapesium, juga dikenal sebagai celah trapezium.

5) Gorong-gorong

Gorong-gorong adalah struktur yang digunakan untuk mengarahkan aliran air di bawah infrastruktur seperti jalan, rel kereta api, atau antara saluran pembuang dan pembawa.



Gambar 9.14 Bangunan Gorong Gorong (PUPR, 2019)

6) Terowongan

Saluran terbuka mengalir melalui terowongan dapat dibangun ketika situasi ekonomi dan anggaran memungkinkan pengerjaan saluran tertutup untuk membawa aliran air melintasi bukit dan area dengan elevasi tinggi.

7) Bangunan Pelimpah Samping

Struktur pelimpah samping mengurangi aliran air yang memasuki saluran pembawa dan membuang kelebihan air hujan.

8) Jalan dan Jembatan

Dibangunlah jalur akses dan jalur pemeriksaan, serta diperlukan pembangunan jembatan untuk menghubungkan jalur pemeriksaan dengan saluran irigasi, saluran pembuang, dan sungai. Sesuai dengan peraturan yang ditetapkan oleh pengelola irigasi, masyarakat dapat menggunakan fasilitas ini sebagai sarana transportasi. Saluran yang dibangun sejajar dengan jalan umum di sekitarnya tidak memerlukan jalur pemeriksaan.

9) Tanggul

Tanggul biasanya dibangun di sepanjang sungai di sebelah hulu bendung atau di sepanjang saluran primer untuk melindungi area irigasi dari banjir dari sungai atau saluran pembuang yang besar.

f) Saluran Irigasi

a. Saluran Pembawa

Saluran pembawa digunakan dalam jaringan irigasi untuk mengalirkannya air. Saluran tersebut terdiri dari dua saluran yaitu saluran induk dan saluran sekunder.

b. Saluran Pembuang

Fungsi dari saluran pembuang ini adalah untuk mengatasi volume hujan yang tinggi, yang berpotensi menyebabkan genangan di sawah dan merusak tanaman. Saluran

terbuka, juga dikenal sebagai saluran gendong, mengalir sejajar dengan saluran irigasi di bagian atasnya. Saluran-saluran ini membawa air buangan menuju struktur pembuang silang atau dialirkan ke dalam saluran irigasi melalui lubang pemasukan jika debitnya lebih rendah daripada aliran air irigasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Admin DPU. 2021. Klasifikasi Bagunan Utama Jaringan Irigasi. <https://dpu.kulonprogokab.go.id>. Diakses pada 5 Desember 2023
- Asmoro, Galih. 2018. Daerah Irigasi Waduk Kedungombo Direhabilitasi Untuk Genjot Hasil Pertanian. <http://jateng.tribun.com>. Diakses Pada 5 Desember 2023
- Dharma, A. (2013). Perkembangan Kebijakan Sumber Daya Air dan Pengaruhnya Terhadap Pengelolaan Irigasi.
- Karakuş, C. B., & Yıldız, S. (2020). Evaluation for irrigation water purposes of groundwater quality in the vicinity of Sivas City Centre (Turkey) by using GIS and an irrigation water quality index. *Irrigation and Drainage*, 69(1), 121-137.
- Luknanto, Djoko. 2019. Terjunan. <https://luk.staff.ugm.ac.id/> . Diakses pada 2 Desember 2023
- Mandugay, A. E., Macarimbang, O. D., Duyan, R. A. B., Ali, S. H., & Pardillo, J. S. Community Participation in the Management, Protection, and Conservation of Watersheds: The Case of Davao City.
- Maryati, S., Eraku, S., & Kasim, M. (2018). Conservation Management of Agriculture Land using Geospatial Approach (A Case Study in the Bone Watershed, Gorontalo Province, Indonesia). In *E3S Web of Conferences* (Vol. 31, p. 08009). EDP Sciences.
- PUPR. 2019. Modul Pengenalan Sistem Irigasi. Kementrian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat. Jakarta
- Nugraha, A., Setiawan, I., Tridakusumah, A. C., Hapsari, H., & Kurnia, G. (2023). Peningkatan Kapasitas Kelembagaan Tani Dan Peningkatan Produktivitas Lahan Berdasarkan

Karakteristik Tanah Dan Lingkungan. Dharmakarya: Jurnal Aplikasi Ipteks Untuk Masyarakat, 12(2), 303-307.

