

## 2 LANDASAN TEORI

### 2.1 Analisis Hidrologi

Analisis curah hujan hidrologi merupakan proses menganalisis informasi curah hujan dalam mempelajari siklus air serta pengaruh terhadap lingkungan (Najafi et al., 2021). Presipitasi merupakan air yang jatuh dari atmosfer ke permukaan bumi, dalam bentuk hujan atau salju. Data hidrologi seperti presipitasi, evaporasi, serta limpasan air permukaan digunakan dalam analisis ini. Tujuan analisis curah hujan hidrologi merupakan mempelajari pengaruh curah hujan terhadap siklus hidrologi. Data hidrologi tentang presipitasi, evaporasi, serta limpasan air permukaan digunakan dalam analisis riset ini.

#### 2.1.1 Pelengkapan data hujan

Salah satu cara melengkapi data curah hujan yang hilang adalah dengan menggunakan metode rata-rata aljabar. Metode rata-rata aljabar adalah salah satu metode yang sederhana dan umum digunakan untuk mencari data yang hilang dalam data curah hujan. Metode ini melibatkan menggantikan nilai yang hilang dengan nilai rata-rata dari data yang tersedia (Prawaka et al., 2016). Metode aljabar dapat digunakan untuk melakukan pelengkapan data hujan dengan menggunakan rumus berikut:

$$P_x = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} \quad 2.1$$

Dimana:

$P_x$  : data hujan yang dilengkapi

$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  : data hujan di stasiun terdekat

$n$  : jumlah stasiun

### **2.1.2 Uji kepangghahan data**

Perubahan letak stasiun hujan atau metode pengukuran hujan dapat berdampak besar terhadap hasil curah hujan yang terukur dan dapat mengakibatkan kesalahan. Uji konsistensi dilakukan untuk mengevaluasi apakah data yang ada konsisten dan dapat diandalkan untuk digunakan. Uji konsistensi bertujuan untuk memverifikasi kebenaran data lapangan dengan mengidentifikasi kesalahan yang mungkin terjadi selama proses pengiriman atau pengukuran (Sari & Irawan, 2021). Konsistensi data hujan dapat diukur dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*). Metode ini dilakukan dengan cara membandingkan hujan tahunan yang diakumulasikan di stasiun yang akan diukur dengan stasiun hujan referensi atau stasiun hujan terdekat. Data tersebut akan divisualisasikan dengan sistem koordinat kartesius, lalu kurva yang muncul pada koordinat akan menampilkan perubahan kemiringan (*trend*). Jika garis yang muncul di koordinat tersebut lurus maka pencatatan hujan di stasiun tersebut sudah konsisten. Jika terdapat kemiringan dalam koordinat stasiun yang ditinjau maka perlu dikoreksi dengan mengalikan data kurva setelah berubah dengan perbandingan kemiringan setelah dan sebelum kurva patah (Triatmodjo, 2008).

### **2.1.3 Hujan Rerata**

Beberapa metode yang digunakan untuk menganalisis curah hujan di daerah aliran sungai (DAS) meliputi rerata aritmatika, Poligon Thiessen, isohyet, dan hujan titik (Irawan et al., 2020). Metode Poligon Thiessen merupakan salah satu cara untuk menghitung rerata curah hujan di suatu wilayah. Metode ini membagi wilayah menjadi beberapa poligon dengan batas-batas yang ditentukan oleh stasiun pengukuran curah hujan. Setiap poligon memiliki satu stasiun pengukuran curah hujan sebagai pusatnya, dan nilai curah hujan pada setiap titik dalam poligon dianggap sama dengan nilai curah hujan pada stasiun pusatnya. Terdapat beberapa langkah yang harus diikuti untuk menghitung hujan rerata metode poligon, antara lain:

1. Menentukan lokasi dan luas daerah yang akan dihitung,
2. Mengidentifikasi stasiun pengukuran curah hujan yang ada di sekitar daerah tersebut,

3. Membuat poligon Thiessen dengan menggunakan stasiun pengukuran sebagai titik pusatnya,
4. Menghitung luas masing-masing poligon Thiessen,
5. Menghitung bobot masing-masing stasiun pengukuran dengan cara membagi luas poligon Thiessen oleh total luas semua poligon Thiessen,
6. menghitung nilai rerata curah hujan dengan cara menjumlahkan hasil perkalian antara bobot dan nilai curah hujan pada setiap stasiun pengukuran.

Metode Poligon Thiessen sangat sesuai digunakan jika variasi curah hujan terhadap jarak antar stasiun tidak besar, dan metode ini dianggap lebih teliti jika dibandingkan dengan metode aljabar (Ningsih, 2012). Secara matematis hujan rerata tersebut dapat ditulis

$$P = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.2)$$

Dengan,

$P$  = hujan rerata kawasan

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

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

## 2.2 Evapotranspirasi

Evapotranspirasi adalah proses perpindahan air dari permukaan tanah ke atmosfer melalui evaporasi dan transpirasi tumbuhan. Proses ini terjadi ketika sinar matahari memanaskan tanah dan permukaan air, sehingga menghasilkan penguapan air yang kemudian terkondensasi menjadi awan dan berpotensi menjadi presipitasi (hujan, salju, atau hujan es). Evapotranspirasi juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembaban udara, angin, jenis tanaman, dan kondisi tanah. Penting untuk memahami evapotranspirasi dalam pengelolaan air, pertanian, dan konservasi sumber daya air (Singh et al., 2021). Metode untuk menghitung besar evapotranspirasi dalam penelitian ini adalah metode Penman. Metode Penman adalah persamaan yang banyak digunakan untuk memperkirakan evapotranspirasi.

Persamaan Penman-Monteith digunakan dalam pemodelan proses lahan untuk memperkirakan transpirasi vegetasi atau evaporasi tanah karena hanya memerlukan catatan klimatologi standar sinar matahari, suhu, kelembaban, dan kecepatan angin (McColl, 2020). Metode Penman dapat digunakan untuk berbagai jenis tanaman dan kondisi iklim.

Metode Penman adalah salah satu metode untuk menghitung evapotranspirasi. Rumus Metode Penman dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$ET_o = c[W.Rn + (1 - W).f(u).(ea - ed)] \quad (2.3)$$

$$ed = ea . RH \quad (2.4)$$

$$f(ed) = 0,34 - 0,44\sqrt{ed} \quad (2.5)$$

$$f(n/N) = 0,1 + 0,9\left(\frac{n}{N}\right) \quad (2.6)$$

$$f(U) = 0,27 \times (1 + (0.864 \times U)) \quad (2.7)$$

$$Rn1 = f(T) \times f(ed) \times f(n/N) \quad (2.8)$$

$$Rs = (0,25 + 0,54(n/N)) \times Ra \quad (2.9)$$

di mana:

$ET_o$  : evapotranspirasi potensial (mm/hari)

$c$  : angka koreksi Penman untuk kompensasi efek kondisi cuaca siang dan malam hari

$W$  : faktor pemberat untuk pengaruh penyinaran matahari pada evapotranspirasi potensial

$1 - W$  : faktor pemberat untuk pengaruh kecepatan angin dan kelembaban

$f(u)$  : Fungsi pengaruh angin pada  $Eto = 0,27 \times (1 + U^2/100)$ , di mana  $U^2$  merupakan kecepatan angin selama 24 jam dalam km/hari di ketinggian 2 m

$ea$  : tekanan uap air jenuh pada suhu udara rata-rata (mbar)

$ed$  : tekanan uap air nyata rata-rata di udara (mbar)

$u$  : kecepatan angin (km/hari atau m/detik)

$f(ed)$  : fungsi tekanan uap

$f(T)$  : fungsi temperatur

$f(n/N)$  : fungsi kecerahan matahari

$RH$  : kelembaban udara relatif (%)

$RnI$  : radiasi bersih gelombang panjang

$Rs$  : radiasi gelombang pendek

$Ra$  : radiasi ekstraterestial

### **2.2.1 Temperatur**

Data temperatur yang digunakan dalam metode Penman dapat diperoleh dari stasiun meteorologi terdekat yang menyediakan data suhu udara. Stasiun meteorologi biasanya memasang alat pengukur suhu udara, seperti termometer, yang terhubung dengan sistem pencatat dan pengirim data secara teratur. Data temperatur tersebut kemudian dapat diakses melalui situs atau aplikasi yang disediakan oleh stasiun meteorologi atau badan meteorologi setempat. Data temperatur yang digunakan dalam metode Penman adalah suhu udara maksimum (Manik et al., 2012).

### **2.2.2 Kecepatan Angin**

Data kecepatan angin yang digunakan dalam metode Penman dapat diperoleh dari pengamatan langsung atau stasiun meteorologi terdekat. Data kecepatan angin biasanya diukur dalam satuan meter per detik (m/s) atau kilometer per jam (km/h). Selain itu, data kecepatan angin juga dapat diakses melalui sumber data cuaca resmi, seperti situs web Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atau lembaga meteorologi lainnya di negara masing-masing. Data kecepatan angin yang digunakan dalam metode Penman adalah kecepatan angin rata-rata harian (Moratiel et al., 2020).

