

ANALISIS DEBIT ANDALAN UNTUK KEBUTUHAN AIR BAKU INDUSTRI PERTAMBANGAN MENGGUNAKAN MODEL SWAT+ PADA SUNGAI AKE SUBOLI, KABUPATEN HALMAHERA TIMUR

Marlina Kamis¹, Yudit Agus Priambodo^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Maluku Utara,
sipilummu.yudit@gmail.com

ABSTRAK

Ketersediaan air baku yang andal merupakan aspek penting dalam menunjang operasional mess industri pertambangan, terutama pada wilayah dengan keterbatasan data debit sungai. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis debit andalan Sungai Ake Suboli di Kabupaten Halmahera Timur sebagai dasar perencanaan air baku mess pertambangan menggunakan model Soil and Water Assessment Tool Plus (SWAT+). Model hidrologi dibangun berdasarkan data digital elevation model (DEM), tutupan lahan, jenis tanah, serta data iklim harian dari sumber global. Simulasi menghasilkan debit harian pada outlet DAS yang selanjutnya dianalisis menggunakan Flow Duration Curve (FDC) untuk memperoleh debit andalan pada tingkat keandalan 80%, 90%, dan 95% (Q80, Q90, dan Q95). Hasil penelitian menunjukkan bahwa Sungai Ake Suboli memiliki pola aliran musiman yang kuat, dengan debit tinggi pada musim hujan dan debit sangat rendah pada musim kemarau. Debit Q90 dan Q95 menunjukkan nilai yang sangat kecil dan mendekati nol pada beberapa bulan kering, mengindikasikan lemahnya kontribusi aliran dasar dan tingginya risiko kekurangan air apabila digunakan sebagai dasar perencanaan. Meskipun SNI 6738:2015 merekomendasikan penggunaan Q90 untuk air baku, penelitian ini menggunakan Q80 sebagai debit andalan operasional karena sistem yang dikaji merupakan sistem air baku internal dengan jumlah pengguna terbatas dan pengelolaan aktif. Hasil ini menunjukkan bahwa Q80 lebih realistis secara teknis untuk kondisi DAS Ake Suboli, dengan kebutuhan tambahan berupa fasilitas tampungan guna menjamin kontinuitas suplai air sepanjang tahun.

Kata kunci : *debit andalan, SWAT+, kurva durasi aliran, air baku*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penyediaan air baku untuk industri pertambangan umumnya memerlukan pasokan kontinu, sementara debit sungai berfluktuasi musiman. Dalam praktik hidrologi terapan di Indonesia, debit andalan didefinisikan sebagai debit yang dapat diandalkan pada tingkat reliabilitas tertentu; untuk banyak keperluan perencanaan sering digunakan reliabilitas 80% (Q80), yaitu debit yang “terpenuhi” atau terlampaui 80% waktu[1]. Penggambaran ketersediaan air di Indonesia pada lokasi sungai biasanya menggunakan probabilitas 80%, 90% dan 95%. Secara umum untuk irigasi biasanya digunakan probabilitas 80%, yang dapat diartikan sebagai probabilitas terjadinya debit yang lebih besar dari yang direncanakan. Peruntukan lainnya seperti debit andalan 90% digunakan untuk air baku dan PLTA, 95% untuk aliran pemeliharaan sungai[2].

Pada lokasi dengan minim data debit observasi, model hidrologi proses seperti SWAT+ dapat dimanfaatkan untuk mensimulasikan debit harian berbasis karakteristik fisik DAS dan iklim. SWAT+ merupakan versi SWAT yang direstrukturisasi untuk meningkatkan representasi proses dan fleksibilitas pemodelan DAS[3].

PT. Aneka Tambang Tbk (ANTAM) bersama PT. Industri Baterai Indonesia (IBC) dan Ningbo Contemporary Brup Lygend Co. Ltd. (CBL) telah menandatangani perjanjian Kerangka Kerja sama Proyek Pengembangan Ekosistem Baterai EV (Baterai Kendaraan Listrik) terintegrasi di Indonesia, yang mencakup kegiatan pertambangan bijih nikel hingga baterai industri daur ulang. Lokasi Kawasan Industri yang terletak di Kecamatan Maba, Kabupaten Halmahera Timur, Provinsi Maluku Utara, Indonesia.