Pitakasari, Ajeng. 2012. Tak Hanya Pengairan Subak Juga Pengendali Pencemaran Air. <https://news.republika.co.id/> . Diakses pada 3 Desember 2023

Sutrisno, N., & Hamdani, A. (2019). Optimalisasi pemanfaatan sumber daya air untuk meningkatkan produksi pertanian. Jurnal Sumberdaya Lahan, 13(2), 73-88.

Tang, J., Zhang, Z., Zhao, L., & Tang, P. (2021). Increasing shape bias to improve the precision of center pivot irrigation system detection. Remote Sensing, 13(4), 612.

Vuspitasari, B. K., & Ewid, A. (2020). Peran Kearifan Lokal Kuma Dalam Mendukung Ekonomi Keluarga Perempuan Dayak Banyadu. Sosiohumaniora, 22(1), 26-35.

Wahsyati, A., Wahidin, W., Taufiq, M., Imron, I., & Feriska, Y. (2021). Rehabilitasi Bendung Danawarih sebagai Daerah Pelayanan Irigasi Pengairan Wilayah Kecamatan Lebaksiu Kabupaten Tegal. Infratech Building Journal, 2(2), 20-28.

Waskitho, N. T., Arif, S. S., Maksum, M., & Susanto, S. (2012). Kajian Aset Nirwujud Dalam Manajemen Sistem Irigasi.

BAB 10

TEKNOLOGI PENGAIRAN DI BIDANG AGROINDUSTRI

Oleh Erni Dwi Puji Setyowati

10.1 Pengertian

Air merupakan suatu keperluan yang sangat penting bagi makhluk hidup, termasuk untuk tumbuhan padi serta berbagai jenis tanaman pertanian. Kehadiran air memiliki peranan penting dalam sistem produksi padi yang ada di sawah. Tidak hanya mempengaruhi hasil yang diperoleh dari tanaman, tetapi juga mempengaruhi luas lahan yang dapat ditanami serta frekuensi tanam yang dilakukan. Selain itu, ketersediaan air juga berdampak pada kemampuan untuk memperluas areal pertanian baru dan memastikan kualitas gabah yang dihasilkan. (Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air, 2023)

Irigasi adalah istilah yang digunakan untuk memberikan suplai air kepada tumbuhan padi di lahan pertanian basah. Irigasi adalah proses mengatur, membagi, atau mengalirkan air ke sistem tertentu di daerah persawahan dan sekitarnya. Pada saat musim kemarau, irigasi dapat menjadi pilihan yang baik untuk membantu mengairi lahan yang membutuhkan air. Dengan adanya sistem irigasi, lahan tidak perlu lagi bergantung pada cuaca yang tidak menentu untuk mendapatkan air. Saluran irigasi berfungsi untuk membawa air dari sumbernya, seperti mata air, waduk, embung, dan sejenisnya, ke daerah pertanian.

Selain itu, pentingnya saluran irigasi terletak pada fungsinya untuk mengatur, menghitung, dan mengendalikan aliran air sesuai dengan keperluan yang ada. Ada beberapa jenis irigasi pertanian yang memiliki metode yang berbeda-beda (USDA, 2020).

Irigasi sering diperlukan di tempat atau area yang cenderung mengalami kekeringan. Irigasi dibuat dengan tujuan untuk mengalirkan air yang berlebihan dari hujan dan membagikannya pada tumbuhan dengan jumlah yang tepat sesuai kebutuhan. Secara umum, irigasi memiliki manfaat yang luas, termasuk mempermudah proses pertanian, mengatur suhu dan kelembaban tanah, membersihkan tanah dari garam atau kandungan asam yang berlebihan, menyaring kotoran dan sampah dari air, serta membanjiri tanah untuk menghilangkan gulma, dan juga serangga dan gangguan kesehatan. Tumbuhan yang ditanam memerlukan penggunaan metode irigasi yang sesuai. Pilihan ideal untuk tumbuhan yang dibudidayakan haruslah tumbuhan yang memiliki nilai ekonomi tinggi karena umumnya pembangunan sistem irigasi membutuhkan pengeluaran yang signifikan.