### **2.2.3 Kelembapan Relatif**

Data kelembapan relatif adalah data yang mengindikasikan seberapa banyak uap air yang terkandung di udara pada suhu tertentu dibandingkan dengan jumlah maksimum uap air yang dapat terkandung pada suhu tersebut. Data ini dapat

digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi dengan metode Penman. Kelembapan relatif dinyatakan dalam persen dan biasanya diukur dengan alat yang disebut dengan hygrometer. Berdasarkan penelitian di Jawa Barat, diketahui bahwa metode Penman adalah metode yang paling akurat karena memiliki angka koreksi yang paling kecil dibandingkan dengan metode Blaney Criddle, Radiasi, dan evaporasi Panci. Oleh karena itu, stasiun yang memiliki data iklim lengkap sebaiknya menggunakan metode Penman. Namun, jika stasiun tidak memiliki data yang lengkap, maka dapat memilih metode yang sesuai dengan kondisi iklimnya (Manik et al., 2012)

#### **2.2.4 Lama Penyinaran**

Lama penyinaran dalam metode Penman merujuk pada periode waktu di mana sinar matahari memberikan radiasi pada suatu lokasi. Lama penyinaran ini berhubungan erat dengan jumlah radiasi yang diterima dan digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman (Suhartanto et al., 2020). Data ini umumnya diperoleh dari stasiun meteorologi atau observatorium cuaca yang dilengkapi dengan alat pengukur radiasi matahari. Data lama penyinaran dapat diperoleh dari stasiun meteorologi atau peralatan yang dapat merekam intensitas penyinaran pada lokasi tertentu seperti pyranometer atau data dari satelit cuaca. Data tersebut biasanya diukur dalam satuan jam dalam rentang waktu tertentu, seperti data harian atau data bulanan.

#### **2.2.5 Tekanan Uap Jenuh**

Tekanan uap jenuh adalah salah satu faktor yang digunakan dalam metode Penman untuk menghitung evapotranspirasi. Tekanan uap jenuh merujuk pada tekanan maksimum yang dapat dicapai oleh udara pada suhu tertentu ketika udara tersebut telah jenuh dengan uap air. Karena itu, perubahan tekanan uap jenuh dapat berdampak pada hasil perhitungan evapotranspirasi yang dihitung menggunakan metode Penman. Akan tetapi, dampak ini dipengaruhi oleh variabel lain seperti kecepatan angin dan radiasi matahari, yang juga memengaruhi perhitungan evapotranspirasi (Aminuddin & Nurhayati, 2016). Data tekanan uap jenuh dapat diperoleh dari tabel psikrometrik atau dapat dihitung dengan menggunakan persamaan matematika yang didasarkan pada suhu udara dan kelembapan relatif.

### 2.2.6 Tekanan Uap Nyata

Data tekanan uap nyata dapat diperoleh dari stasiun pengukuran cuaca atau stasiun hidrometeorologi yang terdekat dengan lokasi pengukuran evapotranspirasi. Selain itu, data tekanan uap nyata juga dapat diperoleh melalui pengukuran langsung dengan menggunakan alat pengukur tekanan uap seperti psikrometer. Data tekanan uap nyata dinyatakan dalam satuan kilopascal (kPa) atau milimeter raksa (mmHg). Perbedaan tekanan uap yang semakin besar antara permukaan tanah dan udara karena peningkatan defisit tekanan uap di atmosfer dapat memicu terjadinya evapotranspirasi dan memungkinkan pergerakan udara basah secara vertikal (Wilnaldo et al., 2020). Rumus tekanan uap nyata ( $e$ ) adalah:

$$e = \frac{RH}{100} \times ed \quad (2.10)$$

Dimana,

$e$  = Tekanan Uap Nyata

$RH$  = Kelembapan Relatif

$ed$  = Tekanan Uap Jenuh

### 2.2.7 Fungsi Angin

Kecepatan angin dalam metode Penman digunakan sebagai salah satu parameter untuk menghitung evapotranspirasi potensial. Kecepatan angin berfungsi untuk menghitung transfer panas dan uap air dari permukaan ke atmosfer. Semakin besar kecepatan angin, maka semakin cepat pula transfer panas dan uap air terjadi. Dengan demikian, semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin tinggi pula nilai evapotranspirasi potensial yang dihasilkan oleh metode Penman. Kecepatan angin memegang peran penting dalam metode Penman karena membawa uap air dari permukaan yang lembab. Ketika menghitung unsur-unsur di ketinggian tertentu, formula Penman-Monteith memerlukan data suhu rata-rata harian, tekanan udara, radiasi matahari, dan kecepatan angin rata-rata harian yang diukur pada ketinggian 2 m di atas permukaan tanah. Jika tidak ada data kecepatan angin yang tersedia, nilai rata-rata 2 m/s dapat digunakan, tetapi penting untuk memeriksa ketinggian

pengukuran kecepatan angin (Varga-Haszonits et al., 2022). Rumus fungsi angin adalah:

$$f(U) = 0,27 \times (1 + (0.864 \times U)) \quad (2.11)$$

Dimana,

U = Kecepatan Angin (m/s)

### **2.2.8 Faktor W**

Faktor W dalam metode Penman merupakan suatu faktor pembobot yang memperhitungkan pengaruh suhu udara, kelembaban relatif, dan kecepatan angin pada evapotranspirasi. Faktor W dalam metode Penman merupakan faktor koreksi kelembapan yang digunakan untuk menghitung pengaruh kelembapan udara pada evapotranspirasi. Faktor W mengacu pada perbandingan tekanan uap nyata dan tekanan uap jenuh, yang kemudian digunakan untuk menyesuaikan evapotranspirasi dengan kondisi kelembapan udara yang ada di lapangan. Faktor W dinyatakan dalam satuan dimensi dan biasanya nilainya berkisar antara 0,1 hingga 1,0. Semakin tinggi nilai W, semakin besar pengaruh kelembapan udara terhadap evapotranspirasi. Faktor "W" merupakan faktor penting yang harus diperhitungkan dalam menggunakan metode ini untuk memperoleh prediksi yang lebih akurat mengenai evapotranspirasi (Runtunuwu et al., 2008).

### **2.2.9 Radiasi Extraterrestrial**

Model pendekatan dalam menghitung tingkat penguapan dan evapotranspirasi sangat beragam, serta terdapat berbagai model yang digunakan untuk mengestimasi jumlah air yang dibutuhkan oleh tanaman. Metode Penman merupakan salah satu model yang memperhitungkan radiasi sebagai salah satu parameter penting yang digunakan dalam perhitungannya. Radiasi ekstraterrestrial merujuk pada radiasi yang berasal dari sumber-sumber di luar bumi. Hal ini meliputi radiasi dari matahari, serta sumber-sumber lain seperti sinar kosmik dan sinar gamma. Radiasi extraterrestrial sering digunakan sebagai acuan dalam perhitungan intensitas radiasi matahari yang diterima di permukaan Bumi pada berbagai lokasi dan waktu (Manik et al., 2012).



Data radiasi extraterrestrial dapat didapatkan dari beberapa sumber, di antaranya:

1. Satelit cuaca: Data radiasi extraterrestrial dapat diperoleh dari pengamatan satelit cuaca yang diluncurkan oleh badan-badan seperti NASA atau Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) di Indonesia.
2. Stasiun cuaca: Beberapa stasiun cuaca memiliki instrumen yang mampu mengukur radiasi matahari yang mencapai bumi dan kemudian digunakan untuk menghitung radiasi extraterrestrial.
3. Situs web: Ada beberapa situs web yang menyediakan data radiasi extraterrestrial untuk berbagai wilayah di dunia, seperti situs web NASA *Surface Meteorology and Solar Energy*, atau situs web Badan Meteorologi dan Klimatologi Jepang.

#### **2.2.10 Radiasi Gelombang Pendek**

Radiasi gelombang pendek adalah radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari dan mencakup spektrum elektromagnetik dari ultraviolet hingga sinar inframerah. Radiasi ini merupakan salah satu komponen penting dalam perhitungan evapotranspirasi. Radiasi gelombang pendek dapat diukur menggunakan alat pengukur radiasi, seperti pirheliometer atau alat pengukur radiasi matahari yang lain. Radiasi pendek adalah jenis radiasi matahari yang memiliki panjang gelombang antara 0,2 dan 4  $\mu\text{m}$ . Radiasi pendek memainkan peran penting dalam fotosintesis dan evapotranspirasi. Tanaman menggunakan radiasi pendek untuk memproduksi energi melalui fotosintesis, sementara evapotranspirasi dipicu oleh energi matahari yang diserap oleh permukaan Bumi (Raoufi & Beighley, 2017).

#### **2.2.11 Koreksi Suhu**

Koreksi suhu dalam metode Penman, dilakukan untuk menghitung suhu udara yang sebenarnya terjadi di lokasi pengukuran. Hal ini dikarenakan suhu udara di lokasi pengukuran bisa terpengaruh oleh beberapa faktor seperti radiasi, kelembaban, dan albedo permukaan. Koreksi suhu ini dilakukan dengan menghitung suhu aktual udara di lokasi pengukuran dengan menggunakan data suhu yang diperoleh dari stasiun cuaca terdekat yang mempunyai ketinggian dan kondisi lingkungan yang serupa perlu dilakukan koreksi suhu dalam metode Penman

karena suhu udara berpengaruh terhadap tingkat penguapan air dari permukaan tanah atau air. Semakin tinggi suhu udara, semakin cepat penguapan air terjadi (Suhartanto et al., 2020).

