

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lingkungan Hidup

Lingkungan merupakan keseluruhan isi yang mengelilingi makhluk hidup, didalamnya juga termasuk kemampuan (daya) alami, makhluk hidup yang lainnya. Alam menyediakan keadaan bagi perkembangan serta pertumbuhan makhluk hidup yang terdapat di bumi. Lingkungan tersebut jika tidak berfungsi sesuai dengan kondisi idealnya, juga bisa menjadikannya ancaman bahaya dan kerusakan (Prasetyo dan Hariyanto, 2017). Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), kata lingkungan merupakan keadaan sekitar yang mempengaruhi tingkah laku perkembangan makhluk hidup. Lingkungan hidup juga merupakan keseluruhan faktor yang memberikan pengaruh terhadap suatu organisme; faktor-faktor tersebut dapat berupa organisme hidup (*biotic factor*) ataupun variabel-variabel yang tidak hidup (*abiotic factor*).

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, “definisi lingkungan hidup adalah satu kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain”. Menurut Prasetyo dan Hariyanto (2017), lingkungan hidup secara mendasar terbagi atas tiga kelompok yaitu:

- a) Lingkungan fisik, yaitu komponen/benda mati yang berada di sekitar manusia.
- b) Lingkungan biologis, yaitu benda hidup selain manusia yang mencakup hewan dan tumbuhan.
- c) Lingkungan sosial, yaitu manusia.

Khusus dilihat dari aspek manusia, lingkungan hidup menurut Mutakin (2018) dapat dibedakan menjadi tiga yaitu:

- a) *Natural environment* atau lingkungan alam, merupakan keseluruhan kondisi alam baik berupa gejala maupun proses yang ada pada sekitar manusia dan

memberikan pengaruh terhadap perkembangan (kuantitas dan kualitas) serta sifat manusia itu sendiri.

- b) *Social environment* atau lingkungan sosial, merupakan sesama manusia baik secara individu maupun kelompok yang berada pada sekitar seseorang dan juga golongan orang yang memberikan pengaruh tumbuh-kembang dan karakter seseorang atau kelompok orang yang bersangkutan.
- c) *Culture environment* atau lingkungan budaya, merupakan segala bentuk kondisi budaya/hasil cipta, rasa dan karsa serta karya manusia yang ada pada sekitar individu ataupun kelompok orang yang berhubungan.

2.1.1 Unsur- unsur Lingkungan Hidup

Secara khusus, kata “lingkungan” sering digunakan untuk menggambarkan segala sesuatu yang mempengaruhi kemampuan makhluk hidup untuk bertahan hidup di bumi. Menurut Silalahi (2003), di dalam lingkungan hidup terdapat unsur-unsur yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu:

- a) Unsur Hayati (*Biotic*), merupakan unsur di dalam lingkungan hidup yang terdisiri atas organisme, seperti manusia, tumbuhan dan hewan.
- b) Unsur Sosial Budaya: suatu sistem nilai, konsep, dan keyakinan tentang bagaimana seharusnya seseorang berperilaku dalam situasi sosial dikenal dengan unsur sosial budaya. Lingkungan sosial budaya adalah lingkungan yang diciptakan manusia. Seperangkat prinsip dan standar yang diakui dan diikuti oleh setiap anggota masyarakat memungkinkan kehidupan bermasyarakat dapat tercapai ketertiban..
- c) Unsur Fisik (*Abiotic*), merupakan unsur lingkungan hidup yang mencakup benda-benda tak hidup, seperti udara, air, tanah, iklim dan lain sebagainya. Unsur fisik keberadaannya sangatlah penting dan berperan besar untuk kelangsungan hidup segenap kehidupan di bumi..

2.1.2 Konservasi Lahan dan Air

Pengertian konservasi adalah pelestarian yang berarti upaya menjaga daya dukung, fungsi, mutu, dan kemampuan lingkungan hidup secara seimbang (Purmadi *et al.*, 2020). Proses pengelolaan suatu lokasi untuk menjamin pelestarian makna budaya juga dikenal sebagai konservasi. Undang – Undang Dasar Negara

Kesatuan Republik Indonesia Tahun 1945 menjadi dasar hukum dalam penyelenggaraan pemerintahan termasuk dalam pengelolaan sumber daya alam hayati. Disebutkan pada pembukaan UUD 1945 khususnya di pasal 33 ayat 3 yang menyatakan secara tegas bahwa “*Bumi dan air dan kekayaan alam yang terkandung didalamnya dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besar kemakmuran rakyat*”. Melalui Undang-Undang Dasar 1945, untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, pemerintah dan setiap anggota masyarakat harus menjaga dan mengelola lingkungan hidup. Hal ini untuk menjamin lingkungan hidup Indonesia tetap menjadi sumber daya dan sumber kehidupan bagi manusia dan makhluk hidup lainnya (Helmi, 2012; Ottohan *et al.*, 2020).

Secara teknis konservasi dapat dibagi menjadi dua jenis yakni konservasi tanah dan konservasi air. Adapun teknik dalam upaya konservasi tanah maupun air merupakan bentuk aplikasi nilai-nilai teknik dan biologi untuk menyelesaikan berbagai persoalan tanah dan air. Secara harafiah konservasi berasal dari kata *Conservation* yang tersusun atas kata *con* (*together*) dan *servare* (*keep/save*) yang berarti upaya memelihara apa yang kita punya (Agusri dan Jonizar, 2016).

Berbagai persoalan teknis yang ada pada konservasi tanah dan juga air dapat terbagi menjadi beberapa langkah meliputi: pengendalian erosi, drainase, pengendalian genangan / banjir, irigasi, pengembangan dan perawatan sumber air. Konservasi tanah bermaksud untuk meminimalisir jumlah erosi tanah dan menjaga kesuburannya. Erosi yang terjadi dapat mengurangi tingkat kesuburan tanah karena hilangnya nutrisi, bahan organik dan rusaknya sifat fisik tanah. Konservasi dapat mempertahankan cukup vegetasi untuk menopang dan memperkuat permukaan tanah, serta berdampak pada banyaknya air yang meresap ke dalam tanah (Idjudin, 2011; Wardani *et al.*, 2021).

2.2 Perkembangan Lahan Pemukiman Kota Semarang

Kota memiliki peran penting sebagai titik pusat pertumbuhan ekonomi dan pusat aktivitas perekonomian, sosial dan budaya (Satria dan Rahayu, 2012; Tristiani *et al.*, 2021). Di dalam artikelnya Nuzullia dan Pradoto (2015), menjabarkan bahwa perkembangan kota tidaklah terjadi secara abstrak, empat faktor yang

mempengaruhi perkembangan kota: (a) keadaan tata ruang yang berhubungan dengan produk; (b) waktu terkait proses; (c) perilaku manusia dalam pemanfaatan ruang; dan (d) kegiatan yang dilakukan di dalam ruang. Komponen terpenting dari perencanaan kota yang menyeluruh adalah keadaan dan kondisi internal, yang juga berdampak pada pertumbuhan kota (Hartono *et al.*, 2014). Kota yang mengalami perkembangan bisa dilihat dari bertambahnya luasan lahan terbangun (non pertanian) serta berkurangnya luasan lahan tidak terbangun (lahan pertanian) (Prawatya, 2013).

Kota Semarang mengalami perkembangan terus menerus. Perkembangan tersebut terjadi pada setiap bagian kota berbeda pada satu sama lainnya (Pidora dan Pigawati, 2014). Perkembangan Kota Semarang terjadi karena dipengaruhi oleh berbagai macam aspek baik fisik berupa peningkatan infrastruktur sarana dan prasarana, serta aspek non fisik yang berupa penambahan jumlah penduduk, berbagai kegiatan ekonomi dan kegiatan lainnya yang mendukung pembangunan kota (Islami dan Pigawati, 2021). Hal penting dalam perkembangan kota juga karena kebijakan pemerintah yang tepat dalam memicu adanya investasi. Perkembangan kota yang terjadi tidak hanya sebatas pada kawasan pusat kota, tetapi juga akan memicu perkembangan pusat pertumbuhan baru di kawasan pinggiran kota. Hal tersebut penting diperhatikan oleh perencana supaya kota tidak berkembang secara *sporadic*.

Terdapat tiga faktor yang memberikan pengaruh terhadap pertumbuhan suatu kota, yaitu kelahiran (*fertilitas*), kematian (*mortalitas*) dan perpindahan (*migrasi*). Berdasarkan data World Bank (2016), Indonesia termasuk salah satu negara berkembang dengan tingkat laju pertumbuhan 41,1% lebih cepat dibandingkan kota-kota lain yang ada di negara-negara Asia (Haidir dan Rudiarto, 2019). Perkembangan Kota Semarang yang mencakup peningkatan penduduk salah satunya dikarenakan adanya urbanisasi. Urbanisasi sendiri merupakan peningkatan proporsi penduduk di lingkungan perkotaan dan sekitarnya yang berkaitan dengan penggunaan lahan dari pertanian menjadi pemukiman dan daerah komersil (Sudaryanto dan Wibawa, 2013).

Pertumbuhan penduduk dan pertumbuhan pemukiman adalah hal yang saling berkaitan dan itu juga mempengaruhi bentuk perkembangan Kota Semarang saat ini. Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat berpengaruh terhadap kebutuhan terhadap rumah sebagai tempat tinggal atau bermukim. Tingginya jumlah penduduk Kota Semarang yang saat ini tercatat sebanyak 1.835.083 jiwa (BPS, 2023) dan akan terus terus meningkat dari tahun ke tahun mengharuskan terpenuhinya hunian pemukiman yang layak, khususnya untuk menampung masyarakat urbanis yang pekerjaannya terpusat pada sektor perdagangan dan jasa di pusat kota. Pemukiman yang menjadi sarana dasar akan terus meningkat sejalan dengan pertumbuhan penduduk tersebut. Rencana Tata Ruang dan Wilayah (RTRW) Kota Semarang memiliki perencanaan 20.832,94 ha sebagai kawasan pemukiman. Sampai tahun 2018 sudah 16.027,49 atau 76% luasan kawasan pemukiman yang telah terbangun (Disperkim, 2020). Peningkatan jumlah penduduk dan bersamaan dengan meluasnya pemukiman tersebut berpengaruh terhadap adanya tuntutan secara ekonomi serta sosial budaya (Pigawati dan Rudiarto, 2011; Islami dan Pigawati, 2021).

Pertumbuhan penduduk yang semakin pesat di kawasan pusat kota akan menyebar ke wilayah lainnya (Pigawati *et al.*, 2019). Pertumbuhan penduduk yang didominasi dari kalangan menengah kebawah di pusat perkotaan berimplikasi terhadap kebutuhan hunian yang dibarengi dengan keterbatasan lahan. Sehingga akan menimbulkan semakin sempitnya ruang yang tersedia untuk pemukiman yang layak dan memadai. Disisi lain Kota Semarang memiliki luasan lahan yang tetap, akan terus mengalami upaya konversi lahan. Kondisi ini juga akan mengakibatkan pemukiman padat penduduk dan munculnya pemukiman kumuh (*slum*) atau juga pemukiman liar (*squatter*) pada penduduk pada suatu wilayah, yang secara mayoritas dihuni oleh masyarakat golongan menengah kebawah.

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Pigawati *et al* (2017), menunjukan bahwa daerah pinggiran Kota Semarang mengalami peningkatan lahan pemukiman secara signifikan, sebesar 2.465 ha. Kecamatan Genuk yang merupakan bagian dari kawasan pinggiran juga mengalami pertumbuhan lahan pemukiman sebesar 414 ha.

Pertumbuhan lahan pemukiman di Kota Semarang sangat menarik diperhatikan karena dalam kurun waktu 10 tahun (2006 – 2014) luas total lahan pemukiman bertambah 2.465 ha (6%) dari luasan kota. Pertumbuhan lahan pemukiman tersebut tentu akan terus terjadi hingga masa depan, sehingga mengindikasikan bahwa kedepannya konversi lahan akan terus terjadi.

