

Analisis Kapasitas Saluran Sungai Penggaron Terhadap Banjir Menggunakan HEC-RAS (Studi Kasus Perumahan Dinar Indah Kota Semarang)

Abdul Halim Zen¹, Akhmad Faqih², Moh. Faiqun Niam³, Lisa Fitriyana⁴

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia^{1,2,3,4}

Corresponding Author: abdulhalimzen01@gmail.com^{1*}, faqahmad.87@gmail.com²

Info Artikel

Submitted: 19 Agustus 2026

Revised : 08 September 2026

Accepted: 29 September 2026

Published: 23 Oktober 2026

Keywords: flood; HEC-RAS; Nakayasu Synthetic Unit; hydrograph; penggaron river; cross-section capacity

Kata Kunci: Banjir; HEC-RAS; HSS Nakayasu; sungai penggaron; kapasitas penampang

Abstract

Flooding in the Dinar Indah Residential Area, Semarang City, is associated with the limited capacity of the Penggaron River to convey flood discharge. This study aims to analyze the hydrological characteristics of the Babon Watershed, determine the design flood discharge, and evaluate the capacity of Penggaron River cross-sections using HEC-RAS. The quantitative study utilized rainfall data, watershed maps, river technical data, and topographic data. Areal rainfall was analyzed using the Thiessen Polygon method. The Log Pearson Type III distribution was selected through Chi-Square and Smirnov-Kolmogorov goodness-of-fit tests. The design flood discharge was calculated using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph method and subsequently used as input for steady-flow simulation in HEC-RAS. The results indicate that the design rainfall and peak discharge increase with longer return periods. For the 25-year return period, a design rainfall of 162,18 mm produced a peak discharge of 490,08 m³/s. The HEC-RAS simulation showed that the water surface elevation in the upstream cross-section exceeded the channel capacity and caused overflow, whereas the downstream cross-section was still able to convey the flow. These findings indicate the need to increase the capacity of the upstream section as a basis for flood-control planning in the Dinar Indah Residential Area.

Abstrak

Banjir di kawasan Perumahan Dinar Indah Kota Semarang berkaitan dengan keterbatasan kapasitas Sungai Penggaron dalam menampung debit banjir. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik hidrologi DAS Babon, menentukan debit banjir rencana, dan mengevaluasi kapasitas penampang Sungai Penggaron menggunakan HEC-RAS. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data curah hujan, peta DAS, peta stasiun hujan, data teknis sungai, dan topografi. Curah hujan wilayah dianalisis menggunakan Polygon Thiessen. Distribusi Log Pearson Tipe III dipilih melalui uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Debit banjir rencana dihitung menggunakan HSS Nakayasu, kemudian digunakan sebagai masukan simulasi aliran tetap pada HEC-RAS. Hasil analisis menunjukkan curah hujan rencana dan debit puncak meningkat seiring bertambahnya kala ulang. Pada kala ulang 25 tahun, curah hujan rencana sebesar 162,18 mm menghasilkan debit puncak 490,08 m³/detik. Simulasi HEC-RAS menunjukkan muka air pada penampang hulu melampaui kapasitas saluran dan menimbulkan limpasan, sedangkan penampang hilir masih mampu menampung aliran. Hasil ini menunjukkan perlunya peningkatan kapasitas ruas hulu sebagai dasar pengendalian banjir di Perumahan Dinar Indah.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Publisher: Lembaga Penerbit Penelitian Nusantara

Pendahuluan

Salah satu bencana hidrometeorologi yang kerap menerjang area perkotaan di Indonesia sewaktu musim penghujan tiba adalah banjir. Secara umum, limpasan air sungai yang melebihi daya tampung alirannya menjadi pemicu utama meluapnya air hingga merendam pemukiman sekitarnya. Berdasarkan kajian pada Sub-DAS Ciwaringin oleh Yusuf et al. (2021), luapan air timbul saat kapasitas penampang sungai tidak lagi mencukupi atau ketika drainase di kawasan berdataran rendah tidak berfungsi secara maksimal. Risiko fenomena ini pun makin meningkat seiring tingginya curah hujan harian musiman, khususnya di wilayah-wilayah yang mengalami konversi lahan dan memiliki tata kelola drainase yang buruk.

Di daerah perkotaan, maraknya kejadian banjir berkaitan erat dengan pergeseran tata guna lahan yang berlangsung secara masif. Pembangunan infrastruktur perkotaan, pemukiman, serta jalanan yang menggantikan daerah resapan alami menyebabkan kemampuan tanah menyerap air hujan menurun tajam. Imbasnya, volume limpasan permukaan (*runoff*) mengalami lonjakan yang langsung meningkatkan debit air penyebab banjir. Temuan dalam riset di Sub-DAS Ciwaringin oleh Yusuf et al. (2021) mengonfirmasi bahwa alih fungsi lahan mendongkrak koefisien aliran hingga memicu lonjakan debit banjir melampaui 35%. Maka dari itu, perubahan penggunaan lahan menjadi kunci utama yang memperparah intensitas banjir di kawasan urban.

Sebagai saluran drainase alami, sungai bertugas membawa aliran air dari hulu menuju hilir serta menampung volume air termasuk limpasan banjir mencegahnya meluap ke wilayah sekitarnya. Besarnya debit yang sanggup dialirkan sangat bergantung pada bentuk dan ukuran penampang sungai. Penurunan daya tampung ini berisiko tinggi memicu terjadinya luapan. Hal ini terbukti pada kasus Sungai Jatiroto, di mana banjir dipicu oleh keterbatasan kapasitas tampung sungai terhadap luapan air banjir yang masuk (Anto dkk., 2019)

Permasalahan banjir juga terjadi pada Sungai Penggaron/Babon yang melintasi wilayah Kota Semarang, khususnya di sekitar Perumahan Dinar Indah (Humas Pemprov Jateng, 2023). Sungai ini diduga mengalami penurunan kapasitas akibat beberapa faktor, antara lain sedimentasi dan penyempitan penampang sungai. Sedimentasi yang terjadi secara terus-menerus dapat menyebabkan pendangkalan sungai sehingga mengurangi kapasitas tampungnya (Mulia dkk., 2021). Penelitian mengenai dampak erosi menunjukkan bahwa sedimentasi dapat menurunkan kapasitas sungai secara signifikan dari kapasitas awal (Samsuar dkk., 2022). Selain itu, penyempitan alur sungai akibat aktivitas manusia seperti pembangunan di sempadan sungai juga memperburuk kondisi tersebut (DetikJateng, 2023).

