

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Ekosistem Perairan

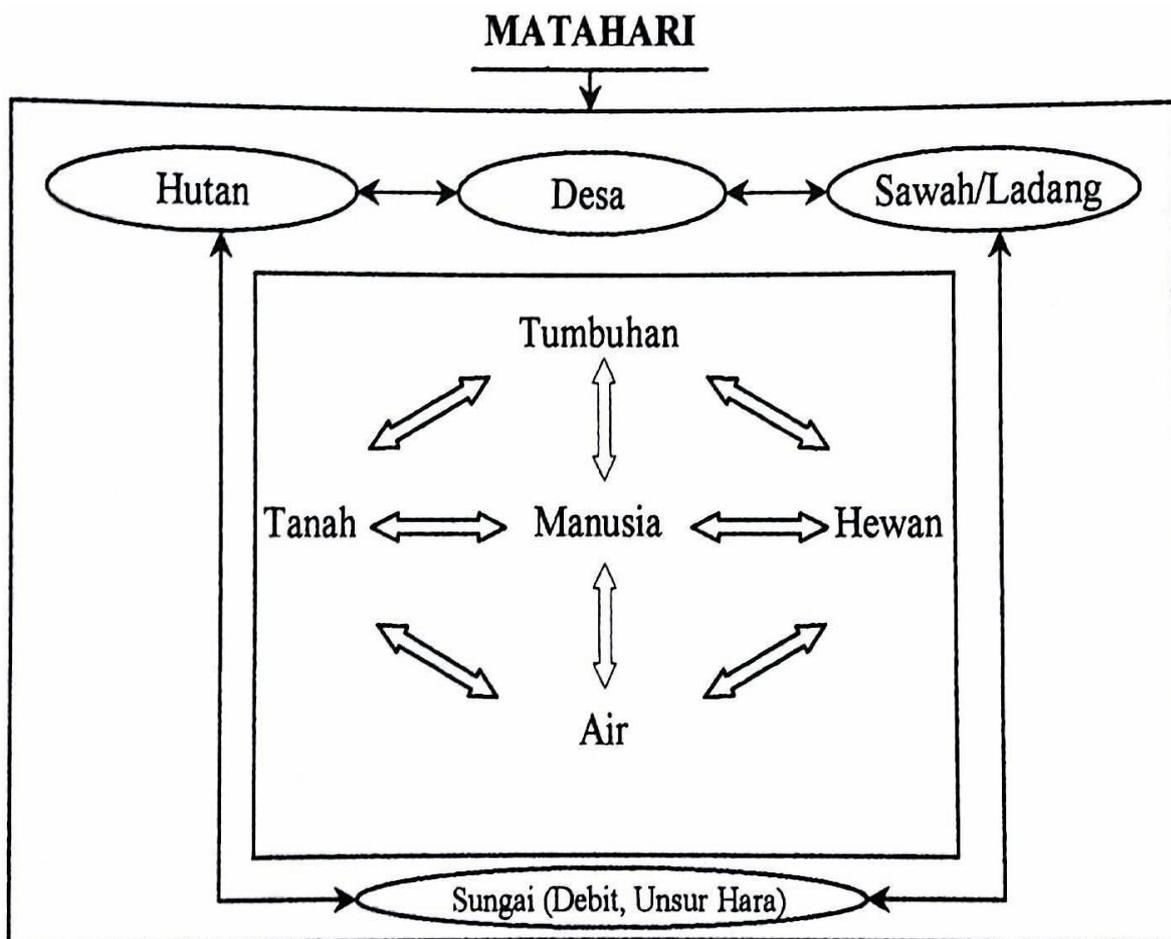
Air menutupi sekitar 70% permukaan bumi, dengan jumlah sekitar 1.368 juta km³. Air terdapat dalam berbagai bentuk, misalnya uap air, es, cairan dan salju. Air tawar terutama terdapat di sungai, danau, air tanah, dan gunung es. Semua badan air di daratan dihubungkan dengan laut dan atmosfer melalui siklus hidrologi yang berlangsung secara kontinyu (Effendi, 2017).

Air tawar berasal dari dua sumber, yaitu air permukaan (surface water) dan air tanah (ground water). Air permukaan adalah air yang berada di sungai, waduk, danau, rawa dan badan air lainnya yang tidak mengalami infiltrasi ke bawah tanah. Areal tanah yang mengalirkan air ke suatu badan air disebut watersheds atau drainage basin. Air yang mengalir dari daratan menuju suatu badan air disebut limpasan permukaan (surface run off), dan air yang mengalir di sungai menuju laut disebut aliran air sungai. Sekitar 69% air yang masuk ke sungai berasal dari hujan, pencairan es atau salju, dan sisanya berasal dari air tanah.

Ekosistem perairan tawar sendiri dapat dibedakan menjadi dua yaitu ekosistem perairan tawar tertutup dan ekosistem perairan tawar terbuka. Ekosistem perairan tawar tertutup adalah ekosistem yang dapat dilindungi terhadap pengaruh dari luar, sedangkan ekosistem perairan tawar terbuka adalah ekosistem perairan yang tidak atau sulit dilindungi terhadap pengaruh dari luar. Ekosistem perairan tawar terbuka dibedakan menjadi dua yaitu ekosistem perairan tawar yang mengalir dan ekosistem perairan tawar yang menggenang. Contoh dari perairan menggenang atau tidak mengalir (lentic waters) yaitu danau, waduk dan rawa. Perairan ini memiliki aliran air yang terus mengalir pada tiap waktunya akan tetapi aliran – aliran tersebut tidak memiliki peranan yang terlalu penting, hal ini dikarenakan aliran pada jenis perairan ini tidaklah besar dan tidak terlalu mempengaruhi kehidupan jasad–jasad yang ada di dalamnya. Sedangkan yang memegang peranan sangat penting dan berpengaruh besar terhadap kondisi jasad–jasad hidup yang ada di dalamnya adalah terbaginya jenis-jenis perairan tersebut menjadi beberapa lapisan yaitu dari atas ke bawah (stratifikasi) yang berbeda–beda karakteristiknya apabila airnya berhenti. Perairan mengalir (lotic waters) adalah mata air dan sungai. Aliran air pada perairan ini biasanya terjadi karena perbedaan ketinggian antara tempat yang daerahnya yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah.

2.1.1. Ekosistem DAS

Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dianggap sebagai suatu ekosistem, karena ekosistem adalah suatu sistem ekologi yang terdiri atas komponen-komponen yang saling berintegrasi sehingga membentuk suatu kesatuan. Ekosistem terdiri atas komponen biotis dan abiotis yang saling berinteraksi membentuk suatu kesatuan teratur. Aktivitas suatu komponen ekosistem selalu memberi pengaruh pada komponen ekosistem yang lain. Manusia adalah salah satu komponen penting. Sebagai komponen yang dinamis, manusia dalam menjalankan aktivitasnya seringkali mengakibatkan dampak pada salah satu komponen lingkungan, dan dengan demikian akan mempengaruhi ekosistem secara keseluruhan. Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa adanya hubungan timbal balik antar komponen ekosistem DAS, maka apabila terjadi perubahan pada salah satu komponen lingkungan, ia akan mempengaruhi komponen-komponen yang lain. Perubahan komponen-komponen tersebut akan mempengaruhi keutuhan sistem ekologi di daerah tersebut (Asdak, 2002).



Gambar 2.1. Komponen-komponen ekosistem DAS
Sumber: Asdak (2002,p.5)

Ekosistem DAS hulu merupakan bagian yang penting karena mempunyai fungsi perlindungan terhadap seluruh bagian DAS. Perlindungan ini antara lain dari segi fungsi tata

air, sehingga DAS hulu seharusnya menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS mengingat bahwa dalam suatu DAS, daerah hulu dan hilir mempunyai keterkaitan biofisik melalui daur hidrologi. Proses yang berlangsung dalam suatu ekosistem DAS, dengan input curah hujan dan output berupa debit aliran dan/atau muatan sedimen. Curah hujan, jenis tanah kemiringan lereng, vegetasi, dan aktivitas manusia mempunyai peranan penting untuk berlangsungnya proses sedimentasi.

Waduk merupakan salah satu perairan umum yang merupakan perairan buatan (artificial water-bodies), dibuat dengan cara membendung badan sungai tertentu (Wiadnya, et al., 1993). Pembuatan waduk pada umumnya bertujuan untuk sumber air minum, PLTA, pengendali banjir, pengembangan perikanan darat, irigasi dan pariwisata. Waduk demikian disebut dengan waduk serbaguna (Ewusie, 1990). Ekosistem perairan waduk terdiri dari komponen biotik, seperti ikan, plankton, macrophyta, benthos dan sebagainya yang berhubungan timbal balik dengan komponen abiotik seperti tanah, air dan sebagainya.

2.1.2. Waduk

Waduk merupakan perairan air tawar yang dibuat manusia dengan cara membendung sungai tertentu dengan berbagai tujuan seperti irigasi sawah, pengendali banjir, pembangkit listrik, kegiatan perikanan baik perikanan tangkap maupun perikanan budidaya seperti adanya keramba dan bahkan untuk kegiatan pariwisata (Apridayanti, 2008).

Waduk yang dibangun di dataran tinggi umumnya berdasar dan bertebing curam sehingga metode hampang sulit diterapkan. Di perairan dalam dapat diterapkan metode sangkar dan keramba jaring apung. Teluk-teluk yang ada di waduk dataran tinggi merupakan lokasi yang ideal karna terlindung dari tiupan angin dan gelombang. Waduk dataran tinggi umumnya terbentuk badan air yang dalam dan sempit. Badan air yang dalam dan sempit akan menimbulkan pelapisan air sebagai akibat tidak terjadi pengadukan yang biasa dilakukan oleh angin. Terjadinya pelapisan air akan menyebabkan penghambatan pada distribusi bahan organik dan gas secara vertikal. Bahan organik tertumpuk di dasar perairan dan terjadi proses pembusukan. Dengan demikian, kandungan oksigen di dasar waduk rendah, tetapi kandungan amonia dan gas-gas lain yang beracun cukup tinggi (Ghufran M, 2007). Suhu udara di dataran tinggi relatif rendah, demikian juga suhu airnya. Curah hujan relatif tinggi, sebaliknya apabila intensitas sinar matahari rendah. Suhu air pada lapisan bawah badan air dalam waduk dataran tinggi sedikit lebih dingin dibanding dengan lapisan permukaan. Suhu air lapisan atas dipengaruhi oleh intensitas sinar matahari. Penurunan suhu udara pada malam hari, pada waktu hujan atau pada waktu sinar matahari terhalang oleh

awan, asap, debu atau pelindung lainnya, akan menurunkan suhu air permukaan. Jika proses penurunan suhu udara berlanjut sehingga suhu air permukaan sama dengan suhu air lapisan bawah maka akan terjadi proses pencampuran. Apabila penurunan suhu air permukaan terus berlanjut sehingga lebih dingin dibanding suhu air dasar maka akan terjadi proses pembalikan atau umbalan. Karena proses pembalikan maka kondisi kurang baik yang ada dalam air lapisan dasar terbawa ke permukaan dan akan membunuh organisme termasuk ikan yang dipelihara. Untuk itu sebelum dilakukan usaha pemeliharaan ikan, perlu penelitian terlebih dahulu tentang kemungkinan pelapisan air terutama di waduk dataran tinggi (Jangkaru 2005 dalam Ghufrani M, 2007)

Menurut Apridayanti (2008), berdasarkan fungsinya waduk diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu:

1. Waduk eka guna (*single purpose*)

Waduk eka guna merupakan waduk yang dioperasikan untuk memenuhi satu kebutuhan saja, sebagai contohnya untuk kebutuhan air irigasi, air baku atau PLTA. Pengoperasian waduk eka guna lebih mudah dibandingkan dengan waduk multi guna dikarenakan tidak adanya konflik kepentingan di dalam pengoperasian yang dilakukan hanya mempertimbangkan pemenuhan satu kebutuhan.

2. Waduk multiguna (*multi purpose*)

Waduk multi guna merupakan waduk yang dioperasikan untuk memenuhi berbagai kebutuhan yang lebih dari satu, misalnya waduk untuk memenuhi kebutuhan air, irigasi, air baku, PLTA. Kombinasi dari berbagai kebutuhan ini dimaksudkan untuk dapat mengoptimalkan fungsi waduk dan meningkatkan kelayakan pembangunan suatu waduk sehingga fungsinya dapat berjalan dengan baik.

2.2. Hidrologi

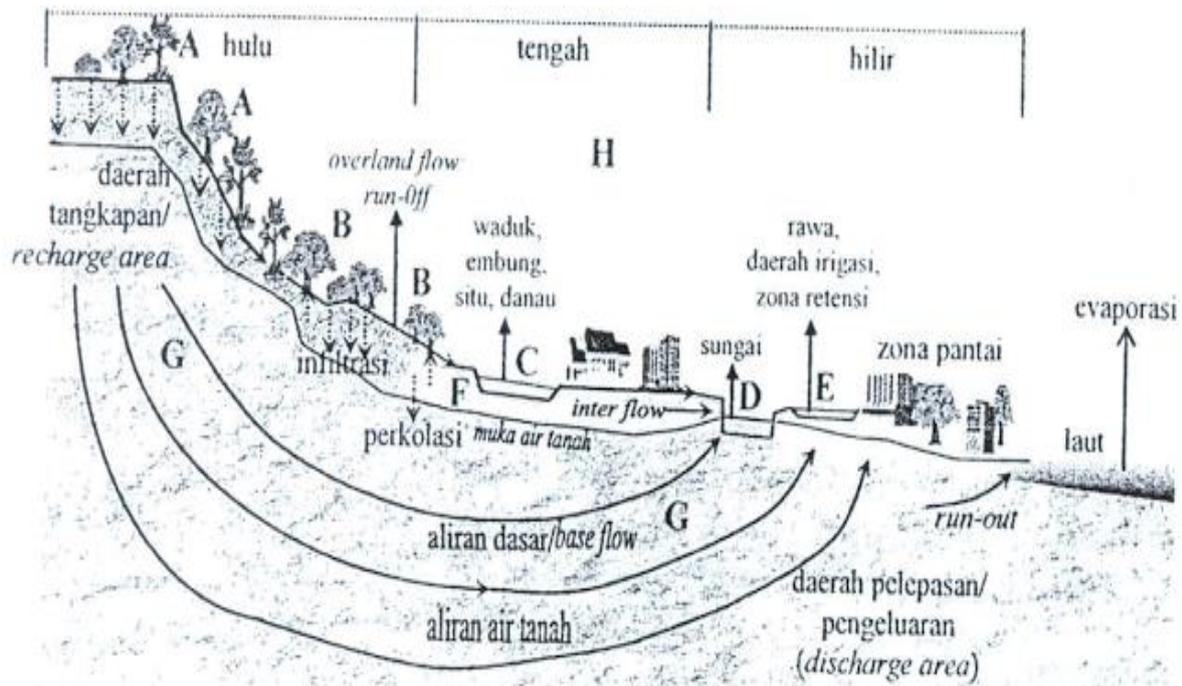
Hidrologi merupakan ilmu yang mempelajari mengenai segala bentuk (cairan, gas, dan padat) pada, dalam, dan diatas permukaan tanah. Termasuk di dalamnya adalah penyebaran, daur, dan perilakunya, sifat-sifat fisika dan kimianya, serta hubungannya dengan unsur-unsur hidup di dalam air itu sendiri. Sedangkan hidrologi Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah cabang dari ilmu hidrologi itu sendiri, yang mempelajari pengaruh pengelolaan vegetasi dan lahan di daerah tangkapan air bagian hulu (*upper catchment*) terhadap daur air, termasuk pengaruhnya terhadap erosi, kualitas air, banjir, dan iklim di daerah hulu dan hilir (Asdak, 2002).