Kegiatan penambangan bijih nikel untuk Proyek Pengembangan Ekosistem Baterai EV akan dilakukan Oleh PT. Sumberdaya Arindo (PT. SDA), anak perusahaan Antam yang memiliki wilayah izin usaha pertambangan di Halmahera Timur, Maluku Utara. Dan jumlah tenaga kerja yang bertambah maka akan berdampak pada kebutuhan akan air bersih kian hari semakin meningkat sehingga dibutuhkan peningkatan kapasitas produksi air bersih. Lokasi studi di Sungai Ake Suboli Kabupaten Halmahera Timur, luas DAS 12.12 km², penggunaan lahan dominan adalah hutan.

Penelitian ini fokus pada penerapan SWAT+ di Sungai Ake Suboli, Kabupaten Halmahera Timur, untuk menghasilkan debit simulasi dan menurunkan debit andalan melalui Flow Duration Curve (FDC). Secara klasik, FDC adalah kurva frekuensi kumulatif yang menunjukkan persentase waktu suatu debit sama/terlampaui pada periode tertentu dan banyak dipakai untuk kajian suplai air[4].

2 METODE PENELITIAN

Untuk keperluan perhitungan debit andalan maka diperlukan data debit sungai yang dikaji. Untuk lokasi pengambilan air pada Sungai Ake Suboli data tersebut tidak dapat diperoleh karena tidak tersedia alat dan data pengukuran seperti AWLR dengan rekaman minimal 20 tahun. Oleh karena itu diperlukan analisis hidrologi untuk mendapatkan debit simulasi.

Untuk keperluan analisis hidrologi digunakan aplikasi SWAT+ yang berbasis penginderaan jauh dan GIS untuk bidang Hidrologi/Hidrogeologi. Aplikasi SWAT+ dapat diintegrasikan dengan aplikasi lain berbasis GIS sebagai plugin seperti aplikasi QGIS 3.34 Prizren.

Data yang diperlukan pada aplikasi SWAT+ sesuai lokasi pengambilan air antara lain:

- a. Data topografi, Berupa data DEM diperoleh dari website <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/#/>[5].
- b. Data tata guna lahan, Data dapat diperoleh dari website <https://swat.tamu.edu/data/>[6].
- c. Data jenis tanah, Data dapat diperoleh dari website <https://swat.tamu.edu/data/>[6].
- d. Data cuaca, Data dapat diperoleh dari website <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. Data yang diakses adalah data presipitasi (mm/hari), Suhu (°C), radiasi matahari (MJ/m²/hari), kecepatan angin (m/s), dan kelembapan relative (%) pada koordinat latitude 0.7568 dan longitude 128.0126 untuk rentang tahun 2005 – 2024[7].

Dalam penelitian ini, data curah hujan observasi tidak tersedia di wilayah studi, sehingga digunakan data curah hujan satelit sebagai input utama model SWAT+. Dataset ini telah dikoreksi secara global dan digunakan tanpa koreksi bias lokal karena keterbatasan data observasi. Evaluasi model dilakukan secara kualitatif [8][9] melalui analisis neraca air dan konsistensi respon hidrologi musiman, tanpa menggunakan indikator statistik kuantitatif. Indikator evaluasi kualitatif yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada konsep neraca air klasik [10][11][12], serta pendekatan diagnostik hidrologi yang umum diterapkan pada daerah aliran sungai tidak terpantau (ungauged basins)[13][14][15][16].

Tahapan penelitian ini dilaksanakan sebagai berikut :

1. Delineasi DAS dan sub-basin (DEM) → pembentukan unit respon hidrologi (HRU) dari kombinasi land use–soil–slope.
2. Penyiapan iklim harian dan penetapan stasiun/grid iklim ke sub-basin.
3. Menjalankan SWAT+ untuk periode simulasi (20 tahun)
4. Ekstraksi debit harian di outlet, susun FDC, dan ambil debit andalan.

SWAT+ dapat disiapkan melalui QGIS interface (QSWAT+) dan diedit/dirun menggunakan SWAT+ Editor[11]. SWAT+ menyediakan perangkat untuk analisis sensitivitas, kalibrasi, evaluasi, dan validasi (SWAT+ Toolbox) sebagai bagian dari ekosistemnya[17]. Debit sungai pada outlet dapat diambil dari keluaran reach (saluran utama). Dalam banyak workflow SWAT, seri debit tersimpan sebagai flow_outcms (satuan m³/s) dan dipilih pada reach/outlet yang sesuai [18].