Akibat dari permasalahan tersebut, kawasan Perumahan Dinar Indah menjadi salah satu wilayah yang terdampak banjir secara berulang. Genangan air yang terjadi tidak hanya mengganggu aktivitas masyarakat, tetapi juga berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi, kerusakan infrastruktur, serta menurunkan kualitas lingkungan permukiman. Kondisi ini menunjukkan bahwa kapasitas Sungai Penggaron saat ini diduga tidak lagi mampu mengalirkan debit banjir yang terjadi, sehingga diperlukan evaluasi lebih lanjut terhadap kinerja hidrauliknya.

Penggunaan pemodelan hidrolika berbasis aplikasi seperti HEC-RAS telah banyak diterapkan pada kajian-kajian terdahulu guna mengevaluasi daya tampung alur sungai terhadap debit luapan. Sebagai contoh, evaluasi pada Sungai Bedadung mengonfirmasi adanya keterbatasan kapasitas penampang di sejumlah stasiun yang memicu luapan air, yang mana penanganannya membutuhkan kombinasi pengerukan (normalisasi) dan penambahan tanggul

penahan (Ramadhan dkk., 2022). Hasil senada ditemui pada studi Sungai Jatiroto, di mana pemodelan HEC-RAS mampu memetakan lokasi-lokasi rawan yang melampaui batas ambang debit banjir rencana (Anto, 2019). Meskipun demikian, mayoritas studi tersebut masih menitikberatkan pengkajian pada domain hidraulika semata dan belum mengombinasikannya secara menyeluruh dengan simulasi transformasi hujan menjadi aliran (*rainfall-runoff*) pada analisis hidrologinya.

Berdasarkan uraian tersebut, terdapat research gap yaitu masih terbatasnya penelitian yang mengintegrasikan analisis hidrologi dan hidraulika secara simultan untuk mengevaluasi kapasitas sungai, khususnya pada Sungai Penggaron di wilayah Perumahan Dinar Indah. Selain itu, kondisi spesifik daerah perkotaan dengan perubahan tata guna lahan yang cepat belum sepenuhnya terakomodasi dalam analisis sebelumnya.

Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa pendekatan terpadu antara analisis hidrologi untuk memperoleh debit banjir rencana dan analisis hidraulika menggunakan HEC-RAS untuk mengevaluasi kapasitas penampang Sungai Penggaron. Dengan pendekatan ini, diharapkan diperoleh gambaran yang lebih komprehensif mengenai kemampuan sungai dalam menampung debit banjir serta identifikasi titik-titik kritis yang berpotensi mengalami luapan.

Metode Penelitian

3.1. Pendahuluan

Metodologi penelitian merupakan bagian penting yang menjelaskan tahapan kerja dalam penelitian ini secara sistematis. Pada penelitian ini, metode yang digunakan diarahkan untuk menganalisis kapasitas saluran Sungai Penggaron terhadap banjir di kawasan Perum Dinar Indah. Kajian kapasitas sungai pada penelitian terdahulu umumnya dilakukan dengan menganalisis debit banjir puncak, mengevaluasi penampang sungai, dan menentukan potensi luapan pada ruas sungai yang ditinjau. Penelitian lain juga menjelaskan bahwa evaluasi kapasitas penampang sungai dapat dilakukan dengan bantuan HEC-RAS untuk menampilkan profil muka air sungai. Oleh karena itu, metode dalam penelitian ini disusun untuk memperoleh gambaran hubungan antara debit banjir rencana dan kemampuan penampang Sungai Penggaron dalam menampung aliran banjir.

Analisis dalam penelitian ini dilakukan melalui dua tahap utama, yaitu analisis hidrologi dan analisis hidraulika. Analisis hidrologi digunakan untuk mengolah data curah hujan dan data topografi agar diperoleh intensitas hujan serta debit banjir rencana sebagai dasar analisis hidraulika. Dalam penelitian sejenis, data yang digunakan untuk analisis hidrologi meliputi data curah hujan, panjang sungai, gambar saluran, tata guna lahan, pos hujan, dan luas DAS. Analisis hidrologi dilakukan berdasarkan metode yang sesuai dengan karakteristik wilayah studi untuk memperoleh parameter hidrologi yang diperlukan dalam evaluasi banjir. Setelah debit banjir rencana diperoleh, analisis dilanjutkan menggunakan HEC-RAS untuk mengetahui profil muka air, kondisi aliran, dan potensi luapan pada ruas Sungai Penggaron.

HEC-RAS digunakan dalam penelitian ini karena mampu memodelkan banjir pada sungai alami dan saluran terbuka melalui perhitungan aliran satu dimensi maupun dua dimensi. Perangkat lunak ini juga dapat digunakan untuk menggambarkan karakteristik geometri dasar sungai, menghitung profil muka air pada kondisi aliran tetap maupun tidak tetap, serta menghasilkan peta risiko banjir. Analisis hidrologi dan hidraulika dilakukan secara terpadu untuk menggambarkan karakteristik debit banjir serta mensimulasikan kondisi aliran di sepanjang saluran sungai. Dalam konteks penelitian ini, hasil analisis tersebut digunakan untuk menilai apakah kapasitas Sungai Penggaron masih mampu menampung debit banjir rencana atau sudah berpotensi meluap ke kawasan Perum Dinar Indah. Dengan demikian, sub-bab metodologi ini menjadi dasar untuk menjelaskan alur pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, dan interpretasi hasil penelitian.

3.2. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini Secara geografis terletak pada titik koordinat 7°03'53.6"LS dan 110°28'8.4"BT, berada pada kawasan aliran Sungai Penggaron yang berpengaruh terhadap kejadian banjir di Perum Dinar Indah, Kelurahan Meteseh, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kondisi kawasan yang sering mengalami banjir akibat luapan sungai, khususnya ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi di wilayah hulu. Dalam beberapa kajian banjir Semarang, Sungai Penggaron disebut sebagai bagian penting dari sistem DAS Dolok–Penggaron/Babon, yaitu sistem sungai yang berperan mengalirkan debit banjir dari wilayah hulu menuju Sungai Babon dan selanjutnya ke arah laut.

Lokasi penelitian dipilih karena Perum Dinar Indah merupakan salah satu kawasan permukiman yang terdampak langsung oleh luapan sungai. Berdasarkan data kejadian banjir, Perum Dinar Indah di Kelurahan Meteseh, Kecamatan Tembalang pernah mengalami banjir bandang pada 6 Januari 2023 dengan ketinggian mencapai 2,5 meter, menyebabkan satu korban jiwa dan sekitar 45 kepala keluarga mengungsi. Kejadian tersebut dikaitkan dengan luapan Sungai Babon–Pengkol yang tidak mampu menampung debit hujan berintensitas tinggi serta adanya tanggul yang jebol.