2.2.1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi adalah pola sirkulasi air dalam ekosistem perairan. Secara alamiah berlangsungnya daur hidrologi tersebut air melakukan perjalanan dari permukaan laut ke atmosfer kemudian ke permukaan tanah dan kembali lagi ke laut dan seterusnya tidak pernah berhenti, air tersebut akan tertahan (sementara) di sungai, danau/ waduk, dan dalam tanah sehingga dapat dimanfaatkan oleh manusia dan makhluk hidup lainnya. Siklus hidrologi dapat ditunjukkan seperti terlihat pada gambar 2.1. Energi panas matahari dan faktor-faktor iklim lainnya menyebabkan terjadinya proses evaporasi pada permukaan vegetasi dan tanah, di laut atau badan-badan air lainnya. Uap air sebagai hasil proses evaporasi akan terbawa oleh angin melintasi daratan dan apabila keadaan atmosfer memungkinkan, sebagian dari uap air tersebut akan terkondensasi dan turun sebagai hujan.

Sebelum mencapai permukaan tanah air, air hujan tersebut akan tertahan oleh tajuk vegetasi. Sebagian dari air hujan tersebut akan tersimpan di permukaan daun selama proses pembasahan tajuk vegetasi, dan sebagian air akan jatuh ke permukaan tanah melalui sela-sela daun (*throughfall*) atau mengalir ke bawah melalui permukaan batang pohon (*stemflow*). Sebagian air hujan tidak akan pernah sampai di permukaan tanah, melainkan ter-evaporasi kembali ke atmosfer selama dan setelah berlangsungnya hujan (*interception loss*). Air hujan yang dapat mencapai permukaan tanah, sebagian akan masuk (terserap) ke dalam tanah (infiltrasi), dan sisanya akan tertampung sementara dalam cekungan-cekungan permukaan tanah (*surface detention*) untuk kemudian mengalir di atas permukaan tanah ke tempat yang lebih rendah (*run off*), untuk selanjutnya masuk ke sungai.

Air infiltrasi akan tertahan di dalam tanah oleh gaya kapiler yang selanjutnya akan membentuk kelembapan tanah, apabila kelembapan tanah sudah cukup jenuh maka air hujan tersebut akan bergerak secara lateral (horizontal) untuk selanjutnya pada tempat tertentu akan keluar lagi ke permukaan tanah (*subsurface flow*) dan akhirnya mengalir menuju sungai. Air hujan yang masuk ke dalam tanah tersebut dapat pula bergerak secara vertikal ke tanah yang lebih dalam dan menjadi bagian dari air tanah (*ground water*). Air tanah tersebut pada musim kemarau akan mengalir pelan-pelan ke sungai, danau, atau tempat penampungan alamiah lainnya (*baseflow*). Sebagian air infiltrasi yang tetap tinggal dalam lapisan tanah atas (*top soil*) kemudian diuapkan kembali ke atmosfer melalui permukaan tanah (*soil evaporation*) dan melalui permukaan vegetasi (*transpiration*). (Lutfian, A., 2007)



Gambar 2.2 Siklus Hidrologi

Sumber: Brooks dkk, 1991; Dunne & Leopold, 1978; Kodoatie & Sjarief, (2008,p,11)

2.3 Analisis Hidrologi

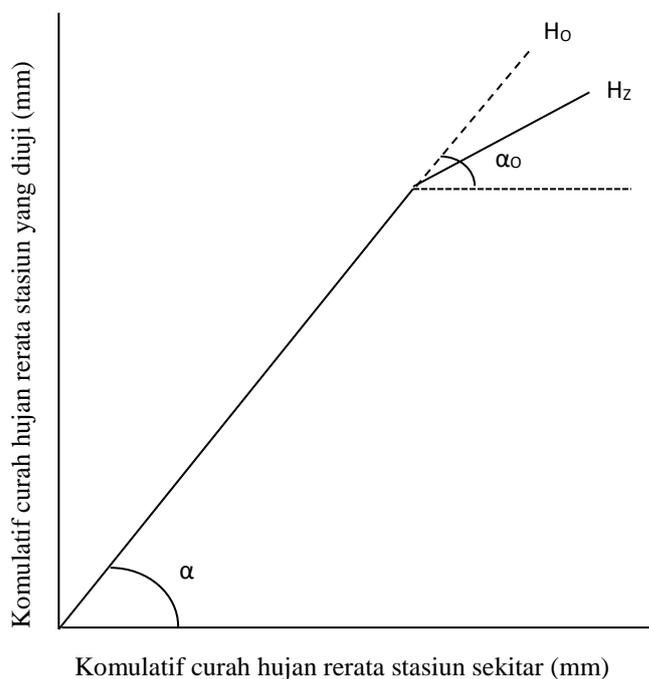
2.3.1. Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Dalam penelitian ini uji konsistensi yang akan dipakai adalah uji konsistensi lengkung massa ganda (*double mass curve*) hal ini dikarenakan jumlah stasiun hujan di DTA Waduk Lahor ada 4 stasiun hujan Data hujan yang diambil dari berbagai stasiun hujan diuji untuk mengetahui apakah data tersebut konsisten atau tidak. Data yang tidak konsisten dapat disebabkan oleh berbagai faktor antara lain:

- Perubahan mendadak pada sistem lingkungan hidrologis, antara lain adanya pembangunan gedung - gedung baru, tumbuhnya pohon - pohon, gempa bumi, gunung meletus dan lain-lain.
- Pemindahan alat pengukur hujan.
- Perubahan cara pengukuran, misalnya berhubungan dengan adanya alat baru atau metode baru.

Uji konsistensi dapat dilakukan dengan menggunakan kurva massa ganda (*double mass curve*). Dengan metode ini dapat dilakukan dengan koreksi untuk data hujan yang tidak konsisten. Langkah yang dilakukan adalah membandingkan harga akumulasi curah hujan tahunan pada stasiun yang diuji dengan akumulasi curah hujan tahunan rerata dari suatu jaringan dasar stasiun hujan yang berkesesuaian, kemudian diplotkan pada kurva. Jaringan ini dipilih dari stasiun-stasiun hujan yang berdekatan

dengan stasiun yang diuji dan memiliki kondisi meteorologi yang sama dengan stasiun yang diuji (Subarkah, 1980, p. 28).



Gambar 2.3 Lengkung massa ganda (*double mass curve*).
 Sumber: Harto (1993,p.46)

Dari gambar diatas akan diperoleh garis ABC bila tidak ada perubahan terhadap lingkungan. Tetapi bila pada tahun tertentu terjadi perubahan lingkungan maka didapat garis patah ABC'. Penyimpangan tiba – tiba dari garis semula menunjukkan adanya perubahan tiba – tiba dalam pengamatan. Jadi perubahan tersebut bukan disebabkan oleh perubahan iklim atau keadaan hidrologis yang dapat menyebabkan adanya perubahan trend. Apabila terjadi penyimpangan (ABC') maka dikoreksi dengan rumus (Nemec, 1973,p.179)

$$Tga = \frac{y}{x} = \frac{Hz}{x_0} \dots\dots\dots (2-1)$$

$$Tga_0 = \frac{y_0}{x_0} = \frac{H_0}{x_0} \dots\dots\dots (2-2)$$

$$Hz = \frac{Tga}{Tga_0} \cdot H_0 \dots\dots\dots (2-3)$$

dengan:

Hz = Data curah hujan yang telah di koreksi

H0 = Data curah hujan tahunan hasil pengamatan

Tg α = Kemiringan setelah dikoreksi

Tg α 0 = Kemiringan awal

A = sudut yang dibentuk oleh garis data hujan yang membelok dengan garis sejajar absis. Absis merupakan jumlah rata stasiun yang ada.

2.3.2. Uji Ketidak-adaan Trend

Data hujan yang nilainya menunjukkan gerakan yang berjangka panjang dan mempunyai kecenderungan menuju kesatu arah, arah menaik atau menurun disebut pola atau trend (*trend*). Umumnya meliputi gerakan yang lamanya lebih dari 10 tahun. Apabila dalam deret berkala menunjukkan adanya trend maka datanya tidak disarankan untuk digunakan dalam analisis hidrologi, misalnya analisis peluang dan simulasi. Apabila deret berkala itu menunjukkan adanya trend, maka analisis hidrologi harus mengikuti garis trend yang dihasilkan, misal analisis regresi. Ketidak-adaan trend dapat diuji dengan banyak cara. Beberapa metode statistik yang dapat digunakan untuk menguji ketidakadaan trend dalam deret berkala:

- Korelasi peringkat metode *Spearman*
- *Mann* dan *Withney*
- Tanda dari *Cox* dan *Stuart*

Dalam penelitian ini, diambil Uji *Mann* dan *Whitney*. Rumus koefisien korelasi peringkat metode *spearman*:

$$Z = \frac{U - (N_1 N_2)}{2} \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{12}\{N_1 N_2 (N_1 + N_2 + 1)\}\right)^{1/2}} \dots \dots \dots (2-4)$$

dengan:

Z = Koefisien Uji *Mann-Whitney*

U = parameter statistik perhitungan Uji *Mann Whitney*

N1, N2 = Jumlah data dari tiap kelas

2.3.3. Uji Stasioner

Setelah dilakukan pengujian ketidak-adaan trend, apabila deret berkala tersebut tidak menunjukkan adanya trend sebelum data deret berkala digunakan untuk analisis lanjutan harus dilakukan uji stasioner. Uji stasioner dimaksudkan untuk menguji kestabilan varian dan rata – rata deret berkala. Pengujian nilai varian deret berkala dapat dilakukan dengan uji F. Data deret berkala dibagi menjadi dua kelompok atau

lebih, setiap dua kelompok uji menggunakan Uji-F. Apabila hasil pengujian ternyata hipotesis nol ditolak, berarti nilai varian tidak stabil atau tidak homogen.

Deret berkala yang nilai variannya tidak homogen berarti deret tersebut tidak stasioner, dan tidak perlu melakukan pengujian lanjutan. Akan tetapi bila hipotesis nol untuk varian tersebut menunjukkan stasioner, maka pengujian selanjutnya adalah menguji kestabilan nilai rata-ratanya (Uji T). seperti dalam pengujian kestabilan nilai varian, maka dalam pengujian nilai rata-rata, data deret berkala dibagi menjadi dua kelompok atau lebih. Setiap pasangan 2 kelompok diuji. Apabila dalam pengujian ternyata hipotesis nol ditolak, berarti nilai rata-rata setiap dua kelompok tidak homogen dan deret berkala tersebut tidak stasioner pada derajat kepercayaan tertentu. Setiap kelompok diuji dengan menggunakan perhitungan Distribusi F . Apabila nilai varian stabil, maka dilanjutkan dengan menguji kestabilan nilai rata-ratanya. Sedangkan apabila nilai varian tidak stabil, maka tidak perlu menguji kestabilan nilai rata-rata. Langkah-langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut.

a. Kestabilan Varian (Uji- F)

1. H_0 : varian data stabil
 H_1 : varian data tidak stabil
2. Menentukan taraf signifikansi
3. Statistik uji :

$$F = \frac{N_1 \cdot S_1^2 (N_2 - 1)}{N_2 \cdot S_2^2 (N_1 - 1)} \dots \dots \dots (2-5)$$

dengan:

F = nilai hitung uji F

N_1 = jumlah data kelompok 1

N_2 = jumlah data kelompok 2

S_1 = standar deviasi data kelompok 1

S_2 = standar deviasi data kelompok 2

dengan derajat bebas (df):

$$df_1 = N_1 - 1$$

$$df_2 = N_2 - 1$$

4. Menentukan F kritis yang diperoleh dari tabel uji F dengan derajat kebebasan $df = N_1 + N_2 - 2$ (tabel dapat dilihat pada lampiran)
5. Pengambilan keputusan:

- F hitung $< F$ kritis maka H_0 diterima
- F hitung $> F$ kritis maka H_0 ditolak

b. Uji kestabilan rata - rata (Uji- t)

1. H_0 = rata-rata data stabil
 H_1 = rata-rata data tidak stabil
2. Menentukan taraf signifikansi
3. Statistik uji :

$$\sigma = \left(\frac{N_1 S_1^2 + N_2 S_2^2}{N_1 + N_2 - 2} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{\frac{1}{2}}} \dots\dots\dots (2-7)$$

dengan :

- t = nilai hitung uji t
- N_1 = jumlah data kelompok 1
- N_2 = jumlah data kelompok 2
- \bar{X}_1 = nilai rata-rata data kelompok 1
- \bar{X}_2 = nilai rata-rata data kelompok 2
- S_1 = standar deviasi data kelompok 1
- S_2 = standar deviasi data kelompok 2

4. Menentukan t kritis yang diperoleh dari tabel uji t dengan derajat kebebasan $df = N_1 + N_2 - 2$ (tabel dapat dilihat pada lampiran). Pengujian dua sisi.
5. Pengambilan keputusan:
 - t hitung $< t$ kritis maka H_0 diterima
 - t hitung $> t$ kritis maka H_0 ditolak

2.3.4. Analisis Curah Hujan Rerata Daerah

Hujan yang turun ke bumi dapat merata di seluruh kawasan yang luas atau bisa terjadi hanya bersifat setempat. Hujan yang bersifat setempat adalah curah hujan yang diukur dari suatu pos hujan belum tentu dapat mewakili hujan untuk kawasan yang lebih luas, kecuali untuk lokasi di sekitar pos hujan tersebut. Curah hujan yang

diukur dari suatu pos hujan dapat mewakili karakteristik hujan untuk daerah yang luas, dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

- a. Jarak pos hujan sampai titik tengah kawasan yang dihitung curah hujannya
- b. Luas daerah
- c. Topografi
- d. Sifat hujan

Beberapa metode pendekatan yang dianggap dapat digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata adalah (1) Metode Rata-rata Aritmatik, (2) Metode Poligon Thiessen, dan (3) Metode Isohiet. Pada studi digunakan metode poligon thiessen.

2.3.4.1. Metode Rata-rata Aritmatik

Metode ini adalah yang paling sederhana untuk menghitung hujan rerata pada suatu daerah. Pengukuran yang dilakukan di beberapa stasiun dalam waktu yang bersamaan dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah stasiun. Stasiun hujan yang digunakan dalam hitungan biasanya adalah yang berada di dalam DAS, tetapi stasiun di luar DAS yang masih berdekatan juga bisa diperhitungkan. Persamaan yang digunakan pada metode Aritmatik adalah sebagai berikut: (Triatmodjo, 2008,p.31)

$$P = \frac{1}{n}(P_1+P_2+\dots+P_n) \dots\dots\dots (2-8)$$

dengan:

- P = Curah hujan daerah (mm)
 n = Jumlah titik-titik (stasiun-stasiun) pengamat hujan
 P_1, P_2, \dots, P_n = Curah hujan di tiap titik pengamatan

2.3.4.2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini memperhitungkan bobot dari masing-masing stasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata, pada metode ini stasiun hujan minimal yang digunakan untuk perhitungan adalah tiga stasiun hujan. Hitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun. (Triatmodjo, 2008,p.33). Pada gambar 2.4. merupakan contoh penggambaran poligon thiessen. Pembentukan poligon thiessen adalah sebagai berikut:

- a. Stasiun pencatat hujan digambarkan pada peta DAS yang ditinjau, termasuk stasiun hujan di luar DAS yang berdekatan.
- b. Stasiun-stasiun tersebut dihubungkan dengan garis lurus sehingga membentuk segitiga-segitiga, yang sebaiknya mempunyai sisi dengan panjang yang kira-kira sama.
- c. Dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga seperti ditunjukkan dengan garis penuh pada Gambar 2.4.
- d. Garis-garis berat tersebut membentuk poligon yang mengelilingi tiap stasiun. Tiap stasiun mewakili luasan yang dibentuk oleh poligon. Untuk stasiun yang berada di dekat batas DAS, garis batas DAS membentuk batas tertutup dari poligon.
- e. Luas tiap poligon diukur dan kemudian dikalikan dengan kedalaman hujan di stasiun yang berada di dalam poligon
- f. Jumlah dari hitungan pada langkah e untuk semua stasiun dibagi dengan luas daerah yang ditinjau menghasilkan hujan rerata daerah tersebut.