Penyusunan Flow Duration Curve (FDC) merujuk pada SNI 6738-2015 dimana Untuk perencanaan air baku, debit andalan yang digunakan adalah Q90, yang artinya debit tersebut mempunyai kemungkinan akan terjadi sebesar 90% dan tidak terpenuhi sebesar 10%. Persyaratan panjang data untuk probabilitas diatas 90% minimal adalah 20 tahun. Tingkat keandalan debit dihitung berdasarkan nilai probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull sebagai berikut :

$$P(X \geq x) = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (1)$$

$P(X \geq x)$ = probabilitas terjadinya variabel X (debit) yang sama dengan atau lebih besar x m³/s

m = peringkat data

n = jumlah data

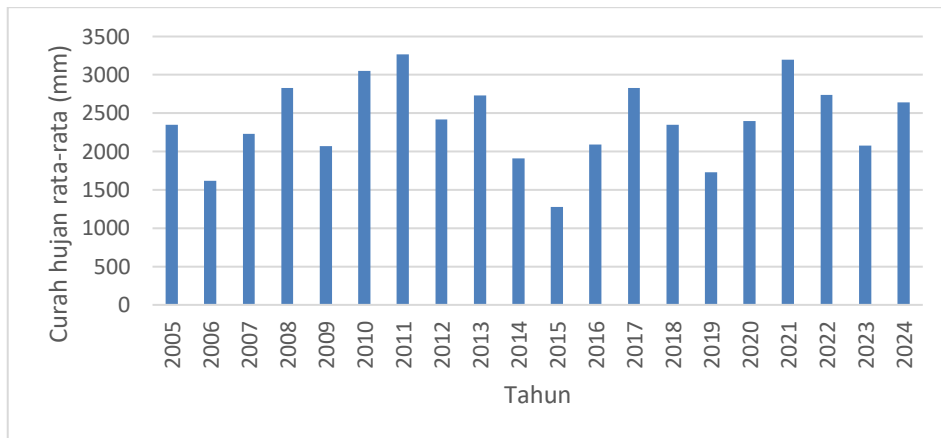
X = seri data debit

x = debit andalan jika probabilitas sesuai dengan peruntukannya.

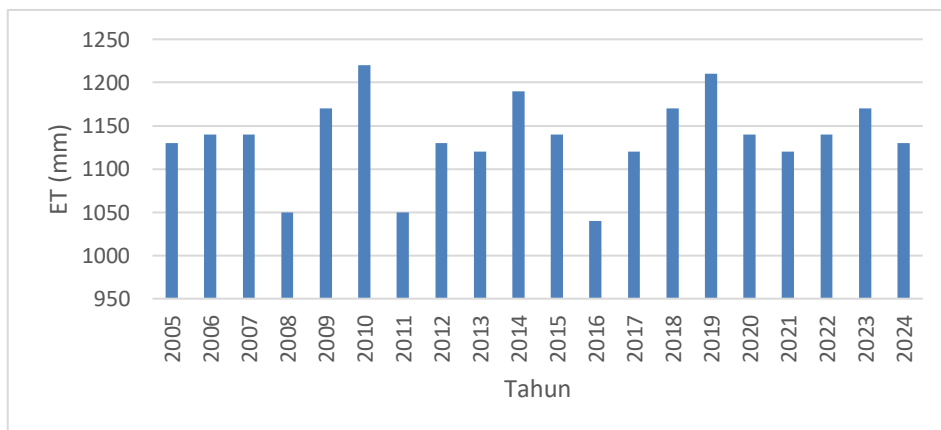
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Data curah hujan tahunan rata-rata, evaporasitranspirasi (ET), total aliran, baseflow, dan peta debit aliran dari SWAT+ ditampilkan pada Gambar 1-5. Peta sebaran debit aliran total hasil simulasi SWAT+ pada Gambar 5 menunjukkan adanya variasi spasial debit yang jelas di dalam DAS, dengan kecenderungan peningkatan debit dari bagian hulu menuju hilir. Area hulu didominasi oleh kelas debit rendah yang mengindikasikan respon