Dalam penelitian ini, lokasi pengamatan difokuskan pada ruas sungai yang mempunyai pengaruh terhadap luapan banjir di sekitar Perum Dinar Indah. Penentuan lokasi penelitian diperlukan agar proses analisis hidrologi dan analisis hidraulika menggunakan HEC-RAS dapat dilakukan secara lebih terarah. Beberapa referensi penelitian sejenis juga menetapkan lokasi penelitian pada ruas sungai tertentu, kemudian menganalisis debit banjir, kapasitas penampang, profil muka air, serta titik-titik yang berpotensi mengalami luapan.

3.2.1 Sungai Penggaron

Sungai Penggaron merupakan salah satu sungai yang memiliki peran penting dalam sistem pengaliran banjir di wilayah timur Kota Semarang. Sungai ini berkaitan dengan sistem Dolok–Penggaron/Babon, di mana debit banjir dari hulu Sungai Dolok dan Penggaron dialirkan melalui sistem sungai menuju Sungai Babon. Dalam kajian pengendalian banjir DAS Dolok–Penggaron disebutkan bahwa Sungai Babon pada daerah Kanal Banjir Timur merupakan bagian dari sistem Sungai Dolok–Penggaron, dan debit banjir dari hulu Sungai Dolok dan Penggaron diarahkan melalui Bendung Pucanggading serta sistem Sungai Babon menuju laut.

Secara hidrologis, Sungai Penggaron perlu dikaji karena debit banjir dari wilayah hulu dapat meningkatkan muka air sungai pada bagian hilir. Apabila debit yang masuk melebihi kapasitas tampungan penampang sungai, maka air dapat meluap ke kawasan sekitar sungai. Kondisi ini menjadi dasar penting dalam penelitian kapasitas saluran, karena kemampuan sungai dalam menampung debit banjir sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang sungai, kemiringan dasar sungai, kekasaran saluran, kondisi tanggul, serta adanya penyempitan atau hambatan aliran.

Dalam penelitian ini, Sungai Penggaron digunakan sebagai objek utama analisis hidrologi dan hidraulika. Analisis hidrologi dilakukan untuk memperkirakan debit banjir rencana, sedangkan analisis hidraulika dilakukan menggunakan HEC-RAS untuk mengetahui profil muka air banjir dan kapasitas penampang sungai. Data yang diperlukan untuk menganalisis Sungai Penggaron meliputi data curah hujan, luas daerah tangkapan air, tata guna lahan, kemiringan lahan, data geometri sungai, penampang melintang, penampang memanjang, nilai kekasaran Manning, serta kondisi batas aliran.

3.2.2 Perum Dinar Indah

Perum Dinar Indah merupakan kawasan permukiman yang terletak di Kelurahan Meteseh, Kecamatan Tembalang, Kota Semarang. Kawasan ini dipilih sebagai lokasi studi kasus karena termasuk salah satu permukiman yang sering terdampak banjir akibat luapan

sungai. Dalam salah satu abstrak penelitian tentang Sungai Penggaron, disebutkan bahwa daerah hilir Sungai Penggaron, terutama Perumahan Dinar Indah, Tembalang, secara konsisten mengalami genangan banjir saat hujan deras. Salah satu penyebab yang disebutkan adalah rendahnya dinding tanggul sehingga tidak efektif menahan air sungai. Perum Dinar Indah juga tercatat sebagai salah satu titik pemantauan banjir di Kota Semarang. Pada Dashboard Pantauan Banjir Kota Semarang, terdapat titik pemantauan Dinar Indah Metesch, dan Perumahan Dinar Indah juga masuk dalam daftar wilayah rawan genangan di wilayah tengah Kota Semarang.

Dalam konteks penelitian ini, Perum Dinar Indah berfungsi sebagai kawasan terdampak atau daerah penerima limpasan banjir dari sungai. Oleh karena itu, analisis terhadap Perum Dinar Indah tidak difokuskan pada perencanaan drainase permukiman secara detail, melainkan pada pengaruh kapasitas Sungai Penggaron terhadap potensi banjir yang terjadi di kawasan tersebut. Hasil simulasi HEC-RAS nantinya dapat digunakan untuk mengetahui apakah muka air banjir pada debit rencana tertentu melampaui tebing atau tanggul sungai yang berada di sekitar kawasan Perum Dinar Indah.

Pemilihan Perum Dinar Indah sebagai lokasi studi kasus juga didasarkan pada urgensi teknis dan sosial. Dari sisi teknis, kawasan ini berada pada daerah yang rentan terhadap luapan sungai sehingga memerlukan evaluasi kapasitas saluran. Dari sisi sosial, kawasan ini merupakan permukiman penduduk, sehingga kejadian banjir dapat menimbulkan kerugian material, gangguan aktivitas masyarakat, serta risiko keselamatan. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai kemampuan Sungai Penggaron dalam menampung debit banjir rencana serta menjadi dasar dalam memberikan rekomendasi penanganan banjir pada kawasan Perum Dinar Indah.