### 2.2.12 Koreksi Uap Nyata

Koreksi uap nyata dalam metode Penman digunakan untuk mengoreksi tekanan uap nyata (*actual vapor pressure*) dari kelembaban relatif (*relative humidity*) yang diukur pada suhu tertentu menjadi tekanan uap nyata pada suhu rata-rata harian. Hal ini dilakukan karena tekanan uap nyata sangat dipengaruhi oleh suhu udara, dan perbedaan suhu antara saat pengukuran kelembaban relatif dengan suhu rata-rata harian dapat menyebabkan kesalahan dalam menghitung evapotranspirasi. Faktor ini turut berperan dalam perhitungan evapotranspirasi (ET), yakni jumlah air yang hilang melalui proses penguapan dan transpirasi oleh tanaman. Proses perhitungan koreksi uap nyata sendiri melibatkan selisih antara tekanan uap jenuh dan tekanan uap aktual air (Izdihar Balqis et al., 2022).

Rumus koreksi uap nyata adalah sebagai berikut:

$$f(ed) = 0,34 - 0,44\sqrt{ed} \quad (2.12)$$

dimana:

$f(ed)$  : koreksi uap nyata

$ed$  : tekanan uap nyata

### 2.2.13 Fungsi Penyinaran

Fungsi penyinaran dalam metode Penman digunakan untuk menghitung radiasi netto yang diterima oleh permukaan tanah atau vegetasi. Radiasi netto ini merupakan selisih antara radiasi matahari yang diterima dan radiasi yang dipantulkan atau dipantulkan kembali oleh permukaan tersebut. Fungsi penyinaran dalam metode Penman dapat dihitung dengan menggunakan data lama penyinaran, lintang tempat, deklinasi matahari, dan waktu sidereal. Dalam perhitungan ini, lama penyinaran digunakan sebagai faktor koreksi untuk menghitung radiasi matahari efektif yang diterima oleh permukaan. Semakin lama penyinaran, semakin banyak radiasi matahari yang diterima oleh permukaan tersebut. Fungsi ini menjelaskan

bagaimana radiasi matahari mempengaruhi tingkat penguapan air dari permukaan tanah atau air (Raziei & Pereira, 2013).

#### **2.2.14 Radiasi Netto Gelombang Panjang**

Radiasi Netto Gelombang Panjang (RNGP) adalah energi radiasi inframerah yang dipancarkan oleh bumi dan diukur sebagai suhu radiasi bumi. Radiasi ini dipengaruhi oleh suhu udara dan kelembapan relatif di sekitar permukaan bumi. RNGP merupakan salah satu komponen dalam neraca energi yang digunakan dalam kajian iklim dan hidrologi. Pada dasarnya, RNGP mewakili perbedaan antara energi radiasi yang diterima oleh bumi dari matahari dan energi radiasi yang dipancarkan oleh bumi kembali ke atmosfer. Radiasi Netto Gelombang Panjang memegang peran penting dalam memahami keseimbangan energi di atmosfer bumi. Selain itu, RNGP juga digunakan untuk menghitung suhu permukaan bumi dan suhu udara di atasnya, serta dapat memprediksi evaporasi dan evapotranspirasi tanaman. Oleh karena itu, RNGP merupakan variabel penting dalam penggunaan metode Penman dalam menghitung laju evapotranspirasi (Fausan et al., 2021)

#### **2.2.15 Radiasi Netto Gelombang Pendek**

Radiasi netto gelombang pendek adalah selisih antara radiasi matahari yang diterima oleh suatu permukaan dengan radiasi matahari yang dipantulkan kembali dari permukaan tersebut. Radiasi matahari yang diterima oleh permukaan terdiri dari radiasi langsung dari matahari dan radiasi yang dipantulkan dari atmosfer. Radiasi matahari yang dipantulkan kembali dari permukaan tergantung pada sifat permukaan tersebut, seperti tingkat kecerahan, warna, dan tekstur (Wicahyani et al., 2014).

#### **2.2.16 Radiasi Netto**

Radiasi netto adalah selisih antara radiasi masuk dan radiasi keluar di suatu lokasi. Radiasi masuk adalah jumlah radiasi matahari yang diterima oleh suatu lokasi dalam kurun waktu tertentu, sedangkan radiasi keluar adalah jumlah radiasi panas yang dipancarkan oleh bumi ke luar atmosfer dalam bentuk radiasi gelombang panjang. Radiasi netto penting untuk diukur dalam bidang pertanian, meteorologi, dan rekayasa lingkungan untuk memahami keseimbangan energi di suatu lokasi dan memperkirakan kondisi cuaca. Radiasi pendek gelombang netto

memegang peran penting dalam tingkat penguapan karena merupakan salah satu bagian dari radiasi netto. Radiasi netto sendiri adalah jumlah dari radiasi pendek dan panjang gelombang. Perubahan jumlah awan rendah dan suhu dapat mempengaruhi radiasi pendek gelombang permukaan netto yang pada akhirnya mempengaruhi penguapan. Faktor-faktor lain yang mempengaruhi permintaan penguapan meliputi kelembapan spesifik dan radiasi pendek gelombang dari bawah. Model penguapan sering menggunakan radiasi netto sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat penguapan (Heck et al., 2020).

### **2.2.17 Faktor koreksi**

Skala faktor koreksi metode Penman adalah serangkaian nilai yang digunakan untuk memperhitungkan karakteristik regional dalam menghitung evapotranspirasi dengan metode Penman. Metode Penman memasukkan faktor koreksi untuk meningkatkan akurasi dan menyesuaikan persamaan dengan kondisi lokal. Faktor koreksi ini mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk radiasi matahari, kecepatan angin, dan kelembaban, yang mempengaruhi evapotranspirasi. Faktor koreksi ini dapat memperhitungkan perbedaan iklim dan lokasi geografis yang dapat mempengaruhi komponen-komponen seperti radiasi, suhu, kelembaban, dan angin dalam perhitungan evapotranspirasi. Skala faktor koreksi dapat dihitung dengan membandingkan nilai evapotranspirasi yang dihitung dengan metode Penman menggunakan nilai-nilai standar dengan nilai-nilai yang telah disesuaikan dengan kondisi regional. Skala faktor koreksi yang sesuai dapat membantu menghasilkan nilai evapotranspirasi yang lebih akurat untuk wilayah tertentu (Weiss, 1983).

### **2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Satuan lahan dalam ilmu hidrologi disebut sebagai Daerah Aliran Sungai (DAS) atau juga disebut sebagai cekungan atau tangkapan air. DAS merujuk pada sebuah area lahan dimana semua curah hujan yang turun akan mengalir ke tempat yang sama, yaitu menuju badan air atau wilayah rendah topografi yang sama, karena pengaruh topografi. Dengan demikian, batas DAS ditentukan oleh titik tertinggi pada topografi. DAS pada umumnya mudah dikenali di daerah pegunungan atau berbukit karena batasnya dapat ditentukan oleh punggung. Namun, di daerah dataran rendah seperti di Dataran Rendah Pantai Tenggara, penentuan titik tertinggi

topografi dapat sangat sulit karena perbedaan ketinggian tertinggi dan terendah mungkin hanya beberapa sentimeter. Dalam setiap lokasi di permukaan bumi, kita dapat menemukan DAS, bahkan di daerah gurun di mana tidak ada tanda-tanda aliran permukaan. Hal ini karena perbedaan ketinggian masih ada dan ketika curah hujan turun, walaupun dalam frekuensi yang jarang, maka fitur-fitur topografi di DAS akan mempengaruhi arah aliran air hujan dan tempat terkumpulnya (Edwards et al., 2015).

### **2.3.1 Karakteristik DAS**

Karakteristik DAS mengacu pada deskripsi spesifik dari cekungan sungai yang ditandai oleh parameter yang terkait dengan fitur fisik dan aktivitas manusia di dalamnya (Suryadi et al., 2016). Parameter-parameter ini membantu dalam memahami proses hidrologi di dalam cekungan sungai.

#### **2.3.1.1 Meteorologi**

Faktor-faktor cuaca yang memengaruhi aliran air di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dikenal sebagai karakteristik meteorologi. Terdapat beberapa faktor meteorologi yang mempengaruhi limpasan air di Daerah Aliran Sungai (DAS), antara lain karakteristik intensitas, durasi, dan distribusi curah hujan, suhu, kelembaban, serta radiasi. Selain itu, curah hujan juga menjadi faktor penting dalam menentukan jumlah limpasan di DAS. Analisis karakteristik meteorologi DAS sering dilakukan untuk memahami dampaknya terhadap lingkungan hidup dan keberlanjutan sumber daya air (Agustianto, 2014).

#### **2.3.1.2 Morfologi**

Morfologi sungai mencakup geometri (bentuk dan ukuran), jenis, *sifat*, serta perilaku sungai, termasuk semua aspek dan perubahan yang terjadi dalam dimensi ruang dan waktu. Morfologi sungai merujuk pada karakteristik fisik dan geometris dari aliran sungai, termasuk bentuk dan ukuran sungai, kemiringan dasar sungai, lebar aliran sungai, dan bagaimana aliran sungai bercabang atau berbelok. Morfologi sungai juga mencakup penelitian mengenai karakteristik fisik dan geologis cekungan sungai, termasuk jenis tanah, bentuk lereng, dan jenis batuan di sekitar sungai. Analisis morfologi sungai sering dilakukan untuk memahami

perilaku aliran sungai dan dampaknya pada lingkungan serta keberlanjutan sumber daya air (Kurniawan et al., 2017).