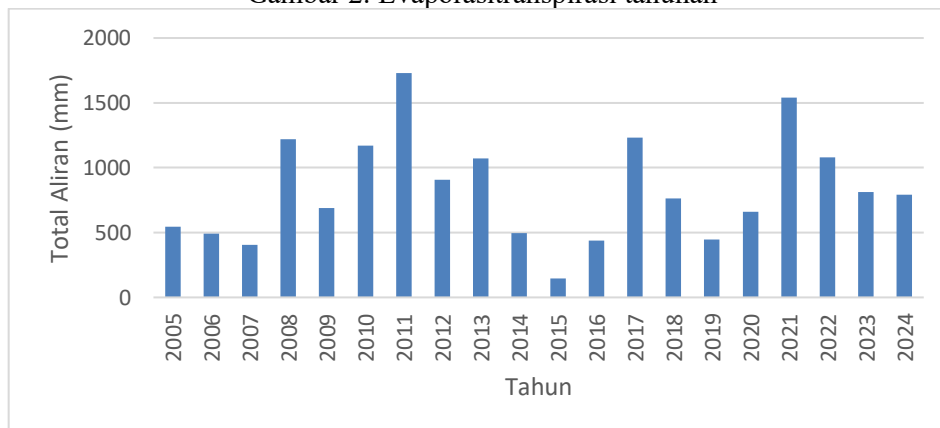
hidrologi yang relatif lambat, kemungkinan dipengaruhi oleh karakteristik fisik DAS seperti kemiringan lereng, jenis tanah, dan tutupan lahan. Pada bagian tengah hingga hilir DAS, nilai debit aliran total meningkat secara bertahap seiring dengan proses akumulasi aliran dari sub-DAS di sekitarnya. Sub-DAS yang terhubung langsung dengan saluran utama memberikan kontribusi debit yang lebih besar dibandingkan sub-DAS lainnya. Pola spasial ini menunjukkan bahwa model SWAT+ mampu merepresentasikan proses hidrologi DAS secara konsisten dan realistis, meskipun simulasi dilakukan tanpa ketersediaan data debit observasi sebagai dasar kalibrasi dan validasi statistik.