10.2 Macam-macam Saluran Irigasi dan Fungsinya

Terdapat beragam kanal irigasi yang sering dijumpai di wilayah Indonesia yang berfungsi untuk mengalirkan air ke area pertanian seperti :

1. Saluran Primer



Gambar 10.1 Saluran primer
(sumber : Arifin, 2022)

Saluran utama atau saluran induk adalah jenis saluran yang berfungsi mengalirkan air dari jaringan utama ke saluran kedua dan juga ke petak tersier yang diairi.

2. Saluran Sekunder



Gambar 10.2 Saluran sekunder
(sumber : Fadila, 2019)

Saluran sekunder memainkan peran mengalirkan air dari saluran utama ke area-area terakhir yang berakhir di bangunan penampung terakhir.

3. Saluran Tersier



Gambar 10.3 Saluran tersier
(sumber : Hadhiswoyo, 1999)

Saluran tingkat ketiga adalah jenis saluran yang bertugas mengalirkan air ke saluran level berikutnya, yaitu saluran kuartier.

4. Saluran Kuartier



Gambar 10.4 Saluran kuartier
(sumber : Kementerian PUPR, 2013)

Saluran irigasi kuarter berfungsi untuk mengalirkan air dari bangunan yang telah dihubungkan sebelumnya ke lahan pertanian atau sawah.

Dari jenis saluran irigasi yang telah disebutkan di atas, tentunya memerlukan fasilitas dan infrastruktur penunjang yang berupa infrastruktur untuk memanfaatkan sumber energi air secara efektif dan efisien. Jika diperhatikan, penggunaan teknologi yang efektif dan efisien pada infrastruktur sumber energi air di Indonesia masih terbatas.

Masih terdapat banyak saluran irigasi yang belum mendapatkan perhatian yang memadai menjadi alasan utamanya. Hal ini disebabkan oleh kesulitan akses untuk membawa bahan semen atau campuran beton ke daerah tersebut untuk pembangunan sistem irigasi yang optimal.

Namun, dengan menggunakan teknologi terkini, tidak lagi diperlukan penggunaan semen dan cor beton dalam membangun berbagai jenis saluran irigasi seperti saluran irigasi sekunder, tersier, dan kuarter. Pembangunan saluran tersebut bisa menggunakan geomembrane karena membutuhkan debit air yang lebih kecil dibandingkan saluran utama.

10.3 Teknologi Pengairan Irigasi

Berikut merupakan sebagian teknologi irigasi yang kerap digunakan:



Gambar 10.5 Irigasi permukaan
(sumber: DPUPK, 2020)

1. Irigasi permukaan (*surface irrigation*)

Satu hal yang pasti, kita hidup dalam dunia yang sangat beragam. Setiap orang memiliki keunikannya masing-masing. Irigasi permukaan, atau yang juga dikenal dengan sebutan *surface irrigation* adalah cara menyediakan air untuk pertanian dengan cara mengalirkan air ke lahan menggunakan gaya gravitasi atau membiarkan air mengalir sendiri ke lahan. Metode ini digunakan dengan luas oleh petani.

Mengalirkan air di antara bedengan untuk meningkatkan efisiensi irigasi. Memberikan air biasanya dilakukan dengan melimpahkan air ke lahan hingga mencapai level yang diinginkan. Irigasi permukaan merupakan metode yang sangat sesuai untuk digunakan pada tanah dengan tekstur yang lembut hingga sedang.

2. Irigasi curah (*sprinkler irrigation*)

Irigasi curah adalah jenis irigasi yang menggunakan sistem semprotan untuk menyebarkan air. Metode irigasi yang disebut sebagai irigasi curah adalah teknik dimana air disemprotkan ke udara dan kemudian jatuh ke permukaan tanah serupa dengan air hujan. Metode ini bertujuan untuk memberikan air dengan cara yang merata dan efisien di area pertanian. Sistem irigasi curah dirancang untuk digunakan di daerah dengan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi, sehingga bisa menghindari hilangnya sebagian air yang diberikan melalui penguapan. Oleh karena itu, dapat mencapai tingkat efisiensi yang lebih tinggi dalam penggunaan air irigasi.

