

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Hidrologi

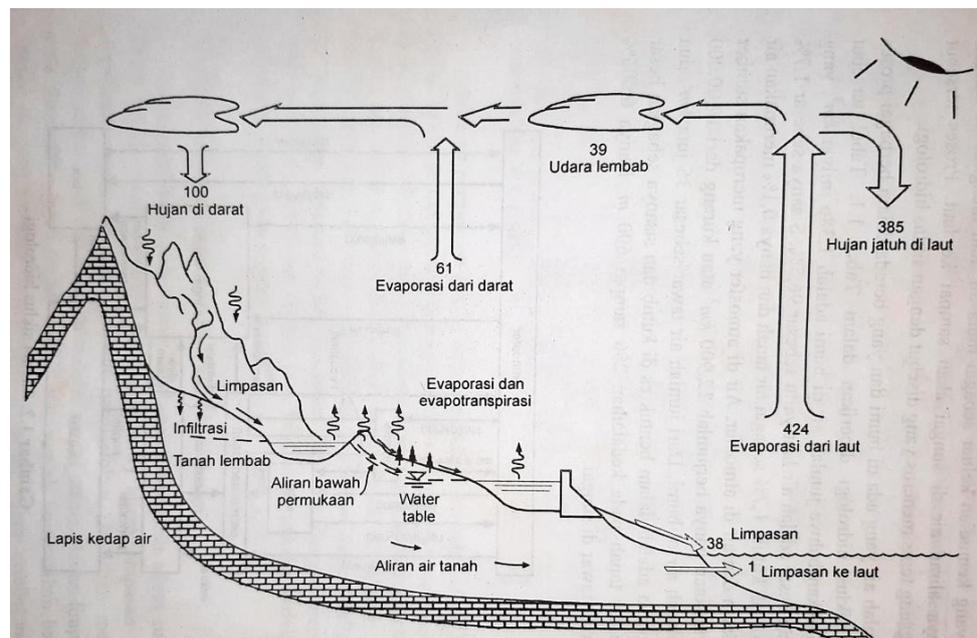
Menurut Asdak (1995) hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam segala bentuk (cair, gas, padat) yang ada di atas dan di bawah permukaan bumi. Menurut Singh (1992) hidrologi diartikan sebagai ilmu yang mempelajari tentang kuantitas dan kualitas air di bumi menurut waktu dan ruang, termasuk proses, pergerakan, distribusi, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan, dan manajemennya. Menurut Marta dan Adidarma (1983) hidrologi mempelajari tentang proses terjadinya air, pergerakan dan penyebarannya, sifat kimia dan fisika, serta reaksinya terhadap lingkungan dan hubungannya dengan kehidupan.

Berdasarkan beberapa konsep di atas, hidrologi menjadi sebuah ilmu dengan cakupan yang begitu luas, meliputi: asal mula dan proses terjadinya air, pergerakan dan distribusinya, sifat-sifat yang dimiliki, juga kertekaitannya dengan lingkungan dan kehidupan manusia.

3.2 Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi menurut Triatmodjo (2008) merupakan proses kontinyu (berkelanjutan) bergerakanya air di bumi ke atmosfer kemudian kembali lagi ke bumi. Air yang ada di permukaan tanah dan di laut menguap ke udara. Uap air akan bergerak naik ke atmosfer, dan kemudian mengalami kondensasi dan berubah menjadi titik-titik air yang berbentuk awan. Jika keadaan memungkinkan, titik-titik air akan jatuh ke permukaan laut dan daratan. Hujan

yang jatuh sebagian tertahan oleh vegetasi (intersepsi) dan selebihnya akan jatuh ke permukaan tanah. Hujan yang jatuh ke permukaan tanah akan terbagi menjadi dua, sebagian akan meresap ke dalam tanah (terinfiltrasi) dan sebagian lainnya menjadi aliran permukaan (limpasan permukaan) dan mengisi cekungan tanah, danau, atau waduk, dan mengalir ke sungai dan akhirnya kembali ke laut. Air yang meresap ke dalam tanah akan mengalir di dalam tanah (perkolasi) mengisi air tanah yang dapat keluar sebagai mata air atau mengalir ke sungai. Kemudian air sungai akan mengalir kembali ke laut. Proses ini terjadi secara terus menerus tanpa terputus. Gambar 3.1 menunjukkan siklus hidrologi yang kontinyu atau terus menerus tanpa terputus.