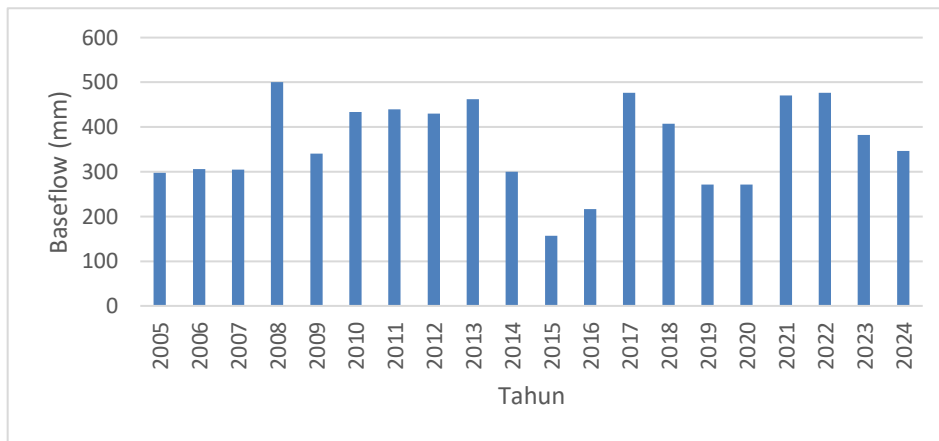
Gambar 1. Curah hujan tahunan rata-rata



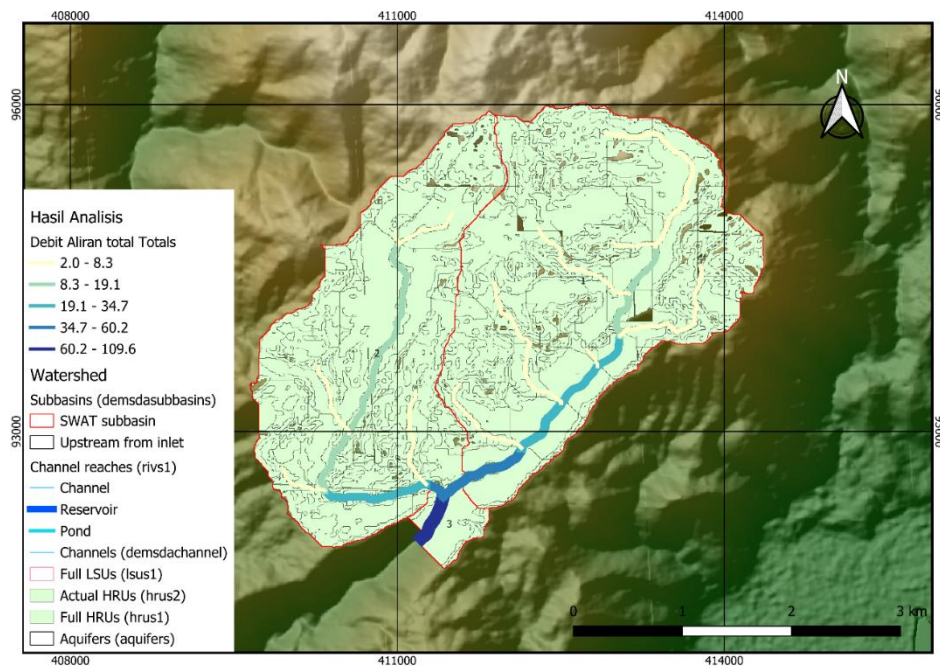
Gambar 2. Evaporasi transpirasi tahunan



Gambar 3. Total aliran keluar DAS tahunan



Gambar 4. Baseflow tahunan



Gambar 5. Peta debit aliran dari SWAT

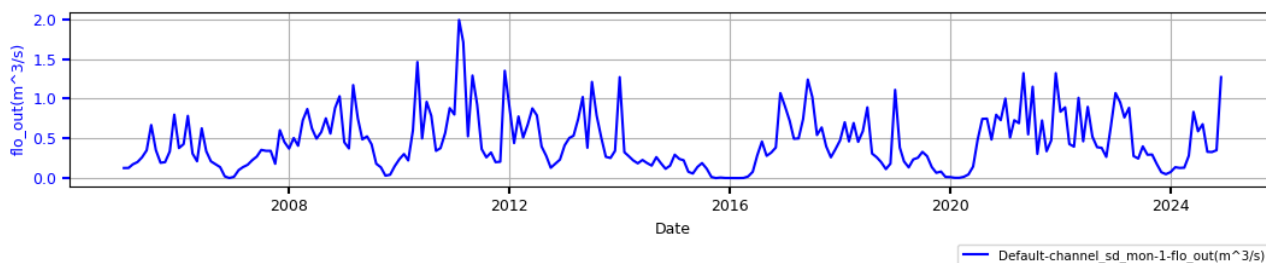
Evaluasi kinerja model dilakukan menggunakan indikator neraca air berbasis output SWAT, meliputi rasio evapotranspirasi (ET/P), rasio limpasan (Q/P), dan kontribusi aliran dasar (BF/Q), yang dihitung dari data simulasi pada skala DAS.

Tabel 1. Evaluasi kinerja model

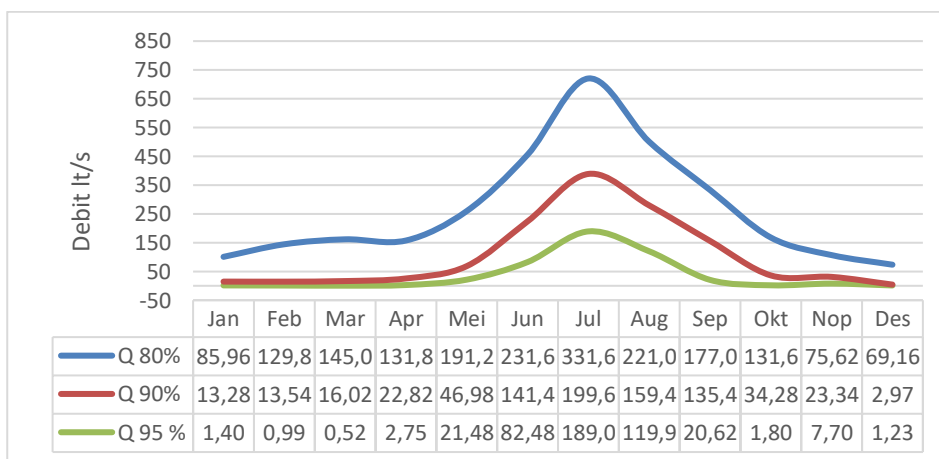
Indikator	Mean	Median	Q1	Q3	IQR	Kisaran Referensi
ET/P	0.50	0.48	0.41	0.56	0.16	0.45 – 0.70
Q/P	0.33	0.33	0.26	0.39	0.13	0.20 – 0.50
BF/Q	0.51	0.47	0.41	0.56	0.15	0.30 – 0.70

Dari Tabel 1, Evaluasi berbasis statistik jangka panjang menunjukkan bahwa nilai rata-rata dan median rasio ET/P, Q/P, dan BF/Q berada dalam kisaran hidrologi yang wajar. Sebaran nilai yang relatif sempit berdasarkan interquartile range mengindikasikan stabilitas respon hidrologi DAS, meskipun terdapat beberapa deviasi tahunan pada periode dengan curah hujan rendah.