Irigasi ini dianggap lebih canggih dibandingkan dengan yang sebelumnya karena merupakan inovasi terbaru dalam pengembangannya. Cara yang digunakan adalah dengan mengalirkan air dari tempat asalnya ke daerah yang dituju menggunakan sistem pipa. Di area yang menjadi target, ujung pipa ditutup menggunakan tekanan khusus dari perangkat penyiram sehingga menyebabkan semburan air yang

menyerupai hujan terlebih dahulu membasahi bagian atas tanaman, kemudian bagian bawah, dan akhirnya bagian yang berada di dalam tanah.

3. Irigasi mikro atau irigasi tetes

Irigasi mikro atau irigasi tetes adalah metode penyiraman tanaman yang menggunakan sistem pengaliran tetes air ke akar masing-masing tanaman. Teknik irigasi tetes merupakan cara untuk memberikan air kepada tanaman secara langsung, entah itu melalui permukaan tanah atau di dalam tanah dengan menggunakan tetesan yang terus menerus dan secara perlahan di sekitar tanaman. Emisi atau alat penetes adalah nama yang digunakan untuk perlengkapan yang digunakan dalam sistem irigasi tetes untuk mengeluarkan air.

Setelah keluar dari saluran air, air merambat ke dalam tanah, baik secara horizontal maupun vertikal karena pengaruh daya kapilaritas dan gravitasi. Irigasi tetes cocok untuk lahan yang tidak terlalu kering.

Irigasi tetes adalah jenis irigasi yang mengalirkan air ke tanah pertanian melalui selang atau pipa yang memiliki lubang-lubang kecil, dengan pengaturan tekanan yang spesifik. Dengan cara pengaturan seperti itu, air akan keluar dari pipa dalam bentuk tetesan dan langsung mengalir ke bagian bawah tumbuhan. Cara ini bertujuan agar air akan langsung mengalir ke akarnya, sehingga tidak perlu mengairi area lain dan mencegah terbuangnya air akibat penguapan yang berlebihan.

Irigasi jenis ini memiliki keunggulan dalam hal efisiensi dan konservasi air, mengurangi penguapan dan infiltrasi, serta sangat cocok untuk tumbuhan pada tahap awal pertumbuhannya karena dapat meningkatkan penyerapan nutrisi tumbuhan. Selain itu, jenis ini juga mengakselerasi adaptasi benih dengan tanah sehingga mendorong pertumbuhan tanaman dan memperkuat keberhasilan penanamannya.

4. Irigasi bawah permukaan (*sub-surface irrigation*)

Irigasi di bawah permukaan (*sub-surface irrigation*) merupakan suatu metode penyiraman tanaman di mana air dialirkan ke dalam tanah di bawah permukaan tanah. Sistem irigasi sub-permukaan merupakan contoh dari irigasi mikro, tetapi infrastruktur dan peralatannya ditempatkan di bawah permukaan tanah.

Metode irigasi ini bisa menggunakan pipa beton dengan ukuran diameter 10 cm dan ketebalan 1 cm yang dihubungkan. Penggunaan sistem irigasi tanah di bawah permukaan lebih ideal untuk daerah yang memiliki kualitas tanah sedang sampai kasar. Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya penyumbatan pada lubang-lubang di mana air keluar.

5. Irigasi Pompa Air

Sistem irigasi ini menggunakan mesin untuk menggerakkan aliran dari berbagai jenis sumber air, biasanya sumur, ke area pertanian dengan menggunakan pipa atau saluran. Jika sumber air yang digunakan dapat diandalkan, misalnya tidak mengalami penurunan selama musim kemarau, ini berarti irigasi dapat digunakan sebagai cadangan kebutuhan air selama musim kemarau.

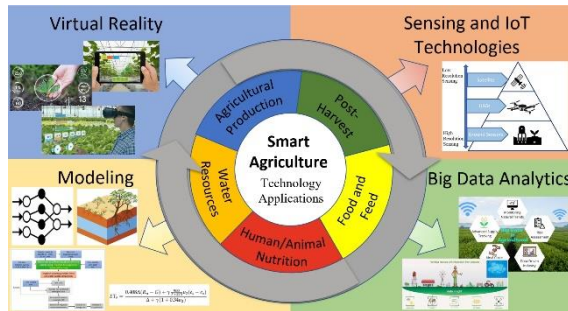
6. Irigasi Lokal

Irigasi lokal menyalurkan air dengan menggunakan pipa atau pipa yang dipasang pada suatu daerah tertentu sehingga air hanya mengalir pada daerah tersebut. Mirip dengan irigasi permukaan, irigasi lokal menggunakan prinsip gravitasi sehingga dataran tertinggi mendapat air terlebih dahulu..