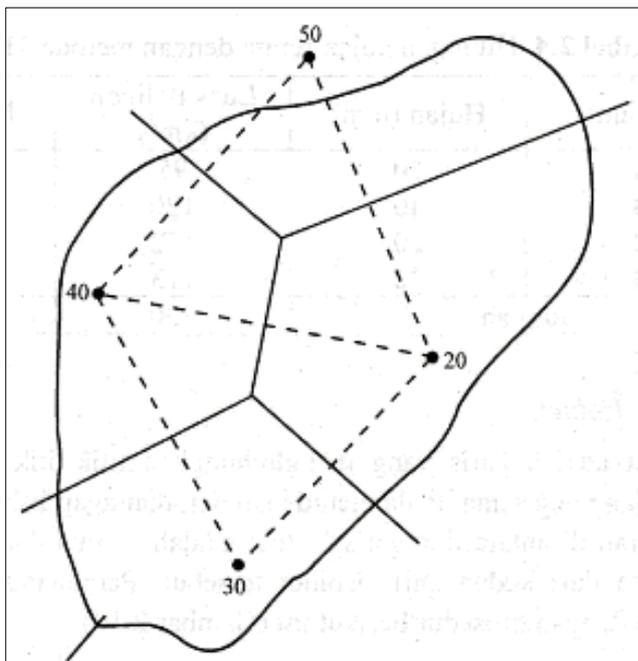
$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (2-9)$$

dengan:

\bar{P} = hujan rerata kawasan

P_1, P_2, \dots, P_n = hujan pada stasiun 1, 2, 3, ..., n

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, 3, ..., n



Gambar 2.4. Poligon Thiessen
Sumber: Triatmodjo, (2008,p.34)

2.3.4.3. Metode Isohiet

Isohyet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Pada metode isohiet, dianggap bahwa hujan pada suatu daerah di antara dua garis isohiet adalah merata dan sama dengan nilai rerata dari kedua garis isohiet tersebut. Metode Isohiet merupakan cara yang paling teliti untuk menghitung kedalaman hujan rata-rata di suatu daerah. Pada metode ini stasiun hujan harus banyak dan tersebar merata. (Triatmodjo, 2008,p.35)

$$P = \frac{A_1\left(\frac{P_1+P_2}{2}\right)+A_2\left(\frac{P_1+P_2}{2}\right)+\dots+A_n\left(\frac{P_n+P_{n+1}}{2}\right)}{A_1+A_2+\dots+A_n} \dots\dots\dots (2-10)$$

dengan:

P = Rata rata curah hujan wilayah (mm)

$P_1, P_2, \dots P_n$ = Curah hujan masing masing isohiet (mm)

$A_1, A_2, \dots A_n$ = Luas wilayah antara 2 isohiet (km²)

2.4. Pencemaran Air

Pencemaran air adalah masuk atau dimasukkannya makhluk hidup,zat, energi, dan atau komponen lain ke dalam air oleh kegiatan manusia, sehingga mutu air menurun hingga tingkat tertentu yang menyebabkan air tidak dapat berfungsi sesuai peruntukannya (Permeneg LH No. 01 Pasal 1, 2010)

Pencemaran air yang dilakukan oleh manusia dapat timbul dari berbagai macam kegiatan, baik disengaja ataupun tidak, dan pada umumnya berpengaruh besar bagi lingkungan akibat dari pencemaran tersebut. Pencemaran apabila tidak dicegah atau diminimalisir pada dasarnya akan membahayakan dan merugikan bagi manusia dari segi kesehatan maupun kehidupan sosial atau kelangsungan makhluk hidup

Pencemaran air berdampak bagi organisme dan tanaman di dalam badan air. Dalam banyak kasus, efek ini merusak tidak hanya populasi dan spesies inividu namun juga komunitas biologi alami. Pencemaran air merupakan masalah global yang memerlukan evaluasi segera serta kebijakan sumber air pada semua level.

Bahan-bahan penyebab pencemaran di daerah perairan sangat banyak jenisnya dan tiap jenis memiliki pengaruh yang berbeda-beda, jenis dari bahan pencemar tersebut terdiri dari dari bahan-bahan kimia, bahan pencemar air organik hingga bahan pencemar anorganik. Pencemaran yang diakibatkan oleh limbah pertanian seperti pupuk organik dengan

kandungan nitrogen dan fosfat yang larut dalam air dapat menyuburkan lingkungan air (eutrofikasi). Hal ini menyebabkan air kaya nutrisi, ganggang, dan tumbuhan air akan tumbuh lebih subur (*blooming*). Hal yang demikian akan mengancam kelestarian waduk-waduk akan cepat dangkal dan biota air akan mati karenanya. Sama halnya seperti meningkatnya unsur hara (fosfor dan nitrogen) dari sisa pakan dan sisa metabolisme ikan yang masuk ke perairan waduk. Sehingga terjadi kematian dan mengancam perkembangbiakan ikan air tawar di waduk tersebut.

2.5. Parameter Kualitas Air Untuk Budidaya Perikanan

Menurut Piranti (2016), parameter kualitas air untuk budidaya ikan air tawar meliputi 3 karakteristik, yaitu karakteristik fisik, kimia, serta karakteristik biologi (plankton). Faktor-faktor penting kualitas air yang perlu mendapat perhatian diantaranya adalah suhu air, salinitas, oksigen terlarut, pH, alkalinitas, ammonia, nitrit, nitrat, asam sulfide, karbondioksida, dan besi. Faktor-faktor tersebut dalam suatu tempat terus mengalami perubahan dinamis karena adanya faktor diluar dan didalam sistem yang kemudian saling mempengaruhi antar faktor tersebut. Perubahan lingkungan secara kimia dan fisika yang terjadi secara alamiah dan akibat ulah manusia yang terjadi di lingkungan perairan.

2.5.1 Parameter Kimia Pencemaran Air

Kandungan bahan kimia yang terdapat di dalam air menentukan tingkat bahaya keracunan yang ditimbulkan. Semakin besar jumlah zat kimia yang terkandung maka semakin terbatas pada penggunaan air tersebut, serta parameter kimia ini dapat menentukan tingkat status trofik dari perairan, bahan kimia yang mempengaruhi status trofik tersebut diantaranya adalah sebagai berikut

A. Biochemical Oxygen Demand (BOD)

Menurut Sugiharta (1987), BOD atau kebutuhan oksigen biokimiawi merupakan satuan yang digunakan untuk mengukur suatu kebutuhan oksigen yang diperlukan dalam menguraikan suatu bahan organik yang ada di dalam air waduk, dengan menggunakan ukuran mg/liter air kotor. Semakin besar angka BOD berarti menunjukkan bahwa derajat pengotoran dari air limbah yang masuk ke suatu wilayah perairan adalah semakin besar. Dengan kata lain, kebutuhan oksigen kimiawi jumlah oksigen yang dibutuhkan untuk mengoksidasi suatu bahan buangan oleh bakteri. Jadi, BOD merupakan ukuran konsentrasi bahan organik dalam bahan buangan yang dapat dioksidasi oleh bakteri. Pengukuran BOD penting karena merupakan parameter untuk menentukan daya tampung beban pencemaran air waduk.

B. Oksigen Terlarut/ *Dissolve Oxygen* (DO)

Oksigen merupakan faktor penting bagi kehidupan makro dan mikro organisme perairan karena diperlukan untuk proses pernafasan. Sumber oksigen terlarut di perairan dapat berasal dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer (sekitar 35%) dan aktivitas fotosintesis oleh tumbuhan air dan fitoplankton. Fluktuasi harian oksigen dapat mempengaruhi parameter kimia yang lain, terutama pada saat kondisi tanpa oksigen, yang dapat mengakibatkan perubahan sifat kelarutan beberapa unsur kimia di perairan (Effendi, 2017).

C. Nitrogen

Nitrogen dan senyawanya tersebar secara luas dalam biosfer. Lapisan atmosfer bumi mengandung sekitar 7% gas nitrogen. Batuan juga mengandung nitrogen. Pada tumbuhan dan hewan, senyawa nitrogen organik ditemukan sebagai penyusun protein dan klorofil-a, sedangkan Nitrogen anorganik terdiri atas ion nitrit, ion nitrat dan ammonia dan molekul N yang larut dalam air

Sumber utama nitrogen antropogenik di perairan berasal dari wilayah pertanian berasal dari wilayah pertanian yang menggunakan pupuk secara intensif dari kegiatan domestik. Secara umum jenis nitrogen adalah sebagai berikut:

- Nitrat

Nitrat (NO_3) adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan nutrient utama bagi pertumbuhan tanaman dan algae. Nitrat nitrogen sangat mudah larut dalam air dan bersifat stabil. Senyawa ini dihasilkan dari proses oksidasi sempurna senyawa nitrogen di perairan. Nitrifikasi yang merupakan suatu proses oksidasi yang menyebabkan perubahan bentuk dari nitrogen jenis amonia menjadi nitrit dan nitrat. Proses yang seperti demikian sangat penting dalam siklus nitrogen yang berlangsung pada kondisi aerob. Oksidasi amonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas*, sedangkan oksidasi nitrit menjadi nitrat dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*

Nitrat dan ammonium adalah sumber utama nitrogen di perairan. Namun ammonium lebih disukai oleh tumbuhan. Kadar nitrat yang ada di perairan yang tidak tercemar biasanya lebih tinggi daripada ammonium. Kadar nitrat nitrogen pada perairan alami hamper tidak lebih dari 0,1 mg/liter. Kadar nitrat lebih dari 5 mg/liter menggambarkan terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan. Kadar nitrat nitrogen yang lebih dari 0,2 mg/liter dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat

atau *blooming*. Kadar nitrat dalam air tanah dapat mencapai 100 mg/liter. Air hujan memiliki kadar nitrat s besar 0,2 mg/liter. Pada perairan yang menerima limpasan air dari daerah pertanian yang banyak mengandung pupuk, kadar nitrat dapat mencapai 1000 mg/liter. Kadar nitrat untuk keperluan air minum sebaiknya tidak melebihi 10 mg/liter (Davis dan Cornwell, 1991 dalam Effendi, 2017). Nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan. Perairan oligotrofik memiliki kadar nitrat antara 0-1 mg/liter, perairan mesotrofik memiliki kadar nitrat antara 1-5 mg/liter, dan perairan eutrofik memiliki kadar nitrat yang berkisar antara 5-50 mg/liter (Volenweider, 1969 dalam Wetzel, 1975 dalam Effendi, 2017)

D. Fosfor

Di perairan, unsur fosfor tidak ditemukan dalam bentuk bebas sebagai elemen, melainkan dalam bentuk senyawa anorganik yang terlarut (ortofosfat dan polifosfat) dan senyawa organik yang berupa partikulat. Fosfor membentuk kompleks dengan ion besi dan kalsium pada kondisi aerob, bersifat tidak larut, dan mengendap pada sedimen sehingga tidak dapat dimanfaatkan oleh algae akuatik (Jeffries dan Mills, 1996 dalam Effendi, 2017).

Tabel 2.1
Senyawa Fosfor Anorganik yang Biasa Terdapat di Perairan

Nama Senyawa Fosfor	Rumus Kimia
<u>Ortofosfat:</u>	
1. Trinatrium Fosfat	Na_3PO_4
2. Dinatrium Fosfat	Na_2HPO_4
3. Mononatrium Fosfat	NaH_2PO_4
4. Diamonium Fosfat	$(\text{NH}_3)_2\text{HPO}_4$
<u>Polifosfat</u>	
1. Natrium Heksametafosfat	$\text{Na}_3(\text{PO}_3)_6$
2. Natrium Tripolifosfat	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$
3. Tetranatrium Pirofosfat	$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$

Sumber: Sawyer dan McCarty, 1978 dalam Effendi, 2017

Fosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan oleh tumbuhan (Dugan, 1972 dalam Effendi, 2017). Karakteristik fosfor sangat berbeda dengan unsur-unsur utama

lainnya yang merupakan penyusun biosfer karena unsur ini tidak terdapat di atmosfer. Pada kerak bumi keberadaan fosfor relative sedikit dan mudah mengendap, fosfor juga merupakan unsur essential tumbuhan tingkat tinggi dan alga, sehingga unsur ini menjadi faktor pembatas tumbuhandan algae akuatik serta sangat mempengaruhi tingkat produktivitas perairan. Jones dan Bachmann (1976) dalam Davis dan Cornwell (1991) dalam Effendi, 2017

Ortofosfat yang merupakan produk ionisasi dari asam ortofosfat adalah bentuk fosfor yang paling sederhana di perairan. Ortofosfat merupakan bentuk fosfor yang dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tumbuhan akuatik, sedangkan polifosfat harus mengalami hidrolisis membentuk ortofosfat terlebih dahulu, sebelum dimanfaatkan sebagai sumber fosfor, setelah masuk ke dalam tumbuhan, misalnya fitoplankton, fosfat anorganik mengalami perubahan menjadi organofosfat. Fosfat yang berikatan dengan ferri ($\text{Fe}_2(\text{PO}_4)_3$), bersifat tidak larut dan mengendap di dasar perairan. Pada saat terjadi kondisi anaerob, ion besi valensi tiga (ferri) ini mengalami reduksi menjadi ion besi valensi dua (ferro) yang bersifat larut dan melepaskan fosfat ke perairan, sehingga meningkatkan keberadaan fosfat di perairan. (Brown, 1987 dalam Effendi, 2017)

Fosfor total menggambarkan jumlah total fosfor, baik berupa partikulat maupun terlarut, anorganik maupun organik. Fosfor anorganik biasa disebut *soluble reactive phosphorus*, misalnya ortofosfat. Fosfor organik banyak terdapat pada perairan yang banyak mengandung bahan organik. Oleh karena itu, pada perairan yang memiliki kadar bahan organik tinggi sebaiknya ditentukan juga kadar fosfat total disamping ortofosfat (Mackereth et al., 1989 dalam Effendi, 2017)

Keberadaan fosfor secara berlebihan yang disertai dengan keberadaan nitrogen dapat menstimulir ledakan pertumbuhan algae di perairan (*algae bloom*). Algae yang berlimpah ini dapat membentuk lapisan pada permukaan air, yang selanjutnya dapat menghambat penetrasi oksigen dan cahaya matahari sehingga kurang menguntungkan bagi ekosistem perairan. Pada saat perairan cukup dalam mengandung kadar fosfor, algae akan mengakumulasi fosfor di dalam sel melebihi kebutuhannya. Fenomena yang demikian dikenal dengan istilah konsumsi lebih (*luxury consumption*). Kelebihan fosfor yang diserap akan dimanfaatkan pada saat perairan mengalami defisiensi fosfor, sehingga algae masih dapat tumbuh selama beberapa waktu selama periode kekurangan pasokan fosfor. Selama defisiensi fosfor algae juga dapat memanfaatkan fosfor organik dengan bantuan enzim alkalin fosfat yang berfungsi memecah senyawa organofosfor. Keberadaan enzim alkalin

fosfat akan meningkat jika terjadi defisiensi fosfor di perairan (Boney, 1989 dalam Effendi, 2017).

Berdasarkan kadar ortofosfat, perairan diklasifikasikan menjadi tiga, (Vollenweider dalam Wetzel, 1975 dalam Effendi, 2017), yaitu:

1. Perairan oligotropik yang memiliki kadar ortofosfat 0,003-0,01 mg/liter
2. Perairan mesotrofik yang memiliki kadar ortofosfat 0,011-0,03 mg/liter
3. Perairan eutrofik yang memiliki kadar ortofosfat 0,031-0,1 mg/liter

Sedangkan berdasarkan kadar fosfor total, perairan diklasifikasikan menjadi tiga, (Yoshimuran dalam Liaw, 1969 dalam Effendi, 2017), yaitu:

1. Perairan tingkat kesuburan rendah memiliki kadar fosfat dengan total antara 0-0,02 mg/liter
2. Perairan dengan tingkat kesuburan sedang memiliki kadar fosfat total berkisar antara 0,2-0,05 mg/liter
3. Perairan dengan tingkat kesuburan tinggi memiliki kadar fosfat total 0,051-0,1 mg/liter.