Hasil dan Pembahasan

Hasil

4.1 Gambaran Umum Daerah Aliran Sungai (DAS) Babon

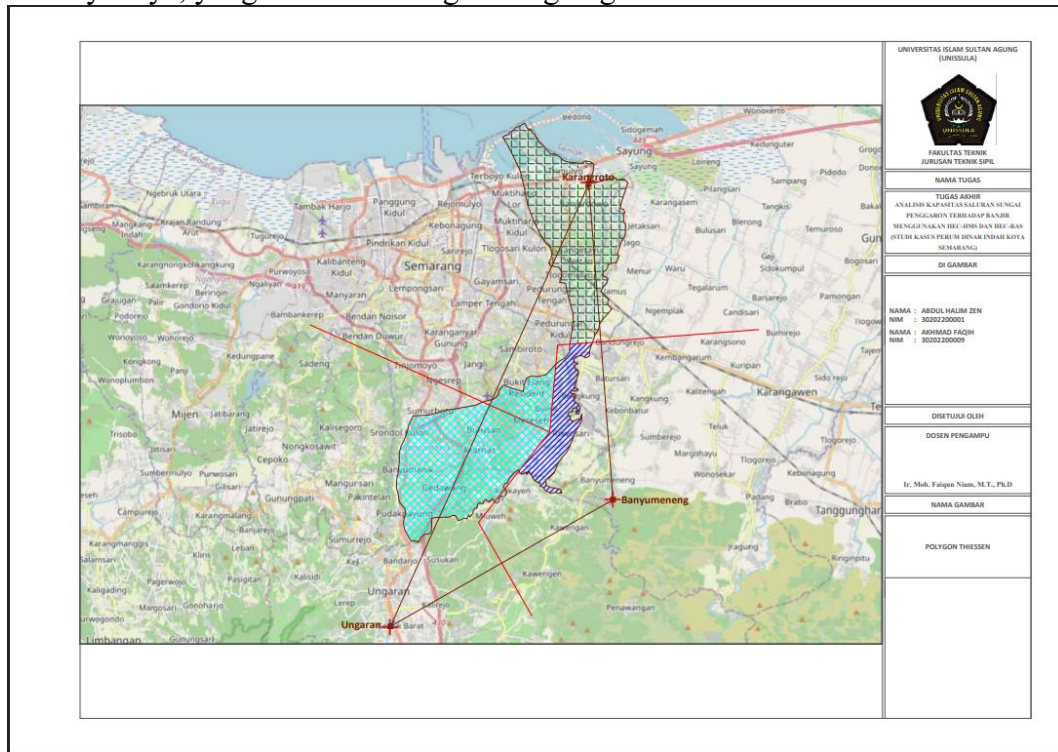
Daerah Aliran Sungai (DAS) Babon merupakan salah satu sistem daerah aliran sungai yang berada di wilayah Provinsi Jawa Tengah dan termasuk dalam sistem Sungai Dolok–Penggaron. Sungai Babon berfungsi sebagai saluran utama yang mengalirkan limpasan permukaan dari wilayah hulu menuju daerah hilir dan bermuara di Laut Jawa. DAS Babon mencakup beberapa wilayah administratif, yaitu Kota Semarang, Kabupaten Semarang, dan Kabupaten Demak. Berdasarkan kondisi geografisnya, DAS Babon memiliki wilayah hulu yang berada pada daerah dengan elevasi lebih tinggi di bagian selatan dan wilayah hilir yang berada di kawasan pesisir utara Kota Semarang.

DAS Babon memiliki panjang sungai utama sekitar 17,6 km. Sungai Babon menerima aliran dari beberapa anak sungai yang membentuk sistem jaringan drainase alami pada wilayah DAS tersebut. Kondisi DAS Babon mengalami perkembangan kawasan yang cukup pesat, terutama pada bagian tengah hingga hilir yang termasuk wilayah perkotaan Kota Semarang. Perubahan tata guna lahan akibat peningkatan kawasan permukiman dan aktivitas manusia berpengaruh terhadap peningkatan limpasan permukaan sehingga dapat meningkatkan potensi terjadinya banjir pada daerah sekitar Sungai Babon.

Dalam penelitian terkait analisis banjir, karakteristik DAS Babon menjadi salah satu faktor penting yang digunakan dalam proses analisis hidrologi dan hidraulika. Data karakteristik DAS, curah hujan, serta kondisi sungai digunakan sebagai parameter dalam pemodelan debit banjir rencana menggunakan perangkat lunak seperti HEC-HMS dan analisis kapasitas penampang sungai menggunakan HEC-RAS. Penelitian terdahulu pada Sungai Babon menunjukkan bahwa permasalahan banjir dipengaruhi oleh perubahan tata guna lahan, sedimentasi, serta keterbatasan kapasitas aliran sungai dalam menampung debit banjir pada kondisi tertentu

4.2 Analisis Curah Hujan Dengan Metode Polygon Thiessen

Hujan rencana sebagai dasar perhitungan intensitas hujan dihitung menggunakan metode Polygon Thiessen. Pada metode ini, kontribusi tiap pos penakar dirata-ratakan berdasarkan cakupan wilayahnya, yang dibentuk dari garis bagi tegak lurus antarstasiun.



Gambar 4. 1 Polygon Thiessen DAS Babon

Tabel 4. 1 Luas Pengaruh Curah Hujan

Stasiun	Luas Pengaruh Curah Hujan (km ²)
sta.Banyumeneng	21,767
sta.Karangroto	24,606
sta.Ungaran	48,266
total area	94,640

a. Contoh perhitungan

$$d = \frac{A_1d_1 + A_2d_2 + \dots + A_nd_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{28,52 + 10,08 \cdot 135 + 16,42 \cdot 111}{55,020}$$

$$d = 1,00004471101$$

$$d = 104,51$$

Curah hujan rata-rata maksimum tahun 2015

$$d = \frac{A_1d_1 + A_2d_2 + \dots + A_nd_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{(122 \times 21,767) + (130 \times 24,606) + (82 \times 48,266)}{94,640}$$

$$d = \frac{9.808}{94,640}$$

$$d_{2015} = 104 \text{ mm}$$

Curah hujan rata-rata maksimum tahun 2016

$$d = \frac{A_1d_1 + A_2d_2 + \dots + A_nd_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$d = \frac{(4680) + (2707) + (4967)}{94,640}$$

$$d = \frac{12354}{94,640}$$

$$d_{2016} = 131 \text{ mm}$$

Tabel 4. 2 Analisis Preipitasi Harian Puncak Rata-rata

No	Tahun	Banyumeneng (mm)	Karangroto (mm)	Ungaran (mm)	Rata-Rata (mm)
1	2015	2656	3199	3953	104
2	2016	4680	2707	4967	131
3	2017	3592	2461	4190	108
4	2018	2068	2411	6757	119
5	2019	2373	2854	5034	108
6	2020	2133	2288	8649	138
7	2021	3439	3371	5165	127
8	2022	2547	3617	4827	116
9	2023	1970	3076	8027	138
10	2024	3102	3593	8616	162
Jumlah		28.559	29.577	60.183	1.250
Rata-Rata		2.855,9	2.957,7	6.018,3	125

4.3 Distribusi Sebaran Curah Hujan

Tabel 4. 3 Parameter Statistik Curah Hujan

No.	Tahun	X terurut	(X i - X rerata)	(X i - X rerata) ²	(X i - X rerata) ³	(X i - X rerata) ⁴
1	2015	103,629	-21,391	457,571	-9787,847	209370,857
2	2016	130,529	5,509	30,350	167,202	921,134
3	2017	108,218	-16,802	282,304	-4743,241	79695,460
4	2018	118,730	-6,290	39,563	-248,846	1565,218
5	2019	108,423	-16,597	275,457	-4571,734	75876,608
6	2020	138,112	13,092	171,403	2244,026	29379,017
7	2021	126,530	1,510	2,280	3,444	5,200
8	2022	116,130	-8,890	79,030	-702,572	6245,792
9	2023	138,128	13,108	171,822	2252,264	29522,898
10	2024	161,770	36,750	1350,570	49633,577	1824038,920
Jumlah :		1250,199	0,000	2860,351	34246,273	2256621,103

Pengukuran Dispersi:

b. Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{125,0199}{9}}$$

$$S = 17,8274 \text{ mm}$$

Koefisien Variasi (Cv)