7. Irigasi dengan Ember ataupun Timba

Irigasi jenis ini menggunakan tenaga manusia, seperti petani yang menyiram lahan dengan ember. Mereka mengumpulkan air dari sumber air dengan menggunakan ember

atau tong dan kemudian mengairi lahan pertanian yang mereka garap secara manual. Seperti yang bisa dibayangkan, jenis ini kurang efisien karena menghabiskan banyak energi dan memakan waktu. Namun sistem seperti ini masih menjadi pilihan bagi sebagian petani, terutama petani di pedesaan, yang tidak memiliki cukup modal untuk membeli pompa air atau peralatan irigasi yang lebih efisien.



Gambar 10.6 Climate Smart Agriculture

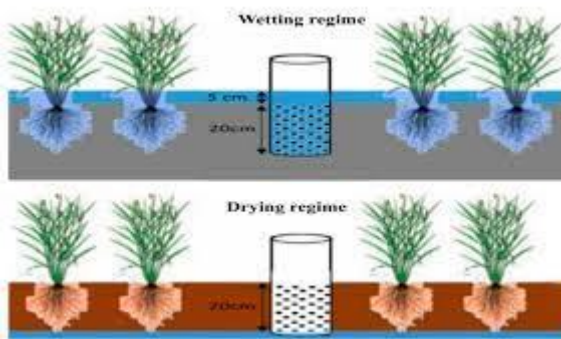
(sumber : African Centre For Economic Transformation, 2019)

Saat ini terdapat teknologi irigasi terkini untuk mengatasi perubahan iklim, khususnya irigasi basah dan kering atau *Climate Smart Agriculture* (CSA) (Freed et al., 2023). Salah satu jenis irigasi yang diterapkan dalam *Climate Smart Agriculture* (CSA) adalah irigasi intermiten atau biasa dikenal dengan *Alternative Watering and Drying* (AWD) atau irigasi basah dan kering. (Gilardi et al., 2023). Sistem irigasi AWD merupakan sistem irigasi banjir intermiten yang bertujuan untuk mengendalikan atau menghemat air yang digunakan dalam budidaya padi, karena harus diingat bahwa padi merupakan tanaman yang banyak membutuhkan air, bukan tanaman air. Tanaman padi tidak memerlukan air pada saat tanam, pada masa anakan sampai 10 hari dan sebelum panen. Untuk menghasilkan 1 kg gabah rata-rata dibutuhkan 1.432 liter air, dibandingkan 1.150 liter air untuk menghasilkan 1 kg jagung. Selama bercocok tanam, tanaman padi tidak perlu digenangi air terus menerus. Dengan demikian, sumber daya air yang tersedia

untuk pertanian dapat dikelola dan dimanfaatkan sesuai kebutuhan.

Misalnya: Training of Farmers (ToF) berbasis teknologi tentang Climate Smart Agriculture (CSA) yang dilaksanakan oleh BPP Kabupaten Bonang sebagai langkah lanjutan setelah pelaksanaan Training of Trainers (ToT) yang didampingi PPL Bonang tingkat kabupaten pada Diklat Pertanian Balai Besar (BAPELTAN) Dinas Pertanian dan Hortikultura Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, khusus program kegiatan Proyek Strategi Modernisasi Sistem Irigasi dan Pemulihan Darurat (SIMURP). (Dinpertan Pangan, 2022) atau program rehabilitasi dan modernisasi darurat sistem irigasi strategis, memperkenalkan sistem irigasi basah-kering/PBK atau AWD kepada petani lain. Aplikasi praktis AWD adalah sebagai berikut:

- Tabung paralon diameter 15cm, panjang 40cm
- Setengah bagian paralon terisi ke dalam lubang
- Lubang tersebut terkubur di dalam tanah