Pertumbuhan pemukiman di Kota Semarang tentu akan berdampak secara negatif terhadap menurunnya kualitas air tanah, salah satunya oleh polutan nitrat. Hal tersebut terjadi karena adanya konsentrasi limbah rumah tangga yang tak dialirkan ke pengolahan limbah komunal, namun dialirkan lewat saluran sanitasi ke selokan dan tangki septik (Sudaryanto dan Wibawa, 2013). Material pencemar yang berasal dari limbah buangan tersebut akan meresap lewat pori-pori tanah sehingga masuk ke air tanah. Limbah domestik dan pertanian yang meresap ke air tanah akan meningkatkan konsentrasi nitrat dalam air tanah (Kendall, 1988), dan nitrat merupakan unsur yang relatif stabil dalam air.

2.3 Potensi Bencana Alam Kota Semarang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 21 Tahun 2008 tentang Penyelenggaraan Penanggulangan Bencana menguraikan yakni “bencana merupakan peristiwa atau rangkaian peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat yang disebabkan, baik oleh faktor alam dan/atau faktor non alam maupun faktor manusia sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa manusia, kerusakan lingkungan, kerugian harta benda, dan dampak psikologis”. “Adapun pengertian dari ancaman bencana adalah suatu kejadian atau peristiwa yang dapat menimbulkan bencana, sedangkan rawan bencana merupakan kondisi ataupun karakteristik geologis, biologis, hidrologis, klimatologis, geografis, sosial, budaya, politik ekonomi dan teknologi pada suatu wilayah untuk jangka waktu tertentu yang mengurangi kemampuan mencegah, meredam, mencapai kesiapan, dan mengurangi kemampuan untuk menanggapi dampak buruk bahaya tertentu” (UU No. 24 Tahun 2007).

Jenis – Jenis Bencana menurut Undang – Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana terbagi atas tiga jenis yaitu:

- a) Bencana alam meliputi gempa bumi, tsunami, letusan gunung berapi, banjir, kekeringan, badai, dan tanah longsor. Peristiwa tersebut juga dapat dihasilkan oleh serangkaian fenomena alam.
- b) Bencana non-alam adalah bencana yang diakibatkan oleh serangkaian kejadian atau peristiwa yang tidak alami, misalnya epidemi, wabah penyakit, kegagalan modernisasi, atau kegagalan teknis.
- c) Bencana sosial adalah bencana yang disebabkan oleh suatu tindakan atau rangkaian peristiwa yang disebabkan oleh manusia. Contohnya termasuk perselisihan sosial dalam komunitas atau antar kelompok dan teror.

Kota Semarang secara geografis berbatasan dengan laut Jawa pada bagian utara, dan memiliki kondisi topografis berupa perbukitan, dataran rendah dan daerah pesisir. Kondisi yang demikian mengakibatkan Kota Semarang memiliki kemiringan dan tonjolan yang menyebabkan wilayahnya berpotensi rawan bencana alam (Pratiwi *et al.*, 2016). Berbagai jenis bencana alam yang rawan terjadi di Kota Semarang yaitu banjir, tanah longsor, kekeringan, kekurangan air bersih dan angin puting beliung (Dewantoro *et al.*, 2021). Berdasarkan data pada pelaporan kebencanaan pada kurun waktu tahun 2019 - 2023 adalah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Bencana Alam Di Kota Semarang Kurun Waktu Tahun 2018 – 2023

No.	Bencana Alam	Tahun				
		2019	2020	2021	2022	2023
1.	Banjir	18	23	88	63	26
2.	Tanah Longsor	83	175	146	110	76
3.	Angin Puting Beliung	20	10	37	28	23
4.	Rumah Roboh	52	46	35	50	45
5.	Pohon Tumbang	45	46	78	46	57
6.	Kebakaran	102	42	46	39	144
7.	Rob	-	-	2	7	3
	Total	320	342	432	324	371
	Korban Meninggal	8	3	6	4	5
	Korban Luka-luka	17	16	4	6	4
	Kerugian Material (Rp.)	1.218.000.000	2.593.500.000	1.218.000.000	4.933.500.000	25.117.450.000

Sumber : Data BPBD 2024

Hal tersebut sejalan dengan yang dilaporkan oleh Hidayati *et al* (2021), bahwa pada tahun 2013 – 2020 jumlah bencana alam yang terjadi di Kota Semarang cenderung mengalami kenaikan.

2.3.1 Potensi Bencana Terkait Air di Kota Semarang

Ketika memasuki musim penghujan Kota Semarang berpotensi mengalami banjir pada dataran rendahnya, juga banjir rob dan pada titik-titik tertentu berpotensi terjadi ancaman tanah longsor. Adapun ketika memasuki musim kemarau Kota Semarang rentan mengalami kekeringan dikarenakan letak geografisnya di dataran rendah dengan suhu rata-rata harian 31°C, sehingga menyebabkan kota ini sangat panas. Situasi yang disebut kekeringan terjadi ketika air yang tersedia jauh lebih sedikit daripada yang dibutuhkan untuk pertanian, kehidupan, perekonomian, dan lingkungan (Pratiwi *et al.*, 2016).

Salah satu bencana alam yang mungkin terjadi di Kota Semarang adalah banjir, yaitu fenomena yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan kelebihan air yang tidak mampu ditangani oleh sistem drainase (Rahmat, 2014). Secara definisi “Banjir adalah peristiwa atau keadaan dimana terendamnya suatu daerah atau daratan karena volume air yang meningkat” (UU No 24 Tahun 2007). Berdasarkan jenisnya, banjir dapat dibedakan menjadi tiga yaitu banjir bandang, banjir sungai, dan banjir pantai (Yulaelawati dan Syihab, 2008). Secara rinci ketiga jenis banjir tersebut diuraikan sebagai berikut:

- a) Banjir bandang merupakan banjir besar yang terjadi secara cepat dan berlalu dengan cepat seiring berjalannya waktu. Banjir ini terjadi akibat hujan lebat yang turun dalam waktu singkat yang menyebabkan debit sungai meningkat dengan cepat. Dari sekian banyak kejadian banjir bandang, sebagian besar diawali dengan longsor di bagian hulu sungai. Ketika aliran sungai terhambat oleh puing-puing tanah longsor dan pohon tumbang, maka terciptalah bendungan alami. Kemudian, bendungan-bendungan tersebut jebol sehingga membawa air banjir dalam jumlah besar dan cepat. Selain curah hujan yang tinggi, faktor lain yang turut menyebabkan terjadinya banjir bandang antara lain tutupan lahan, morfologi, dan kondisi geologi.

- b) Banjir sungai: Banjir ini sering kali disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dalam jangka waktu yang lama di daerah aliran sungai (DAS). Keadaan ini menyebabkan air sungai meluap sehingga membanjiri dan menenggelamkan lingkungan tersebut. Banjir sungai seringkali meningkat lebih lambat dibandingkan banjir bandang. Biasanya terjadi pada musim tertentu, banjir seperti ini bisa berlangsung sehari-hari atau berminggu-minggu.
- c) Banjir pantai disebabkan oleh banjir yang disebabkan oleh pasang surut air laut dan siklon tropis. Ketika gelombang badai terjadi di sepanjang pantai, banjir skala besar biasanya menjadi lebih buruk. Banjir ini terjadi ketika gelombang badai dan air pasang, antara lain, menyebabkan air laut meluap ke daratan. Banjir ini terjadi karena air laut menghalangi aliran sungai sehingga menyebabkan wilayah sekitarnya terendam air. Dalam hal ini, banjir yang terjadi di pantai merupakan banjir rob.

Banjir yang terjadi di Kota Semarang dikarenakan semakin menyusutnya daerah resapan air karena pertumbuhan pemukiman dan alih fungsi lahan lainnya. Implementasi RTRW di Kota Semarang masih cukup sulit dilakukan, hal ini linier dengan pertumbuhan jumlah penduduk yang berdampak pada alih fungsi lahan sehingga menurunkan jumlah resapan air di Kota Semarang (Kurniawati & Rengga, 2016). Penerapan LRB akan bermanfaat untuk menyerap limpasan air hujan yang jatuh dan masuk ke dalam tanah. Menurut Suripin (2004), limpasan merupakan sekumpulan aliran pada permukaan, aliran yang mengalami pengendapan serta aliran di bawah permukaan. Limpasan ini sangat krusial di dalam perencanaan drainase dan juga pengendalian banjir.

2.3.2 Pengurangan Risiko Bencana

Risiko bencana adalah kemungkinan kerugian yang dapat timbul akibat suatu bencana yang terjadi pada suatu wilayah dan jangka waktu tertentu. Kerugian tersebut dapat berupa penyakit, cedera, kematian, ancaman terhadap nyawa, berkurangnya rasa aman, pengungsian, kerusakan atau kehilangan harta benda, atau terganggunya kegiatan masyarakat (Perka BNPB, 2012). Pengurangan risiko bencana berupaya mengelola bahaya yang tersisa, menurunkan risiko bencana saat ini, dan menghentikan terjadinya bencana di masa depan, menurut Terminologi

UNISDR (2017) tentang Pengurangan Risiko Bencana. Untuk mencapai pembangunan berkelanjutan, semua ini memperkuat ketahanan. Sementara itu, negara-negara di seluruh dunia berkomitmen untuk mengendalikan risiko bencana dan meningkatkan ketahanan negara mereka sendiri, sebagaimana dinyatakan dalam *Sendai Framework for Disaster Reduction* (UNISDR, 2015).

Menurut Kerangka Aksi Hyogo, atau HFA, menurunkan risiko bencana dan meningkatkan ketahanan sangatlah penting, dan secara keseluruhan, kerangka kerja ini semakin penting dan harus lebih ditingkatkan. Kerangka Kerja Sendai 2015–2030 membahas tentang keberlanjutan HFA 2005–2015. Kemampuan masyarakat, kelompok, atau organisasi untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim dengan cara yang fungsional dan dinamis namun tetap dapat diterima disebut ketahanan. Menurut Brown dkk (2012), hal ini melibatkan kemampuan untuk bangkit dari guncangan dan merestrukturisasi sistem sedemikian rupa sehingga mendorong berkembangnya adaptasi dan mitigasi kebiasaan hidup berketahanan iklim.

Pengaplikasian LRB dalam upaya memperluas area resapan air hujan merupakan bentuk pertahanan yang dapat dilakukan oleh masyarakat Kota Semarang dalam meminimalisir terjadinya banjir dan krisis air tanah. Tujuan dari ketahanan ini adalah untuk menjaga agar sistem sosial-ekologis tidak mengalami kondisi yang tidak menguntungkan. Hal ini bergantung pada kemampuan sistem untuk menahan guncangan dari dunia luar bahkan dalam menghadapi ketidakpastian. Untuk melakukan hal ini, kita harus memahami di mana letak ketahanan dalam sistem serta bagaimana, kapan, dan bagaimana ketahanan tersebut bisa hilang. Proses menjadikan sistem lebih tahan terhadap gangguan yang tidak terduga tidak sama dengan proses menjadikannya lebih baik pada masa keseimbangan dan pertumbuhan. Meskipun kedua hal ini penting, ekosistem yang telah dihuni oleh manusia mempunyai bobot lebih. Pengambilan keputusan dengan menggunakan teknik analisis kebijakan yang mengoptimalkan keuntungan atau mengurangi kerugian (Walker *et al.*, 2002).