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$C_v = \frac{17,8274}{1250,199}$$

$$C_v = 0,142$$

b. Koefisien Kemiringan/Skewness (Cs)

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)s^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

$$C_s = \frac{10(34246,273)}{(10-1)(10-2)(17,8274)^3}$$

$$C_s = 0,840$$

c. Koefisien Kurtosis (Ck)

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)s^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4$$

$$C_k = \frac{10^2(2256621,103)}{(10-1)(10-2)(17,8274)^4}$$

$$C_k = 4,433$$

Tabel 4. 4 Kriteria Kesesuaian Sebaran Frekuensi

No	Jenis Sebaran	Hasil Perhitungan		Syarat	Keterangan
1	Normal	Cs	0,84	Cs ≈ 0	Tidak Memenuhi
		Ck	4,43	Ck ≈ 3	
2	Gumbel	Cs	0,84	Cs ≈ 1,139	Tidak Memenuhi
		Ck	4,43	Ck ≈ 5,402	
3	Log Normal	Cs	0,56	Cs ≈ 0	Tidak Memenuhi
		Ck	3,82	Ck ≈ 3	
4	Log Pearson III	Cs	0,56	Semua Nilai	Memenuhi
		Cv	0,03		

Tabel 4. 5 Koefisien Kemencengan (Cs) Metode *Log Pearson Type III*

Kala Ulang	Nilai Cs		
	0,5607	1,0	1,2
2	50	0,164	0,195
5	20	0,758	0,732
10	10	1,340	1,340
25	4	2,043	2,087
50	2	2,542	2,626
100	1	3,022	3,149
200	0,5	3,489	3,661
1000	0,1	4,540	4,820

Menghitung Curah Hujan Rencana (Rn)

Contoh perhitungan untuk Periode Ulang 2 tahun:

$$X_t = X + Kt \times S_x$$

$$X_t = 123,592 + (-0,1355 \times 17,799)$$

$$X_t = 122,297 \text{ mm}$$

Contoh perhitungan untuk Periode Ulang 5 tahun:

$$X_t = X + Kt \times S_x$$

$$X_t = 123,592 + (1,0582 \times 17,799)$$

$$X_t = 138,708 \text{ mm}$$

Tabel 4. 6 Nilai Distribusi *Log Pearson Type III*

T	P(%)	Cs	G	Log X	X (mm)
2	50	0,5607	-0,0959	2,0874	122,2966
5	20	0,5607	0,8151	2,1421	138,7079
10	10	0,5607	1,3400	2,1736	149,1453
20	5	0,5607	1,8453	2,2039	159,9344
25	4	0,5607	1,9464	2,2100	162,1842
50	2	0,5607	2,3575	2,2347	171,6678
100	1	0,5607	2,7431	2,2578	181,0644

4.4 Pengujian Kesesuaian Distribusi

Metode yang digunakan untuk menguji konsistensi distribusi secara analitis yakni menggunakan metode Chi-Kuadrat dan Sminov Kolmogorov.

4.4.1 Uji Kesesuaian Distribusi Dengan Metode Chi-Kuadrat

Langkah untuk menguji kesesuaian distribusi dengan menggunakan metode Chi-Kuadrat sebagai berikut:

- a. Mengurutkan data hujan maksimum tahunan dari yang terkecil hingga terbesar

Tabel 4. 7 Urutan Data Hujan Maksimum Tahunan

No	Tahun	R max (mm)
1	2015	103,63
2	2016	130,53
3	2017	108,22
4	2018	118,73
5	2019	108,42
6	2020	138,11
7	2021	126,53
8	2022	116,13
9	2023	138,13
10	2024	161,77
Jumlah		1250,20
Rata-rata		125,02

- b. Menentukan jumlah kelas (G)

$$G = 1 + 3,322 \log(n)$$

$$G = 1 + 3,322 \log(10)$$

$$G = 4,322$$

$$G = 4$$

- c. Mencari nilai Ik

$$R (\text{selisih}) = R_{\text{max terbesar}} - R_{\text{max terkecil}}$$

$$R (\text{selisih}) = 161,94 - 103,63$$

$$R (\text{selisih}) = 58,31$$

$$I_k = \frac{R}{n}$$

- $$I_k = \frac{58,31}{10}$$

$$I_k = 5,831$$
- d. Mencari nilai sebaran analisis (Ei)
- $$E_i = \frac{n}{G}$$

$$E_i = \frac{10}{4}$$

$$E_i = 2,5$$

$$E_i \times I_k = 2,5 \times 5,831 = 14,5775$$
- b. Mencari nilai derajat kebebasan
- $$DK = G - (R + 1)$$

$$(R = 2 \text{ untuk distribusi Log Person Type III})$$

$$DK = 4 - (2+1)$$

$$DK = 1$$
- c. Derajat kepercayaan = 5%
- d. X^2 tabel = 3,841 (tabel 4.)

Tabel 4. 8 Nilai Kritis Untuk Distribusi Chi-Kuadrat

Dk	a derajat kepercayaan							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,000157	0,000982	0,00393	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0,01	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7.378	9.210	10.597
3	0,0717	0,115	0,216	0,352	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9.488	11.143	13.277	14.860
5	0,412	0,554	0,831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0,676	0,872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0,989	1.239	1.690	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	1.646	2.180	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.088	2.700	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.410	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.638	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.520	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

Sumber: Bonnier, 1980

- e. Perhitungan Untuk Batas Nilai Tiap Kelas :

$$\begin{aligned}
 P1 &= R_{\max} \text{ terkecil} + (E_i \times I_k) \\
 &= 103,63 + 14,5775 \\
 &= 118,2075 \\
 P2 &= P1 + (E_i \times I_k) \\
 &= 118,2075 + 14,5775 \\
 &= 132,785 \\
 P3 &= P2 + (E_i \times I_k) \\
 &= 132,785 + 14,5775 \\
 &= 147,3625 \\
 P4 &= P3 + (E_i \times I_k) \\
 &= 147,3625 + 14,5775 \\
 &= 160,94
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 9 Perhitungan Uji Chi Kuadrat

No.	Nilai Batas Sub Kelas	Jumlah Data		(OF - EF) ²	(OF - EF) ² / EF
		OF	EF		
1	X < 118,014	4,000	2,500	2,250	0,900
2	118,014 < X < 127,539	2,000	2,500	0,250	0,100
3	127,539 < X < 138,708	3,000	2,500	0,250	0,100
4	X > 138,708	1,000	2,500	2,250	0,900
Jumlah :		10,000	10,000	5,000	2,000

- f. Korelasi Hasil Uji Kecocokan
Syarat :

$$\begin{aligned}
 X^2 \text{ hitung} &< X^2 \text{ tabel} \\
 2,000 &< 3,841 \text{ (oke)}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan diatas menunjukkan bahwa nilai Chi-Kuadrat ialah 2,000. Hasil perhitungan tersebut apabila dibandingkan dengan Chi-Kuadrat kritis untuk derajat kebebasan (Dk) = 1 pada derajat kepercayaan 5% berdasarkan tabel Chi-Kuadrat didapatkan nilai (X^2) kritis = 3,841. Sehingga nilai (X^2) hitung lebih kecil dari (X^2) kritis yaitu $2,000 < 3,841$ maka distribusi gumbel dapat diterima.