Gambar 10.7 *Alternate Wetting and Drying (AWD)*
(sumber : Alauddin et al., 2020)

Proses pembuatan pipa AWD dimulai dengan menyiapkan pipa berukuran 40 cm dengan diameter 15 cm. Kemudian,

dilakukan pembuatan lubang kecil pada pipa dengan tinggi 20 cm. Setelah itu, pipa yang telah diberi lubang ditanam pada petakan sawah dan diletakkan di atas permukaan tanah dengan ketinggian yang sama, yaitu 20 cm. Pengukuran dimulai pada 7-10 hari setelah masa tanam pada setiap tapak dan pada 21 hari setelah masa tanam pada sistem tabel, tingkat air diamati setiap 2 hari dan dicatat. Padinya tidak perlu diberi air setiap hari. Saat proses pembungaan, air harus dipertahankan pada ketinggian sekitar 3-5 cm di atas permukaan tanah. Ketika tanaman padi memasuki masa pengisian bulir, air akan diberikan lagi, namun saat 7-10 hari sebelum panen, sawah akan dikeringkan. Saluran pipa harus diletakkan di lokasi yang mudah dijangkau dari lapangan dan berdekatan dengan parit agar memudahkan pengawasan tingkat air. Perlu diusahakan agar kedalaman air mencerminkan rata-rata kedalaman air di lahan persawahan.

Pentingnya waktu pengaturan air sawah saat kondisi basah dan kering tidak dapat diabaikan. Dengan menggunakan pipa yang terbuat dari plastik, serta kaleng sisa dan bambu yang telah memiliki lubang. Pipa tersebut tertanam dalam tanah di lahan padi. Pipa memiliki peran penting dalam membantu petani memantau tingkat kecukupan air dalam tanah sawah. Jika terlihat bahwa tanah di permukaan terlihat kering, petani dapat menggunakan pipa AWD untuk melihat sejauh mana air berada di dalam tanah.

Di bawah permukaan lapangan pertanian yang subur. Jika air di dalam pipa berada di dalam kisaran kedalaman kurang dari 15 cm dari permukaan tanah, tidak perlu membuat genangan air. Namun, jika kedalaman air di dalam pipa telah mencapai 15 cm di dasar permukaan tanah, maka penggenangan sawah baru akan dilakukan hingga mencapai ketinggian 5 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- African Centre For Economic Transformation, 2019. Leveraging climate-smart agriculture to address climate risk in Africa [WWW Document]. ACET. URL <https://acetforafrica.org/research-and-analysis/insights-ideas/policy-briefs/leveraging-climate-smart-agriculture-to-address-climate-risk-in-africa/> (accessed 11.24.23).
- Alauddin, M., Sarker, M.A.R., Islam, Z., Tisdell, C., 2020. Adoption of alternate wetting and drying (AWD) irrigation as a water-saving technology in Bangladesh: Economic and environmental considerations. *Land Use Policy* 91, 104430. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104430>
- Arifin, S., 2022. Jenis Saluran Irigasi: Pengertian, Fungsi dan Penerapannya [WWW Document]. URL <https://www.mutuutamageoteknik.co.id/jenis-saluran-irigasi/> (accessed 11.24.23).
- Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air, 2023. Peranan Irigasi Untuk Lahan Pertanian. Dinas Pengelolaan Sumber Daya Air. URL <https://psdalampong.com/peranan-irigasi-untuk-pertanian/> (accessed 11.24.23).
- Dinpertan Pangan, 2022. TRAINING of FARMER (ToF) TEKNOLOGI BERBASIS CLIMATE SMART AGRICULTURE (CSA) BPP KECAMATAN BONANG TAHUN 2022 – DINAS PERTANIAN & PANGAN KABUPATEN DEMAK. URL <https://dinpertanpangan.demakkab.go.id/?p=4503> (accessed 11.24.23).
- DPUPK, 2020. JENIS-JENIS IRIGASI [WWW Document]. URL <https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/320/jenis-jenis-irigasi> (accessed 11.24.23).
- Fadila, E., 2019. Kaji Ulang Dimensi Saluran Sekunder Cidukuh di Daerah Irigasi Cihea.
- Freed, E.K., Schulte, R.P.O., Loboguerrero, A.M., 2023. How does climate-smart agriculture contribute to global climate policy?