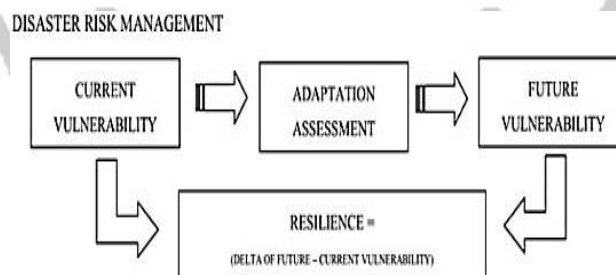
Dalam disiplin ilmu ekologi, ketahanan ekosistem merupakan topik yang relatif baru. Dalam publikasi ilmiahnya, Holing adalah orang pertama yang

mengemukakan gagasan ketahanan dan menciptakan kata ini. Ketahanan ekosistem pada dasarnya adalah kemampuan ekosistem untuk menahan gangguan tanpa mengubah struktur dan fungsinya secara mendasar (Walker et al., 2006).

Memahami penyebab dan dampak perubahan, khususnya jenis perubahan transformatif yang terjadi dalam sistem kapasitas adaptif, merupakan inti dari gagasan ketahanan (Redman dan Kinzig, 2003). Suatu sistem sosial-ekologis dikatakan adaptif jika mampu menghadapi perubahan keadaan tanpa mengorbankan alternatif-alternatif yang ada di masa depan. Oleh karena itu, membangun ketahanan sangat penting untuk meningkatkan kemampuan adaptif. Dalam sistem ekologi, keanekaragaman genetik, keanekaragaman hayati, dan keanekaragaman lanskap semuanya terkait dengan potensi adaptif.

Potensi adaptasi dalam sistem sosial sangat dipengaruhi oleh kehadiran organisasi dan jaringan pembelajaran yang memiliki keahlian, pengalaman memecahkan masalah, dan keseimbangan kekuatan di antara kelompok-kelompok kepentingan. Suatu sistem ekologi lebih rentan terhadap guncangan eksternal atau perubahan lingkungan sekitar ketika berada di bawah tekanan yang lebih tinggi atau ketahanannya kurang. Pergeseran susunan spesies dalam sistem sering kali menjadi faktor penghubung antara stres dan hilangnya ketahanan (Perrings *et al.*, 1995).

Menurut Pamungkas (2012), ada koherensi yang erat antara konsep kerentanan (*vulnerability*), adaptasi dan juga resiliensi di dalam manajemen resiko bencana. Koherensi dari tiga konsep tersebut ditunjukkan pada gambar 2:



Gambar 2. . Keterkaitan Konsep Kerentanan, Adaptasi dan Resiliensi (Pamungkas, 2012)

Adaptasi merupakan upaya untuk menurunkan tingkat kerentanan, seperti yang dijelaskan pada grafik di bawah ini. Ketahanan adalah kemampuan untuk membedakan antara risiko di masa depan dan kerentanan saat ini. Oleh karena itu, membuat pedoman yang baik adalah salah satu cara untuk membangun atau meningkatkan ketahanan. Arahkan dapat berupa suatu produk hukum perlindungan hukum (Simanjuntak, 2016).

2.4 Aspek Keairan

2.4.1 Air Hujan

Hujan adalah fenomena turunnya zat cair dalam bentuk cair atau beku dari langit dan mendarat di permukaan planet. Agar suhu di atas titik leleh es di permukaan bumi dapat dicapai melalui hujan, harus ada lapisan atmosfer yang tebal. Curah hujan terjadi ketika uap air di langit mengembun menjadi tetesan-tetesan yang cukup berat untuk jatuh dan sering kali mengendap di daratan (Rahmadhayanti dan Helda, 2021). Kondensasi adalah tindakan mengubah bentuk suatu benda menjadi lebih padat. Hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es adalah contoh *presipitasi* yang berpindah dari langit ke permukaan planet. Hujan biasanya dianggap sebagai presipitasi karena memberikan kontribusi terbesar di daerah tropis (Triatmodjo, 2008).

Uap yang mengembun dan turun ke bumi akibat beberapa siklus hidrologi biasa disebut dengan presipitasi. Hujan (*rainfall*) mengacu pada bentuk uap jatuh yang berbentuk cair, sedangkan salju (salju) mengacu pada bentuk uap jatuh yang berbentuk padat. Pengukuran dapat dilakukan secara langsung dengan mengumpulkan curah hujan yang turun, pengukuran tersebut hanya dapat dilakukan pada lokasi tertentu dalam wilayah tangkapan air dan memerlukan penggunaan alat pengukur hujan (Triatmodjo, 2008).

Merujuk Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009 Tentang Pemanfaatan Air Hujan, Pasal 1 Ayat (1) “Pemanfaatan air hujan adalah serangkaian kegiatan mengumpulkan, menggunakan, dan/atau meresapkan air hujan ke dalam tanah, (2) Sumur Resapan adalah lubang yang dibuat untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah dan atau lapisan batuan pembawa air,

(3) Kolam pengumpul air hujan adalah kolam atau wadah yang dipergunakan untuk menampung air hujan yang jatuh di atap bangunan (rumah, gedung perkantoran atau industri) yang disalurkan melalui talang, (4) Lubang Resapan Biopori (LRB) adalah lubang yang dibuat secara tegak lurus (vertikal) ke dalam tanah, pasal 3 yang menyebutkan bahwa setiap penanggungjawab bangunan wajib melakukan pemanfaatan air hujan”. Kampung Iklim Purwokeling telah menerapkan pembuatan, pemanfaatan dan perawatan LRB sesuai dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2009.

2.4.2 Air Tanah

Air tanah merupakan sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan hidup. Selain itu juga merupakan bagian dari siklus hidrologi, yaitu pergerakan air di bumi. Oleh karena itu, air tanah dianggap sebagai salah satu sumber daya alami yang dapat diisi ulang; namun demikian, hal ini tidak berarti bahwa penggunaannya tidak terbatas. Penggunaan air tanah secara berlebihan dapat berdampak buruk pada tatanan alam. Pengembangan sumber daya air tanah harus dilandasi oleh gagasan pelestarian yang meliputi pelestarian alam, pemanfaatan air tanah sebaik-baiknya, dan pengurangan limbah dengan menjunjung skala prioritas pemanfaatan (Thomas, 2009).

Salah satu landasan pembangunan nasional adalah pemanfaatan tanah dan air sebagai sumber daya alam. Pemanfaatan tersebut harus dilakukan seefisien mungkin dengan berpegang pada prinsip keberlanjutan, keselarasan, dan pemanfaatan secara optimal, sehingga dapat menghasilkan manfaat yang seimbang baik dari segi ekonomi, ekologi, dan masyarakat. Yang melampaui daya dukungnya dan melanggar aturan konservasi, akan mengakibatkan situasi berbahaya dengan kadar air yang rendah. Selain itu, tindakan masyarakat yang menentang perlindungan lingkungan dan lahan mengakibatkan bencana alam seperti banjir pada musim hujan. Untuk mencegah hal tersebut, perlu dilakukan upaya perlindungan lahan vital serta terus meningkatkan dan menyempurnakan fungsi biopori. Melindungi sistem air, memulihkan kesuburan tanah, dan menjaga daya dukung lingkungan adalah tujuan LRB di lahan penting.

Melestarikan pasokan air tanah adalah salah satu aspek terpenting dalam kehidupan sehari-hari. Air tanah saat ini merupakan sumber air utama yang dimanfaatkan oleh umat manusia. Tingkat air tanah di daerah perkotaan telah menurun sebagai akibat dari menyusutnya jumlah ruang terbuka yang digunakan untuk penyerapan air hujan dan konversi sejumlah lahan produktif menjadi perumahan dan ruang ritel. Air hujan langsung mengalir ke sungai dengan infiltrasi lebih sedikit dan akhirnya ke laut, yang mungkin dapat dimanfaatkan lebih cepat. Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Moedal Kota Semarang (2018) mempunyai sumber yang menyatakan bahwa lebih dari 98% seluruh air di bumi tersembunyi di dalam material butiran dan celah-celah batuan di bawah permukaan bumi. Terbukti bahwa 2% sisanya terdiri dari air di danau, sungai, dan waduk, dan setengah dari jumlah tersebut disimpan di waduk buatan. Air tanah, yang didefinisikan sebagai air yang terdapat dalam material jenuh di bawah permukaan air tanah, membentuk hingga 98% air di bawah permukaan; kelembaban tanah menyumbang 2% sisanya. Sejak tahun 2004, Indonesia telah memiliki peraturan perundang-undangan yang berkaitan dengan sumber daya air, yaitu Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air.

Air yang berada di bawah permukaan bumi akan menguap dan masuk ke atmosfer. Air yang menguap tersebut kemudian akan mengembun menjadi awan hitam yang selanjutnya jatuh ke permukaan bumi dan menjadi air tanah. Air tanah ini sebagian akan meresap ke sungai, sedangkan sisanya akan meresap ke permukaan. Selain itu, air dapat terlihat bergerak melalui rongga yang diciptakan oleh butiran tanah serta celah pada batuan. Air tanah, disebut juga air bawah tanah, merupakan salah satu komponen siklus hidrologi, yaitu air permukaan di seluruh planet, termasuk air laut. Saat terkena radiasi matahari, air permukaan berubah menjadi uap air, sebagian terbawa angin dan menghasilkan uap di beberapa lokasi (biasanya di dataran tinggi). Setelah titik jenuhnya tercapai, maka akan terkompresi menjadi kumpulan air, dan curah hujan akan turun ke bumi. Keseimbangan siklus air pada umumnya terbagi menjadi empat tahap yaitu: *evaporasi*, *presipitasi*, *infiltrasi* dan *surface run off*.

2.5 Permeabilitas

Permeabilitas didefinisikan sebagai ruang pori terbesar yang menahan air, sehingga permeabilitas paling dipengaruhi oleh stabilitas agregat dan ruang pori drainase yang cepat. Jika lebih banyak ruang pori yang dapat mengalirkan air maka dapat menghasilkan permeabilitas yang lebih tinggi; hal ini dikarenakan fraksi ruang pori dengan interval yang lebih besar dan kestabilan pori-pori pada agregat tanah lebih tinggi (Masria et al., 2020). Sifat pori, khususnya stabilitas pori, yang ditentukan oleh stabilitas agregat tanah, mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap permeabilitas tanah. Air akan lebih cepat melewati agregat tanah yang stabil karena porositasnya. Ketika agregat tanah menjadi tidak stabil, pori-pori pada agregat tersebut akan cepat tertutup sehingga air tidak dapat masuk dan menyebabkan tanah menjadi tidak stabil kembali (Masria et al, 2020).

Kemampuan tanah dalam mengalirkan air ditunjukkan dengan permeabilitasnya. Udara dan air dapat melewati bahan yang lentur. Secara kuantitatif, permeabilitas tanah/konduktivitas hidrolik adalah laju pergerakan fluida melalui material berpori; ini juga dapat digambarkan sebagai laju pergerakan air melalui tanah dalam jangka waktu tertentu, diukur dalam sentimeter per jam (Mulyono et al, 2019). Ada dua komponen permeabilitas: permeabilitas tak jenuh dan permeabilitas jenuh. Ketika setiap pori terisi air, terjadi permeabilitas yang disebut permeabilitas jenuh (*saturated flow*). Nilai permeabilitas tanah pada kondisi jenuh tidak sama dengan nilai permeabilitas yang dipastikan berdasarkan data lapangan dan data analisis laboratorium. Saat memperkirakan jumlah rembesan air dalam pekerjaan penggalian sedalam permukaan air tanah atau lebih dalam, permeabilitas tanah merupakan properti yang sangat penting. Sebagian besar rembesan air ke dalam bumi terjadi pada aliran laminar. Ukuran pori rata-rata, yang ditentukan oleh struktur tanah, bentuk partikel, dan distribusi ukuran, merupakan penentu utama koefisien permeabilitas. Secara umum, ukuran pori dan permeabilitas menurun seiring dengan berkurangnya ukuran partikel.