4.4.2 Uji Kesesuaian Distribusi dengan Metode Smirnov Kolmogorov

Langkah pengujian dengan menggunakan metode Smirnov Kolmogorov sebagai berikut :

- Mengurutkan data dari yang terbesar ke terkecil untuk menghitung nilai standar deviasi (S) dan koefisien skewness (Cs) dan rata-rata (Xrt). Yang diambil dari perhitungan pengukuran dispersi.

No	Tahun	Rmax (mm)
1	2024	161,770
2	2023	138,130
3	2020	138,110
4	2016	130,530
5	2021	126,530
6	2018	118,730
7	2022	116,130
8	2019	108,420
9	2017	108,220
10	2015	103,630
Rerata X		1250,200

Standar Deviasi (S)	0,0600
D Maks	0,8904
D kritis	0,4090
N (jumlah data)	10

Tabel 4. 10 Urutan Curah Hujan Maksimum Tahunan

- b. Nilai rata-rata, standar deviasi, dan koefisien asimetri (skewness) dihitung berdasarkan transformasi logaritma dari data curah hujan tahunan puncak yang telah dikumpulkan.

Contoh perhitungan:

$$\log X_i (2024) = \log (161,770) \\ = 2,21$$

$$\log X_i (2023) = \log (138,130) \\ = 2,14$$

Standar Deviasi (S)

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

$$S = \sqrt{\frac{0,032694}{10-1}}$$

$$S = \sqrt{0,00363268}$$

$$S = 0,0600$$

Koefisien Kemiringan/Skewness (Cs)

$$Cs = \frac{n}{(n-1)(n-2)S^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

$$Cs = \frac{10}{(9)(8)(0,06027)^3} \times 0,00102694$$

$$Cs = \frac{10}{72 \times 0,00021894} \times 0,00102694$$

$$Cs = \frac{0,0102694}{0,01576368}$$

$$Cs = 0,6514$$

Tabel 4. 11 Estimasi Deviasi Standar (S) dan Skewness (Cs)

m	(Rmax) Xi Max-Min	Log Xi	(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Xi-X) ³
1	161,770	2,209	0,118521	0,014047	0,001665
2	138,130	2,140	0,059559	0,003547	0,000211
3	138,110	2,140	0,039854	0,001588	0,000063
4	130,530	2,116	0,009695	0,000094	0,000001
5	126,530	2,102	-0,004134	0,000017	-0,000000
6	118,730	2,075	-0,013340	0,000178	-0,000002
7	116,130	2,065	-0,018169	0,000330	-0,000006
8	108,420	2,035	-0,048065	0,002310	-0,000111
9	108,220	2,034	-0,061336	0,003762	-0,000231
10	103,630	2,015	-0,082582	0,006820	-0,000563
Jumlah	1.250,00	20,932	0,0000000	0,032694	0,001027
Xrt	125	2,0932	0,0000	-	-

S	-	-	-	0,06000	-
Cs	-	-	-	-	0,6514

- a. Parameter peluang empiris (P_e) dan teoritis (P_t) dihitung bersamaan dengan nilai $F(t)$ untuk mendapatkan deviasi maksimum (ΔP). Nilai tersebut digunakan sebagai indikator utama dalam mengevaluasi keseluruhan distribusi data curah hujan tahunan.

Contoh perhitungan :

Peluang Empiris (P_e)

$$\begin{aligned} R_{\max}(2024) &= \text{Urutan } R_{\max}/(n+1) \\ &= 1/(10+1) \\ &= 0,091 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_{\max}(2023) &= \text{Urutan } R_{\max}/(n+1) \\ &= 2/(10+1) \\ &= 0,182 \end{aligned}$$

Peluang Teoritis (P_t)

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh nilai koefisien kemencengan (C_s) sebesar 0,6514. Karena nilai tersebut tidak tersedia secara langsung pada Tabel Distribusi Log Pearson Tipe III, maka nilai faktor frekuensi (K) diperoleh dengan **interpolasi linier** antara $C_s = 0,6$ dan $C_s = 0,7$. Hasil interpolasi dapat dilihat di tabel 4.14

Tabel 4. 12 Koefisien Kemencengan (C_s)

Kala Ulang	Nilai C_s		
	0,6	0,7	0,6514
2	-0,099	-0,116	-0,108
5	0,800	0,790	0,795
10	1,328	1,333	1,331
25	1,939	1,967	1,953
50	2,359	2,407	2,384
100	2,755	2,824	2,790
200	3,132	3,223	3,179
1000	3,960	4,105	4,035

Penentuan probabilitas teoritis (P_t) dilakukan berdasarkan nilai variabel baku $F(t)$ yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan: (2.3)

Dengan nilai rata-rata logaritmik ($\bar{X}$) sebesar 2,0932 dan standar deviasi (S) sebesar 0,0600. Nilai $F(t)$ yang diperoleh kemudian digunakan untuk menentukan nilai probabilitas teoritis (P_t) berdasarkan distribusi normal baku. Nilai probabilitas teoritis tersebut selanjutnya digunakan dalam pengujian kesesuaian distribusi menggunakan metode Smirnov-Kolmogorov.

Prosedur perhitungan probabilitas teoritis adalah sebagai berikut:

- Peluang teoritis pertama (P_{t_1}) diperoleh dari nilai $F(t)_1 = 1,93$. Berdasarkan nilai tersebut ditentukan probabilitas teoritis menggunakan tabel distribusi normal baku, kemudian digunakan dalam perhitungan selisih probabilitas (ΔP).
- Peluang teoritis kedua (P_{t_2}) diperoleh dari nilai $F(t)_2 = 0,78$. Berdasarkan nilai tersebut ditentukan probabilitas teoritis menggunakan tabel distribusi normal baku, kemudian digunakan dalam perhitungan selisih probabilitas (ΔP).