E. *Total Suspended Solid (TSS)*

Padatan tersuspensi total (Total Suspended Solid atau TSS) adalah bahan-bahan tersuspensi (diameter >1 μ m) yang tertahan pada saringan milipore dengan diameter pori 0,45 μ m. TSS terdiri atas lumpur dan pasir halus serta jasad-jasad renik, yang terutama disebabkan oleh erosi tanah yang terbawa ke badan air (Effendi, 2017).

Menurut Pitwell (1976) dan Hawkes (1976) dalam Samino, dkk (2004), padatan tersuspensi yang tinggi di perairan dapat meningkatkan turbiditas sehingga selanjutnya akan menurunkan penetrasi cahaya matahari di perairanyang dapat menurunkan produktivitas produsen di perairan (mikroalga dan makrofita) dan juga akan mempengaruhi rantai makanan.

2.6. Analisis Kualitas Air

Kualitas air didefinisikan adalah sebagai kadar pencemar air yang dianalisis secara teliti sehingga menunjukkan mutu dan karakteristik air. Suatu mutu dan karakteristik dari air ditentukan oleh beberapa hal contoh diantaranya yaitu adalah jenis dan sifat bahan yang terkembang di dalamnya, bahan-bahan tersebut, baik padat, cair, maupun gas terlarut, maupun tidak terlarut, secara alamiah mungkin telah terdapat di dalam air sungai atau waduk, dan diperoleh selama air mengalami siklus hidrologi.

Mutu dan karakteristik air dapat ditentukan oleh kondisi suatu lingkungan dimana air itu berada. Hal ini dipengaruhi oleh aktivitas manusia dalam memanfaatkan atau menggunakan suatu sumber daya alam dan lingkungan yang menimbulkan bahan sisa atau buangan yang mempunyai kecenderungan pada peningkatan jumlah dan kandungan bahan-bahan di dalam perairan. Bahan-bahan tersebut apabila tidak ditangani dengan baik dan tepat maka akan menimbulkan permasalahan-permasalahan pencemaran pada daerah perairan salah satunya yaitu waduk ditambah lagi jika lingkungan tidak memiliki daya dukung cukup untuk mengurangi beban pencemar.

2.7. Baku Mutu dan Status Mutu Air

Berdasarkan Undang-Undang No. 23 Tahun 1997 Pasal 1 menyebutkan bahwa baku mutu lingkungan hidup adalah ukuran batas atau kadar makhluk hidup, zat, energi, atau komponen yang harus ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam suatu sumber daya tertentu sebagai unsur lingkungan hidup.

Baku mutu air definisinya yaitu suatu batas atau kadar dari makhluk hidup, zat, energi, atau komponen –komponen lain yang ada atau harus ada dan/atau unsur pencemar yang dapat ditenggang dalam sumber air tertentu di wilayah perairan, sesuai dengan peruntukannya (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 20 Tahun 1990).

Baku mutu dari kualitas air ditentukan serta ditetapkan berdasarkan hasil dari pengkajian menjadi beberapa kelas air dan dibagi menjadi beberapa kriteria-kriteria mutu air.

Status mutu air adalah suatu tingkat dari kondisi mutu air yang menunjukkan kondisi tercemar atau kondisi baik pada suatu sumber air dalam waktu tertentu dengan membandingkan dengan baku mutu air yang ditetapkan. Status mutu air ditetapkan untuk menyatakan:

1. kondisi tercemar, apabila mutu air pada suatu sampel air tidak memenuhi terhadap baku mutu air;
2. kondisi baik, apabila mutu air memenuhi baku mutu air. (Peraturan Pemerintah No. 82 Th. 2001).

Klasifikasi mutu air menurut Peraturan Pemerintah No.82 Tahun 2001, Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air terdapat empat kelas air yaitu sebagai berikut:

1. Kelas satu (I), air yang peruntukannya dapat digunakan untuk air baku air minum, dan atau peruntukan lain yang memper-syaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;

2. Kelas dua (II), kelas air yang peruntukannya dapat digunakan untuk prasarana/sarana rekreasi air, pembudidayaan ikan air tawar, peternakan, air untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
3. Kelas tiga (III), kelas air yang peruntukannya dapat digunakan untuk pembudidayaan perikanan air tawar, peternakan air yang digunakan untuk mengairi pertanian, dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut;
4. Kelas empat (IV), air yang peruntukannya dapat digunakan untuk mengairi pertanian dan atau peruntukan lain yang mempersyaratkan mutu air yang sama dengan kegunaan tersebut

Tabel 2.2.
Baku Mutu Parameter Kualitas Air Diteliti

Parameter		Kelas			
		I	II	III	IV
BOD	Mg/L	2	3	6	12
DO	Mg/L	10	25	50	100
NO ₃ -N	Mg/L	10	10	20	20
NH ₃ -N	Mg/L	0,5	(-)	(-)	(-)
Total-P	Mg/L	0,2	0,2	1	5
TSS	Mg/L	50	50	400	400

Sumber: PP Nomor 82 Tahun 2001

2.8. Indeks Pencemaran

2.8.1. Umum

Sumitomo dan Nemerow (1970), Universitas Texas, A.S., mengusulkan suatu indeks yang berkaitan dengan senyawa pencemar yang bermakna untuk suatu peruntukan. Indeks ini dinyatakan sebagai Indeks Pencemaran (*Pollution Index*) yang digunakan untuk menentukan tingkat pencemaran relatif terhadap parameter kualitas air yang diizinkan (Nemerow, 1974).

Indeks ini memiliki konsep yang berlainan dengan Indeks Kualitas Air (Water Quality Index). Indeks Pencemaran (IP) untuk suatu peruntukan, kemudian dapat dikembangkan untuk beberapa peruntukan bagi seluruh bagian badan air atau sebagian dari suatu sungai. Pengelolaan kualitas air atas dasar Indeks Pencemaran (IP) ini dapat memberi masukan pada pengambil keputusan agar dapat menilai kualitas badan air untuk suatu peruntukan serta melakukan tindakan untuk memperbaiki kualitas jika terjadi penurunan kualitas akibat kehadiran senyawa pencemar. IP mencakup berbagai kelompok parameter kualitas yang independent dan bermakna (Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003).

2.8.2 Definisi

Dalam KEPMEN Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003 menyebutkan, jika L_{ij} menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Peruntukan Air (j), dan C_i menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, maka PI_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi C_i/L_{ij} .

$$PI_j = (C_1/L_{1j}, C_2/L_{2j}, \dots, C_i/L_{ij}) \dots \dots \dots (2-11)$$

Tiap nilai C_i/L_{ij} menunjukkan pencemaran relatif yang diakibatkan oleh parameter kualitas air. Nisbah ini tidak mempunyai satuan. Nilai $C_i/L_{ij} = 1,0$ adalah nilai yang kritis, karena nilai ini diharapkan untuk dipenuhi bagi suatu Baku Mutu Peruntukan Air. Jika $C_i/L_{ij} > 1,0$ untuk suatu parameter, maka konsentrasi parameter ini harus dikurangi atau disisihkan, kalau badan air digunakan untuk peruntukan (j). Jika parameter ini adalah parameter yang bermakna bagi peruntukan, maka pengolahan mutlak harus dilakukan.

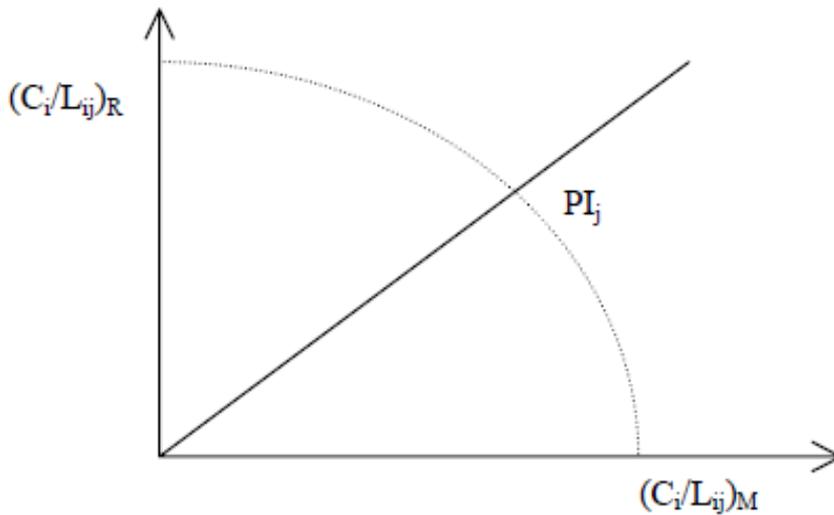
Pada model IP digunakan berbagai parameter kualitas air, maka pada penggunaannya dibutuhkan nilai rata-rata dari keseluruhan nilai C_i/L_{ij} sebagai tolok-ukur pencemaran, tetapi nilai ini tidak akan bermakna jika salah satu nilai C_i/L_{ij} bernilai lebih besar dari 1. Jadi indeks ini harus mencakup nilai C_i/L_{ij} yang maksimum

$$PI_j = \{(C_i/L_{ij})_R, (C_i/L_{ij})_M\} \dots \dots \dots (2-12)$$

Dengan:

$(C_i/L_{ij})_R$ = nilai C_i/L_{ij} rata-rata

$(C_i/L_{ij})_M$ = nilai C_i/L_{ij} maksimum



Gambar 2.5 Pernyataan Indeks untuk suatu Peruntukan (j)

Sumber:KEPMEN Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003

Jika $(C_i/L_{ij})_R$ merupakan ordinat dan $(C_i/L_{ij})_M$ merupakan absis maka PI_j merupakan titik potong dari $(C_i/L_{ij})_R$ dan $(C_i/L_{ij})_M$ dalam bidang yang dibatasi oleh kedua sumbu tersebut.

Perairan akan semakin tercemar untuk suatu peruntukan (j) jika nilai $(C_i/L_{ij})_R$ dan atau $(C_i/L_{ij})_M$ adalah lebih besar dari 1,0. Jika nilai maksimum C_i/L_{ij} dan atau nilai rata-rata C_i/L_{ij} makin besar, maka tingkat pencemaran suatu badan air akan makin besar pula.

Jadi panjang garis dari titik asal hingga titik P_{ij} diusulkan sebagai faktor yang memiliki makna untuk menyatakan tingkat pencemaran.

$$PI_j = m\sqrt{(C_i/L_{ij})^2_M + (C_i/L_{ij})^2_R} \dots\dots\dots (2-13)$$

Dimana m = faktor penyeimbang

- Keadaan kritik digunakan untuk menghitung nilai m

$PI_j = 1,0$ jika nilai maksimum $C_i/L_{ij} = 1,0$ dan nilai rata-rata $C_i/L_{ij} = 1,0$ maka

$$1,0 = m\sqrt{(1)^2 + (1)^2} \dots\dots\dots (2-14)$$

$m = 1/\sqrt{2}$, maka persamaan PI_j menjadi

$$PI_j = \sqrt{\frac{(C_{ij}/L_{ij})^2_M + (C_i/L_{ij})^2_R}{2}} \dots\dots\dots (2-15)$$

Metoda ini dapat langsung menghubungkan tingkat ketercemaran dengan dapat atau tidaknya sungai dipakai untuk penggunaan tertentu dan dengan nilai parameter-parameter tertentu.

Evaluasi terhadap nilai PI adalah:

$0 \leq PI_j \leq 1,0$ = memenuhi baku mutu (kondisi baik)

$1,0 < PI_j \leq 5,0$ = cemar ringan

$5,0 < PI_j \leq 10$ = cemar sedang

$PI_j > 10$ = cemar berat

2.8.3. Prosedur Penggunaan

Berdasarkan KEPMEN Lingkungan Hidup No. 115 Tahun 2003, Lij menyatakan konsentrasi parameter kualitas air yang dicantumkan dalam Baku Mutu suatu Peruntukan Air (j), dan Ci menyatakan konsentrasi parameter kualitas air (i) yang diperoleh dari hasil analisis cuplikan air pada suatu lokasi pengambilan cuplikan dari suatu alur sungai, maka PI_j adalah Indeks Pencemaran bagi peruntukan (j) yang merupakan fungsi dari Ci/Lij . Harga PI_j ini dapat ditentukan dengan cara:

1. Pilih parameter-parameter yang jika harga parameter rendah maka kualitas air akan membaik.
2. Pilih konsentrasi parameter baku mutu yang tidak memiliki rentang.
3. Hitung harga Ci/Lij untuk tiap parameter pada setiap lokasi pengambilan cuplikan.
4. Jika nilai konsentrasi parameter yang menurun menyatakan tingkat pencemaran meningkat, misal DO. Tentukan nilai teoritik atau nilai maksimum Cim (misal untuk DO, maka Cim merupakan nilai DO jenuh). Dalam kasus ini nilai Ci/Lij hasil pengukuran digantikan oleh nilai Ci/Lij hasil perhitungan, yaitu:

$$(Ci/Lij)_{baru} = \frac{Cim - Ci \text{ (Hasil Pengukuran)}}{\{(Lij)_{minimum} - (Lij)_{rata-rata}\}} \dots\dots\dots (2-16)$$

- Jika nilai baku Lij memiliki rentang
 - a. untuk $Ci < Lij$ rata-rata

$$(Ci/Lij)_{baru} = \frac{[Ci - (Lij)_{rata-rata}]}{\{(Lij)_{minimum} - (Lij)_{rata-rata}\}} \dots\dots\dots (2-17)$$

- b. untuk $Ci > Lij$ rata-rata

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = \frac{[C_i - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}]}{\{(L_{ij})_{\text{maksimum}} - (L_{ij})_{\text{rata-rata}}\}} \dots\dots\dots (2-18)$$

- Keraguan timbul jika dua nilai (C_i/L_{ij}) berdekatan dengan nilai acuan 1,0, misal $C_1/L_{1j} = 0,9$ dan $C_2/L_{2j} = 1,1$ atau perbedaan yang sangat besar, misal $C_3/L_{3j} = 5,0$ dan $C_4/L_{4j} = 10,0$. Dalam contoh ini tingkat kerusakan badan air sulit ditentukan. Cara untuk mengatasi kesulitan ini adalah:

- (1) Penggunaan nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran kalau nilai ini lebih kecil dari 1,0.
- (2) Penggunaan nilai $(C_i/L_{ij})_{\text{baru}}$ jika nilai (C_i/L_{ij}) hasil pengukuran nilainya lebih besar dari 1,0.

$$(C_i/L_{ij})_{\text{baru}} = 1,0 + P \cdot \log(C_i/L_{ij})_{\text{hasil pengukuran}} \dots\dots\dots (2-19)$$

P adalah konstanta dan nilainya ditentukan dengan bebas dan disesuaikan dengan hasil pengamatan lingkungan dan atau persyaratan yang dikehendaki untuk suatu peruntukan (biasanya digunakan nilai 5).

5. Tentukan nilai rata-rata dan nilai maksimum dari keseluruhan C_i/L_{ij} , $((C_i/L_{ij})_R$ dan $(C_i/L_{ij})_M$).
6. Tentukan harga PI_j

$$PI_j = \sqrt{\frac{(\frac{C_{ij}}{L_{ij}})^2 M + (\frac{C_i}{L_{ij}})^2 R}{2}} \dots\dots\dots (2-20)$$

2.9. Tata Guna Lahan

Hubungan timbal balik antara alam dengan manusia yang paling terlihat adalah tata guna lahan. Terbentuknya lahan-lahan kritis, banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau, erosi, sedimentasi hingga pencemaran air pada dasarnya diakibatkan oleh tata guna lahan yang tidak disesuaikan dengan daya dukung wilayah tersebut.