### **2.3.1.3 Morfometri**

Morfometri DAS adalah pengukuran karakteristik fisik dari DAS yang terkait dengan geologi dan geomorfologi yang mempengaruhi proses meresapnya air hujan ke dalam tanah. Beberapa parameter yang termasuk dalam morfometri DAS adalah luas, bentuk, jaringan sungai, kerapatan aliran, pola aliran, dan gradien sungai (Rini & Sutriyono, 2022). Analisis kuantitatif morfometri DAS dapat memberikan informasi tentang hidrologi alami dari berbagai jenis batuan yang ada di DAS. Peta drainase dapat memberikan indeks permeabilitas dari batuan dan keterkaitan antara tipe batuan, struktur, dan kondisi hidrologi. Informasi yang detail tentang topografi, jaringan sungai, panjang saluran, geomorfologi, dan geologi sangat penting untuk mengatur pengelolaan DAS dan implementasi perencanaan untuk konservasi air (Sreedevi et al., 2009).

### **2.3.2 Ordo Sungai**

Alur sungai dapat dipecah menjadi beberapa tingkat percabangan yang disebut sebagai orde sungai. Ordo sungai menunjukkan posisi cabang sungai dalam urutan sungai induk di DAS tersebut. Semakin banyak orde sungai, semakin luas DAS dan semakin panjang alur sungainya. Tingkat percabangan sungai adalah angka atau indeks yang menunjukkan jumlah alur sungai untuk setiap orde sungai. (Fery Sobatnu, 2017). Sungai orde 1 dikenal sebagai anak sungai paling bawah yang dianggap sebagai sumber air pertama dari anak sungai tersebut. Sungai orde 2 terbentuk dari pertemuan dua sungai orde 1 yang setara, sedangkan sungai orde yang lebih tinggi terbentuk dari pertemuan dua sungai orde yang tidak setara. Hal ini terus berlanjut hingga mencapai sungai utama yang ditandai dengan nomor orde sungai tertinggi (Handayani et al., 2016).

### **2.3.3 Debit Andalan**

Debit andalan (*reliable discharge*) adalah debit air yang dapat dipergunakan dengan tingkat risiko kegagalan tertentu, misalnya risiko kekurangan air pada suatu masa. Debit ini dihitung berdasarkan data debit rata-rata dalam kurun waktu tertentu yang mempertimbangkan tingkat keandalan debit air yang diperlukan.

Konsep debit andalan sangat penting dalam perencanaan sumber air, terutama pada daerah yang mengalami kekeringan atau kekurangan air. Dalam perhitungan debit andalan, umumnya digunakan metode statistik dan hidrologi yang melibatkan data curah hujan, evapotranspirasi, dan variabel hidrologi lainnya. Debit Andalan Debit andalan perlu ditetapkan terlebih dahulu untuk menentukan ketersediaan air guna memperkirakan luas daerah irigasi ataupun daya terpasang pada PLTA. Andalan suatu debit didasarkan atas frekuensi relatif kejadian debit, yang berarti diharapkan bahwa kejadian debit sejumlah frekuensi relatif akan terjadi dengan besaran sama atau melebihi debit andalan tersebut (Soemarto, 1987). Andalan suatu debit untuk berbagai macam jenis pemanfaatan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Syarat keandalan untuk berbagai jenis pemanfaatan debit andalan

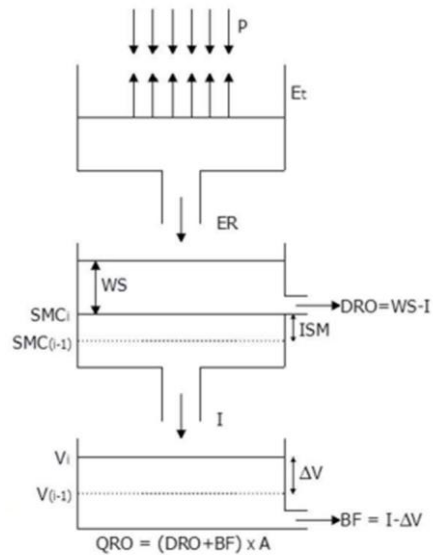
No	Pemanfaatan	Keandalan
1.	Penyediaan air minum	99%
2.	Penyediaan air industri	95%-98%
3.	Penyediaan air irigasi (daerah lembab)	70%-85%
4.	Penyediaan air irigasi (daerah kering)	80%-95%
5.	Pembangkit Listrik Tenaga Air	85%-90%

Sumber:(Soemarto, 1987)

## 2.4 Metode FJ Mock

Dr. Mock memperkenalkan sebuah metode baru untuk melakukan simulasi keseimbangan air pada air yang bergerak secara dinamis. Metode ini dapat digunakan dalam kondisi dimana data curah hujan atau debit yang tersedia terbatas. Dalam proses penginputan data ke dalam perhitungan, hal-hal penting yang harus diperhatikan adalah curah hujan yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS), evapotranspirasi, karakteristik geologi, serta jenis vegetasi yang ada di DAS tersebut. Metode yang diperkenalkan oleh Dr. Mock memanfaatkan data-data seperti data rerata curah hujan bulanan di DAS yang berasal dari stasiun hujan yang tersedia, data evapotranspirasi yang dihitung berdasarkan analisis data meteorologi di DAS menggunakan rumus Penman, dan jenis dan variasi vegetasi yang ada di DAS. Dari data-data tersebut, limpasan yang terjadi dapat dihitung dengan mengurangi evapotranspirasi dengan curah hujan. Metode ini juga mampu

menghasilkan data air tanah dan limpasan hujan lebat (*Storm Runoff*) selain dari limpasan (Prastica & Pratiwi, 2021).



Gambar 2.1 Neraca air model Mock (Prastica & Pratiwi, 2021)

#### 2.4.1 Presipitasi

Dalam metode Mock, presipitasi merupakan salah satu parameter yang diperlukan untuk menghitung debit andalan suatu daerah aliran sungai. Presipitasi merupakan proses turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang meliputi berbagai jenis seperti hujan, salju, embun dan lain sebagainya. Karena Indonesia terletak di daerah tropis, maka jenis presipitasi yang paling umum terjadi adalah hujan. Definisi hujan menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia adalah air dalam bentuk titik-titik yang jatuh dari udara akibat dari proses pendinginan. Presipitasi ini diperoleh dari data curah hujan yang diukur pada stasiun hujan di sekitar daerah aliran sungai yang akan dianalisis (Kurnia Hidayat, 2016). Data curah hujan tersebut kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode statistik tertentu untuk menghasilkan pola curah hujan yang mewakili daerah aliran sungai tersebut. Selanjutnya, pola curah hujan tersebut digunakan untuk menghitung presipitasi di setiap titik dalam daerah aliran sungai menggunakan metode Poligon Thiessen. Presipitasi inilah yang kemudian digunakan sebagai salah satu Input dalam perhitungan debit andalan menggunakan metode Mock.



### 2.4.2 *Exposed Surface*

*Exposed Surface* mengacu pada persentase luas total area di suatu cekungan air tanah yang tidak tertutupi oleh vegetasi atau jenis penutup tanah lainnya. Koefisien ini nantinya digunakan dalam perhitungan debit air dengan menggunakan metode hidrologi tersebut (Komariah & Matsumoto, 2019). *Exposed Surface* atau luasan penguapan merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menghitung debit andalan. *Exposed Surface* merujuk pada luas permukaan yang terpapar oleh udara dan berperan penting dalam proses penguapan. Semakin besar *exposed surface*, maka semakin banyak air yang terpapar oleh udara dan berpotensi menguap. Oleh karena itu, *Exposed Surface* perlu diperhitungkan dengan akurat dalam metode Mock untuk memperoleh hasil perhitungan debit yang akurat pula. *Exposed Surface* dapat dihitung dengan mengukur luas permukaan air yang terbuka atau terbuka setengah pada saat pengukuran data debit. Pengukuran *Exposed Surface* dapat dilakukan dengan mengukur luas permukaan air yang terbuka seperti pada sungai, danau, atau waduk menggunakan teknik survei atau citra satelit.

Tabel 2.2 Klasifikasi *exposed surface*

No	m	Daerah
1.	0%	Hutan Primer, sekunder
2.	10-40%	Daerah Tererosi
3.	30-50%	Daerah Ladang Pertanian

Sumber: (Andojo & Sudirman, 2012)

### 2.4.3 Evapotranspirasi Aktual

Evapotranspirasi aktual dihitung sebagai selisih antara presipitasi, limpasan permukaan, dan debit sungai. Besarnya evapotranspirasi aktual terjadi ketika kondisi pemberian air dibatasi sehingga hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan pertumbuhan tanaman (Adiningrum, 2015). Hal ini dilakukan untuk menghitung seberapa banyak air yang benar-benar digunakan oleh tanaman atau menguap dari permukaan tanah dan daerah aliran sungai. Menurut Mock *exposed surface* dan jumlah hari hujan (n) memengaruhi selisih antara evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual, seperti ditunjukkan dalam formulasi sebagai berikut.

$$\frac{\Delta E}{E_p} = \left(\frac{m}{20}\right)(18 - n) \quad 2.14$$

Sehingga :

$$\Delta E = E_p \left(\frac{m}{20}\right)(18 - n) \quad 2.15$$

Formulasi diatas dapat dianalisis bahwa evapotranspirasi potensial akan sama dengan evapotranspirasi aktual (atau  $\Delta E=0$ ), jika:

- a) Evapotranspirasi terjadi pada hutan primer atau hutah sekunder, dimana daerah ini memiliki harga *exposed surface* (m) sama dengan nol.
- b) Banyaknya hari hujan dalam bulan yang diamati sama dengan 18 hari.