Menghitung ΔP Maksimum

Perhitungan $\Delta P(1)$

$$\Delta P(1) = |Pt - Pe|$$

$$\Delta P(1) = |0,981 - 0,091|$$

$$\Delta P(1) = 0,8904 \%$$

Perhitungan $\Delta P(2)$

$$\Delta P(2) = |Pt - Pe|$$

$$\Delta P(2) = |0,981 - 0,182|$$

$$\Delta P(2) = 0,7991\%$$

Tabel 4. 13 Analisis Uji Keselarasan Smirnov-Kolmogorov

No	(Rmax) Xi Max-Min	Log Xi	Pe (Peluang Empiris)	F(t)	Pt(Xi)	ΔP = $ Pt - Pe $ %
1	161,770	2,209	0,091	1,928	0,8904	0,8904
2	138,130	2,140	0,182	0,785	0,7991	0,7991
3	138,110	2,140	0,273	0,784	0,7082	0,7082
4	130,530	2,116	0,364	0,375	0,6245	0,6245
5	126,530	2,102	0,455	0,150	0,5336	0,5336
6	118,730	2,075	0,545	-0,310	0,4425	0,4425
7	116,130	2,065	0,636	-0,470	0,3493	0,3493
8	108,420	2,035	0,727	-0,967	0,2582	0,2582
9	108,220	2,034	0,818	-0,981	0,1627	0,1627
10	103,630	2,015	0,909	-1,294	0,0661	0,0661
Jumlah	1.250,200	20,932		$\Delta_{\max} (\%)$		0,8904
Xrt	125,2	2,0932				
S	-	0,0600				
Cs	-	0,5607				

a. Analisis keterkaitan hasil relevansi

Besaran Δ maks tabel wajib lebih rendah dari Δ kritis. Distribusi optimal adalah yang menghasilkan besaran $\Delta_{\max}$ tabel paling minimal. Dari hasil plotting data didapatkan:

n :10

a : 5%

Δ kritis : 0,4090

Δ maks tabel : 0,8916

Syarat :

Δ maks tabel < Δ kritis

0,8916 < 0,4090

Dari hasil perhitungan diatas Δ maks tabel lebih besar daripada Δ kritis sehingga hasilnya tidak memenuhi syarat.

Tabel 4. 14 Nilai D Kritis untuk Pengujian Smirnov Kolmogorov

N	Level of Significance (a)				
	20	15	10	5	1
1	0,9	0,925	0,95	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829

4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,51	0,563	0,669
6	0,41	0,436	0,47	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,4457	0,543
9	0,339	0,36	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,45
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,391
17	0,25	0,266	0,286	0,318	0,38
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,37
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352
N > 50	<u>1,07</u> N ^{0,5}	<u>1,14</u> N ^{0,5}	<u>1,22</u> N ^{0,5}	<u>1,36</u> N ^{0,5}	<u>1,63</u> N ^{0,5}

Tabel 4. 15 Koefisien Skewness (Cs) Positif

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)														
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000
Cs	Peluang (%)														
	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1
3,0	-0,667	-0,665	-0,660	-0,636	-0,4760	-0,396	-0,1240	0,420	1,180	2,0950	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,4770	-0,360	-0,0673	0,518	1,250	2,0933	2,262	3,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,752	-0,4707	-0,330	-0,0287	0,574	1,284	2,0807	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,990	-0,949	-0,895	-0,777	-0,4637	-0,307	-0,0017	0,609	1,302	2,0662	2,219	2,912	3,605	4,298	5,910
1,8	-1,087	-1,020	-0,945	-0,799	-0,4543	-0,282	0,0263	0,643	1,318	2,0472	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,817	-0,4417	-0,254	0,0557	0,675	1,329	2,0240	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-1,318	-1,168	-1,041	-0,832	-0,4273	-0,225	0,0850	0,705	1,337	1,9962	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-1,449	-1,243	-1,086	-0,844	-0,4113	-0,195	0,1140	0,732	1,340	1,9625	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,852	-0,3933	-0,164	0,1433	0,758	1,340	1,9258	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,854	-0,3833	-0,148	0,1577	0,769	1,339	1,9048	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-1,733	-1,388	-1,116	-0,856	-0,3733	-0,132	0,1720	0,780	1,336	1,8877	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,857	-0,3630	-0,116	0,1860	0,790	1,333	1,8613	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,857	-0,3517	-0,099	0,2007	0,800	1,328	1,8372	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-1,955	-1,491	-1,216	-0,856	-0,3407	-0,083	0,2140	0,808	1,323	1,8122	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,3290	-0,066	0,2280	0,816	1,317	1,7862	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,3177	-0,050	0,2413	0,824	1,309	1,7590	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-2,178	-1,586	-1,258	-0,850	-0,3053	-0,033	0,2547	0,830	1,301	1,7318	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-2,252	-1,616	-1,270	-0,846	-0,2933	-0,017	0,2673	0,836	1,292	1,7028	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0,0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	-0,2807	0,000	0,2807	0,842	1,282	1,6728	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090

Tabel 4. 16 Koefisien Skewness (Cs) Negatif

Koefisien	Waktu Balik (Tahun)															
	1,01	1,05	1,11	1,25	1,667	2	2,5	5	10	20	25	50	100	200	1000	
Cs	Peluang (%)															
	99	95	90	80	60	50	40	20	10	5	4	2	1	0,5	0,1	
	0,0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	-0,2807	0,000	0,2807	0,842	1,282	1,6728	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
	-0,1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	-0,2673	0,017	0,2900	0,836	1,270	1,6417	1,716	2,000	2,252	2,482	2,950
	-0,2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	-0,2547	0,033	0,3053	0,850	1,258	1,6097	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
	-0,3	-2,544	-1,726	-1,309	-0,824	-0,2413	0,050	0,3177	0,853	1,245	1,5767	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
	-0,4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	-0,2280	0,066	0,3290	0,855	1,231	1,5435	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
	-0,5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	-0,2140	0,083	0,3407	0,856	1,216	1,5085	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
	-0,6	-2,755	-1,797	-1,328	-0,800	-0,2007	0,099	0,3517	0,857	1,200	1,4733	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
	-0,7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	-0,1860	0,116	0,3630	0,857	1,183	1,4372	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
	-0,8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	-0,1720	0,132	0,3733	0,856	1,166	1,4010	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
	-0,9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	-0,1577	0,148	0,3833	0,854	1,147	1,3637	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
	-1,0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	-0,1433	0,164	0,3933	0,852	1,128	1,3263	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
	-1,2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	-0,1140	0,195	0,4113	0,844	1,086	1,2493	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
	-1,4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	-0,0850	0,225	0,4273	0,832	1,041	1,1718	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
	-1,6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	-0,0557	0,254	0,4417	0,817	0,994	1,0957	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
	-1,8	-3,499	-1,981	-1,318	-0,643	-0,0263	0,282	0,4543	0,799	0,945	1,0200	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
	-2,0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,600	0,0047	0,307	0,4637	0,777	0,895	0,9483	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
	-2,2	-3,705	-2,006	-1,284	-0,574	0,0287	0,330	0,4707	0,752	0,844	0,8807	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
	-2,5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,0673	0,360	0,4770	0,711	0,771	0,7893	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
	-3,0	-4,051	-2,003	-1,180	-0,420	0,1240	0,396	0,4760	0,636	0,660	0,6650	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Dikutip dari Ir. CD. Soemarto, B.I.E. Dipl. HE / Hidrologi Teknik

4.5.