Menurut PP RI nomor 16 Tahun 2014 tentang Penggunaan tanah, penatagunaan tanah berujuan untuk mengatur penguasaan, penggunaan, dan pemanfaatan tanah bagi berbagai macam kebutuhan dalam kegiatan pembangunan yang sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah:

- a. Mewujudkan penguasaan, penggunaan, dan pemanfaatan tanah agar sesuai dengan arahan fungsi kawasan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah.
- b. Mewujudkan tertib pertanahan yang meliputi penguasaan, penggunaan, dan pemanfaatan tanah termasuk pemeliharaan tanah serta pengendalian pemanfaatan tanah.
- c. Menjamin kepastian hukum untuk menguasai, menggunakan, dan memanfaatkan tanah bagi masyarakat yang memiliki hubungan hukum dengan tanah sesuai dengan Rencana Tata Ruang Wilayah yang telah ditetapkan

2.9.1. Perubahan Penggunaan Lahan

Dampak yang terjadi yang disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan sangat besar bagi lingkungan dan sosial ekonomi. Secara umum penggunaan lahan digolongkan menjadi dua golongan, yaitu:

- a. Penggunaan lahan pedesaan, secara umum dititikberatkan kepada produksi pertanian termasuk pengelolaan sumberdaya alam dan kehutanan.
- b. Penggunaan lahan perkotaan, secara umum dititikberatkan untuk tempat tinggal pemusatan ekonomi, layanan jasa, dan pemerintahan.

Dalam Undang-Undang Republik Indonesia nomor 26 Tahun 2007 mengenai Penataan Ruang, tertulis bahwa pemanfaatan ruang meliputi kawasan pedesaan, kawasan perkotaan, kawasan lindung, serta kawasan budidaya. Kawasan lindung adalah kawasan yang dengan fungsi utama untuk melakukan budidaya atas dasar kondisi dan potensi sumberdaya alam, sumberdaya manusia, dan sumberdaya buatan.

Pemanfaatan kawasan budidaya dalam upaya untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia harus diusahakan agar tidak mengganggu serta merusak ekosistem kawasan lindung. Perubahan penggunaan lahan yang tidak terkendali dan tanpa tindakan konservasi tanah dan air akan menyebabkan terjadinya erosi. Erosi yang terjadi dapat menyebabkan degradasi lahan dan pada akhirnya akan mengakibatkan menurunnya produktivitas suatu lahan.

Perubahan penggunaan lahan pada umumnya dapat diamati dengan menggunakan data-data spasial dari peta penggunaan lahan dari titik tahun yang berbeda. Perubahan penggunaan lahan yang berbeda meliputi pergeseran penggunaan lahan menuju penggunaan lahan yang berbeda atau diversifikasi pada penggunaan lahan yang sudah ada. Secara umum perubahan penggunaan lahan akan mengubah:

- a. Karakteristik aliran sungai
- b. Jumlah aliran permukaan
- c. Sifat hidrologis daerah yang bersangkutan.

Penggunaan lahan berkaitan dengan kegiatan manusia pada bidang lahan tertentu. Informasi penggunaan lahan dapat dikenali secara langsung dengan menggunakan penginderaan jauh yang tepat. Informasi tentang kegiatan manusia pada lahan tidak selalu dapat ditafsir secara langsung dan penutupan lahannya.

Penggunaan lahan pada kawasan hutan, terutama yang terkait dengan tutupan hutan, berubah dengan cepat dan sangat dinamis. Hal itu dapat dilihat dari keadaan DAS Brantas Hulu yang begitu memiliki banyak manfaat, akan tetapi mengalami degradasi yang cukup drastis dari segi kualitas dan kuantitas..

Menurut Sipangat A. (2008), Keberadaan aktivitas pemukiman penduduk, pertanian lahan kering (tegalan) dan persawahan pada prinsipnya merubah bentang alam melalui pengolahan tanah. Hal tersebut sangat mempengaruhi kandungan unsur kimia dan karakteristik air sungai yang ada. Dijelaskan dalam penelitiannya bahwa berkembangnya kegiatan penduduk di sepanjang aliran Sungai Brantas dapat berpengaruh terhadap kualitas airnya, karena limbah yang dihasilkan dari kegiatan penduduk tersebut dibuang langsung ke sungai.

2.10. Budidaya Perikanan Keramba Jaring Apung (KJA)

Beban pencemaran air beberapa danau dan/atau waduk saat ini telah meningkat oleh perkembangan budidaya perikanan keramba jaring apung (KJA), untuk itu diperlukan cara perhitungan status mutu kualitas air dan perubahan kondisi kualitas air di waduk terhadap potensi terjadinya pencemaran air akibat limbah pakan yang berasal dari sisa pakan yang terbuang dan dari tinja ikan.

2.11. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah suatu sistem berbasis komputer yang memberi 4 (empat) kemampuan untuk menangani data bereferensi geografi, yaitu meliputi pemasukan, pengolahan, atau manajemen data (penyimpanan atau pemanggilan kembali), manipulasi dan analisis serta keluaran (Aronoff, 1989). SIG adalah sebuah rangkaian sistem yang memanfaatkan teknologi digital untuk melakukan analisis spasial. Dalam SIG data tersimpan dalam format digital, jumlah data yang besar dapat tersimpan dan diambil kembali secara cepat dan efisien. Keunggulan SIG lainnya adalah kemampuan

memanipulasi data dan analisis data spasial dengan mengaitkan data atau informasi atribut untuk menyatukan tipe data yang berbeda kedalam suatu analisis tunggal.

Komponen SIG terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan terdiri atas seperangkat komputer yang berfungsi untuk menyimpan, menampilkan teks dan interaksi dengan pengguna serta *digitizer* yang berfungsi untuk merubah untuk merubah data analog kedalam data digital. Perangkat lunak yang biasa digunakan adalah ArcGIS versi 10.2.2 yang dikeluarkan oleh *Environmental System Research Institute* (ESRI).

Informasi yang dihasilkan dari analisa dengan SIG merupakan representasi informasi secara visual dengan mengintegrasikan basis data spasial (peta digital) dan basis data non spasial (atribut) yang akan mempermudah dalam melakukan analisa dan kajian dalam usaha perencanaan dan pengelolaan suatu DAS.

Dalam SIG terdapat berbagai unsur, baik manusia sebagai operator, perangkat lunak maupun keras. Perkembangan teknologi digital sangat besar peranannya dalam perkembangan penggunaan SIG dalam berbagai bidang, salah satunya membantu dalam memperkirakan kualitas air (BOD, Nitrogen, Fosfor), erosi, dan sedimentasi yang kemudian dapat dianalisa tingkat kekritisannya lahan pada DAS yang menjadi obyek studi.

2.12. ArcSWAT (*Arc Soil and Water Assessment Tool*)

ArcSWAT (*Arc Soil and Water Assessment Tool*) adalah sebuah *software* yang berbasis SIG ArcGIS 10.2.2 (ESRI) sebagai ekstensi (*graphical user interface*) di dalamnya. Program ini dikeluarkan oleh Texas Water Resources Institute, College Station, Texas, USA. ArcGIS sendiri merupakan salah satu program unggulan yang berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG).

Program ArcSWAT adalah perkembangan dari versi sebelumnya, yaitu SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) yang bekerja diluar *software* ArcGIS. ArcSWAT dirancang untuk memprediksi pengaruh manajemen lahan pada aliran air, sedimen, dan lahan pertanian dalam suatu hubungan yang kompleks pada suatu DAS yang termasuk didalamnya jenis tanah, tata guna lahan dan manajemen kondisi lahan secara berkala.

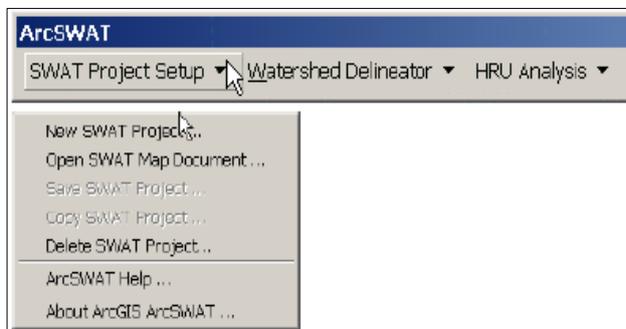
Untuk tujuan pemodelan, program ArcSWAT memudahkan pengguna dalam melakukan pembagian wilayah DAS yang luas menjadi beberapa bagian Sub DAS untuk memudahkan perhitungan. Struktur data yang digunakan dalam representasi dari kondisi asli kenampakan objek yang ada di bumi, ArcSWAT dibagi menjadi dua kelompok *database*

yaitu jenis data spasial yaitu basis data dalam struktur vector dan basis data dalam struktur *grid/raster*.

Berbagai aplikasi yang sering digunakan dalam memanfaatkan struktur data dalam bentuk grid antara lain adalah representasi kondisi elevasi (DEM), kemiringan (*slope*), atau juga sebaran dari distribusi curah hujan.

2.12.1 Menu SWAT Project Setup

Menu ini berisi item yang mengatur pengaturan dan pengelolaan proyek SWAT. Proyek SWAT terdiri dari sebuah direktori proyek yang berisi dokumen ArcMap, dua *geodatabases*, dan subdirektori struktur untuk menyimpan dataset GIS sementara, dan file masukan SWAT 2012. Gambar 2.6. Menunjukkan item pada menu SWAT *project setup*.



Gambar 2.6. Menu SWAT *project setup*

Sumber: ArcSWAT, 2017

2.12.2. Watershed Delineator menu

Menu *watershed delineator* berisi semua perintah yang dibutuhkan untuk mendelineasi subbasin dan evaluasi hasilnya. Gambar 2.7 Menampilkan *Watershed Delineator* menu.



Gambar 2.7. *Watershed Delineator* menu

Sumber: ArcSWAT, 2017

- *Watershed delineator* menu: *automatic watershed delination*

Perintah delinasi otomatis mengakses kotak dialog yang akan digunakan untuk mengimpor peta topografi dan selanjutnya adalah mendelineasi daerah aliran sungai.

- *Watershed delineator* menu: *Watershed reports*

Watershed report merupakan laporan yang berisi hasil delinasi DAS

2.12.3. HRU Analysis menu

Menu HRU analisis berisi semua perintah seperti penggunaan lahan, jenis tanah, dan analisis kemiringan lereng yang digunakan untuk menghasilkan SWAT HRUs pada suatu DAS. Gambar 2.8 Menampilkan menu tataguna lahan dan jenis tanah



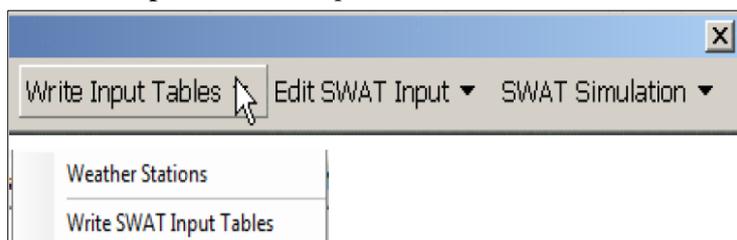
Gambar 2.8. Menu HRU Analysis

Sumber: ArcSWAT, 2017

- HRU Analysis menu: Land use/soils/slope definition
Digunakan untuk mengimpor peta tataguna lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng. Dan selanjutnya dilakukan *overlay* berdasarkan ketiga peta tersebut
- HRU Analysis menu: HRU Definition
Merupakan kotak dialog yang digunakan untuk mendefinisikan jumlah HRU yang dibuat
- HRU Analysis menu: HRU Analysis reports
Berisi laporan hasil dari HRU, Laporan dari HRU *distribution* akan ditampilkan

2.12.4. Write input tables menu

Write input tables menu merupakan menu input berisi perintah yang menghasilkan file geodatabase yang digunakan untuk menyimpan nilai input data SWAT model. Gambar 2.9 Menampilkan *write input menu*.



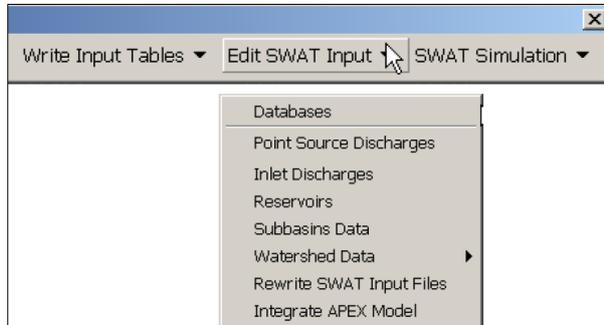
Gambar 2.9. Menu Write input tables

Sumber: ArcSWAT, 2017

- *Write input menu: weather stasions*
Merupakan menu untuk memasukan lokasi dan data stasiun cuaca pada DAS yang diteliti.
- *Write input menu: Write SWAT Input Tables*
Merupakan menu masukan SWAT, untuk membuat tabel geodatabase pada ArcSWAT yang menyimpan nilai parameter input SWAT.

2.12.5. Edit SWAT input

Menu edit SWAT input memungkinkan pengguna untuk mengedit database model SWAT dan file database watershed berisi input data yang sesuai dengan kondisi daerah yang diteliti. Berikut merupakan tampilan dari Edit SWAT Input.



Gambar 2.10. Menu Edit SWAT input

Sumber: ArcSWAT, 2017

- Edit SWAT Input menu: Databases

Database merupakan sebuah database untuk memungkinkan pengguna mengakses model SWAT database dari dalam sebuah project SWAT, dan dapat diedit pada sembarang waktu selama pengembangan project SWAT. Database SWAT harus diedit ke konten yang diinginkan sebelum menulis masukan SWAT. Mengedit database SWAT akan memodifikasi isi SWAT2012.mdb.

- Edit SWAT Input menu: Point Source Discharges

Merupakan menu yang memungkinkan pengguna untuk menentukan titik outlet pada pembentukan subbasin.

- Edit SWAT input menu: Inlet Discharges

Perintah inlet discharges memungkinkan pengguna mengakses/mendefinisikan inlet dibagian hulu DAS tidak secara langsung dimodelkan dalam suatu project SWAT.

- Edit SWAT input menu: Reservoir

Perintah reservoir mengijinkan pengguna untuk mengakses/mengedit parameter masukan untuk reservoir yang ditempatkan dimanapun di dalam DAS.

- Edit SWAT input menu: Subbasins Data

Perintah subbasins data mengijinkan pengguna untuk mengakses/mengedit parameter data untuk area lahan, saluran, ponds/wetlands, dan system groundwater di dalam watershed.

- Edit SWAT input menu: Watershed Data

Perintah *watershed data* memungkinkan pengguna mengakses/mengedit masukan parameter yang diterpkan oleh DAS secara keseluruhan.

- *Edit SWAT input menu: Re-Write SWAT input files*

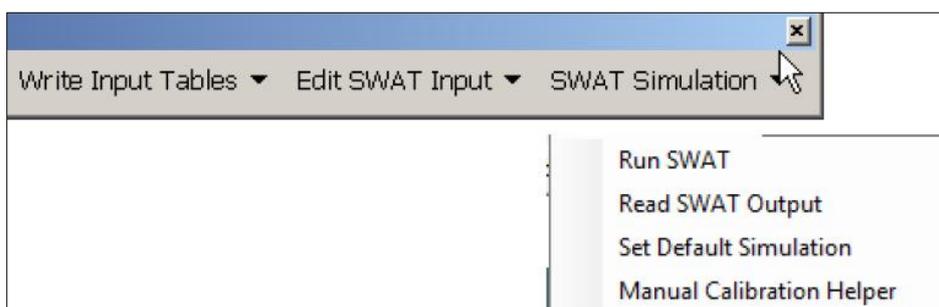
Perintah *Re-Write SWAT input files* memungkinkan pengguna untuk menulis ulang file masukan SWAT (.sub, .mgt, .hru, dll) setelah *geodatabase* SWAT telah diedit.