Gambar 3.1 Siklus Hidrologi

Air yang meresap ke dalam tanah akan tertahan oleh gaya kapiler yang kemudian akan membentuk kelembapan tanah. Ketika tanah sudah jenuh, maka

air hujan yang baru saja turun akan mengalir secara horizontal untuk kemudian di tempat tertentu keluar lagi ke permukaan tanah (*subsurface flow*) dan kemudian mengalir ke sungai. Air hujan yang tidak terserap ke dalam tanah akan tertampung sementara di cekungan-cekungan permukaan tanah (*surface detention*) untuk kemudian mengalir di atas permukaan tanah dan menuju ke tempat yang lebih rendah (*runoff*), untuk kemudian mengalir ke sungai. Air hujan yang turun dan masuk ke dalam tanah juga dapat bergerak secara vertikal ke lapisan tanah yang lebih dalam dan menjadi bagian dari air tanah (*groundwater*).

3.3 Drainase

Drainase berasal dari kata '*to drain*' yang berarti mengeringkan atau mengalirkan. Terminologi ini digunakan untuk menyatakan sistem yang bersangkutan dengan penanganan masalah kelebihan air. Drainase menjadi sebuah pengetahuan yang mempelajari usaha untuk mengalirkan air yang berlebih di suatu kawasan. Adapun jenis-jenis drainase sendiri dibedakan berdasarkan (Hasmar, 2012):

1. Menurut sejarah terbentuknya
 - a. Drainase alamiah (*natural drainage*)

Drainase yang terbentuk secara alami, tidak memiliki bangunan penunjang. Saluran terbentuk akibat dari gerusan air yang bergerak karena gravitasi, yang lambat laun membentuk jalan air permanen, seperti sungai.
 - b. Drainase buatan (*artificial drainage*)

Drainase ini dibuat untuk maksud dan tujuan tertentu dan memerlukan bangunan-bangunan khusus.

2. Menurut letak bangunannya

a. Drainase permukaan tanah (*surface drainage*)

Saluran drainase yang berada di atas permukaan tanah dan berfungsi untuk mengalirkan air limpasan permukaan.

b. Drainase bawah permukaan (*subsurface drainage*)

Saluran drainase jenis ini bertujuan untuk mengalirkan limpasan melalui media yang ada di bawah permukaan tanah (pipa).

3. Menurut fungsi

a. *Single purpose*

Jenis saluran ini berfungsi untuk mengalirkan hanya satu jenis buangan, misalnya air hujan saja atau limbah rumah tangga.

b. *Multi-purpose*

Saluran ini berfungsi untuk mengalirkan lebih dari satu jenis air buangan, secara bercampur ataupun bergantian.

4. Menurut konstruksi

a. Saluran terbuka

Sistem saluran yang permukaannya airnya terpengaruh dengan udara luar (atmosfer). Letaknya cocok untuk daerah yang memiliki luasan cukup. Biasanya untuk drainase air hujan atau air buangan yang tidak mengganggu lingkungan maupun kesehatan.

b. Saluran tertutup

Jenis saluran ini umumnya sering digunakan untuk aliran air kotor/limbah atau untuk saluran yang letaknya di tengah kota.

3.4 Limpasan Permukaan (*Surface Runoff*)

Limpasan permukaan (*surface runoff*) merupakan air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah dalam bentuk lapisan tipis, yang kemudian akan masuk ke selokan dan akhirnya akan mengalir ke sungai (Triatmodjo, 2008). Limpasan permukaan adalah bagian dari curah hujan yang mengalir (melimpas) di atas permukaan tanah menuju sungai, danau, dan lautan. Limpasan berlangsung ketika jumlah curah hujan yang turun telah melampaui kapasitas infiltrasi tanah. Air hujan turun ke permukaan tanah kemudian meresap ke dalam tanah. Ketika tanah sudah jenuh dan tidak mampu lagi menyerap air, maka air tersebut akan keluar ke permukaan tanah dan mengalir ke daerah yang lebih rendah. Sebelum air dapat mengalir di permukaan tanah dengan bebas, curah hujan terlebih dahulu memenuhi kebutuhan air untuk evaporasi, intersepsi, infiltrasi, dan cekungan-cekungan tanah. Jumlah curah air yang menjadi limpasan sangat bergantung pada jumlah air hujan per satuan waktu (intensitas), keadaan tutupan lahan, topografi (terutama kemiringan lereng), dan kadar air tanah sebelum terjadinya hujan.

Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan permukaan dapat dikelompokkan menjadi dua, yakni faktor meteorologi dan faktor karakteristik daerah tangkapan. Faktor-faktor tersebut meliputi (Suripin, 2004):

1. Faktor meteorologi berkaitan dengan karakteristik hujan, meliputi intensitas hujan, durasi hujan, dan distribusi curah hujan.

2. Faktor karakteristik daerah tangkapan berkaitan dengan luas daerah tangkapan, topografi, dan tata guna lahan di daerah tangkapan tersebut.