Jadi evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi potensial yang memperhitungkan faktor *exposed surface* dan jumlah hari hujan dalam bulan yang bersangkutan. Sehingga evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi, dihitung sebagai berikut:

$$E_{actual} = E_p - \Delta E \quad 2.16$$

#### 2.4.4 Water Balance

*Water Balance* atau neraca air adalah suatu konsep yang digunakan dalam hidrologi untuk menghitung keseimbangan air di suatu daerah tertentu. Dalam metode Mock, *water balance* digunakan untuk memperkirakan debit andalan yang dapat digunakan untuk menghitung luas irigasi dan daya yang dapat dibangkitkan. *water balance* dalam metode Mock mengacu pada perhitungan jumlah air yang masuk ke suatu daerah dan jumlah air yang keluar dari daerah tersebut dalam periode waktu tertentu. Jumlah air yang masuk ke daerah tersebut biasanya berasal dari curah hujan dan aliran air dari daerah sekitarnya. Sedangkan jumlah air yang keluar dari daerah tersebut bisa berupa penguapan, aliran air permukaan, dan infiltrasi ke dalam tanah. Metode neraca air digunakan untuk menganalisis ketersediaan dan penggunaan air di suatu wilayah tertentu. Metode ini melibatkan perhitungan aliran masuk, aliran keluar, dan penyimpanan air dalam sistem yang diberikan. Perhitungan neraca air dipengaruhi oleh *direct runoff* dan penguapan (Tuheteru et al., 2021). Bentuk umum persamaan water balance adalah :

$$P = Ea + \Delta GS + TRO \quad 2.17$$

Dengan,

P : Presipitasi

Ea : Evapotranspirasi Aktual

$\Delta GS$  : Perubahan *Ground Storage*

TRO : *Total Run off*

Water balance merupakan siklus tertutup yang terjadi untuk kurun waktu pengamatan tertentu, dimana tidak terjadi perubahan *groundwater storage* atau  $\Delta GS = 0$ , sehingga persamaan *water balance* menjadi :

$$P = Ea + TRO \quad 2.18$$

#### **2.4.5 Soil Moisture Capacity**

*Soil moisture capacity* dalam metode Mock merujuk pada kemampuan tanah dalam menahan air yang terletak pada zona perakaran tanaman atau disebut juga sebagai zona akar efektif. *Soil moisture capacity* ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis tanah, tekstur tanah, dan struktur tanah. *Soil moisture capacity* diperlukan sebagai parameter untuk menghitung kelebihan air atau surplus yang terdapat pada suatu daerah, sehingga dapat dihitung estimasi besarnya debit aliran sungai yang terbentuk pada daerah tersebut (Andojo & Sudirman, 2012). Data untuk *Soil moisture capacity* dalam metode Mock biasanya didapatkan melalui pengukuran langsung di lapangan menggunakan alat seperti tensiometer atau *gypsum block*. Selain itu, data ini juga dapat diperoleh melalui penggunaan model hidrologi yang menggabungkan data pengamatan lapangan dengan data satelit atau meteorologi.

#### **2.4.6 Soil Storage**

*Soil storage* dalam metode Mock adalah jumlah air yang dapat disimpan oleh tanah dan tersedia untuk digunakan oleh tanaman atau mengalir sebagai aliran permukaan atau air tanah. *Soil storage* ini dapat bervariasi tergantung pada jenis

tanah, tekstur, struktur, dan sifat fisik lainnya. *Soil storage* dapat dihitung dengan mengalikan kedalaman efektif tanah dengan kapasitas lapangan atau *holding capacity*, yang merupakan jumlah air maksimum yang dapat disimpan oleh tanah setelah jenuh. *Soil storage* didapatkan dari hasil perhitungan kapasitas penyimpanan air tanah di dalam daerah aliran sungai yang dianalisis. *Soil storage* ini merupakan jumlah air yang dapat disimpan oleh tanah di dalam DAS dan digunakan dalam perhitungan neraca air untuk memperoleh estimasi kelebihan air atau kekurangan air pada suatu wilayah. Kandungan air tanah dalam proses infiltrasi air, menentukan aliran air melalui permukaan tanah, mencapai profil tanah, atau akhirnya menetes ke dalam akuifer untuk mengisi kembali siklus hidrologi, yang sangat penting untuk dipahami (Niu et al., 2015).

#### **2.4.7 Water surplus**

*Water surplus* adalah selisih antara curah hujan efektif dan kebutuhan air tanaman. *Water surplus* dapat dianggap sebagai air yang mengalir di atas permukaan tanah dan tidak tersimpan di dalam tanah. Jika *water surplus* terlalu besar, maka akan terjadi banjir dan erosi tanah, sedangkan jika terlalu kecil maka tanaman akan kekurangan air. Oleh karena itu, perhitungan *water surplus* sangat penting dalam manajemen sumber daya air dan pertanian. *Water* dihitung dengan menggunakan persamaan neraca air, yang memperhitungkan variabel seperti presipitasi, evapotranspirasi, dan storage pada tanah. Data untuk menghitung *water surplus* bisa didapat dari hasil pengukuran di lapangan atau dari sumber data resmi seperti stasiun meteorologi atau dinapengairan. Perhitungan *water surplus* bertujuan untuk menghitung kelebihan air atau surplus air di suatu daerah dengan menggunakan metode neraca air, yaitu dengan membandingkan jumlah air yang masuk dan keluar dari daerah tersebut. Melalui perhitungan *water surplus*, dapat membantu pengambilan keputusan terkait penggunaan sumber daya air di daerah tersebut. Dengan mengetahui jumlah kelebihan air atau surplus air, dapat diputuskan apakah sumber daya air tersebut dapat dimanfaatkan lebih banyak atau tidak (Bagus Setiawan et al., 2019).

$$WS = (P - Ea) + SS \quad 2.19$$

Dengan,

WS : Water Surplus

P : Presipitasi

Ea: Evapotranspirasi aktual

SS: *Soil Storage*

#### **2.4.8 Koefisien Infiltrasi**

Koefisien infiltrasi adalah perbandingan antara volume air yang meresap ke dalam tanah dengan luas permukaan tanah yang terkena hujan. Besarnya koefisien infiltrasi mempengaruhi kapasitas air tanah dan kecepatan aliran permukaan. Semakin besar koefisien infiltrasi, semakin cepat air dapat meresap ke dalam tanah. Beberapa faktor seperti jenis dan kondisi tanah, kemiringan lahan, vegetasi penutup tanah, dan intensitas hujan dapat memengaruhi besarnya koefisien infiltrasi. Koefisien infiltrasi sering digunakan dalam perhitungan hidrologi untuk mengestimasi debit aliran sungai dan volume limpasan permukaan pada suatu daerah aliran sungai (DAS). Estimasi ini membutuhkan data karakteristik DAS seperti evapotranspirasi, curah hujan, dan laju infiltrasi (Sangkawati et al., 2014).

#### **2.4.9 Infiltrasi**

Infiltrasi merujuk pada proses air yang mengalir ke dalam tanah, biasanya dari curah hujan, sedangkan laju infiltrasi adalah jumlah air yang masuk ke dalam tanah per satuan waktu. Jumlah air yang meresap ke dalam tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti tekstur dan struktur tanah, kelembapan tanah awal, aktivitas biologis, bahan organik, jenis dan ketebalan serasah, jenis vegetasi, dan tumbuhan bawah. Kondisi hidrologi lokal sangat penting dalam perencanaan pengelolaan DAS. Data laju infiltrasi merupakan parameter hidrologi yang penting dalam perencanaan pengelolaan DAS, karena menentukan berapa banyak air yang akan menjadi limpasan permukaan dan berapa banyak yang akan masuk ke dalam tanah untuk menjadi aliran air tanah (Dipa et al., 2021).

$$\text{Infiltrasi } (i) = WS \times if \quad 2.20$$

Dengan,

WS : Water Surplus

If : Koefisien infiltrasi

#### **2.4.10 Faktor Resesi Aliran Tanah**

Koefisien resesi aliran tanah adalah rasio antara aliran air tanah pada suatu bulan tertentu dengan aliran air tanah pada awal bulan tersebut. Koefisien ini merupakan salah satu faktor yang menggambarkan karakteristik daerah aliran sungai dan sangat penting dalam menentukan besarnya aliran sungai (Sangkawati et al., 2014). Faktor resesi juga merupakan faktor lain yang mempengaruhi besarnya debit air di suatu sungai setelah hujan berhenti, dan dipengaruhi oleh kapasitas tampungan, kelengasan, topografi, dan jenis tanah (Wahyuni, 2015). Data yang digunakan untuk analisis ini dapat diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan atau dari stasiun pengukuran hidrologi yang terletak di daerah yang sama atau serupa dengan wilayah yang akan dianalisis (Yusman et al., 2021).