- *Edit SWAT input menu: Integrate APEX Model*

Perintah model APEX memungkinkan pengguna untuk menentukan subbasin dalam model SWAT saat ini yang ingin disimulasikan penggunaanya.

2.12.6. SWAT Simulation menu

Menu *swat simulation* merupakan menu untuk menjalankan model SWAT dan melakukan analisis kalibrasi. Gambar 2.11 Berikut tampilan pada ArcSWAT dari menu *SWAT simulation*



Gambar 2.11. SWAT simulation menu

Sumber: ArcSWAT, 2017

- *SWAT simulation menu: RUN SWAT*

Perintah *RUN SWAT* memungkinkan pengguna untuk mengubah parameter menjadi tiga file masukan SWAT, Seperti kode kontrol masukan (.cod), file masukan *basin* (.bsn), dan file masukan kualitas air pada *watershed* (.wwq).

- *SWAT Simulation menu: Read SWAT Output*

Perintah *read SWAT Output* memungkinkan pengguna untuk mengimpor file output yang utama menjadi *database* pada *Microsoft access*. Selain itu, dialog yang dibuka dengan perintah ini memungkinkan pengguna untuk menyimpan simulasi SWAT ke dalam folder yang permanen.

- *SWAT simulation menu: Set default simulation*

Perintah *set default simulation* memungkinkan pengguna untuk mengatur ulang masukan simulasi dalam SWAT untuk digunakan sebagai simulasi default aktif.

- *SWAT simulation menu: Manual calibration helper*

Perintah *manual calibration helper* ini merupakan sebuah dialog yang menyediakan alat untuk memungkinkan pengguna membuat perubahan parameter pada HRU tertentu selama kalibrasi manual.

2.13. Pengolahan Basis Data

Pembangunan basis data merupakan suatu proses untuk memperoleh data masukan ArcSWAT. Hasil keluaran dari pembangunan basis data adalah peta dalam bentuk raster. Data raster merupakan data dimana semua obyek disajikan pada kolom dan baris dalam bentuk sel mewakili suatu areal yang berbentuk bujur sangkar, memiliki koordinat, dan informasi. Informasi inilah yang nantinya digunakan sebagai input data untuk model ArcSWAT. Tahap pembangunan basis data terdiri dari tiga proses yaitu pembuatan peta penggunaan lahan, pembuatan DEM (*Digital Elevation Model*) dan kemiringan lahan, serta pembuatan peta jenis tanah.

1. *Digital Elevation Model (DEM): ESRI GRID format*

Penggunaan DEM memakai bilangan bulat atau bilangan real untuk menilai elevasi. Unit yang digunakan untuk menentukan resolusi GRID dan elevasi tidak diperlkan identik. Misalnya, resolusi GRID mungkin berada dalam meter sementara ketinggiannya beradar di yard. Resolusi GRID harus didefinisikan di salah satu unit berikut: meter, kilometer, kaki, yard, mil, derajat decimal. Sedangkan elevasi harus di definisikan di salah satu unit berikut ini: meter, sentimeter, yard, kaki, inci.

2. *Land Cover/ Land Use: ESRI GRID, Shapefile, or Feature Classs Format*

Peta tata guna lahan perlu di reklasifikasi berdasarkan kategorinya ke dalam tutupan lahan/jenis tanamannya. Pengguna memiliki tiga opsi untuk mereklasifikasi ulang kategori tersebut. Pilihan pertama menggunakan tabel pencarian tutupan lahan yang dibangun pada ArcSWAT berisi tabel USGS LULC dan NLCD dalam database SWAT2012.mdb yang mengidentifikasi luas tutupan lahan/tanaman yang berbeda jenis yang digunakan untuk memodelkan berbagai penggunaan lahan. Pilihan kedua adalah mengetikan kode tutupan/jenis tanah pada database SWAT yang dibatasi menjadi 4 huruf untuk masing masing kategori penutupan lahan. Pilihan ketiga adalah membuat *user look up table* yang mengidentifikasi kode SWAT 4 huruf tersebut untuk berbagai kategori penutupan lahan pada peta yang sudah ada.

3. *Soil: ESRI GRID, Shapefile, or Feature Class Format*

Database tanah juga diperlukan dalam permodelan SWAT ini, karena database tanah yang ada dalam model hanya data tanah Amerika Serikat saja. Database tanah dapat dirancang oleh pengguna, pengguna memiliki empat opsi untuk menghubungkan peta ke database tanah A.S

Kumpulan data spasial ArcSWAT dapat dibuat dalam proyeksi apapun (proyeksi yang sama harus digunakan untuk semua peta). Pengguna akan mengidentifikasi jenisnya dari proyeksi dan pengaturan proyeksi di saat membuat proyek baru.

2.13.1. ArcSWAT tabel dan *text file data*

ArcSWAT membutuhkan informasi mengenai komponen dari suatu DAS, antar lain hujan harian, tataguna lahan, kandungan air tanah, dsb. Informasi – informasi itu dihimpun dalam basis data masukan yang dinamakan input data.

2.13.2. *Land Use Look Up Table (dBase or ASCII)*

Tabel tampilan penggunaan lahan digunakan untuk menentukan kode tutupan lahan/tanaman pada ArcSWAT. Kode jenis lahan perkotaan dimodelkan untuk setiap kategori di grid penggunaan lahan. Karena informasi ini bisa dimasukan secara manual, tabel ini tidak diperlukan untuk menjalankan simulasi. semua obyek disajikan pada kolom dan baris dalam bentuk sel mewakili suatu areal yang berbentuk bujur sangkar, memiliki koordinat, dan informasi. Informasi inilah yang nantinya digunakan sebagai input data untuk model ArcSWAT. Tabel ini dapat diformat sebagai tabel dalam satabase atau sebagai tabel teks yang dibatasi koma dalam format .txt. baris pertama dari tampilan tabel penggunaan lahan harus berisi nama *field*. Baris yang tersisa akan menyimpan data yang dibutuhkan, contohnya *land use look up table* dapat ditemukan di dalam database. Tabel 2.3 Dan Tabel 2.4 merupakan format tabel yang sesuai dengan program ArcSWAT.

Tabel 2.3.

Format dBase tabel land use (.dbf)

<i>Field Name</i>	<i>Field Format</i>	Definisi
<i>Value</i>	<i>String</i>	Jumlah Kategori dalam peta
<i>Landuse</i>	<i>String 4 Karakter</i>	Sesuaikan dengan penggunaan lahan SWAT, Yaitu perkotaan/tanaman

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.15)

Tabel 2.4.
Format land use ASCII (.txt)

"value", "landuse"

1,RNGE

2,PAST

3,FRSD

4,WATR

5,AGRL

6,URBN

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.21)

2.13.3. Soil Look Up Table (dBase or ASCII)

Soil look up table merupakan tabel yang digunakan untuk menentukan jenis tanah yang akan dimodelkan untuk masing-masing kategori di grid peta tanah. Format tabel akan bervariasi tergantung pada pilihan yang dipilih. Tabel 2.5. Dan tabel 2.6. Merupakan format tabel jenis tanah yang sesuai dengan program ArcSWAT.

Tabel 2.5.

Format dBase tabel *soil* Stmuid

<i>Field Name</i>	<i>Field Format</i>	Definisi
<i>Value</i>	<i>String</i>	Jumlah Kategori dalam peta
STMUID	<i>String</i> 5 Karakter	5 digit, digit 1-2 nomor kode Negara; digit 3-5 nomor polygon STATSGO

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.25)

Tabel 2.6.

Format dBase tabel *soil* S5id

<i>Field Name</i>	<i>Field Format</i>	Definisi
<i>Value</i>	<i>String</i>	Jumlah Kategori dalam peta
S5ID	<i>String</i> 6 Karakter	6 karakter alpha numeric kode untuk SOILS-5 data jenis tanah

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.27)

Tabel 2.7.

Format dBase tabel *soil Name*

<i>Field Name</i>	<i>Field Format</i>	Definisi
<i>Value</i>	<i>String</i>	Jumlah Kategori dalam peta
<i>Name</i>	<i>String 30 Karakter</i>	Nama dari jenis tanah. Nama yang dituliskan harus sesuai dengan nama yang sudah dimasukkan dalam database User Soils. Catatannya tidak boleh berisi underscore (“_”).

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012,p.27)

2.13.4. Data Curah Hujan

ArcSWAT memerlukan data hujan harian. Nilai nilai untuk hujan didaot dari data pengamatan atau mungkin dihasilkan. Bab ini menguraikan format file yang digunakan untuk membaca data hujan terukur. Data hujan akan menafsirkan atau menyimpulkan model di dalam kenaikan waktu *daily* atau *sub-daily*. Data hujan dibutuhkan dalam program ArcSWAT untuk memperoleh nilai presipitasi, evaporasi, transpirasi, aliran permukaan, aliran lateral, aliran sungai, dan sebagainya yang berhubungan dengan air.

Pembuatan *precipitation Gage Location Table* (ASCII only) digunakan untuk mendata lokasi stasiun hujan di DAS tersebut. Catatan: tabel stasiun curah hujan harus sama dengan format yang diinginkan program ArcSWAT terbaru, format database yang menggunakan versi sebelumnya dari ArcSWAT tidak lagi didukung. Tabel 2.8. Merupakan contoh format *precipitation gage location table* pada Tabel 2.8..

Tabel 2.8.

Precipitation gage location table (.txt)

<i>Name</i>	Format	Definisi
<i>ID</i>	Bilangan bulat	ID stasiun hujan, contoh: 1
<i>NAME</i>	Maksimal 8 karakter	Nama stasiun hujan
<i>LAT</i>	latitude point	Garis lintang stasiun hujan
<i>LONGV</i>	lonitude point	Garis bujur stasiun hujan
<i>ELEVATION</i>	Bilangan bulat	Elevasi stasiun hujan

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.30)

Tabel data hujan harian digunakan untuk menyimpan data curah hujan harian. Tabel ini diperlukan jika opsi *raingage* dipilih untuk curah hujan pada kotak dialog *weather generator data*. Nama tabel data hujan adalah “*name.txt*” dimana nama tersebut harus sama dengan nama yang sudah ada pada tabel *precipitation gage location*. Tabel 2.9. Merupakan format tabel data hujan harian yang sudah sesuai dengan format database ArcSWAT.

Tabel 2.9.

Format data hujan (.txt)

Baris	Format	Definisi
Pertama	Tahun, bulan, hari	Hari dimulainya hujan
Selanjutnya	curah hujan harian, format random	Jumlah hujan harian (mm)

Sumber: ArcSWAT *Documentary*(2012.p.32)

2.13.5. Weather Generator

ArcSWAT membutuhkan data presipitasi harian, temperature maksimum dan minimum, radiasi sinar matahari, kelembaban relative, dan kecepatan angin untuk simulasi program. Data-data ini didapatkan dari data pengamatan pada stasiun-stasiun meteorologi dan stasiun hujan. ArcSWAT juga mampu membangkitkan data-data yang hilang dari pengukuran. Untuk hal ini ArcSWAT menggunakan model pembangkit cuaca WXGEN (Sharpley & Williams, 1990)

Kejadian hujan pada suatu hari berhubungan langsung dengan kelembaban relative, temperatur dan radiasi sinar matahari. Data hujan terlebih dahulu dibangkitkan untuk memperoleh nilai-nilai pembangkitan data kelembaban relatif, temperatur, dan radiasi sinar matahari. Sehingga data kecepatan angin dapat dibangkitkan. *File input weather generator* berisi data statistic yang diperlukan untuk menghasilkan wakil data iklim harian untuk subbasins. Idealnya, sedikitnya 20 tahun *records* digunakan untuk mengkalkulasi parameter di dalam .wgn file. Data iklim akan menghasilkan dua kejadian. Dimana digunakan dalam simulasi dan untuk menelusuri data yang salah.

Pembangkitan data presipitasi dalam ArcSWAT menggunakan model Markov Chain-Skewed (Nicks, 1974) dan model Markov Chain Exponential (Williams, 1995). Dalam studi ini digunakan data presipitasi model Markov Chain-skewed (Nicks, 1974). Ketika hari basah (hujan) dibangkitkan, distribusi kepercengan hujan digunakan untuk membangkitkan jumlah presipitasi yang terjadi. Dalam model Markov *Chain-Exponential*,

peluang hujan pada suatu hari hujan dikondisikan pada hari basah (hujan) ditentukan dengan angka hujan 0,1 atau lebih. Peluang kejadian hujan dan tidak hujan dalam model ini dibagi menjadi dua data masukan dengan rumus seperti berikut ini:

1. Probabilitas hari basah pada hari i hari basah pada hari sebelum i,

$$P1 (D/W)=1-P1 (W/W)..... (2-21)$$

2. Probabilitas hari basah pada hari i hari kering pada hari sebelum i,

$$P1 (D/D)=1-P1 (W/D) (2-22)$$

dengan:

$P1 (D/W)$ = peluang hari kering pada hari i hari basah pada hari i - 1

$P1 (D/D)$ = peluang hari kering pada hari i hari kering pada hari i - 1

Untuk menghitung jumlah presipitasi yang terjadi pada suatu hari, ArcSWAT menggunakan model distribusi kepengcangan (*skewed distribution*) (Nicks, 1974) dengan rumus sebagai berikut:

$$R_{day} = \mu_{mon} + 2 \cdot \sigma_{mon} \left[\frac{\left[\left(\frac{SDN_{day} - g_{mon}}{6} \right) \cdot \left(\frac{g_{mon}}{6} \right) + 1 \right]^3 - 1}{g_{mon}} \right] (2-23)$$

dengan:

R_{day} = Jumlah hujan pada suatu hari (mm H₂O)

μ_{mon} = Rata-rata hujan harian bulanan (mm H₂O)

σ_{mon} = Standar deviasi hujan harian bulanan (mm H₂O)

SDN_{day} = Standar normal deviasi terhitung untuk hari hujan

g_{mon} = Koefisien kepengcangan untuk hujan harian bulanan

Standar normal deviasi dihitung dengan rumus:

$$SDN_{day} = \cos (6,283 \cdot rnd_2) \cdot \sqrt{-2 \ln (rnd_1)} (2-24)$$

dengan:

SDN_{day} = Standar normal deviasi terhitung untuk hari hujan

rnd_1 dan rnd_2 adalah bilangan acak antara 0,0 dan 1,0

Untuk input data-data pembangkit cuaca, data-data disusun dalam susunan data statistik dengan rumus-rumus sebagai berikut:

1. TMPMX adalah rata-rata temperatur udara maksimum dalam bulanan. Dihitung dengan menjumlahkan temperatur udara maksimum untuk tiap hari di dalam bulan untuk record dan pembagian oleh banyaknya hari yang dijumlahkan.

$$\mu mx_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mx,mon}}{N} \dots\dots\dots (2-25)$$

dengan:

- μmx_{mon} = Rata-rata temperatur maksimum harian untuk bulan *mon* (°C)
- $T_{mx,mon}$ = Temperatur maksimum harian pada hari ke-*d* bulan *mon* (°C)
- N = Jumlah temperatur maksimum pada bulan *mon*

2. TMPMN adalah rata-rata temperatur udara minimum dalam bulanan. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan suhu udara minimum untuk tiap hari di dalam bulan untuk semua tahun record dan pembagian oleh banyaknya hari yang dijumlahkan.

$$\mu mn_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N T_{mn,mon}}{N} \dots\dots\dots (2-26)$$

dengan:

- μmn_{mon} = Rata-rata temperatur minimum harian untuk bulan *mon* (°C)
- $T_{mn,mon}$ = Temperatur minimum harian pada hari ke-*d* bulan *mon* (°C)
- N = Jumlah temperatur minimum pada bulan *mon*