Gambar 6 menunjukkan seri debit bulanan hasil simulasi SWAT+ pada outlet Sungai Ake Suboli selama periode analisis. Pola debit memperlihatkan fluktuasi musiman yang kuat dengan debit puncak terjadi pada musim hujan dan debit sangat rendah pada musim kemarau. Debit maksimum harian mencapai sekitar 2.0 m³/s, namun berlangsung singkat, sedangkan debit minimum mendekati nol terjadi secara berulang setiap tahun. Kondisi ini mengindikasikan respon hidrologi DAS yang cepat dan kapasitas simpanan alami yang terbatas. Oleh karena itu, meskipun debit puncak relatif besar, keandalan ketersediaan air baku lebih ditentukan oleh debit rendah, sehingga analisis debit andalan berbasis Flow Duration Curve menjadi sangat penting untuk perencanaan pasokan air baku.



Gambar 6. Debit bulanan (m³/s)



Gambar 7. Debit andalan Q80, 90, 95 (m³/s)

Gambar 7 menunjukkan Flow Duration Curve (FDC) bulanan Sungai Ake Suboli untuk tingkat keandalan 80%, 90%, dan 95%. Debit andalan memperlihatkan variasi musiman yang sangat jelas, dengan nilai maksimum terjadi pada bulan Juni–Agustus dan nilai minimum pada bulan November–Maret. Perbedaan yang signifikan antara Q80, Q90, dan Q95 mengindikasikan tingginya variabilitas debit serta lemahnya kontribusi aliran dasar (baseflow). Pada musim kering, nilai Q90 dan Q95 mendekati nol, sehingga penggunaan debit andalan yang

terlalu konservatif berpotensi menyebabkan kegagalan suplai air baku. Oleh karena itu, Q80 dipilih sebagai debit andalan yang paling realistis untuk perencanaan air baku.

SNI 6738:2015 merekomendasikan penggunaan debit andalan Q90 untuk perencanaan air baku. Namun, pada penelitian ini Q80 digunakan sebagai debit andalan operasional karena sistem yang dikaji merupakan sistem air baku internal untuk kebutuhan sehari-hari pekerja industri pertambangan dengan jumlah pengguna terbatas dan pengelolaan aktif. Selain itu, hasil Flow Duration Curve menunjukkan bahwa Q90 dan Q95 pada Sungai Ake Suboli sangat kecil dan mendekati nol pada musim kering, sehingga kurang realistis secara operasional. Oleh karena itu, Q80 dipilih sebagai kompromi antara keandalan dan keterlaksanaan teknis, dengan catatan diperlukan fasilitas tampungan untuk menjamin kontinuitas suplai sepanjang tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil analisa yang telah dilakukan, dimana dapat disimpulkan sebagai berikut :