Tabel 3. Nilai Koefisien Permeabilitas

Ukuran	Lempung	Lanau	Pasir Sangat Halus	Pasir Halus	Pasir Sedang	Pasir Kasar	Kerikil
D 10 mm	0-0,01	0,01-0,05	0,05-0,1	0,1-0,25	0,25-0,50	0,50-1	1,0-5,0
K cm/det	3×10^{-6}	$4,5 \times 10^{-4}$	$3,5 \times 10^{-3}$	$31,5 \times 10^{-2}$	$8,5 \times 10^{-1}$	$3,5 \times 10^{-1}$	3,0

Sumber: Buku Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi

Koefisien permeabilitas juga bervariasi tergantung pada suhu (*viskositas* air juga tergantung pada suhu). Kalau harga k diambil 100% pada suhu 20°C, maka nilainya pada 10°C dan 0°C berturut-turut adalah 77% dan 56%.

2.6 Lubang Resapan Biopori (LRB)

Biopori (*biopore*) merupakan ruangan atau pori di dalam tanah yang dibentuk oleh fauna tanah misalnya cacing dan rayap. Selain itu terbentuknya pori tersebut juga karena perakaran tanaman di dalam tanah (Aziz *et al.*, 2018). Adanya aktivitas tanah pada biopori akan berdampak pada terjaganya kemampuan tanah dalam menyerap air yang akan terpelihara keberadaannya (Muzammil *et al.*, 2014). Biopori memiliki cabang-cabang yang sangat efisien dalam mengarahkan air ke dalam tanah, sehingga membuatnya tampak seperti liang terowongan kecil. Membuat lubang resapan merupakan cara alternatif yang sangat baik untuk melindungi lingkungan dan dapat membantu memungkinkan penetrasi air ke dalam tanah, yang mempunyai dampak signifikan terhadap pasokan air tanah. Lubang-lubang yang dihasilkan akan terisi udara dan berubah menjadi saluran air tanah (Daud, 2013). Para ahli mengkarakterisasi biopori sebagai berikut:

- Menurut Griya (2008), biopori merupakan bukaan mikroskopis pada tanah yang timbul akibat pergerakan sistem perakaran tanaman atau aktivitas makhluk hidup yang tinggal di dalam tanah seperti cacing. Saat udara mengisi bukaan biopori, jalur aliran air tercipta. Air hujan mengalir ke dalam tanah melalui pori-pori biopori, bukan langsung masuk ke saluran drainase.
- Menurut Kamir *et al* (2008) biopori adalah lubang dengan kedalaman 80–100 cm dan diameter 10–30 cm yang dimasukkan ke dalam tanah sebagai lubang resapan untuk menampung air hujan dan mengalirkannya kembali ke dalam tanah. LRB mencegah genangan air, mengurangi luapan air hujan ke sungai, dan

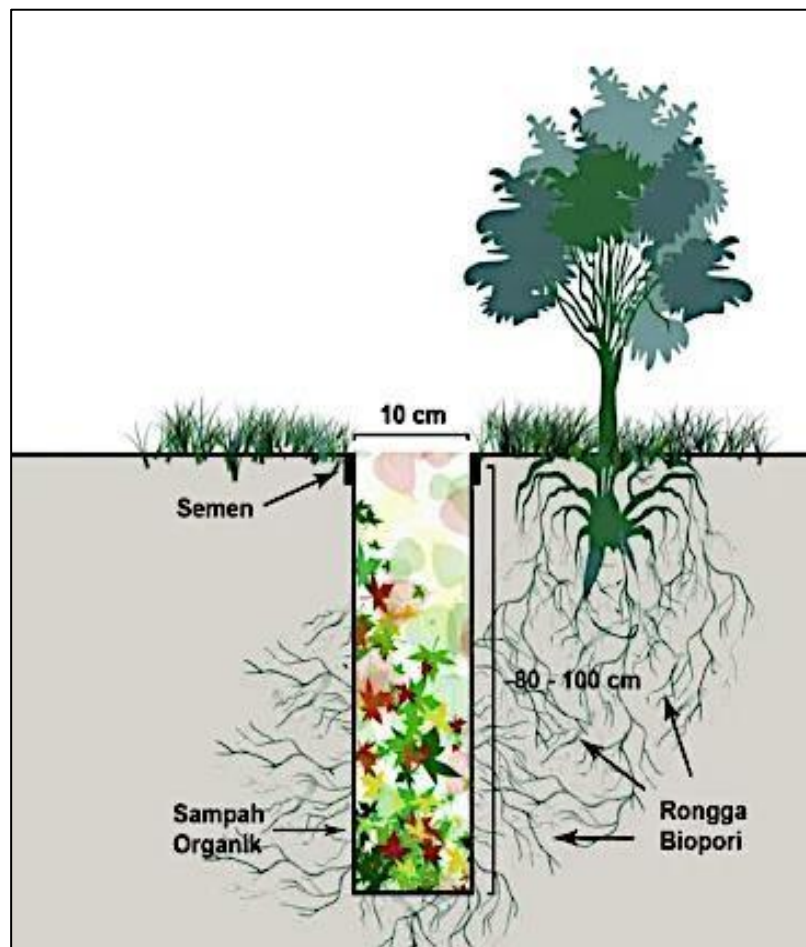
meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan curah hujan. Oleh karena itu, keberadaan biopori dapat mengurangi jumlah dan kecepatan air sungai yang turun ke lokasi yang lebih rendah.

- c) Tim Biopori IPB (2007) menyatakan bahwa biopori adalah lubang-lubang pada tanah yang terbentuk akibat ulah berbagai makhluk hidup antara lain rayap, cacing, dan fauna tanah lainnya serta akar tanaman. Lubang-lubang yang tercipta akan menampung jalur air di dalam tanah dan terisi udara.

Meningkatkan kesehatan tanah, melestarikan sampah organik, dan meningkatkan luas resapan air merupakan beberapa dari banyak manfaat ekologis dari biopori. Selain itu, biopori juga dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air sehingga mengurangi kemungkinan terjadinya genangan air. Bahkan selama musim kemarau, tingkat kelembapan tanah dapat dipertahankan oleh simpanan air. Manfaat-manfaat tersebut diperkirakan belum lazim saat ini dan diperlukan penelitian lebih lanjut sebelum manfaat-manfaat tersebut dapat diterapkan secara efektif untuk menghentikan banjir.

2.6.1 Teknologi Lubang Resapan Biopori (LRB)

Brata dan Nelistya (2007) dari Institut Pertanian Bogor (IPB) memperkenalkan teknologi biopori yang memecah sampah organik menjadi lubang-lubang dengan meniru tindakan makhluk mikroskopis dan mungil. Entitas yang pada dasarnya bukan manusia ini meninggalkan lubang-lubang kecil di permukaan bumi selama proses dekomposisi, dimana dalam dua hingga empat minggu menghasilkan pupuk yang menjadi sumber nutrisi cukup berharga bagi tanaman dan sayuran sekaligus memperbaiki kondisi tanah. Biopori didefinisikan oleh Brata dan Nelistya sebagai lubang resapan yang sengaja dibuat dengan diameter antara 10 hingga 30 cm dan panjang 80 hingga 100 cm. Hal tersebut ditutupi dengan sampah organik dan berfungsi untuk menyerap air ke dalam tanah dan membentuk kompos alami. Secara skematis LRB dapat diilustrasikan seperti pada gambar 3.



Sumber: Abdurahman, 2024

Gambar 3. Penampang Lubang Resapan Biopori (LRB)

Solusi teknologi ramah lingkungan menyebutkan bahwa biopori merupakan metode alternatif untuk meresapkan air hujan ke dalam tanah, selain dengan sumur resapan (Gambar 2.3.). Lubang Resapan Biopori (LRB) dibuat dengan pipa paralon berlubang disekelilingnya dengan ukuran panjang 50 - 150 centimeter, diameter 10 - 25 centimeter, tutup LRB, alat bor, bor biopori manual maupun mekanis tanah, dan pisau. LRB yang telah dibuat bisa menjadi tempat sampah organik. Tentunya pengisian sampah organik ke biopori harus diawali dengan pemilahan, dipisahkan antara sampah organik dan sampah anorganik. Sampah organik dapat diproses menjadi kompos pada Lubang Resapan Biopori (LRB).



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 4. Pembuatan Lubang Resapan Biopori (LRB) di Lokasi Penelitian

2.6.2 Keunggulan Teknologi LRB

Menurut Adidarma *et al* (2019), Pembuatan LRB memiliki berbagai keunggulan dan manfaat diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Meningkatkan daya resap air pada tanah

LRB membantu meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Lubang resapan biopori (LRB) akan mengawetkan lubang biopori yang tercipta akibat aktivitas organisme dan mikroorganisme penghuni tanah. Oleh karena itu, luas resapan air akan meningkat dengan adanya lubang resapan biopori (LRB). Kemampuan tanah dalam menyerap air di dekat permukaan tanah akan ditingkatkan dengan luas daerah resapan tersebut. Kapasitas suatu wilayah dalam menyerap air akan bertambah seiring dengan bertambahnya jumlah lubang resapan biopori (LRB).

b. Mencegah banjir dan meningkatkan kualitas air tanah

Biopori alami sangat sedikit yang tumbuh di lingkungan perkotaan dengan lingkungan pemukiman dan gedung perkantoran karena aktivitas manusia mengganggu aktivitas organisme dan biota tanah. Sebenarnya penyerapan air di permukaan tanah sangat bergantung pada keberadaan biopori sehingga membantu mencegah

banjir. Biopori buatan dapat mengambil alih peran biopori asli dengan bantuan LRB. Akibatnya, pasokan air tanah akan meningkat. Karena kayanya kandungan mineral dalam tanah serta mikroba dan biota yang ada, sampah organik di LRB akan terurai menjadi berbagai mineral yang pada akhirnya akan larut dalam air tanah dan meningkatkan kualitasnya.

c. Mendekomposisi sampah organik menjadi kompos

Sampah organik dapat terurai jauh lebih cepat dibandingkan sampah non-organik. Namun tantangan penanganan sampah organik di kota besar seperti Jakarta berbeda dengan penanganan di daerah atau kota yang berpenduduk sedikit. Jauh lebih sulit bagi setiap rumah untuk membuat tempat sampah sendiri di daerah padat penduduk. Tidak banyak rumah yang memiliki pekarangan atau ruang lain yang dapat dijadikan tempat sampah. Lingkungan yang terlalu padat juga menjadi salah satu hal yang terganggu oleh pembakaran sampah. Lingkungan sekitar sangat terganggu dengan bau busuk sampah organik yang membusuk. Permasalahan sampah organik domestik dapat dikurangi dengan menggunakan LRB. Kompos dapat diproduksi di LRB melalui penguraian sampah organik. Bagi organisme dan biota tanah, sampah organik di LRB berfungsi sebagai makanan. Biota tanah dan organisme ini bekerja sama untuk memecah bahan limbah menjadi kompos kaya nutrisi.

d. Mengatasi masalah yang muncul karena genangan air

Epidemi penyakit serius dapat disebabkan oleh genangan air di tanah. Nyamuk pembawa penyakit demam berdarah dan malaria berkembang biak di air yang tergenang. LRB akan mengurangi genangan air, yang akan menurunkan kemungkinan epidemi demam berdarah, malaria, dan penyakit lainnya terkait sanitasi lingkungan.

e. Memanfaatkan aktivitas fauna dan sistem perakaran tanaman

Organisme di dalam tanah memperoleh energi dari sampah organik yang dibuang di LRB. Sampah organik membantu menopang dan meregenerasi organisme tanah dan biota yang bermanfaat untuk

meningkatkan kualitas tanah dan air. Kehadiran LRB menandakan bahwa fungsi vital organisme tanah dan akar tanaman dalam memperoleh unsur hara dan membentuk biopori dalam tanah, yang pada gilirannya meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air, akan semakin aktif.