Bridging the gap between policy and practice. *Front. Sustain. Food Syst.* 7.

Gilardi, G.L., Mayer, A., Rienzner, M., Romani, M., Facchi, A., 2023. Effect of Alternate Wetting and Drying (AWD) and Other Irrigation Management Strategies on Water Resources in Rice-Producing Areas of Northern Italy. *Water* 15. <https://doi.org/10.3390/w15122150>

Hadhiswoyo, S., 1999. Saluran kuarter dan tersier alternatif pada jaringan irigasi.

Kementerian PUPR, 2013. Standar Perencanaan Irigasi Bagian Petak Tersier.

USDA, 2020. USDA ERS - Chart Detail [WWW Document]. URL <https://www.ers.usda.gov/data-products/chart-gallery/gallery/chart-detail/?chartId=58282> (accessed 11.24.23).

BIODATA PENULIS



Andi Masnang

Penulis lahir di Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan tanggal 19 November 1965. Penulis adalah dosen tetap pada program studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Bangsa. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tahun 1990. Pada tahun 1995 menyelesaikan S2 pada jurusan Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor. Pada tahun 2011 lulus program doktor di Institut Pertanian Bogor dengan spesialisasi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.

Karir di bidang pendidikan mulai sebagai dosen sejak tahun 1994 pada mata ajaran Ilmu Tanah; Konservasi Tanah dan Air; Pengelolaan Tanah dan Air; Kesuburan dan kesehatan tanah; Dasar-Dasar Klimatologi. Sebagai ahli tanah maupun ahli Pengelolaan daerah aliran sungai, penulis telah banyak melakukan penelitian serta mengikuti seminar profesi dalam bidang-bidang tersebut di atas pada tingkat Nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS



Fadhila Aziz, M.Si

Dosen Program Studi Biologi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Koto Baru Simalanggang, Kec. Payakumbuh Sumatera Barat tanggal 30 Oktober 1989. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Palangka Raya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Biologi di Universitas Negeri Padang dan melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Biologi di Institut Teknologi Bandung. Penulis menekuni bidang Botani dan Ekologi. Beberapa mata kuliah yang pernah diampu antara lain, Ekologi, Ekologi Tumbuhan, Ekologi Lahan Basah, Diversitas Rawa Gambut dan DAS, Struktur dan Perkembangan Tumbuhan serta Morfologi Tumbuhan. Mari jalin kerja sama dengan penulis via *e-mail*: fadhila.aziz@mipa.upr.ac.id

BIODATA PENULIS



Henly Yulina, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Bale Bandung

Penulis lahir di Bandung pada 20 Juli 1989 sebagai anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 di Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran pada tahun 2011. Pendidikan S2 diselesaikan di Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran pada tahun 2014 dengan Beasiswa Unggulan dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi (Kemendikbudristek). Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Bale Bandung dan mengampu mata kuliah Mekanisasi dan Konservasi Pertanian, Irigasi dan Drainase, Rancangan Percobaan, Fisika Dasar, Kimia Dasar I, Ekologi Tanaman. Penulis aktif melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi, salah satunya adalah menulis buku.

BIODATA PENULIS



Septrial Arafat, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi Departemen Pertanian
Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro

Penulis lahir di Batang pada tanggal 09 Februari 1990. Penulis adalah dosen tetap di Program Studi Agroekoteknologi Departemen Pertanian Fakultas Peternakan dan Pertanian Universitas Diponegoro. Menyelesaikan pendidikan S1 di Program studi Agroekoteknologi Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 di program studi Pengelolaan Tanah dan Air di Universitas Brawijaya. Penulis aktif mengajar pada mata kuliah Ilmu Tanah, Klimatologi, Hidrologi Pertanian, Ekologi Tanaman, Survei Tanah dan Evaluasi Lahan, dan Teknologi Konservasi Sumberdaya Lahan.

BIODATA PENULIS



Sujadi Priyansah, S.Hut., M.Sc.