3. TMPSTDMX adalah standar deviasi temperatur harian maksimum dalam bulanan. Simpangan baku untuk suhu udara maksimum harian di dalam bulan. parameter ini mengukur variabilitas pada suhu maksimum untuk masing-masing untuk masing-masing bulan. simpangan baku dapat dihitung:

$$\sigma mx_{mon} = \sqrt{\left[\frac{\left(\sum_{d=1}^N T_{mx,mon} - \mu mx_{mon} \right)^2}{N - 1} \right]} \dots\dots\dots (2-27)$$

dengan:

- σmx_{mon} = Standar deviasi temperatur harian maksimum bulan *mon* (°C)
- $T_{mx, mon}$ = Temperatur maksimum harian pada hari ke-*d* bulan *mon* (°C)
- μmx_{mon} = Rata-rata temperatur maksimum harian untuk bulan *mon* (°C)
- N = Jumlah temperatur maksimum pada bulan *mon*

4. TMPSTDMN adalah standar deviasi temperatur harian minimum dalam bulanan. Simpangan baku untuk suhu udara minimum harian di dalam bulan. Parameter ini mengukur variabilitas untuk masing-masing bulan.

$$\sigma mn_{mon} = \sqrt{\left[\frac{\left(\sum_{d=1}^N T_{mn,mon} - \mu mn_{mon} \right)^2}{N - 1} \right]} \dots\dots\dots (2-28)$$

dengan:

- σmn_{mon} = Standar deviasi temperatur harian minimum bulan *mon* (°C)
- $T_{mn, mon}$ = Temperatur minimum harian pada hari ke-*d* bulan *mon* (°C)
- μmn_{mon} = Rata-rata temperatur minimum harian untuk bulan *mon* (°C)
- N = Jumlah temperatur minimum pada bulan *mon*

5. PCPMM adalah rata-rata total presipitasi dalam bulanan.

$$\bar{R}_{mon} = \frac{\sum_{d=1}^N R_{day,mon}}{yrs} \dots\dots\dots (2-29)$$

dengan:

- \bar{R}_{mon} = Rata-rata presipitasi bulan *mon* (mm H₂O)
- $R_{day, mon}$ = Presipitasi harian untuk hari ke-*d* pada bulan *mon* (mm H₂O)
- N = Jumlah presipitasi harian pada bulan *mon*
- yrs = Jumlah tahun presipitasi harian

6. PCPSTD adalah standar deviasi presipitasi harian dalam bulanan. Parameter ini mengukur variabilitas hujan untuk masing-masing bulan.

$$\sigma_{mon} = \sqrt{\left[\frac{\left(\sum_{d=1}^N R_{day,mon} - \bar{R}_{mon} \right)^2}{N - 1} \right]} \dots\dots\dots (2-30)$$

dengan:

- σ_{mon} = Standar deviasi presipitasi harian bulan *mon* (mm H₂O)
- $R_{day, mon}$ = Jumlah presipitasi harian untuk hari ke-*d* pada bulan *mon* (mm H₂O)
- \bar{R}_{mon} = Rata-rata presipitasi harian dalam bulan *mon* (mm H₂O)
- N = Jumlah presipitasi harian pada bulan *mon*

7. PCPSKW adalah koefisien kepengcengan presipitasi harian bulanan.

$$g_{mon} = \frac{N \cdot \sum_{d=1}^N (R_{day, mon} - \bar{R}_{mon})^2}{(N-1) \cdot (N-2) \cdot (\sigma_{mon})^2} \dots\dots\dots (2-31)$$

dengan :

- g_{mon} = Koefisien kepengcengan presipitasi harian bulan *mon*
- N = Jumlah presipitasi harian pada bulan *mon*
- $R_{day, mon}$ = Jumlah presipitasi harian untuk hari ke-*d* pada bulan *mon* (mm H₂O)
- \bar{R}_{mon} = Rata-rata presipitasi bulanan (mm H₂O)
- σ_{mon} = Standar deviasi presipitasi harian bulan *mon* (mm H₂O)

8. PR_W(1, *mon*) adalah probabilitas hari hujan/hari basah (*wet day*) yang mengikuti hari tidak hujan/hari kering (*dry day*), artinya apabila hari ini hujan maka kemarin tidak hujan. Kemungkinan suatu hari basah mengikuti hari kering di dalam bulan itu dapat dihitung:

$$P_1 (W/D) = \frac{days_{W/D, i}}{days_{dry, i}} \dots\dots\dots (2-32)$$

dengan:

- $P_1 (W/D)$ = Probabilitas hari basah yang mengikuti hari kering di bulan *i*
- $days_{W/D, i}$ = Jumlah hari basah yang mengikuti hari kering
- $days_{dry, i}$ = Jumlah hari kering selama periode pengukuran

9. PR_W(2, *mon*) adalah probabilitas hari hujan/hari basah (*wet day*) yang mengikuti hari hujan/hari basah (*wet day*), artinya apabila hari ini hujan maka kemarin juga hujan. Kemungkinan ini dapat dihitung dengan:

$$P_1 (W/W) = \frac{days_{W/W, i}}{days_{wet, i}} \dots\dots\dots (2-33)$$

dengan:

$P_1 (W/W)$ = Probabilitas hari basah yang mengikuti hari basah di bulan i

$days_{W/W, i}$ = Jumlah hari basah yang mengikuti hari basah

$days_{wet, i}$ = Jumlah hari basah selama periode pengukuran

10. PCPD(mon) adalah jumlah rata-rata hari terjadinya presipitasi dalam bulanan.

Parameter ini dapat dihitung:

$$\bar{d}_{wet, i} = \frac{days_{wet, i}}{yrs} \dots\dots\dots (2-34)$$

dengan:

$\bar{d}_{wet, i}$ = Rata-rata jumlah hari terjadinya presipitasi dalam bulan i

$days_{wet, i}$ = Jumlah hari basah selama periode pengukuran i

yrs = jumlah tahun pengukuran

11. SOLARAV(mon) adalah rata-rata radiasi sinar matahari harian dalam bulanan. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan total radiasi matahari untuk tiap hari di dalam bulan untuk semua tahun record dan pembagian oleh banyaknya hari yang dijumlahkan.

$$\mu rad_{mon} = \frac{\sum_{d=i}^N H_{day, mon}}{N} \dots\dots\dots (2-35)$$

dengan:

μrad_{mon} = Rata-rata radiasi sinar matahari harian untuk bulan mon (MJ/M²/day)

$H_{day, mon}$ = Jumlah radiasi sinar matahari pada permukaan bumi pada hari ke- d dalam bulan mon (MJ/M²/day)

N = Jumlah angka radiasi sinar matahari untuk bulan mon

12. WND AV(mon) adalah rata-rata kecepatan angin dalam bulanan. Kecepatan angin harian rerata di dalam bulan. Nilai ini dihitung dengan menjumlahkan nilai kecepatan angin rerata untuk tiap hari di dalam bulan untuk semua tahun record dan pembagian oleh banyaknya hari yang dijumlahkan.

$$\mu wnd_{mon} = \frac{\sum_{d=i}^N \mu_{wdn, mon}}{N} \dots\dots\dots (2-36)$$

dengan:

μwnd_{mon}	= Rata-rata kecepatan angin harian untuk bulan <i>mon</i> (m/s)
$H_{wdn, mon}$	= Jumlah kecepatan angin pada hari ke- <i>d</i> bulan <i>mon</i> (m/s)
N	= Jumlah angka kecepatan angin harian untuk bulan <i>mon</i>

2.14. *Input Data ArcSWAT*

ArcSWAT memerlukan berbagai macam informasi mengenai komponen-komponen suatu DAS antara lain hujan yang terjadi di DAS, tata guna lahan, kandungan air tanah, dsb. Informasi-informasi tersebut dikumpulkan dalam basis data masukan yang dinamakan input data.

a. Data Iklim

Input data pada ArcSWAT untuk tiap-tiap sub DAS diatur menurut: data iklim dan cuaca, data *Hydrologic Response Unit* (HRU), data air tanah, dan data saluran utama. HRU adalah lahan yang dikaji pada sub DAS, termasuk didalamnya adalah penutup lahan atau tata guna lahan, jenis tanah, dan informasi-informasi yang terdapat dalam suatu DAS.

Dalam ArcSWAT data iklim yang menjadi input dalam aplikasi adalah curah hujan, temperatur udara maksimum harian rerata bulanan (TMPX) dan temperatur udara minimum harian rerata bulanan (TMPMN), simpangan baku suhu udara maksimum dan minimum bulanan (TMPSTDMX dan TMPSTDMN), radiasi sinar matahari harian (SOLARAV), kecepatan angin harian rerata bulanan (WNDV), data-data tersebut dikumpulkan dalam *file* WGN. ArcSWAT dapat mensimulasikan proses-proses fisika dan kimia yang terjadi pada suatu DAS. Program ini menganalisis semua masalah yang terjadi pada suatu DAS dengan prinsip dasar pola keseimbangan aliran. Untuk memperkirakan pergerakan pestisida, sedimen, dan nutrisi tanaman dengan akurat, ArcSWAT mensimulasikan proses-proses yang terjadi dalam siklus hidrologi, yang selanjutnya digunakan dalam pemodelan.

b. Data penggunaan lahan

Penilaian parameter masing-masing penggunaan lahan diperoleh dari data sekunder. Parameter penggunaan lahan ini berkaitan dengan Faktor Pengelolaan Tanaman (C)

c. Data jenis tanah

Masukan data tanah terdiri dari simbol, nama atau nomor jenis tanah, sedangkan masukan untuk parameter tanah yang diamati sebagian besar adalah sifat fisik tanah. Data parameter tanah yang dibutuhkan untuk input ArcSWAT terdiri dari grup hidrologi (HYDGRP), kedalaman efektif (SOL_ZMX), kedalaman tiap horizon tanah (SOL_Z), berat isi tanah (SOL_BD), *available water capacity* (SOL_AWC), permeabilitas (SOL_K), C-

organik (SOL_CBN), presentase liat (CLAY), presentase debu (SILT), presentase pasir (SAND), fraksi batuan (ROCK), albedo tanah (SOL_ALB), dan erodibilitas tanah (USLE_K). Seluruh parameter tersebut diisi pada tiap horizon lapisan tanah.

d. Karakteristik saluran atau sungai

Karakteristik sungai terdiri dari jumlah sungai atau saluran, lebar masing-masing saluran dan koefisien kekasaran saluran. Jumlah sungai atau saluran, lebar, dan angka kekasaran Manning diketahui dari peta, data-data ini dimasukkan melalui menu *Interface* “*Write Subbasin General Data*” pada toolbar input, sedangkan angka kekasaran Manning di *input* melalui menu “*Write Main Channel Data*”.

Untuk memudahkan memahami pola kerja ArcSWAT yaitu dengan cara membandingkan antara pola data yang dibutuhkan oleh SWAT dengan siklus hidrologi di alam ini.

Tabel 2.10

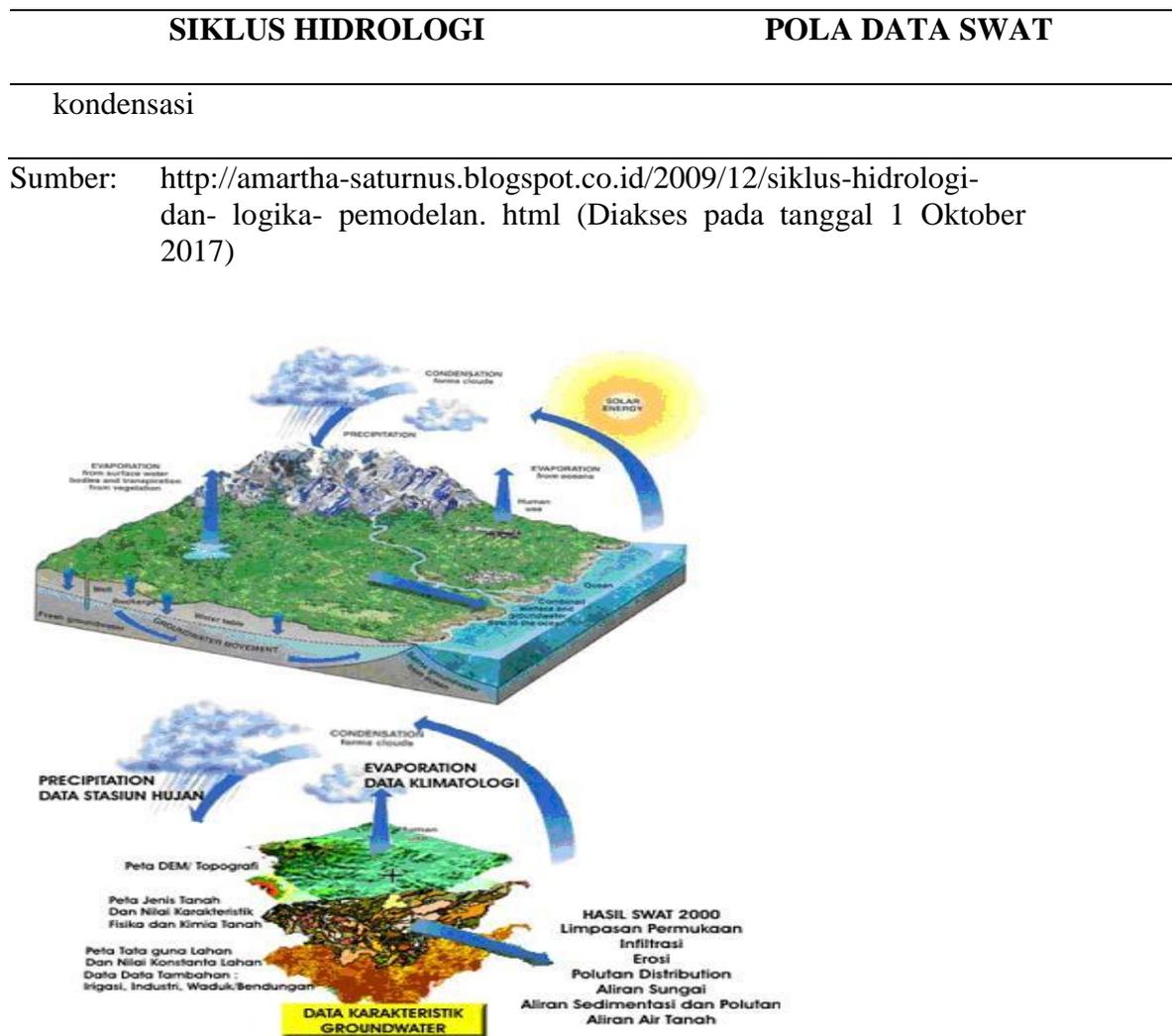
Pola Data *Input* ARCSWAT

SIKLUS HIDROLOGI	POLA DATA SWAT
<ul style="list-style-type: none"> • Kejadian Hujan • Hujan jatuh ke permukaan bumi, sebagai aliran permukaan yang mengalir di atas permukaan dengan jenis lahan yang berbeda-beda yaitu tataguna lahannya/<i>land cover/land use</i>, dan jenis tanahnya. Dimana pergerakan tersebut mengalir dan menggerus material material yang dilewatinya. 	<ul style="list-style-type: none"> • Data Hujan dan Lokasi Stasiun Hujan • Peta Topografi: Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai-nilai slope lahan/kelerengan. Dengan nilai tersebut maka dapat ditentukan arah dan besar aliran yang akan mengalir di atasnya. (ingat: besaran aliran air dipengaruhi oleh kemiringan/<i>slope</i>)
<ul style="list-style-type: none"> • Pada proses aliran permukaan juga terdapat proses lainnya yang terjadi secara bersamaan yaitu sering disebut dengan proses infiltrasi yaitu meresapnya air kedalam tanah, dan mengisi kapasitas tampung tanah hingga 	<ul style="list-style-type: none"> • Peta Tataguna Lahan: Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai-nilai konstanta penutup lahan, di mana nilai tersebut menjadi faktor parameter hambatan aliran atau sering disebut sebagai angka kekasaran dapat berupa nilai n