#### **2.4.11 Percentage Factor**

*Percentage factor* digunakan untuk menghitung seberapa besar persentase dari presipitasi yang masuk ke dalam daerah aliran sungai (DAS) dan seberapa besar yang mengalami evaporasi atau tersimpan dalam tanah. Persentase ini dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti vegetasi, kondisi tanah, topografi, dan sebagainya. Sebagai contoh, jika persentase faktor adalah 0,8, maka 80% dari presipitasi akan dihitung sebagai aliran permukaan dan 20% akan dihitung sebagai evaporasi atau tersimpan dalam tanah. *Percentage factor* (PF) dapat diperoleh dengan menghitung perbandingan antara luas daerah dengan luas daerah pengamatan hujan. Menurut rekomendasi dari Mock, besar *percentage factor* sebaiknya berkisar antara 5%-10%, meskipun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak teratur hingga mencapai 37,3% (Andojo & Sudirman, 2012).

#### **2.4.12 Ground Storage**

*Ground Storage* atau tampungan air tanah dipengaruhi oleh:

a) Infiltrasi (i)

Makin besar infiltrasi maka groundwater storage semakin besar.

b) Konstanta resesi aliran bulanan.

Konstanta resesi aliran bulanan adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada di bulan sekarang.

c) *Groundwater storage* sebelumnya (*Gsom*)

Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan *water balance* merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama rentang waktu menerus tahunan tertentu. Dengan demikian maka nilai awal bulan pertama tahun pertama harus dibuat sama dengan nilai bulan terakhir di tahun terakhir.

Dari ketiga faktor diatas, Mock merumuskan sebagai berikut:

$$GS = [0.5 \times (1 + k) \times i] + [K \times Gsom] \quad 2.21$$

#### 2.4.13 *Gsom*

Parameter *Gsom* adalah suatu nilai yang menggambarkan besar debit andalan yang mampu diproduksi oleh daerah aliran sungai dari curah hujan yang terjadi pada suatu periode waktu tertentu. Nilai *Gsom* ini didapatkan melalui pengolahan data curah hujan dan debit aliran yang terkumpul dalam kurun waktu tertentu dengan menggunakan model matematika neraca air. Semakin besar nilai *Gsom*, maka semakin besar pula debit andalan yang mampu dihasilkan oleh daerah aliran sungai. Parameter *Gsom* atau faktor kehilangan air tanah (*groundwater loss factor*) didapat dengan menghitung selisih antara air yang tersedia pada akhir periode *t* dan awal periode *t*, serta mengurangnya dengan aliran permukaan selama periode *t*. Data yang diperlukan untuk menghitung parameter ini meliputi data debit aliran sungai, data curah hujan, data evaporasi, dan data kondisi tanah di wilayah yang diteliti. Angka ini diasumsikan sebagai nilai tetap awal, dengan dugaan bahwa keseimbangan air adalah sebuah siklus tertutup yang dianalisis selama periode waktu tahunan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, nilai asumsi awal untuk bulan pertama pada tahun pertama harus disetarakan dengan nilai untuk bulan terakhir pada tahun terakhir (Andojo & Sudirman, 2012).

#### 2.4.14 *Base flow*

*Base flow* dalam metode Mock merujuk pada aliran air yang terus menerus ada sepanjang tahun dan berasal dari proses infiltrasi dan penyimpanan air tanah. Setelah terjadi perkolasi ke dalam tanah, *Base flow* akan mengalir ke permukaan

sebagai aliran permukaan. *Base flow* merupakan salah satu komponen dari limpasan dalam metode Mock, selain *interflow* dan *direct runoff*. Metode Mock sendiri digunakan untuk memperkirakan debit air dari suatu daerah aliran sungai dengan mempertimbangkan konsep *Water Balance*. Faktor-faktor seperti jenis vegetasi, permukaan tanah, dan jumlah hari hujan mempengaruhi evapotranspirasi dalam metode ini (Indra et al., 2012). Dalam metode Mock *Base flow* merupakan selisih antara infiltrasi dengan perubahan *ground storage*, dalam bentuk persamaan:

$$BS = I - \Delta GS \quad (2.22)$$

Dimana,

BS : *Base flow*

$\Delta GS$  :Perubahan *ground storage*

Jika pada suatu bulan  $\Delta GS$  bernilai negatif (terjadi karena GS bulan yang ditinjau lebih kecil dari sebelumnya) maka *Base flow* akan lebih besar dari nilai infiltrasinya (Andojo & Sudirman, 2012).

#### **2.4.15 Direct Runoff**

*Direct runoff* adalah volume air permukaan yang mengalir ke sungai atau drainase sebagai akibat dari hujan. *Direct runoff* dihitung dari hasil pengurangan antara presipitasi dengan total evapotranspirasi, kemudian ditambah dengan air permukaan yang berasal dari drainase (jika ada). *Direct runoff* juga dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas air di permukaan tanah yang menghitung pergerakan air dalam satu satuan waktu di suatu wilayah DAS (Andojo & Sudirman, 2012). *Direct runoff* dihitung dengan persamaan :

$$DRO = WS - I \quad (2.23)$$

Dimana,

DRO = *Direct Runoff*

WS = *Water surplus*

I = Infiltrasi



#### 2.4.16 Total Runoff

*Total Runoff* dalam metode Mock adalah jumlah dari *Direct Runoff* dan *Base flow*. *Direct Runoff* adalah aliran permukaan yang langsung mengalir ke sungai atau saluran drainase, sedangkan *Baseflow* adalah aliran di dalam tanah yang menuju sungai atau saluran drainase setelah melalui proses filtrasi dan resapan di dalam tanah. *Total Runoff* merupakan total volume air yang keluar dari suatu daerah aliran sungai pada suatu periode waktu tertentu, biasanya dihitung dalam satuan volume per waktu seperti m<sup>3</sup>/detik atau liter/detik. *Total Runoff* dihitung dengan memperhitungkan beberapa faktor seperti presipitasi, evaporasi, infiltrasi, dan resesi aliran tanah (Andojo & Sudirman, 2012). *Total Runoff* dapat dihitung dengan persamaan:

$$TRO = BF + DRO + SRO \quad (2.24)$$

Dimana,

TRO : *Total Runoff*

BF : *Base flow*

DRO : *Direct Runoff*

SRO : *Storm Runoff*

#### 2.4.17 Storm Runoff

*Storm Runoff* atau limpasan permukaan adalah bagian dari total limpasan yang terjadi pada suatu wilayah pada saat terjadinya hujan atau badai. Limpasan permukaan ini terjadi ketika curah hujan lebih besar daripada daya resapan tanah dan volume air yang dapat disimpan oleh vegetasi, sehingga air mengalir di atas permukaan tanah menuju aliran sungai, danau, atau laut. *Storm runoff* dalam metode Mock yaitu limpasan langsung ke sungai yang terjadi selama hujan deras. *Storm Runoff* ini hanya beberapa persen saja dari hujan. *Storm Runoff* hanya dimasukkan ke dalam *Total Runoff*, bila presipitasi kurang dari nilai maksimum *Soil moisture capacity*. *Storm Runoff* dipengaruhi oleh *percentage factor*, disimbolkan dengan PF (Andojo & Sudirman, 2012).

Dalam perhitungan debit ini, Mock menetapkan bahwa :

- a. Jika presipitasi ( $P$ ) > maksimum *Soil moisture capacity* maka nilai stormrunoff = 0
- b. Jika  $P <$  maksimum *Soil moisture capacity* maka *Storm Runoff* adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikali *percentage factor*, atau:

$$SRO = P \times PF \quad (2.25)$$

Dimana,

$SRO$  = *Storm Runoff*

$P$  = Presipitasi

$PF$  = *Precentage Factor*

## 2.5 Uji NSE

Metode *Nash-Sutcliffe* digunakan untuk mengukur akurasi model hidrologi atau model matematika lainnya dalam memprediksi data observasi. Metode ini melibatkan perhitungan perbedaan antara nilai prediksi dan nilai observasi, yang kemudian dinormalisasi dengan variansi nilai observasi selama periode pengamatan. Efisiensi *Nash-Sutcliffe* dapat bernilai antara negatif tak terhingga hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan prediksi yang sempurna dan nilai 0 menunjukkan prediksi yang sama buruknya dengan menggunakan nilai rata-rata. Namun, nilai ambang batas yang dianggap baik untuk uji efisiensi *Nash-Sutcliffe* bervariasi tergantung pada konteks dan jenis data yang diamati (Suhartanto et al., 2019). Uji efisiensi *Nash-Sutcliffe* bertujuan untuk mengevaluasi kesahihan pada model dengan menggunakan kriteria yang disajikan pada Tabel 2.2

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X - Y)^2}{\sum_{i=1}^n (X - \bar{X})^2} \quad (2.26)$$

Keterangan:

$NSE$  = koefisien *Nash-Sutcliffe*

$n$  = jumlah data

- Y = nilai dari hasil permodelan
- X = nilai dari hasil pengamatan
- $\bar{X}$  = rerata nilai hasil pengamatan

Tabel 2.3 Kriteria Nilai *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE)

No	Nilai NSE	Interpretasi
1.	$NSE > 0,75$	Baik
2.	$0,36 < NSE < 0,75$	Memenuhi
3.	$NSE < 0,36$	Tidak Memenuhi