- 1) Model SWAT+ berhasil digunakan untuk mensimulasikan debit Sungai Ake Suboli pada kondisi keterbatasan data debit observasi, serta mampu merepresentasikan pola musiman aliran yang ditandai oleh debit tinggi pada musim hujan dan debit rendah yang berulang pada musim kemarau. Pola ini mencerminkan karakteristik DAS dengan respon hidrologi cepat dan kontribusi aliran dasar yang relatif lemah.
- 2) Hasil Flow Duration Curve (FDC) menunjukkan bahwa debit andalan Sungai Ake Suboli sangat dipengaruhi oleh musim. Debit andalan Q80 mencapai nilai maksimum pada periode Juni–Agustus dan menurun drastis pada periode kering November–Maret, sedangkan debit Q90 dan Q95 menunjukkan nilai yang sangat kecil dan mendekati nol pada beberapa bulan kering, sehingga mengindikasikan tingginya risiko kekurangan air pada tingkat keandalan yang terlalu konservatif.
- 3) Meskipun SNI 6738:2015 merekomendasikan penggunaan debit andalan Q90 untuk perencanaan air baku, penelitian ini menggunakan Q80 sebagai debit andalan operasional. Pemilihan ini didasarkan pada karakter sistem air baku yang dikaji, yaitu sistem internal untuk mess industri pertambangan dengan jumlah pengguna terbatas dan pengelolaan aktif, serta pada hasil FDC yang menunjukkan bahwa Q90 kurang realistis untuk kondisi hidrologi DAS Ake Suboli.
- 4) Penggunaan Q80 dinilai sebagai kompromi yang rasional antara tingkat keandalan dan keterlaksanaan teknis, dengan tetap mempertimbangkan aspek keamanan pasokan. Namun demikian, hasil analisis juga menunjukkan bahwa pada bulan-bulan kering tertentu debit andalan masih berpotensi tidak mencukupi kebutuhan air baku, sehingga keberadaan tampungan air atau strategi pengelolaan suplai menjadi sangat penting untuk menjamin kontinuitas layanan.
- 5) Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa analisis debit andalan berbasis SWAT+ dan FDC dapat menjadi pendekatan yang efektif dalam perencanaan air baku pada DAS dengan data terbatas, khususnya untuk sistem non-publik seperti mess pertambangan. Pendekatan ini juga memberikan dasar kuantitatif dalam menentukan tingkat keandalan yang sesuai dengan karakteristik hidrologi DAS dan kebutuhan operasional pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, “Modul Hidrologi: Ketersediaan Dan Kebutuhan Air”, Pusdiklat SDA dan Konstruksi, Bandung, 2017.
- [2] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 1726:2019 – Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”. BSN, Jakarta, 2019.
- [3] Bieger, K., Arnold, J.G., Rathjens, H., White, M.J., Bosch, D.D., Allen, P.M., Volk, M., Srinivasan, R. (2017). “Introduction to SWAT+, a completely restructured version of the Soil and Water Assessment Tool”, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA). doi: 10.1111/1752-1688.12482.
- [4] Searcy, J.K.. “Flow-duration curves” U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1542-A, 1959.
- [5] Badan Informasi Geospasial. 2018. Digital Elevation Model Nasional (DEMNAS). Diakses dari <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/>.
- [6] Texas A&M AgriLife Research & USDA Agricultural Research Service. 2025. Soil & Water Assessment Tool (SWAT) – Data Resources. Diakses dari <https://swat.tamu.edu/data/>.
- [7] National Aeronautics and Space Administration (NASA). 2025. NASA POWER Data Access Viewer – Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER) Data. Diakses dari <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [8] Hrachowitz et al., “A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)”, Hydrological Sciences Journal, Volume 58, june 2013, <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2013.803183>.
- [9] Yilmaz, K., Gupta, H., Wagener, T., “A process-based diagnostic approach to model evaluation: Application to the NWS distributed hydrologic model”, Water Resources Research, vol 44 issue 9, september 2008, <https://doi.org/10.1029/2007WR006716>.
- [10] Budyko, M. I., “Climate and Life”, Academic Press Newyork and London, 1974.
- [11] Zhang et al., “A rational function approach for estimating mean annual evapotranspiration” Water Resources Research, vol. 40, W02502, 2004, doi:10.1029/2003WR002710.
- [12] Arnold et al.,” SWAT: Model Use, Calibration, and Validation”, American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, 2012.
- [13] Dingman, S. L., “Physical Hydrology (3rd Edition)”, Waveland Press Inc. USA: long grove. 2015.
- [14] Wagener, T., et al., “A framework for development and application of hydrological models”, Hydrology and Earth System Sciences, 5 (1), 13–26, 2001.
- [15] FAO, “Irrigation potential in Africa: A basin approach”, FAO Land and Water Bulletin, 1997.
- [16] Smakhitn, V.U., “Low flow hydrology: a review”, Journal of Hydrology, vol. 240, issues 3-4, page 147-186, january 2001.
- [17] Nathan and McMahon, “Evaluation of automated techniques for baseflow separation”, Water Resources Research, vol 26 issue 7, july 1990, <https://doi.org/10.1029/WR026i007p01465>.
- [18] Arnold & Allen (1999), “Automated methods for estimating baseflow”, Journal of the American Water Resources Association, <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1999.tb04290.x>
- [19] Merwade, V. and Joseph, J., “Setting up a SWAT Model with QSWAT”, Lyles School of Civil Engineering, Purdue University, 2021.