3.5 Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi digunakan untuk memperoleh besar intensitas curah hujan, sebagai dasar perhitungan debit rencana di suatu daerah untuk perencanaan sistem drainase. Analisis ini selanjutnya digunakan untuk menentukan ukuran, karakter, sifat, dan besaran hidroliknya. Dengan mengetahui komponen-komponen tersebut, diharapkan dapat menghasilkan rancangan yang baik dalam hal struktural maupun fungsional untuk jangka waktu yang telah ditentukan. Dalam analisis hidrologi, hal yang perlu dilakukan meliputi:

1. Pengumpulan data hidrologi, yakni curah hujan
2. Analisis frekuensi hujan
3. Analisis intensitas dan waktu hujan

3.6 Curah Hujan

Hujan adalah hasil kondensasi dari uap air di atmosfer yang jatuh ke bumi. Bentuk dan jumlah yang turun ke permukaan bumi dipengaruhi oleh kelembapan udara yang memacu jumlah titik air yang ada di udara. Perhitungan hujan adalah salah satu komponen penting dalam analisis hidrologi, yang biasanya digunakan untuk perancangan bangunan-bangunan air, seperti bendungan, drainase, dan irigasi.

Curah hujan adalah jumlah air yang jatuh ke permukaan datar pada periode waktu tertentu. Curah hujan diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas

permukaan datar/horizontal, dengan asumsi tidak terjadi peresapan, penguapan, dan tidak mengalir. Curah hujan dalam tinggi satu milimeter memiliki arti bahwa pada luasan satu meter persegi daerah yang datar air yang tertampung setinggi satu milimeter.

3.7 Infiltrasi

Infiltrasi adalah aliran air ke dalam tanah melalui permukaan tanah itu sendiri. Air masuk melalui pori-pori yang ada di tanah. Air mengalir secara lateral di dalam tanah menuju ke mata air, danau, ataupun sungai. Selain mengalir secara lateral, aliran air di dalam tanah juga mengalir secara vertikal atau yang sering disebut perkolasi menuju ke air tanah. Gerak air secara vertikal ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan gaya kapiler. Gaya gravitasi membuat aliran selalu menuju ke tempat dengan elevasi yang lebih rendah, sedangkan gaya kapiler menyebabkan air bergerak ke segala arah.

3.8 EPA-SWMM 5.1

EPA-SWMM 5.1 adalah model simulasi curah hujan-aliran (*rainfall-runoff*) dinamik yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama di daerah urban (perkotaan). Elemen limpasan SWMM beroperasi pada kumpulan daerah tangkapan yang menerima curah hujan dan menghasilkan limpasan dan beban polutan.

SWMM memiliki kemampuan untuk menghitung baik dalam aspek hidrologi maupun hidrolika dari suatu sistem drainase. *Software* ini mampu menghitung berbagai proses hidrologi untuk menghasilkan limpasan dari daerah perkotaan yang mencakup:

- Hujan dengan variasi fungsi waktu (*hyetograph*)
- Evaporasi
- Akumulasi salju dan pencairannya
- Intersepsi hujan dari tampungan cekungan
- Infiltrasi dari lapisan tanah yang tidak jenuh
- Perkolasi dalam lapisan air tanah
- Aliran nonlinear dari air tanah dan sistem drainase
- Penelusuran tampungan untuk aliran permukaan
- Intersepsi dan retensi hujan/limpasan dengan berbagai praktik LID

SWMM juga dapat menghitung proses hidrolika untuk menelusuri limpasan dan aliran masuk lainnya melalui jaringan sistem drainase. Kemampuan ini mencakup:

- Dapat mensimulasikan jaringan dengan tidak terbatas
- Dapat mensimulasikan bentuk penampang saluran yang beragam termasuk sungai yang merupakan saluran alami
- Dapat memodelkan berbagai komponen sistem seperti bak penampung, pompa, dan bendung
- Metode penelusuran aliran tersedia untuk aliran mantap, gelombang kinematik, dan dinamik.

SWMM menggunakan konsep neraca air dalam pemodelannya. SWMM memperlakukan daerah tangkapan (*subcatchment*) sebagai reservoir (penampung). Aliran masuk ke setiap daerah tangkapan berasal dari presipitasi.

Aliran keluar antara lain adalah hasil dari infiltrasi, evaporasi dan limpasan permukaan. Limpasan permukaan terjadi apabila air di reservoir telah melebihi kapasitas. Hal ini yang menyebabkan tata guna lahan atau *%imperv* pada pemodelan dengan SWMM sangat dibutuhkan karena nilai tersebut menjelaskan seberapa besar presipitasi yang dapat diterima oleh daerah tangkapan.