Kota Semarang salah satu kawasan yang menerapkan kebijakan penerapan LRB untuk memperluas area resapan air hujan. Menurut Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang (2023), LRB yang telah dibuat dari tahun 2018 hingga tahun 2023 disajikan pada Tabel 4:

Tabel 4. Sebaran Pembuatan LRB di Kota Semarang Periode 2018 – 2023

No	Tahun Pembuatan	Jumlah LRB	Lokasi
1	2018	1.400 buah	Kel Karangmalang
2	2019	1.500 buah	Kel Rowosari
			Kel Purowsari
			Kel Pudak Payung
3	2020	1.360 buah	Kel Nongkosawit
			Kel Cepoko
			Kel Wonolopo
			Kel Jatisari
			Kel Tugurejo
			Kel Podorejo
			Kel Sronool Kulon
			Kel Sambiroto
			Kel Purwoyoso
			Kel Nongkosawit
			Kel Sekaran
			Kel Pedalangan
			Kel Sronool Wetan
			Kel Gedawang
4	2021	1.000 buah	Kel Mangunharjo
			Kel Wonolopo
			Kel Kedungpane
			Kel Sendang Mulyo
			Kel Purwoyoso
			Taman Kehati DLH
5	2022	1.500 buah	Kel Tinjomoyo
			Kel Pongangan
			Kel Mijen
			Kel Ngaliyan
			Kel Sendang Mulyo
			Kel Candi
			Kel Sampangan
			Kel Manyaran

No	Tahun Pembuatan	Jumlah LRB	Lokasi
6	2023	2.000 buah	Kel Bulustalan
			Kel Pekunden
			Kel Rejosari
			Kel Plombokan
			Kel Gemah
			Kel Sambirejo
			Kel Bangetayu Wetan
			Kel Tugurejo
			Kel Mangkang Wetan
			Kel Tanjung Mas
			Kel Jomblang
			Kel Lamper Tengah
			Kel Mangunharjo
			Kel Pandaen Lamper
			Kel Brumbungan
			Kel Mlatiharjo
			Kel Wates
			Kel Sembungharjo
			Kel Polaman
			Kel Bendan Ngisor
			Kel Sendangguwo
			Kel Jatirejo
			Kel Patemon
			Kel Pedurungan Tengah
			Kel Tambakharjo
			Kel Pekunden
			Kel Karangturi
			Kel Tambakrejo
			Kel Mijen
			Kel Banyumanik
			Kel Tinjomoyo
			Kel Kembangarum

Sumber: DLH Kota Semarang, 2024

2.6.3 Lokasi Pembuatan LRB

Penting untuk memikirkan secara serius posisi LRB. Lubang tersebut tidak boleh digali sembarangan, meskipun diameternya relatif kecil dan kedalamannya tidak sebesar sumur resapan. LRB tidak hanya harus estetis tetapi juga aman untuk digunakan manusia dan hewan, dengan penempatan yang memungkinkan air hujan mengalir. Selain itu, LRB dapat ditempatkan di sekitar pohon atau pembatas tanaman, atau di dasar kanal untuk melepaskan air hujan.

Hal – hal yang harus diperhatikan dalam pembuatan LRB yaitu :

a. Alur Air

LRB harus ditempatkan di tempat penampungan air pada musim hujan karena seperti disebutkan sebelumnya, ini adalah lubang yang dirancang untuk menyerap air. Air biasanya menumpuk di kebun dan pekarangan, oleh karena itu jika dibangun di sana sebaiknya LRB dibuat dalam alur. Dari lokasi yang lebih tinggi ke lokasi yang lebih rendah, air akan mengalir. Desain taman atau lanskap saat ini harus dipertimbangkan saat merancang plot.

b. Tidak Membahayakan

Pertimbangan keamanan harus diperhitungkan saat memutuskan di mana akan menempatkan LRB. Disarankan untuk memasang LRB di tempat yang tidak terdapat banyak orang, anjing, atau mobil yang lewat demi alasan keamanan. Untuk mencegah orang atau hewan melewati alur tersebut, LRB harus ditempatkan di dasar parit atau alur kecil tempat air akan mengalir ke arah tersebut. Di area taman, lubang resapan biopori juga dapat dibuat di sekitar pepohonan. Karena wilayah ini tidak sibuk, maka tidak berbahaya. Apabila diperlukan penempatan LRB di tempat yang sering dilalui orang, maka mulut LRB dapat ditutup. Alat penutup pada saat diinjak harus mampu menopang beban tanpa menghalangi aliran yang masuk ke dalam LRB.

c. Tata Letak

LRB diproduksi dalam jumlah besar dan tersebar di area aman agar air dapat meresap ke dalam tanah lebih cepat dan mengumpulkan lebih banyak sampah. Tata letaknya penting untuk diperhatikan dalam memilih penempatan LRB agar memiliki tampilan yang rapi dan menarik. Karena penempatannya yang tidak rata dan banyaknya lubang yang tersebar di seluruh penjuru, jangan biarkan lubang yang ada mengurangi daya tarik visual properti secara keseluruhan. Saat membuat LRB, estetika juga harus diutamakan. Jika LRB dibangun di pekarangan rumah, maka harus dimodifikasi agar sesuai dengan desain

lansekap atau taman saat ini. Disarankan agar rencana awal desain taman dan titik lokasi LRB dikembangkan bersama.

Saluran drainase, area sekitar pepohonan, kontur taman, tepi taman dengan bagian kedap air, dan sisi pagar merupakan lokasi yang direkomendasikan untuk pembangunan LRB.

1) Di Saluran Pembuangan Air

Manusia dan hewan peliharaan lebih memilih untuk menjauh dari area di mana LRB berada di dasar saluran air, sehingga tidak menimbulkan ancaman. Bagian hilir saluran air dibendung agar tidak keluar. Untuk mencegah air menggenang di bagian hilir saluran, jika saluran miring maka harus dibuat penahan air di bagian hilir setiap lubang. Secara umum, fungsi saluran air satu-satunya adalah untuk mengarahkan dan menyalurkan aliran air. Saluran pembuangan air dapat menjadi saluran resapan air jika dibuat LRB di dasar saluran dengan jarak antar lubang 100 cm. Saat turun hujan, akan banyak volume air yang masuk kedalam LRB untuk kemudian meresap melalui terowongan kecil biopori.

2) Di Sekeliling Pohon

Tumbuhan, termasuk pohon, mengambil unsur hara dari tanah yang memiliki jumlah kelembapan yang tepat. Selain menyuplai nutrisi yang dibutuhkan pohon melalui penguraian sampah organik, LRB menciptakan biopori yang memfasilitasi peningkatan sirkulasi air, sehingga memudahkan penyerapan air oleh akar. Akar yang lebih dalam akan tumbuh dari LRB yang mencapai bawah permukaan, sehingga pohon tidak mudah tumbang. Mengumpulkan dan menambahkan ranting dan daun pohon yang tumbang ke dalam LRB juga akan lebih mudah jika ada LRB yang mengelilingi pohon. Wilayah ini area sekeliling pohon sehingga LRB yang dibuat di sekitar pepohonan juga tidak berbahaya. Dengan menambahkan sisa tanaman langsung ke LRB

setelah setiap pemeliharaan, Anda dapat mengurangi kebutuhan pupuk dan penyiraman dengan tetap menjaga kebersihan.

3) Pada Perubahan Kontur Taman

Taman dirawat dengan baik dan dirancang dengan mempertimbangkan estetika. Biasanya, alur seperti kontur membentang di tepi taman, memisahkannya dari halaman tetangga. Taman pengangkutan sering kali direncanakan untuk medan yang tidak rata. Di bawah perubahan kontur taman, LRB merupakan penempatan yang baik dari sudut pandang keamanan. Selain itu, dapat menjaga air tanaman agar tidak menggenang. Untuk memberikan kesempatan bagi curah hujan untuk menembus ke dalam tanah jika LRB dibuat, kontur taman juga berfungsi untuk memperlambat laju turunnya curah hujan. Karena ada LRB dan kandungan pupuk serta airnya cukup, tanaman di dalamnya pun akan tumbuh sehat.

4) Tepi Taman dan Samping Pagar

Banyak jenis taman sering kali direncanakan dengan batas yang berbeda, pagar biasanya menutupi taman. Pada umumnya kontur taman lebih tinggi dibandingkan kontur tempat pagar dibangun. Dengan demikian, air hujan akan keluar dari taman melalui batas taman. Kehadiran LRB di pinggir taman memungkinkan tanah menahan curah hujan lebih banyak. Selain itu, penempatan LRB di dekat bagian perimeter taman yang kedap air telah dipertimbangkan dengan cermat sehubungan dengan desain taman untuk menjaga daya tarik estetika. Pada bagian tanah yang tidak dilapisi beton dapat dibangun LRB.

5) Kondisi Tanah

Jenis dan keadaan tanah mempunyai pengaruh yang besar terhadap infiltrasi air hujan. Oleh karena itu, penting untuk terlebih dahulu memahami kondisi tanah sebelum membuat LRB. Laju penetrasi air pada seluruh tekstur tanah akan semakin cepat karena adanya kompos dan biopori yang tumbuh di LRB.

6) Menyesuaikan Tata Guna Lahan

Kapasitas penyerapan air hujan oleh tanah akan dipengaruhi oleh penggunaan lahan. Daya serap tanah rendah pada tanah yang tertutup beton tebal dengan permukaan agak padat. Kondisi di kebun atau pekarangan yang penyerapan tanahnya bisa mencapai 100%, jauh berbeda dengan kondisi tersebut. Oleh karena itu, untuk meningkatkan daya serap tanah pada masyarakat padat penduduk diperlukan penambahan LRB.

7) Di Berbagai Gaya Taman

Taman adalah versi alam yang paling kecil dalam skala manusia. Taman biasanya dibangun di properti umum, di gedung bisnis, pekarangan perumahan, dan ruang lainnya. Taman rumah hadir dalam berbagai bentuk dan desain, biasanya disesuaikan dengan gaya arsitektur rumah yang sedang dibangun. Taman hunian hadir dalam beragam desain, antara lain taman minimalis, tropis, Jepang, dan Bali. Setiap desain taman akan memiliki tata letak yang unik dengan komponen keras dan lunak. Untuk memungkinkan pemeliharaan, termasuk komponen lunak dan elemen keras, diperlukan penetrasi air melalui LRB. Mempertahankan tingkat kelembapan tanah dapat membantu menjaga daya dukung tanah tetap utuh, melindungi unsur-unsur keras dari bahaya yang disebabkan oleh keretakan atau penurunan permukaan tanah. Kesuburan tanah dan cadangan air akan tetap terjaga apabila kelembapan tanah cukup dan sampah organik terkumpul.

2.6.4 Cara Membuat dan Merawat LRB

a. Cara Membuat LRB

Ketepatan dalam pembuatan LRB berpengaruh terhadap kualitas fungsi LRB tersebut di dalam tanah. Berikut adalah proses yang biasa dilakukan untuk membuat LRB : Buat lubang silinder vertikal di dalam tanah dengan diameter 10 - 15 cm dan kedalaman 80 – 100 cm; beri jarak pada lubang sekitar 100 cm; bor biopori dapat digunakan untuk mengebor lubang; mulut lubang kemudian dapat diperkuat

dengan semen dengan lebar 2 - 3 cm dan tebal 2 cm, atau dapat juga dibuat lubang dengan diameter 25 cm dan tinggi 10 cm; lubang tersebut kemudian dapat diisi dengan sampah organik (sampah) dan ditutup dengan penutup yang berlubang agar air hujan dapat lewat; isi lubang yang menyusut dan menyusut akibat pelapukan perlu diisi kembali dengan sampah organik (serasah); selain pemeliharaan lubang resapan, kompos yang dihasilkan dapat dibuang setiap 30 hingga 60 hari; menjaga sampah organik di lubang resapan setiap saat; apabila sampah organik tidak mencukupi, masukkan ke dalam lubang permukaan LRB agar tidak terisi pasir atau kotoran. Selain itu, jika hal tersebut terjadi, sampah basah yang berpotensi menimbulkan bau dapat tercampur dengan sampah kering.

b. Merawat LRB Agar Selalu Berfungsi

LRB yang telah selesai dibuat secara berkala harus dilakukan perawatan agar fungsinya tetap optimal. Bila lubang permukaan LRB tertutup oleh tanah terlalu tebal, segera keluarkan tanah tersebut dengan bor karena dapat menghambat masuknya air hujan ke dalam LRB. Adapun langkah – langkah yang dapat dilakukan untuk merawat LRB adalah sebagai berikut:

1) Menambahkan sampah organik

LRB harus digunakan untuk menyimpan sampah organik (sampah) yang dihasilkan setiap hari dengan menambahkan sampah organik ke dalamnya agar dapat berfungsi dengan baik. Lebar dan kedalaman LRB yang dibuat menentukan berapa banyak sampah organik yang dapat ditempatkan di dalamnya. Menurut Puspita *et al.*, (2018) LRB yang dibuat dengan ukuran diameter 10 cm dan kedalaman 100 cm akan mampu menampung sampah organik sekitar 6,5 liter, adapun menurut Adidarma *et al.*, (2019) dengan ukuran LRB yang sama dapat menampung sampah organik sebesar 7,8 liter.