Sumber: (Ery Suhartanto E. N., 2019)

## 2.6 VBA For microsoft Excel

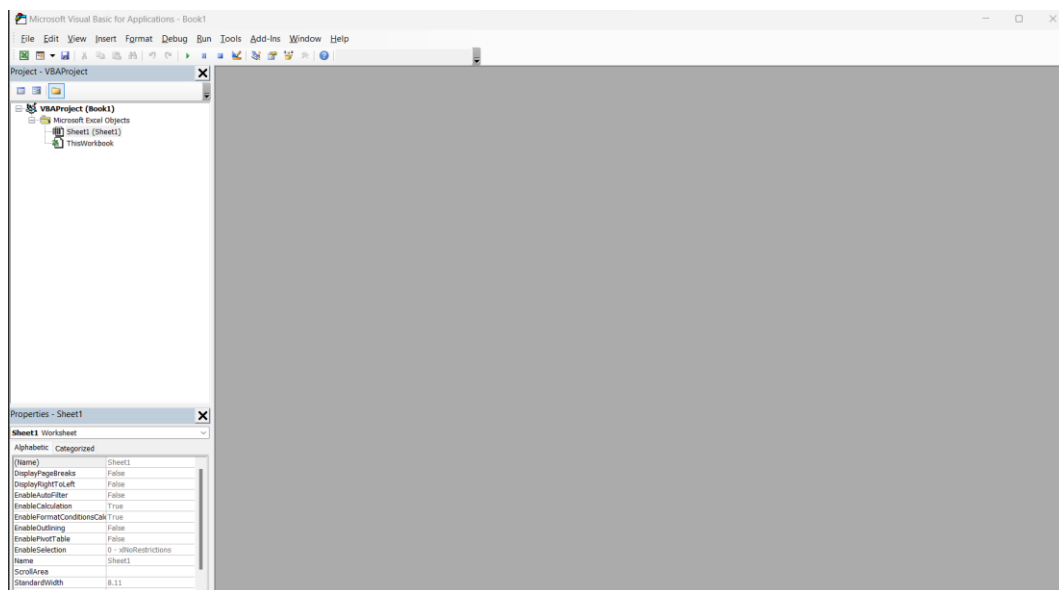
### 2.6.1 Definisi Visual Basic Application (VBA) for Microsoft Excel

*Microsoft Excel* adalah program yang berfungsi untuk memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data. Walaupun *Microsoft Excel* memiliki banyak fungsi dan fitur, terkadang pengguna *Microsoft Excel* melakukan kegiatan yang banyak, berulang, maupun tugas yang memerlukan fungsi yang tidak disediakan oleh *Microsoft Excel*. *Microsoft Excel* memiliki VBA (Visual Basic for Application), sebuah bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk mengembangkan *Microsoft Excel* (*Office Visual Basic for Applications (VBA) Reference | Microsoft Learn, 2021*). Secara umum, *Visual Basic for Application (VBA) for Microsoft Excel* adalah sebuah program yang terdiri dari serangkaian perintah yang digunakan untuk mengatur berbagai aspek dalam aplikasi tersebut, dengan tujuan meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam pekerjaan (Hidayat et al., 2021). VBA bekerja dengan menjalankan macro, macro ditulis menggunakan bahasa Visual Basic. VBA adalah bahasa pemrograman yang bersifat OOP (Object Oriented Programming), yang berarti VBA berinteraksi dengan *Microsoft Excel* dengan cara menyampaikan kode-kode instruksi yang diprogramkan, kepada beberapa objek yang berada di *Microsoft Excel*. Terdapat banyak objek yang bervariasi pada *Microsoft Excel*, objek tersebut bersifat fleksibel, namun memiliki keterbatasan. Objek-objek tersebut hanya melakukan hal yang diperintahkan kepadanya. Setiap objek dapat dimanipulasi dengan mengubah properties dari

objek tersebut maupun dengan memanggil methods yang dimiliki oleh objek tersebut (*Office Visual Basic for Applications (VBA) Reference / Microsoft Learn, 2021*).

## 2.6.2 Lingkup Kerja Visual Basic for Application (VBA)

*Visual Basic for Application (VBA) Excel* memiliki dua aspek utama dalam lingkup kerjanya, yaitu jendela VBA dan variable-variabel VBA. Jendela VBA merupakan area kerja yang digunakan oleh pengguna saat menggunakan *Visual Basic for Application*. Jendela VBA terdiri dari beberapa komponen, seperti menu utama, *toolbar*, *VBA Project*, *properties*, dan jendela kode, yang memungkinkan pengguna untuk mengakses berbagai fitur dan fungsi yang disediakan oleh *VBA Excel* (*Office Visual Basic for Applications (VBA) Reference / Microsoft Learn, 2021*).



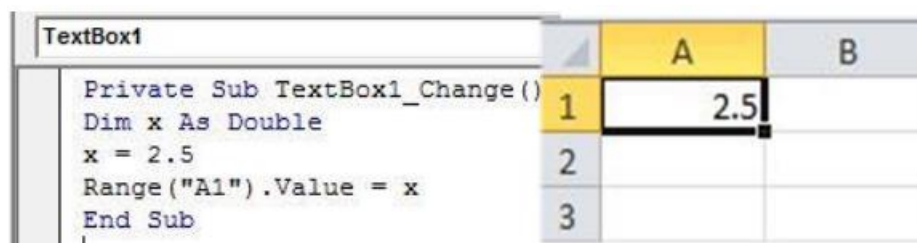
Gambar 2.2 Tampilan *VBA Excel Application*

Variabel merupakan istilah yang digunakan untuk merujuk pada suatu nama yang diberikan pada suatu area di dalam memori komputer untuk menyimpan data yang akan diproses dalam suatu operasi. Sebelum digunakan, nama variabel harus didefinisikan terlebih dahulu. Setiap variabel memiliki spesifikasi jenis tertentu yang menentukan seberapa banyak memori yang dibutuhkan untuk mengoperasikan data variabel tersebut. Untuk menuliskan variabel dalam VBA, digunakan bentuk umum "Dim nama\_variabel [AsType]", yang membutuhkan

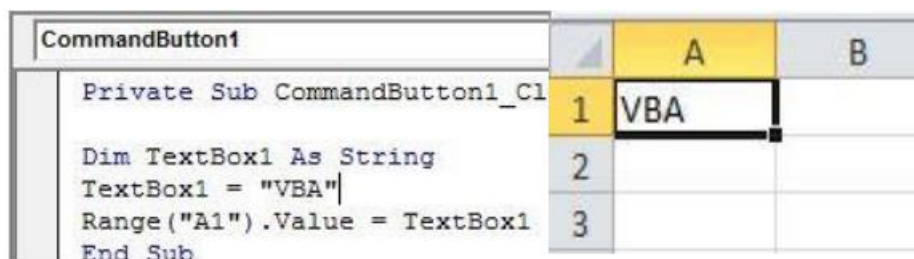
penulisan data untuk membantu mendefinisikan jenis variabel yang digunakan (Microsoft 365, 2023). Tipe-tipe data variabel VBA dijelaskan pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Tipe Data VBA Excel

No	Tipe Data	Keterangan
1.	<i>Array</i>	Setiap elemen <i>range array</i> sama dengan tipe dasar. Jumlah elemen dalam <i>Array</i> tidak terbatas.
2.	<i>Boolean</i>	Digunakan untuk fungsi logika dengan nilai <i>true</i> atau <i>false</i> ,
3.	<i>Currency</i>	Untuk menyimpan data yang berhubungan dengan nominal uang
4.	<i>Date</i>	Menyimpan kombinasi informasi tanggal dan waktu
5.	<i>Double</i>	Untuk menyimpan angka desimal dengan rentang
6.	<i>Integer</i>	Untuk menyimpan bilangan bulat antara -32.768 sampai dengan 32.767
7.	<i>Long</i>	Untuk menyimpan nilai integer yang berada dalam rentang yang lebih panjang antara -2.147.483.648 dan 2.147.483.647
8.	<i>Object</i>	Untuk tujuan menyimpan alamat yang mengacu pada objek VBA tertentu
9.	<i>Single</i>	Bilangan negatif antara $-3.402.823 \times 10^{38}$ hingga $-1.401.298 \times 10^{-45}$ dan bilangan positif antara $1.401.298$
10.	<i>String</i>	Untuk tipe data teks atau tulisan
11.	<i>Variant</i>	Dapat digunakan untuk tipe apa saja



Gambar 2.3 Contoh penggunaan tipe data *double*



Gambar 2.4 Contoh penggunaan tipe data *string*

Operator sangatlah krusial dalam penulisan script pada VBA karena membantu mempermudah penggunaan fungsi matematik, perbandingan, atau logika antara dua nilai numerik atau angka yang terdapat dalam program. Terdapat berbagai macam kategori operator seperti Tabel 2.10, Tabel 2.11 dan Tabel 2.12 berikut.