Dosen Program Studi Konservasi Sumberdaya Alam
Fakultas Teknik dan Sains Universitas Muhammadiyah Bangka
Belitung

Penulis lahir di Pangkapinang tanggal 26 november 1991. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Konservasi Sumberdaya Alam Fakultas Teknik dan sains, Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung. Menyelesaikan pendidikan S1 kehutana pada Jurusan Kehutanan dan melanjutkan S2 Ilmu Kehutanan pada Jurusan Konservasi Sumberdaya Hutan. Penulis menekuni bidang pendidikan dengan mengajar mata kuliah fisika, klimtologi, hidrologi, ekologi hutan, agroforestry dan banyak lagi. Penulis juga sudah pernah publikasi jurnal bidang konservasi lingkungan.

BIODATA PENULIS



Anita Dwy Fitria, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi

Penulis lahir di Balikpapan tahun 1995. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 Jurusan Agroekoteknologi dengan bidang minat Manajemen Sumberdaya Lahan Berkelanjutan dan S2 Jurusan Pengelolaan Tanah dan Air di Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya. Penulis saat ini aktif dalam berbagai kegiatan di dalam dan luar kampus untuk menjalankan Tridharma Perguruan Tinggi. Penulis dapat dihubungi melalui email: anitadfitria@unsil.ac.id dan instagram: @antariksza

BIODATA PENULIS



Utik Tri Wulan Cahya, STP., MP

Dosen Program Studi Agroteknologi

Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

Penulis lahir di Klaten tahun 1994. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Tribhuwana Tunggaladewi. Penulis menyelesaikan Pendidikan S1 Jurusan Teknik Pertanian dengan bidang minat Teknologi Sumber Daya Lahan dan Air dan S2 Jurusan Pengelolaan Tanah dan Air di Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya dan sedang menempuh S3 Ilmu Pertanian di Universitas Brawijaya. Penulis saat ini aktif dalam berbagai kegiatan di dalam dan luar kampus untuk menjalankan Tridharma Perguruan Tinggi. Penulis dapat dihubungi melalui email: utiktriwulancahya@gmail.com dan instagram: [@utiktriwulancahya](https://www.instagram.com/utiktriwulancahya)

BIODATA PENULIS



Abdi Suprayitno, S.T., M.Eng.

Dosen Program Studi Teknik Perminyakan
Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan

Penulis lahir di Balikpapan tanggal 10 September 1985. Penulis adalah dosen tetap dan Ketua Program Studi pada Program Studi Teknik Perminyakan Sekolah Tinggi Teknologi Migas Balikpapan. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada dan melanjutkan S2 pada Program Studi Teknik Geologi Universitas Gadjah Mada.

Riset yang ditekuni saat ini adalah berkaitan dengan Mitigasi Bencana Geologi dan Airtanah. Selain Tridharma juga berkegiatan di komunitas wakaf produktif dan wirausaha. Terimakasih. Korespondensi dapat ke email abdi.sttmigas@gmail.com

BIODATA PENULIS



Suci Ristiyana, S.T.P., M.Sc.

Dosen Program Studi Agroteknologi,
Fakultas Pertanian Universitas Jember

Penulis lahir di Bantul tanggal 21 Januari 1988. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Menyelesaikan pendidikan S1 dan S2 pada Jurusan Teknik Pertanian Universitas Gadjah Mada. Saat ini penulis adalah dosen di Program Studi Agronteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Jember. Mata kuliah yang diampu antara lain Irigasi Mikro, Pengantar Teknologi Pertanian, Pertanian Presisi, Pertanian Teknologi Spasial, Alat dan mesin Pertanian, Agroekologi, Agrometeorologi. Selain mengajar dan melakukan penelitian, penulis juga melakukan kegiatan pengabdian masyarakat berupa pendampingan teknologi hidroponik khususnya Aquaponik. Hasil penelitian dan pengabdian telah dipublikasikan di jurnal-jurnal nasional terakreditasi, penulis telah menghasilkan beberapa buku ajar.

BIODATA PENULIS



Erni Dwi Puji Setyowati, S.T.P., M.Sc.

Dosen Program Studi Teknologi Industri Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Palangka Raya

Penulis lahir di Malang tanggal 15 Oktober 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknologi Industri Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Palangka Raya. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya dan melanjutkan S2 pada Teknologi Industri Pertanian Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Manajemen Rantai Pasok dan Logistik Pertanian.