Setiap rumah tangga membutuhkan lebih dari 1-2 LRB untuk pembuangan sampah organik jika menghasilkan 2-3 liter sampah organik setiap harinya. Kemampuan rumah tangga untuk mengubah lebih banyak sampah organik menjadi kompos meningkat seiring dengan jumlah LRB yang dihasilkannya. Proses ini dapat diulangi setiap dua bulan setelah kompos berbahan sampah organik selesai diproduksi. Sampah tersebut kemudian dapat dikeluarkan dari LRB dan diganti dengan lebih banyak sampah organik (Adidarma *et al.*, 2019).

2) Memanen Kompos dari LRB

Kompos diproduksi ketika sampah organik (serasah) ditempatkan di LRB dan dilapukkan dengan bantuan organisme tanah yang berbeda. Sampah organik yang dapat dikomposkan memiliki perubahan warna yang lebih dalam, cepat terurai, dan berbau seperti tanah. Kompos akan berubah warna menjadi coklat tua setelah proses pelapukan selesai, dan akan berubah menjadi humus, berupa bubuk yang dapat digunakan sebagai pupuk tanaman (Jamaluddin *et al.*, 2021).

2.7 Smpah Organik

World Health Organization (WHO) mengartikan sampah sebagai segala sesuatu yang ditinggalkan, tidak diproduksi secara alami, tidak dipakai, tidak dinikmati, atau merupakan hasil aktivitas manusia (Fatma *et al.*, 2021). Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), terdapat korelasi yang jelas antara pertumbuhan penduduk dan jumlah sampah yang dihasilkan. Dengan lebih dari 250 juta orang yang tinggal di Indonesia, diperkirakan jika setiap orang menghasilkan 0,7 kilogram sampah setiap hari, maka TPA di negara ini akan terisi 175 ribu ton setiap hari, atau 64 juta ton setiap tahunnya. Dari semua sampah yang dihasilkan masyarakat Indonesia tersebut, presentasi sampah organik seperti sisa makanan, sayuran, buah-buahan, kertas dan kayu adalah 65,055. Adapun sampah anorganik yang meliputi plastik, styroform, besi dan lainnya sekitar 34,95% (Nurjazuli, 2016).

Sampah organik (Gambar 2.4.) merupakan sampah yang bersumber dari sisa makhluk hidup yang mudah terurai secara alami tanpa adanya campur tangan manusia untuk menguraikannya (Febriadi, 2019). Sampah organik termasuk ramah lingkungan dan dapat di olah kembali menjadi produk yang berguna jika pengelolaannya dilakukan dengan tepat. Namun, jika dalam pengelolaan tidak dilakukan dengan benar justru dapat menimbulkan penyakit dan bau yang tidak sedap hasil dari proses pembusukan sampah organik yang cepat.



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 5. Sampah Organik

Suatu proses pelapukan akan terjadi ketika sampah organik terkubur di dalam tanah. Menurut Handayanto (1998), humus merupakan hasil pelapukan dan disintegrasi. Dengan kemampuan menahan air yang besar, humus sangat penting untuk mencegah tanah mengering terlalu cepat pada musim kemarau. Menurut Intara dkk. (2011), keberadaan bahan organik dalam tanah meningkatkan kadar airnya. Fenomena ini mempengaruhi ketersediaan air.

Kajian yang dilakukan Tafiq dan Maulana (2015) menunjukkan bahwa sekitar 70% sampah yang dihasilkan rumah terdiri dari bahan organik. Sampah rumah tangga sering kali cepat rusak, contohnya adalah sisa bumbu masak, sisa sayuran, sisa makanan dan minuman, dan masih banyak lagi (Yuwono, 2016). Akibatnya, akan banyak sekali sampah yang menumpuk dan langsung dibuang ke TPA tanpa diolah terlebih dahulu. Adapun Sarawati dkk. (2019), sampah organik mempunyai kemampuan untuk diubah menjadi pupuk cair dan padat. Kompos merupakan salah satu pupuk padat bernilai jual yang terbuat dari sampah organik

dan bermanfaat bagi rumah tangga. Temuan penelitian menunjukkan bahwa bakteri yang tumbuh subur di lingkungan dengan air, oksigen, karbon, dan nitrogen diperlukan untuk proses penguraian (Permamasari et al., 2018).

2.8 Pengomposan

Sampah organik dapat diolah menjadi pupuk melalui proses fermentasi. Pupuk organik yang dibuat melalui proses fermentasi tersebut disebut kompos. Pembuatan kompos melalui proses konvensional membutuhkan waktu yang relatif lama sehingga dianggap kurang efektif dalam mengatasi permasalahan penumpukan sampah organik (Fatma et al., 2021). Kompos juga dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis pupuk organik yang dibuat melalui proses dekomposisi sisa-sisa bahan organik baik tumbuhan maupun hewan (Ditjenbun, 2016). Berbagai bahan organik seperti dedaunan, jerami padi, rerumputan ilalang, batang jagung, dedak padi, serta kotoran hewan yang telah mengalami dekomposisi oleh mikroorganisme pengurai dapat menjadi pupuk kompos yang dapat digunakan dalam memperbaiki karakteristik tanah.

Kompos sangat berguna dalam memperbaiki kondisi fisik tanah, sehingga kompos berperan dalam menjaga fungsi tanah supaya hara yang tersedia di dalam tanah mudah dimanfaatkan oleh tanaman. kompos selain berguna dalam memperbaiki kondisi tanah, juga mengandung berbagai mikroorganisme (bakteri dan jamur) antagonis yang bisa menekan perkembangan nematoda parasit. Beberapa contoh jamur antagonis yang bersifat nematopatogen yaitu *Arthrobotrys oligospora*, *Dactylaria brochopaga*, *Paecilomyces lilacinus* dan lain sebagainya. Jamur – jamur tersebut tergolong agen hayati yang mengendalikan nematoda, sebab jamur tersebut mampu mematikan nematoda melalui cara membentuk hifa perangkap yang menjerat serta menginfeksi *nematoda parasit* (Nasahi, 2010). Adapun bakteri patogen yang menjadi *nematopatogen* diantaranya adalah *pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp dan berbagai bakteri rizosfer yang ada di sekitar perakaran tanaman. Bakteri – bakteri *rizosfer* tersebut *biofertilizer*, *photostimulator* dan juga sebagai agen biokontrol (Khairani et al., 2019).

Mineral yang terkandung dalam kompos diperlukan agar tanaman dapat tumbuh subur. Sampah kota dan industri, serta limbah pertanian, dapat

menyediakan bahan organik untuk digunakan sebagai pupuk organik (Kurnia et al., 2001). Pupuk hijau, sekam padi, kulit kacang tanah, ampas tebu, dan belotong merupakan contoh limbah hasil pertanian, begitu pula limbah tanaman seperti jerami dan brangkas. Kotoran sapi, kerbau, ayam, bebek, dan kuda juga dapat dianggap sebagai limbah hasil pertanian dan peternakan. Kompos dapat dihasilkan dari bahan apa pun yang berasal dari sumber organik atau dari organisme hidup. Pembuatan pori-pori pada lubang resapan biopori (LRB) merupakan salah satu cara pembuatan pupuk kompos.

Salah satu cara untuk memperoleh bahan organik halus yang telah mengalami dekomposisi sempurna adalah dengan pengomposan. Secara teknis, pengomposan adalah proses menurunkan rasio C/N bahan organik agar sesuai dengan rasio tanah. Ketika kandungan nitrogen dan kandungan karbohidrat suatu bahan dibandingkan, hasilnya adalah derajat rasio C/N. Menurut Djumaeni dkk (2005, derajat rasio C/N dalam tanah berkisar antara 10 sampai 12. Tanaman dapat menyerap bahan organik asalkan rasionya sesuai dengan tanah. Mikroorganisme dapat memfasilitasi pengomposan lebih cepat ketika teknik fermentasi digunakan (Waluyo, 2020). Reaksi metabolisme yang terjadi pada mikroorganisme bisa membantu proses penyerapan hara dari tanah oleh tumbuhan yang kemudian dikonversi menjadi senyawa untuk proses pertumbuhan tanaman.



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 6. Produksi Kompos

2.9 *Eco enzyme* (EE)

Eco enzyme pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Rosukon Poompanvong, seorang pendiri Asosiasi Pertanian Organik Thailand. Poompanvong secara konsisten telah melakukan penelitian tentang *Eco enzyme* selama 30 tahun. gagasan dalam proyek penelitiannya adalah untuk mengolah enzim dari sampah organik yang biasanya dibuang ke tempat sampah sebagai pembersih organik (Prasetio *et al.*, 2021). Oleh dr. Joean Oon, seorang Naturopathi dari Malaysia, *Eco enzyme* diperkenalkan lebih luas ke masyarakat. Sampah organik yang berupa kulit buah, daging buah yang tak dimanfaatkan, dan juga potongan sayuran ditampung dalam wadah/tong kemudian dicampur dengan molase/gula merah dan air dengan takaran tertentu (Astra *et al.*, 2021).

Takaran yang dianjurkan dalam pembuatan *Eco enzyme* adalah perbandingan molase/gula merah : sampah organik : air yaitu 1 : 3 : 10 (*Eco enzyme* Nusantara, 2021). *Eco enzyme* yang berhasil dibuat menghasilkan suatu senyawa bioaktif dalam bentuk asam asetat, alkohol dan asam propionat serta enzim hidrolitik. *Enzim hidrolitik* yang terkandung dalam *Eco enzyme* mampu membunuh atau menghambat pertumbuhan berbagai bakteri patogen (Rochyani *et al.*, 2020).

Eco enzyme merupakan cairan multiguna yang dapat diaplikasikan pada berbagai kebutuhan rumah tangga, pertanian dan juga peternakan. Secara prinsip, *Eco enzyme* menjadi katalis yang berperan dalam mempercepat reaksi biokimia di alam dalam menghasilkan enzim yang berguna dengan penggunaan sampah buah ataupun sayuran. *Eco enzyme* dapat diaplikasikan sebagai cairan pembersih rumah, perawatan tubuh, juga dapat digunakan sebagai pupuk alami maupun pestisida yang ramah lingkungan (Tangapo dan Kandou, 2022).

Eco enzyme memiliki sifat alami, terbebas dari bahan kimia, mudah terurai dan bersifat lembut di tangan serta lingkungan. *Eco enzyme* mampu menguraikan dan sebagai penghancur mikroorganisme berbahaya bagi tubuh manusia. *Eco enzyme* juga berfungsi sebagai dekomposer, dan dalam aplikasinya bisa mencapai nol polusi (Tang dan Tong, 2011). *Eco enzyme* memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan dan bersifat ekonomis (Mar'ah dan Farma, 2021).