Lanjutan Tabel 2.10.
Pola Data *Input* ARCSWAT

SIKLUS HIDROLOGI	POLA DATA SWAT
<ul style="list-style-type: none"> akhirnya kapasitas tanah tersebut mencapai tingkat jenuh, sehingga terjadi limpasan di permukaan (<i>run off</i>), pergerakan air tersebut juga akan mengisi cekungan cekungan permukaan alam yang dilewatinya. 	<p><i>manning</i> atau koefisien lahan lainnya seperti <i>CN/Curve Number</i> pada metode SCS. (ingat: formula <i>manning</i> $V = 1/n R^{2/3} S^{1/2}$)</p> <ul style="list-style-type: none"> Peta Jenis Tanah: Olahan data peta ini akan menghasilkan nilai-nilai konstanta untuk perhitungan kemampuan resapan/infiltrasi dan nilai-nilai konstanta erodibilitas tanah/kemampuan tahan terhadap erosi nilai K, nilai-nilai kandungan tanahnya seperti sifat kimia tanah dan tekstur fisik tanah.
<ul style="list-style-type: none"> Pergerakan air tersebut akan berakhir pada suatu tampungan yaitu laut dengan diawali mengalir pada jaringan- jaringan sungai. Sumber inflow daripada aliran yang ada di sungai adalah hujan, limpasan permukaan dan simpanan air tanah. 	<ul style="list-style-type: none"> Peta Jaringan Sungai dan Dimensi Sungai atau Waduk Peta Jaringan Sungai dan Dimensi Sungai Data Ground Water/Air Tanah
<ul style="list-style-type: none"> Semua proses pergerakan air baik yaitu di permukaan maupun di dalam tanah akan mengalami proses yang dinamakan evapotranspirasi/ penguapan yaitu proses terangkatnya air dari daratan maupun tampungan ke udara. Dan pada akhirnya kembali proses hujan akibat proses 	<ul style="list-style-type: none"> Data Klimatologi (suhu, penyinaran matahari, angin) dan Lokasi Stasiun Klimatologi

Lanjutan Tabel 2.10.
Pola Data *Input* ARCSWAT



Gambar 2.12. Siklus Hidrologi, Data Dan Hasil Pemodelan Swat

Sumber: <http://amartha-saturnus.blogspot.co.id/2009/12/siklus-hidrologi-dan-logika-pemodelan.html> (Diakses pada tanggal 1 Oktober 2017)

2.15. Pembangunan Model Pada Aplikasi ArcSWAT

Analisis hidrologi daerah tangkapan air Waduk Lahor dilakukan dengan bantuan ArcSWAT. Pada analisis hidrologi ini disediakan data sebagai *input* dalam model ArcSWAT meliputi data tanah, data iklim dan data tata guna lahan.

a. Deliniasi Area Penelitian

Deliniasi area penelitian merupakan langkah awal dalam menjalankan ArcSWAT. Deliniasi dilakukan dengan menggunakan data DEM. Dalam ArcSWAT, daerah penelitian termasuk jaringan hidrologi dapat dideliniasi otomatis. Pada tahap ini DAS akan dibagi menjadi beberapa sub-basin dan akan ditentukan juga ukuran *threshold* dalam tiap km². Selain itu ditentukan juga posisi dari outlet sungai sebagai akhir dari aliran sungai pada

daerah yang dianalisa.

Untuk melakukan deliniasi diperlukan peta DAS dan DEM. Sebelum melakukan kegiatan *watershed deliniation* pada ArcSWAT, seluruh peta harus pada satuan yang sama seperti UTM dan *watershed deliniation* harus telah di *plugin* ke program ArcSWAT. *Output* dari tahap ini adalah bentuk aliran sungai menuju outlet dan batas dari beberapa sub-basin. Sub-basin terbentuk dari batas-batas yang dipengaruhi oleh bentuk topografi pada wilayah tersebut.

b. Pembentukan *Hidrology Response Unit* (HRU)

HRU merupakan unit analisis hidrologi yang mempunyai karakteristik tanah dan penggunaan lahan yang spesifik, sehingga dapat dipisahkan antara satu HRU dengan lainnya. HRU diperoleh melalui overlay peta kemiringan lahan, peta tanah, dan peta penggunaan lahan yang ketiganya telah di *reprojected*. HRU yang terbentuk oleh model dengan menggunakan metode *threshold by percentage*, untuk penggunaan lahan, jenis tanah serta kemiringan lereng.

c. Pembangkitan Data Iklim (*Weather Regeneration*)

Data WGN dibangun oleh data curah hujan, kecepatan angin, temperatur, kecepatan angin, radiasi matahari dalam kurun waktu 10 tahun. Data iklim digunakan untuk membangun generator cuaca. WGN berfungsi untuk mengisi kekosongan data curah hujan yang digunakan pada masing-masing penakar hujan.

d. Simulasi

Proses simulasi dijalankan setelah proses penggabungan HRU dengan data iklim selesai dilakukan. Simulasi hidrologi dijalankan berdasarkan periode harian. Persamaan yang digunakan dalam SWAT untuk memprediksi aliran permukaan adalah metode *SCS Curve Number*.

$$Q_{\text{surf}} = \frac{(R_{\text{day}} - I_a)^2}{(R_{\text{day}} - I_a + S)} \dots\dots\dots (2-37)$$

Dengan

Q_{surf} = jumlah aliran permukaan pada hari I (mm)

R_{day} = jumlah curah hujan pada hari ke I (mm)

I_a = kehilangan akibat resapan permukaan, intersepsi, dan infiltrasi

S = parameter retensi (mm)

Parameter retensi digitung berdasarkan persamaan berikut:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots (2-38)$$

Dengan:

CN = bilangan kurva (*curve number*)

CN diturunkan dari analisis spasial dimana peta tanah dikonversi menjadi *Hidrology Soil Group* dan di *overlay* dengan peta penutupan lahan masing-masing tiap tahun. CN digunakan untuk memprediksi nilai *runoff* atau infiltrasi. Sedangkan untuk aliran bawah tanah atau *base flow* (Q_{gw}) dihitung dari persamaan:

$$Q_{gw} = \frac{8000 \cdot K_{sat}}{L^2_{gw}} \times h_{wtbl} \dots\dots\dots (2-39)$$

Dengan:

K_{sat} = *hidraulic conductivity* (mm/hari)

L^2_{gw} = jarak sub DAS ke saluran utama (m)

h_{wtbl} = tinggi muka air tanah (m)

Perhitungan debit puncak limpasan menggunakan metode rasional dengan persamaan sebagai berikut:

$$q_{peak} = (1/36) C I A \dots\dots\dots (2-40)$$

Dengan:

q_{peak} = debit puncak limpasan ($m^3/detik$)

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas sub DAS (km^2)

C = koefisien aliran

3,6 = faktor konversi

Untuk konsep perhitungan dalam SWAT menggunakan konsep erosi dan sedimentasi yaitu sebagai berikut:

$$Sed = 11,8 (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot Area_{hru})^{0,56} \cdot K_{usle} \cdot C_{usle} \cdot LS_{usle} \cdot CRFG \dots\dots\dots (2-41)$$

Dengan:

Q_{surf} = jumlah aliran permukaan pada hari I (mm)

q_{peak} = debit puncak limpasan ($m^3/detik$)

$Area_{hru}$ = luas area hru (km^2)

- K_{usle} = faktor erodibilitas
- C_{usle} = faktor vegetasi
- P_{usle} = faktor konservasi tanah
- LS_{usle} = faktor topografi
- CRFG = faktor pecahan batuan kasar

e. Visualisasi hasil

Pada tahap ini, visualisasi hasil yang diinginkan dapat dilihat. Misalnya dengan memilih parameter *output* debit aliran bulanan atau bulanan/tahunan.

f. Kalibrasi

Kalibrasi dimaksudkan untuk melakukan proses pengecekan *output* dari ArcSWAT terhadap data-data yang tersedia di lapangan. Proses kalibrasi ini juga digunakan untuk mengetahui kesesuaian dari estimasi nilai parameter-parameter yang kita gunakan dengan nilai parameter yang sebenarnya di lapangan.

Parameter yang digunakan sebagai acuan dalam proses kalibrasi ini adalah nilai debit banjir pada outlet dari DAS daerah studi. Nilai debit banjir yang didapat dari pencatat tinggi permukaan air pada Waduk Lahor ini akan dicek dengan nilai debit model yang dihasilkan oleh perhitungan ArcSWAT.

Berdasarkan teori *Hydrologic Calibration*, jika hasil pemodelan hidrologi menunjukkan terlalu kecil *base flow* dan terlalu besar *surface runoff*, maka solusinya adalah sebagai berikut:

A. Langkah 1:

1. Menambah/ mengurangi bilangan kurva larian (*curve number*) dalam file (*.mgf)
2. Menambah/ mengurangi AWC (*Available Water Capacity*) dalam file (*.sol)
3. Menambah/ mengurangi faktor kompensasi evaporasi dalam file (*.hru)

Apabila belum mendapatkan hasil yang memuaskan maka hal yang perlu diperhatikan adalah faktor-faktor air tanah yang tersimpan di data dalam file (*.gw)

B. Langkah 2:

1. Menambah/ mengurangi koefisien resap air tanah (GW_REVAP). Nilai maksimum 0,20 dan nilai minimum 0,02.
2. Menambah/ mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya evaporasi (REVAPMN).
3. Menambah/ mengurangi angka kisaran kedalaman air pada *shallow aquifer* yang mengakibatkan terjadinya aliran dasar (GWQMN). Nilai minimum 0,00.

C. Langkah 3:

Mengulangi langkah 1 dan langkah 2 terus menerus

2.16. Beberapa Bagian Penting Dalam ArcSWAT

2.16.1. *Automatic Deliniation*

Automatic Deliniation digunakan untuk mendapatkan sungai sintetis dan definisi outlet yang ada pada suatu DAS. Sungai sintetis didapat dari pengolahan input data peta kontur yang sudah dikonversi dalam bentuk *grid* dengan metode TIN (*Triangulated Irregular Network*). Di dalam menu ini terdapat perintah untuk membangkitkan sungai sintetis lengkap dengan dimensinya (panjang, lebar, kedalaman sungai) dan menentukan lokasi outlet secara otomatis oleh program berdasarkan percabangan anak sungai sintetis untuk membagi DAS ke dalam sub-sub DAS. Program melambangkan lokasi outlet dengan titik. Titik titik outlet dapat ditentukan secara manual oleh pengguna. Pengguna dapat memodifikasi (menambah atau mengurangi) titik outlet bahkan menghapus titik outlet yang tidak dikehendaki. Pengguna dapat pula mendefinisikan suatu titik outlet sebagai *point source* (waduk/ dam/ bendungan), atau dapat pula didefinisikan sebagai inlet.

Untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi, *software* ARCSWAT menggunakan model DEM (*Digital Elevation Model*). DEM atau DTM (*Digital Terrain Model*) adalah salah satu metode pendekatan yang biasa dipakai untuk memodelkan relief permukaan bumi dalam bentuk 3 dimensi. Penggunaan model permukaan digital dalam proses analisis limpasan permukaan merupakan langkah yang tepat dimana model permukaan digital yang mempresentasikan permukaan relief bumi akan membantu dalam ketelitian identifikasi kemiringan lahan, arah aliran, akumulasi aliran, panjang lintasan aliran, dan penentuan daerah aliran. Terdapat beberapa metode untuk menggambarkan bentuk permukaan bumi dalam model permukaan digital, yaitu model *grid* dalam bentuk persegi, model TIN (*Triangulated Irregular Network*) dalam bentuk segitiga yang tidak beraturan, dan metode CA (*Cellular Automata*) yaitu dalam bentuk segitiga, segi empat, atau segi enam beraturan. Dari berbagai metode yang ada, metode persegi merupakan metode yang paling banyak digunakan (Laurini 1992, dalam Sutan Haji), hal ini karena bentuk persegi lebih mudah dalam perhitungan.

2.16.2. *HRU Distribution*

HRU (*Hydrologic Response Unit*) digunakan untuk menghitung evapotranspirasi pada lahan di DAS. Lahan DAS yang dimaksud adalah penutup lahan/ tanaman dan jenis tanah.

Pembagian DAS ke dalam sub-sub DAS mengakibatkan setiap sub DAS mempunyai informasi tata guna lahan dan klasifikasi tanah yang berbeda-beda. Hal ini memudahkan program untuk merefleksikan perbedaan antara evapotranspirasi dengan kondisi hidrologi lain untuk setiap penutup lahan dan jenis tanah di setiap sub DAS.

2.16.3. *Land Use & Soil Definition*

Dalam *Land Use & Soil Definition* program akan mengklasifikasi dan mendefinisikan kombinasi dan distribusi penggunaan lahan dengan jenis tanah dengan meng-overlay peta tata guna lahan dan peta jenis tanah untuk menentukan daerah dan parameter hidrologi setiap kategori lahan dan tanah yang ada pada setiap sub DAS. Program ini akan meminta input data peta digital tata guna lahan dan peta jenis tanah beserta data-data spasialnya.

2.17. Hasil Simulasi (*Output Data*) ArcSWAT

Output ArcSWAT terangkum dalam *file-file output* yang terdiri dari file HRU, SUB dan RCH. File SUB informasi pada masing-masing sub DAS, HRU berisikan informasi pada masing-masing HRU, sedangkan RCH berisikan informasi pada masing-masing sungai utama dalam sub DAS. Informasi pada masing-masing sungai utama dalam RCH adalah jumlah aliran yang masuk ke sungai (*FLOW_IN*) dan aliran keluar (*FLOW_OUT*). Terdapat tiga file utama yang menjadi output dari *running simulation* ArcSWAT yaitu:

a. *Subbasin Output File (*.SUB)*

File ini berisi tentang informasi yang ada pada masing-masing sub DAS atau juga ringkasan pada HRU pada setiap sub DAS. Parameter-parameter penting yang mengacu pada studi ini adalah:

- ORGN = N organik pada sub DAS yang masuk ke badan saluran
- ORGNP = P organik pada sub DAS yang masuk ke badan saluran

b. *Main Channel Output File (*.RCH)*

File ini berisikan ringkasan informasi muatan komponen-komponen DAS yang masuk dan keluar pada saluran. Parameter-parameter penting yang mengacu pada studi ini adalah:

- ORGN_IN = N organik dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- ORGN_OUT = N organik dalam air yang keluar saluran (*reach*)
- ORGP_IN = P organik dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- ORGP_OUT = P organik dalam air yang keluar saluran (*reach*)
- NO₃_IN = Nitrat dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- NO₃_OUT = Nitrat dalam air yang keluar saluran (*reach*)

- NO₂_IN = Nitrit dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- NO₂_OUT = Nitrit dalam air yang keluar saluran (*reach*)
- NH₄_IN = Amonia dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- NH₄_OUT = Amonia dalam air yang keluar saluran (*reach*)
- TOTALP_IN = P dalam air yang masuk saluran (*reach*)
- TOTALP_OUT = P dalam air yang keluar saluran (*reach*)

c. *SUB Output File (*.SUB)*

- ORG_N = N organik yang terangkut keluar sub DAS menuju aliran sungai
- ORG_P = P organik yang terangkut keluar sub DAS menuju aliran sungai
- NO₃L = Nitrat yang tercuci masuk ke dalam profil tanah
- NO₃GW = Nitrat yang terangkut bersama air tanah menuju aliran sungai
- SOL_P = P mineral yang terlarut dan terangkut ke sungai
- P_GW = P terlarut bersama aliran air tanah menuju sungai

Halaman ini sengaja dikosongkan