Tabel 2.5 Operator aritmatika

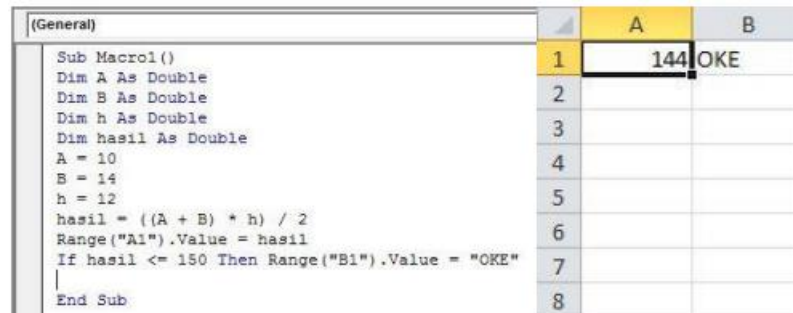
No	Operator aritmatika	Keterangan
1.	<i>Addition (+) dan Subtraction (-)</i>	Menjumlahkan dan mengurangi dua angka atau lebih
2.	<i>Multiplication (*) dan division (/)</i>	Mengalikan dan membagi dua angka atau lebih
3.	<i>Integer division (\)</i>	Membagi dua angka atau lebih dan memberikan hasil dalam bentuk integer
4.	<i>Exponentiation (^)</i>	Untuk memangkatkan angka
5.	<i>Modulo arithmetic (Mod)</i>	Merupakan hasil akhir atau sisa pembagian.

Tabel 2.6 Operator Pembanding

No	Operator pembanding	Keterangan
1.	<	Kurang dari
2.	<=	Kurang dari atau sama dengan
3.	>	Lebih dari
4.	>=	Lebih dari atau sama dengan
5.	=	Sama dengan

Tabel 2.7 Tabel Operator Logika

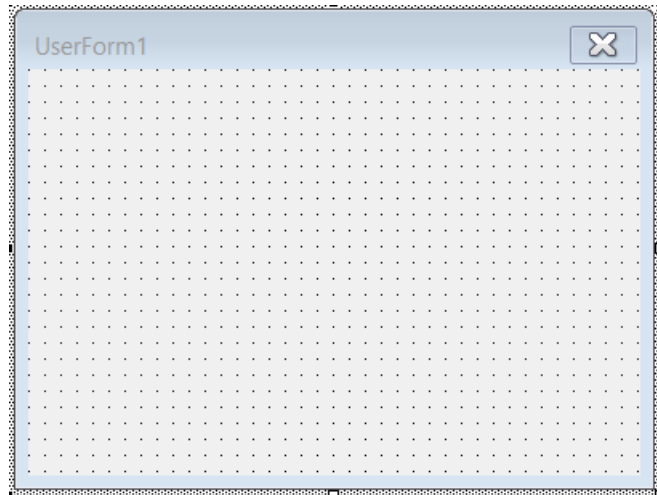
No	Operator logika	Keterangan
1.	And	Hasil dari operator ini akan bernilai benar jika nilai keduanya bernilai benar
2.	Not	Operator Not menampilkan logika Not untuk ekspresi angka. Jika nilai bit 1 dibandingkan dengan 0 maka hasilnya adalah 1 begitu juga sebaliknya.
3.	Or	Akan bernilai Benar jika salah satu atau keduanya bernilai salah



Gambar 2.5 Contoh penggunaan tipe operator

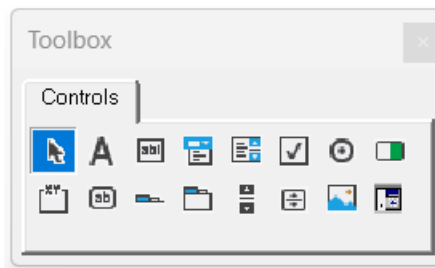
Adapun komponen penting lain dalam membangun VBA pada *Excel* diantaranya sebagai berikut:

1. *UserForm* merupakan *interface/tampilan* yang berisi kontrol dan intruksi VBA untuk mempermudah dalam penggunaan sebuah program aplikasi.



Gambar 2.6 *UserForm VBA Excel*

2. *ToolBox Control* merupakan objek dalam *userform* atau *worksheet* yang dapat dimanipulasi, seperti *command button*, *text box*, *check box*, *combo box*, *listbox*, *label* dan *option button*.

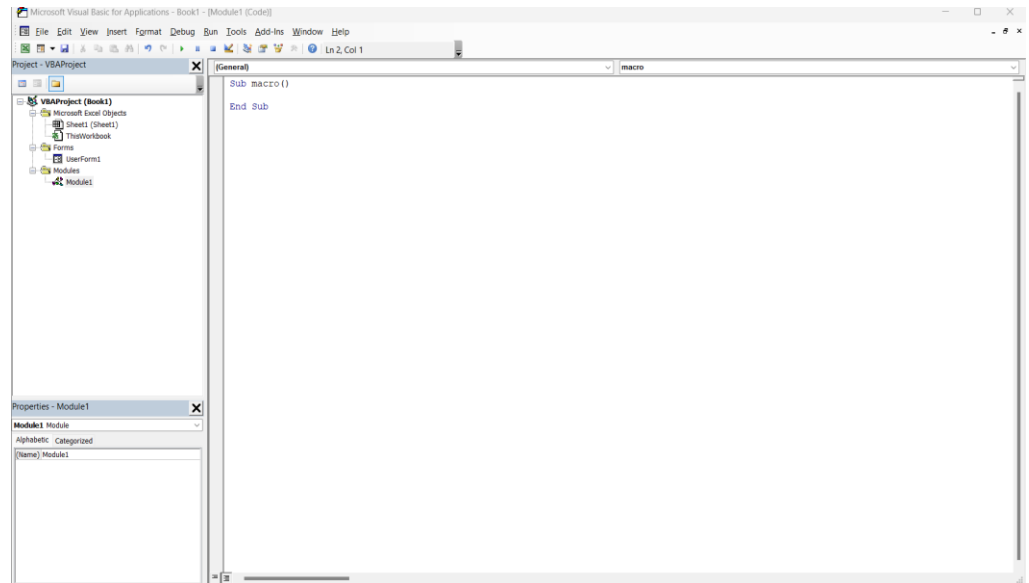


Gambar 2.7 *Toolbox VBA Excel*

3. *Module* merupakan salah satu *object VBA*. Berbeda dengan *worksheet* yang terlihat di *Excel*, *module* hanya berisi *code editor* untuk menulis

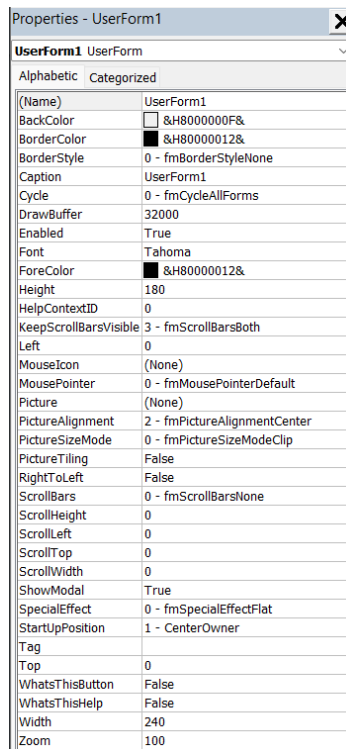


baris program.



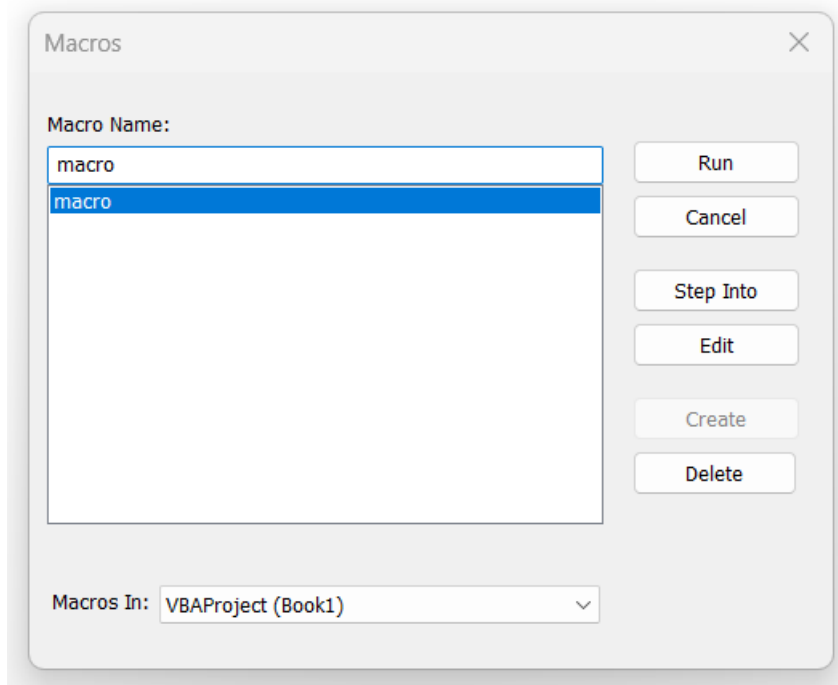
Gambar 2.8 Module VBA Excel

4. *Property* merupakan karakteristik suatu objek seperti *scroll area*, *font*, dan *name*.



Gambar 2.9 Properties VBA Excel

5. *Function* adalah salah satu tipe VBA macro yang memiliki *return value*. Sedangkan macro sekumpulan instruksi dalam VBA yang dijalankan secara otomatis.



Gambar 2.10 Macro VBA Excel