Proses pembuatan *Eco enzyme* sebenarnya hampir sama dengan proses pembuatan kompos, namun ditambahkan molase dan air sebagai media pertumbuhan dengan perbandingan 1 : 3 : 10 sehingga produk akhirnya adalah cairan yang mudah diaplikasikan yang bermanfaat bagi manusia dan lingkungan hidup. Proses pembuatan *Eco enzyme* tidak membutuhkan lahan luas untuk proses fermentasinya seperti pada pembuatan kompos. pembuatan *Eco enzyme* juga tidak membutuhkan bak komposter dengan spesifikasi tertentu. Bahkan botol/wadah lainnya yang sudah tidak dimanfaatkan bisa dijadikan sebagai tangki fermentasi (Astuti *et al.*, 2020).

Menurut Septiani *et al* (2021), cara pembuatan *eco enzyme* yang dapat dilakukan dalam skala rumah tangga adalah sebagai berikut:

- a. Pembuatan garis pada wadah/tangki yang digunakan untuk fermentasi *Eco enzyme*, merupakan penghitungan berdasarkan takaran perbandingan komposisi bahan



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 7. Tangki dan Takaran Komposisi Bahan *Eco enzyme*

- b. Proses pembuatan *Eco enzyme*, merupakan proses pemilahan bahan organik, pencacahan dan penimbangan.



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 8. Proses Pembuatan *Eco Enzyme*

- c. Penimbangan berdasarkan berat komposisi bahan yang digunakan
- d. Jumlah air yang digunakan dalam pembuatan *Eco enzym* adalah maksimal 60% dari volume wadah. Jika wadah memiliki volume sebesar 10,1 Liter, maka volume air maksimal = 6,1 Liter (air sama dengan 6 kg), gula merah = 600 gram, sisa buah/sayuran segar = 1.800 gram.
- e. Bahan-bahan pembuatan *Eco enzyme* meliputi:
 - 1 bagian gula, dapat berupa molase cair, molase kering, gula kelapa, gula aren ataupun gula lontar.
 - 3 bagian limbah potongan sayuran/buah yang terdiri dari minimal 5 jenis sayuran/buah.
 - 10 bagian air, bisa berasal dari air sumur, air hujan, air buangan AC, air galon isi ulang.
 - Semua bahan yang sudah dimasukan dalam tangki yang ditutup rapat dan kedap udara.
 - kategori sayuran dan buah-buahan, semua jenis sayuran dan buah dapat dijadikan untuk bahan *Eco enzyme*, terkecuali yang sudah dimasak (rebus, goreng, bakar dan lain sebagainya).
- f. Jika proses fermentasi berlangsung dengan baik, maka larutan fermentasi akan beraroma alkohol setelah 1 bulan, dan akan beraroma cuka atau asam segar setelah 2 bulan. Ketika muncul lapisan jamur ataupun lapisan jeli pada larutan fermentasi merupakan hal yang wajar.



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 9. Hasil Proses Fermentasi (a) Cairan Eco enzyme Hasil Fermentasi (b) Lapisan jamur/ jelly pada Eco enzyme

Pengaplikasian *Eco enzyme* pada sampah organik akan membantu proses percepatan dekomposisi sampah. Hal tersebut sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Komunitas *Eco enzyme* Nusantara Provinsi Bali yang bekerjasama dengan Magister Sains Pertanian Universitas Marwadewa dan Pemerintah Provinsi Bali (Silawati, 2021). Di Kota Semarang terdapat komunitas *Eco enzyme* Nusantara, Relawan *Eco enzyme* Indonesia, Semarang Jawa Tengah serta komunitas bank *Eco enzyme* yang aktif dalam melakukan sosialisasi ke masyarakat dan memberikan bantuan kemanusiaan terkait berbagai manfaat dari *Eco enzyme* untuk kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan hidup bersama-sama.

2.10 Effective Microorganism-4 (EM4)

Teruo Higa dari Universitas Ryukyus di Jepang adalah Professor yang menemukan EM4. Larutan EM4 ini mengandung mikroorganisme fermentasi yang dapat mempercepat fermentasi pada bahan organik. Pembuatan kompos dengan EM4 mungkin lebih efisien daripada metode konvensional (Yuniwati et al., 2012). Dalam EM4 terdapat sekitar 80

spesies mikroorganisme dari lima golongan utama bakteri: bakteri fotosintetik, bakteri pelarut fosfat, *Lactobacillus*, ragi, dan actinomycetes. Selain itu, unsur hara seperti Ca, Mg, Fe, Al, Zn, Cu, Mn, dan Na ditemukan dalam EM4 (Subali dan Ellianawati, 2010).

Menurut Andayanie (2013), EM4 dapat mempercepat proses pengomposan jerami padi dan berfungsi sebagai media tumbuh jamur merang (*Volvariella volvacea*). Selain itu, EM4 dapat meningkatkan produksi jamur tiram putih (*Pleurotus florida*).

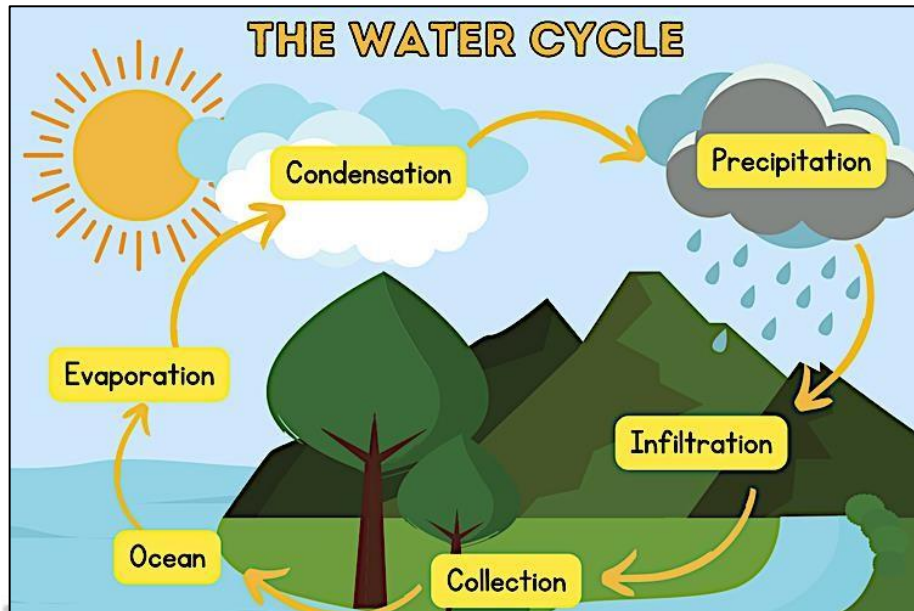
2.11 Infiltrasi Air

Pergerakan air ke dalam tanah melalui permukaan tanah disebut infiltrasi dalam hidrologi. Dua kata yang berhubungan dengan infiltrasi adalah kapasitas infiltrasi dan laju infiltrasi, keduanya dinyatakan dalam milimeter per jam. Meskipun laju infiltrasi mengacu pada kecepatan infiltrasi, yang nilainya bergantung pada kondisi tanah dan kapasitas curah hujan, kapasitas infiltrasi adalah laju infiltrasi maksimum, yang ditentukan oleh jenis tanah di mana infiltrasi terjadi. Tanah kering memiliki daya serap yang tinggi sehingga meningkatkan laju infiltrasi; jika tanah menjadi jenuh dengan air, kapasitas ini akan menurun secara bertahap. Air yang masuk ke dalam tanah melalui permukaan dan vertikal disebut infiltrasi (Arsyad, 2010).

Apabila air mencukupi maka air infiltrasi akan terus menurun dan masuk ke profil tanah. Perkolasi adalah aliran air ke bawah pada profil tanah. Siklus hidrologi dan proses pengubahan air hujan menjadi aliran sungai sangat bergantung pada proses infiltrasi (Sri Harto, 1993).

Vegetasi dapat memenuhi kebutuhan airnya melalui transpirasi, evaporasi, pengisian kembali reservoir tanah, dan aliran sungai selama musim kemarau berkat proses infiltrasi (Gambar 2.9). Infiltrasi juga mempunyai keuntungan dalam menurunkan erosi tanah dan frekuensi banjir (Seyhan, 1990).

- a. Proses masuknya air hujan melalui pori-pori permukaan tanah.
- b. Tertampungnya air hujan tersebut di dalam tanah.
- c. Proses mengalirnya air tersebut ke tempat lain (bawah, samping, dan atas).



Sumber: Peneliti, 2024

Gambar 10. . Proses Infiltrasi Air Ke Dalam Tanah

2.11.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Infiltrasi

Infiltrasi didefinisikan dengan dua istilah: laju infiltrasi, yang diukur dalam milimeter per jam, dan kapasitas infiltrasi. Laju infiltrasi terbesar ke dalam atau melalui suatu jenis tanah tertentu disebut kapasitas infiltrasinya. Triatmodjo, B. (2009) menyatakan bahwa berikut adalah beberapa unsur yang mempengaruhi laju infiltrasi:

- a. Kadar air tanah

Kemampuan infiltrasi dipengaruhi oleh tinggi muka airtanah. Permukaan atas tanah kering menjadi basah ketika air jatuh ke atasnya, sedangkan bagian bawah tanah sebagian besar tetap kering.

- b. Kompresi akibat hujan

Tetes air hujan menekan partikel tanah ketika jatuh ke tanah. Karena pemadatan ini, tanah berbutir halus seperti tanah liat memiliki pori-pori lebih kecil, sehingga menurunkan kemampuannya untuk membiarkan cahaya masuk. Efek ini minimal untuk tanah berpasir.

c. Tanaman Penutup

Banyaknya vegetasi seperti rumput atau hutan yang menutupi permukaan tanah dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air. Curah hujan tidak dapat memadamkan tanah jika digunakan tanaman penutup tanah, dan lapisan humus juga akan terbentuk yang dapat berfungsi sebagai koloni atau sarang serangga. Lapisan humus menebal dan lubang (sarang) serangga menjadi sangat keropos saat hujan. Tanah dengan tutupan tanaman mempunyai kapasitas infiltrasi yang jauh lebih tinggi dibandingkan tanah tanpa tutupan tanaman.

d. Topografi

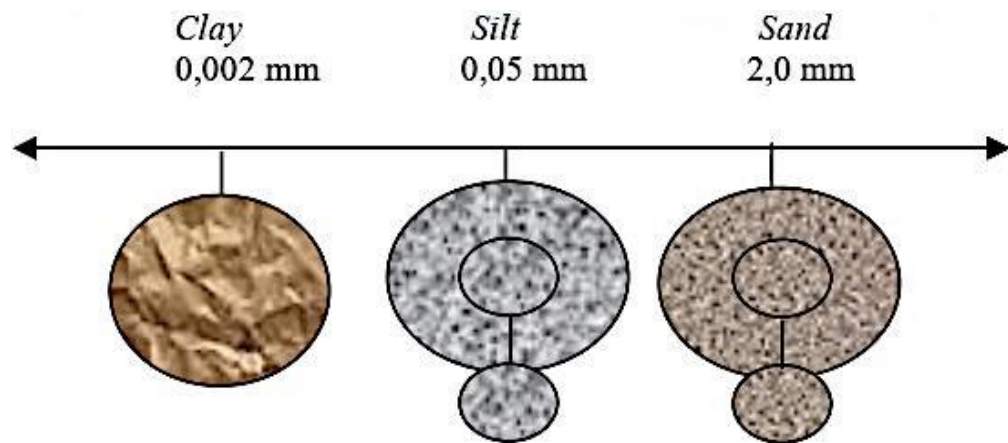
Infiltrasi juga dipengaruhi oleh faktor topografi. Kemiringan daratan yang besar memungkinkan air masuk lebih cepat karena kecepatan aliran permukaan. Mayoritas curah hujan berubah menjadi limpasan permukaan. Namun, air menggenang di permukaan tanah sehingga memiliki waktu untuk meresap.

e. Intensitas hujan

Intensitas hujan juga berpengaruh terhadap kapasitas infiltrasi. Jika intensitas hujan lebih kecil dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi aktual adalah sama dengan intensitas hujan. Apabila intensitas hujan lebih besar dari kapasitas infiltrasi, maka laju infiltrasi aktual sama dengan kapasitas infiltrasi.