3.9 Low Impact Development (LID)

LID adalah praktik lansekap yang dirancang untuk menangkap, menampung, dan menahan air hujan yang dihasilkan oleh permukaan kedap air, yang jika tidak maka akan mengalir di dari lokasi. LID menggunakan modifikasi pada permukaan dan lanskap yang berdekatan atau terletak di daerah kedap air. SWMM secara spesifik dapat memodelkan beberapa tipe praktik LID, meliputi:

1. *Bio-retention cell* (sel bioretensi): merupakan cekungan yang di atasnya ditanami vegetasi yang tumbuh di atas campuran tanah rekayasa yang ditempatkan di atas penyimpanan kerikil. Bioretensi menyediakan penyimpanan, infiltrasi, dan penguapan untuk curah hujan yang ditangkap dari daerah sekitar bioretensi.
2. *Rain garden* (taman hujan): salah satu tipe sel bioretensi, namun tidak menggunakan penyimpanan kerikil di bawahnya.
3. *Green roof* (atap hijau): jenis lain dari sel bioretensi, vegetasi ditanam di atas lapisan tanah yang dihampar di atas tikar drainase sintetis atau agregat kasar yang menyalurkan kelebihan air yang mengalir melalui lapisan tanah dari atap.

4. *Infiltration trench* (parit infiltrasi): parit sempit yang diisi kerikil yang menahan limpasan dari daerah kedap air. Parit ini menyediakan tampungan dan waktu tambahan untuk limpasan yang ditangkap untuk kemudian menyusupkannya ke dalam tanah.
5. *Continuous permeable pavement*: jalan atau area parkir yang diaspal dengan campuran beton atau aspal yang berpori yang di bawahnya terdapat lapisan kerikil sebagai penyimpanan. Curah hujan yang jatuh ke permukaannya akan menyusup ke lapisan penyimpanan kemudian menyusup ke tanah asli.
6. *Block pavers system* (sistem paving block): terdiri dari paving blok kedap air yang ditempatkan di atas hamparan pasir dengan lapisan agregat di bawahnya. Curah hujan akan ditangkap dan disusupkan melalui celah antara tiap paving blok, kemudian dibawa ke penyimpanan di mana kemudian akan disusupkan ke tanah asli.
7. *Rain barrel*: tampungan untuk mengumpulkan air hujan dari atap. Mengumpulkan air hujan dari atap di dalam rain barrel membantu mengurangi curah hujan yang mengalir di permukaan. Air yang ditampung kemudian dapat digunakan kembali untuk keperluan sehari-hari (kecuali untuk konsumsi).
8. *Vegetative swale* (sengkedan vegetatif): daerah cekungan dengan sisi-sisinya ditumbuhi vegetasi, dengan tujuan untuk memperlambat pengangkutan limpasan dan memungkinkan lebih banyak waktu untuk limpasan dapat menyusup ke dalam tanah asli.

3.10 Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan

Perkotaan adalah pusat dari banyak kegiatan manusia, mulai dari pusat perdagangan, permukiman, hingga pemerintahan. Sistem drainase yang ada di kawasan perkotaan tidak hanya menerima air hujan, tetapi juga air limbah yang merupakan hasil dari kegiatan yang ada di kawasan tersebut. Kemungkinan terkontaminasinya air hujan menjadi sangat tinggi. Sumber kontaminasi bisa melalui asap, debu, maupun uap.

Kompleksitas kegiatan yang makin tinggi di kawasan perkotaan tentu saja akan menyebabkan kebutuhan akan lahan juga semakin meningkat. Hal ini menyebabkan perubahan fisik, yaitu banyak kawasan terbuka (daerah resapan) menjadi kawasan terbangun (daerah kedap air). Hal ini akan menambah beban kawasan perkotaan, tidak terkecuali sistem drainasinya. Salah satu dampak dari perubahan ini adalah meningkatnya limpasan permukaan seiring dengan menurunnya air yang diresapkan ke dalam tanah. Akibat lain yang perlu dihadapi selain masalah limpasan permukaan adalah timpangnya distribusi air antara musim penghujan dan musim kemarau. Di mana ketika musim penghujan, banyak terjadi genangan hingga banjir, namun ketika musim kemarau tiba, banyak terjadi kekurangan air.

Perkembangan suatu kawasan perkotaan harus diikuti dengan evaluasi sistem drainasinya secara menyeluruh. Tidak hanya di kawasan pengembangan, namun juga kawasan sekitarnya yang terpengaruh. Sistem drainase harus terintegrasi antara satu kawasan dengan kawasan yang lain. Konsep drainase yang dulu dipakai di Indonesia adalah untuk mengeringkan daerah yang

kelebihan air sesegera mungkin ke badan air terdekat, tanpa melihat kondisi sumber daya air dan lingkungan di sekitarnya. Seiring dengan berkembangnya pola pikir dan juga antisipasi terhadap perubahan iklim, maka konsep dasar dari drainase berkelanjutan ini terfokus pada meningkatkan daya guna air, meminimalkan kerugian, dan memperbaiki serta konservasi lingkungan dan air tanah.