2.11.2 Pengaruh Tekstur Tanah Terhadap Infiltrasi

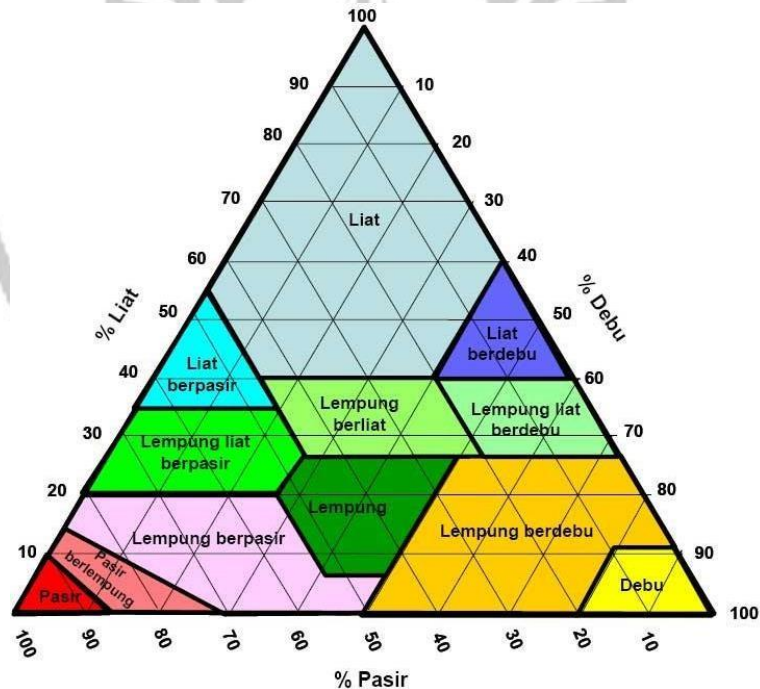
Proporsi pasir, lanau, dan tanah liat membentuk tekstur tanah. Ciri-ciri fisik tanah lainnya ditentukan oleh teksturnya (Tamara *et al*, 2020). Tekstur tanah menunjukkan apakah butirannya halus atau kasar. Lebih tepatnya, proporsi pasir, tanah liat, dan lanau di dalam tanah menentukan tekstur. Tekstur merupakan alat yang berguna untuk menentukan ukuran partikel tanah, khususnya ketika membandingkan kelompok tanah yang berbeda satu sama lain. Berbeda dengan tekstur tanah liat yang lebih banyak menyimpan air, tanah bertekstur pasir dan debu lebih rentan terhadap longsor. Titik longsor mempunyai kelas tekstur yang beragam, mulai dari halus hingga sedang. Lubang pori yang lebih kecil berisi udara dan air terjadi pada tanah dengan tekstur lebih halus atau liat (Isra *et al.*, 2019). Gambar 2.10 menunjukkan diameter ukuran partikel tanah.



Sumber: Indarto, 2010

Gambar 11. Ukuran Partikel Tanah

Menurut Indarto (2010), salah satu alat bantu yang dapat digunakan untuk mengklasifikasikan tanah berdasarkan komposisi teksturnya adalah segitiga tekstur tanah (USDA *soil triangle*). Secara mendetail diagram segitiga tekstur tanah USDA disajikan pada gambar dibawah ini:



Sumber: Indarto, 2010

Gambar 12. Diagram Segitiga Tekstur Tanah USDA

Kurnia *et al* (2006) mendefinisikan tekstur tanah sebagai perbandingan relatif fraksi lempung, pasir, dan debu, atau partikel tanah dengan diameter efektif kurang dari dua milimeter. Proporsi bahan organik tidak diperhitungkan dalam analisis tekstur. Hidrogen peroksida (H_2O_2) digunakan untuk mendegradasi senyawa organik terlebih dahulu. Metode kualitatif dan kuantitatif dapat digunakan untuk mengevaluasi tekstur tanah. Surveyor tanah sering kali menggunakan teknik kualitatif untuk mengidentifikasi kelompok tekstur tanah di lapangan. Urutan partikel menentukan klasifikasi tekstur tanah. Seperti terlihat pada Gambar 2.11, komponen tanah halus mengandung pasir (pasir 2-0,05 mm), debu (lanau 0,05-0,002 mm), dan lempung (lempung < 0,002 mm). Tekstur tanah sangat penting untuk mengantisipasi potensi infiltrasi, gerakan, dan penyimpanan air di dalam tanah. Makin halus tekstur tanah mengakibatkan kualitas tanah semakin menurun karena berkurangnya kemampuan tanah dalam menghisap air. Klasifikasi tekstur tanah menurut Budiyo (2021) disajikan pada tabel 5.

Tabel 5. Klasifikasi Tekstur Tanah

No.	Tekstur Tanah	Kriteria	Harkat
1.	Liat, Liat berdebu	Halus	5
2.	Liat berpasir, Lempung liat berdebu, Lempung berliat, Lempung berdebu, dan Lempung	Agak Halus	4
3.	Debu, Lempung berdebu, Lempung	Sedang	3
4.	Lempung berpasir	Agak kasar	2
5.	Pasir berlempung, Pasir	Kasar	1

Sumber: Budiyo, 2011

Pasir dan kerikil merupakan contoh tanah bertekstur kasar dengan kapasitas infiltrasi tinggi dan erosi minimal jika tanahnya dalam. Meskipun tanah bertekstur halus juga dapat melakukan infiltrasi dengan cukup baik, aliran permukaan akan memudahkan pergerakan butiran halus. Tetesan air hujan yang jatuh di tanah berlempung tinggi mempunyai kemampuan untuk menahan tanah dan menyumbat pori-pori lapisan atas dengan partikel lempung. Aliran permukaan dan erosi yang parah diakibatkan oleh hal ini (Harahap, 2007).

Tanah bertekstur halus mempunyai kapasitas infiltrasi yang kecil, yang berarti bahwa curah hujan yang relatif sedikit pun akan mengakibatkan limpasan permukaan (Utomo, 1989). Tanah bertekstur kasar mempunyai kapasitas infiltrasi yang besar. Hal ini terjadi karena semakin sulitnya air permukaan dari hujan atau luapan sungai meresap ke dalam tanah dan menimbulkan banjir, semakin halus tekstur tanahnya. Membandingkan tekstur tanah liat dengan kotoran yang lepas akan memperlihatkan pori-pori yang lebih besar. Oleh karena itu, adanya LRB menyerap air lebih cepat di tanah berpasir dibandingkan di tanah liat. Tabel 6 mengilustrasikan hubungan antara tekstur tanah dan laju penetrasi air.

Tabel 6. Hubungan Tekstur Tanah dengan Laju Peresapan Air Hujan

No.	Tekstur Tanah	Laju Peresapan Air
1.	Pasir berlempung	Sangat cepat
2.	Lempung	Cepat
3.	Lempung berdebu	Sedang
4.	Lempung berliat	Lambat
5.	Liat	Sangat lambat

Sumber: Arsyad, 2000

2.12 Fauna Tanah

Keanekaragaman organisme yang hidup di dalam tanah berkontribusi penting dalam menjaga keseimbangan ekosistem. Proses dekomposisi dan siklus hara yang terjadi pada tanah tidak terlepas dari kontribusi keberadaan organisme tanah, sehingga keseimbangan ekosistem dapat terjaga. Proses-proses yang terjadi tersebut berguna dalam memperbaiki serta menjaga sifat biologis, fisika dan kimiawi tanah (Sulistiyorini *et al.*, 2021). Pada ekosistem tanah terdapat komponen yang kompleks dan saling berkaitan antara satu dengan yang lainnya, yaitu komponen biotik dan abiotik. Komponen abiotik bisa berupa kelembaban, temperatur, intensitas cahaya matahari, unsur-unsur hara, bahan organik dan juga anorganik. Adapun komponen biotik terdiri atas fauna tanah, berupa organisme di dalam tanah yang memiliki kontribusi dalam berbagai proses tanah. Proses-proses tersebut meliputi degradasi material organik, aliran unsur hara, mengendalikan populasi organisme patogen, membenahi sifat tanah serta pencampuran bahan organik tanah (Samudra *et al.*, 2013).

Fauna tanah adalah bagian penting di pada suatu ekosistem di dalam tanah. Berbagai peran fauna tanah anantara lain memperbaiki kesuburan tanah melalui penghancuran fisik, pemecahan bahan organik menjadi humus, melakukan penggabungan bahan yang membusuk pada lapisan atas tanah. Selain itu juga melakukan pembentukan kemantapan agregat antara bahan organik dan bahan mineral tanah. Fauna tanah juga berkontribusi pada aliran karbon, meredistribusi unsur hara, siklus unsur hara serta membantu pembentukan struktur tanah (Sulistyorini *et al.*, 2021).

Meningkatnya kesuburan tanah akan diakibatkan oleh aktivitas kehidupan beberapa organisme tanah. Menurut beberapa penelitian, organisme tanah memainkan peran penting dalam membangun kesuburan tanah. Dengan meningkatkan sifat fisik tanah, struktur, tekstur, dan konsistensinya, aliran dan penyimpanan air, sirkulasi udara, dan pergerakannya dapat diketahui bahwa tanah berperan dalam menentukan kesuburan tanah. Terdapat tiga potensi perubahan sifat kimia tanah: 1) jumlah unsur hara yang dapat diakses; 2) kemampuan menukarkan; dan 3) jumlah bahan organik dan keasaman tanah. Aktivitas fauna tanah mengubah sifat-sifat tanah, berdampak pada tiga proses utama: 1) produksi humus dan mineral dari bahan organik, 2) pencampuran atau pengadukan tanah, dan 3) perkembangan pori-pori (Ma'shum *et al.*, 2003).

Laju perubahan struktur tanah yang padat dan besar menjadi rapuh dipercepat oleh hewan-hewan tanah yang bertindak sebagai pencampur tanah. Partikel tanah halus bergerak dari atas ke bawah atau sebaliknya sebagai akibat dari proses bioturbasi. Tempat-tempat yang dilalui hewan darat telah menciptakan terowongan atau saluran yang meningkatkan laju penetrasi air dan sirkulasi udara. Berdasarkan fungsinya sebagai pengatur kualitas tanah, baik hewan tanah maupun mikroba di dalamnya sangat penting untuk pengembangan lingkungan yang mendukung pertumbuhan tanaman dan bakteri. Penguraian bahan organik atau komponen masukan dipercepat oleh kehadiran makhluk hidup di tanah. Hewan dapat dengan aman memakan bahan organik segar. Bahan organik terurai sebagai hasil pencernaan hewan, dan sebagian dari produk penguraian dikeluarkan (hasil yang dihasilkan) ke dalam tanah. Jenis hewan, jumlah makanan, dan komposisi

tanah semuanya berdampak pada komposisi kimia kotoran hewan, yang biasanya sangat bervariasi. Dibandingkan dengan bakteri dan spesies hewan lain yang telah menjadi subjek penelitian ekstensif dan serius selama beberapa dekade terakhir, belum banyak penelitian mengenai peran atau fungsi hewan sebagai pengatur kesuburan tanah (Ma'shum *et al.*, 2003).

Fauna tanah memiliki peran yang beragam di dalam habitat kehidupannya. Pada ekosistem binaan, keberadaannya bisa menguntungkan (positif) dan juga merugikan (negatif) terhadap sistem budidaya (Sari *et al.*, 2017). Berdasarkan ukuran tubuhnya, fauna tanah diklasifikasikan atas mikrofauna, mesofauna dan makrofauna. Tergolong kelompok mikrofauna adalah fauna tanah dengan ukuran 20 mikron sampai 200 mikron, mesofauna berukuran 200 mikron sampai 1 cm, dan makrofauna berukuran lebih dari 1 cm (Suin, 2012).