4.5.

Perhitungan Hidrograf Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu

4.5.1 Perhitungan Rerata Hujan Dari Awal Sampai Jam Ke T

Estimasi sebaran persipitasi per jam serta proporsi hujan harian untuk ulang dua tahun.

Tabel 4. 17 Output Distribusi Log Pearson III

T	P(%)	Cs	G	Log X	X (mm)
2	50	0,5607	-0,0959	2,0874	122,2966
5	20	0,5607	0,8151	2,1421	138,7079
10	10	0,5607	1,3400	2,1736	149,1453
20	5	0,5607	1,8453	2,2039	159,9344
25	4	0,5607	1,9464	2,2100	162,1842
50	2	0,5607	2,3575	2,2347	171,6678
100	1	0,5607	2,7431	2,2578	181,0644

Tabel 4. 18 Indikator Proporsi Presipitasi Harian Puncak

Waktu Hujan (Jam)	1	2	3	4	5	6
Rasio/RT	0,550	0,143	0,100	0,080	0,067	0,059

4.5.2 Hasil Perhitungan Curah Hujan Efektif (Rn)

Koefisien limpasan (C) yang digunakan sebesar 0,70, yang mewakili daerah permukiman dengan tingkat pembangunan sedang hingga padat (mixed urban area), nilai tersebut dipilih karena kondisi DAS Sungai Penggaron didominasi oleh kawasan permukiman, jaringan jalan, dan lahan budidaya sehingga sebagian besar curah hujan berubah menjadi limpasan permukiman.

Tabel 4. 19 Faktor Limpasan Permukaan

Daerah dengan topografi pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
Daerah pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Zona perbukitan bervegetasi hutan	0,50 – 0,75
Persawahan yang diairi	0,70 – 0,80

Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil didaerah dataran	0,45 – 0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran yang lebih dari seperduanya terdiri dari dataran	0,50 – 0,75

Contoh perhitungan presipitasi efektif (Rn) untuk periode ulang dua tahun.

$$\begin{aligned}
 R_n &= C \times R_{24} \\
 &= 0,70 \times 122,2966 \\
 &= 85,60762 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 20 Besaran Presipitasi Rancangan Efektif

Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana (mm)	Koefisien Limpasan (C)	Curah Hujan Efektif, Rn (mm)
2	122,2966	0,70	85,60762
5	138,7079	0,70	97,09553
10	149,1453	0,70	104,40171
20	159,9344	0,70	111,95408
25	162,1842	0,70	113,52894
50	171,6678	0,70	120,16746
100	181,0644	0,70	126,74508

Contoh perhitungan sebaran hujan tiap jam untuk periode ulang dua tahun menggunakan persamaan :

$$\begin{aligned}
 RT &= RT \times R_n \\
 &= 0,550321 \times 84,4518 \\
 &= 45,4756
 \end{aligned}$$

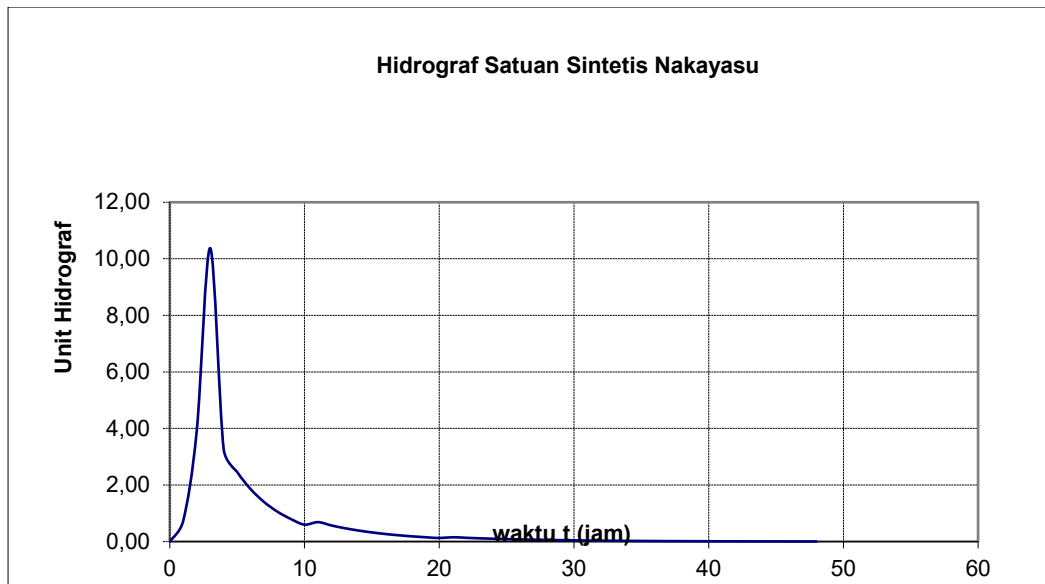
Tabel 4. 21 Proporsi Sebaran Presipitasi Efektif Tiap Jam

Waktu (jam)	Ratio (%)	Kumulatif (%)	Curah Hujan Tiap Jam						
			2 th	5 th	10 th	20 th	25 th	50 th	100 th
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
1	55,03	55,03	27,25	31,73	36,44	41,03	42,51	47,09	51,70
2	14,30	69,34	7,08	8,25	9,47	10,67	11,05	12,24	13,44
3	10,03	79,37	4,97	5,79	6,64	7,48	7,75	8,59	9,43
4	7,99	87,36	3,96	4,61	5,29	5,96	6,17	6,84	7,50
5	6,75	94,10	3,34	3,89	4,47	5,03	5,21	5,77	6,34
6	5,90	100,00	2,92	3,40	3,90	4,40	4,55	5,05	5,54
PROBABILITAS HUJAN HARIAN			122,60	143,88	157,97	171,48	175,77	188,97	202,08
KOEFSIEN PENGALIRAN			0,40	0,40	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46
HUJAN EFEKTIF			49,52	57,66	66,21	74,56	77,24	85,57	93,95

4.5.3 Hasil

Perhitungan Hidrograf Banjir Rencana Metode HSS Nakayasu

Gambar 4. 2 Grafik Ordinat Hidrograf Satuan



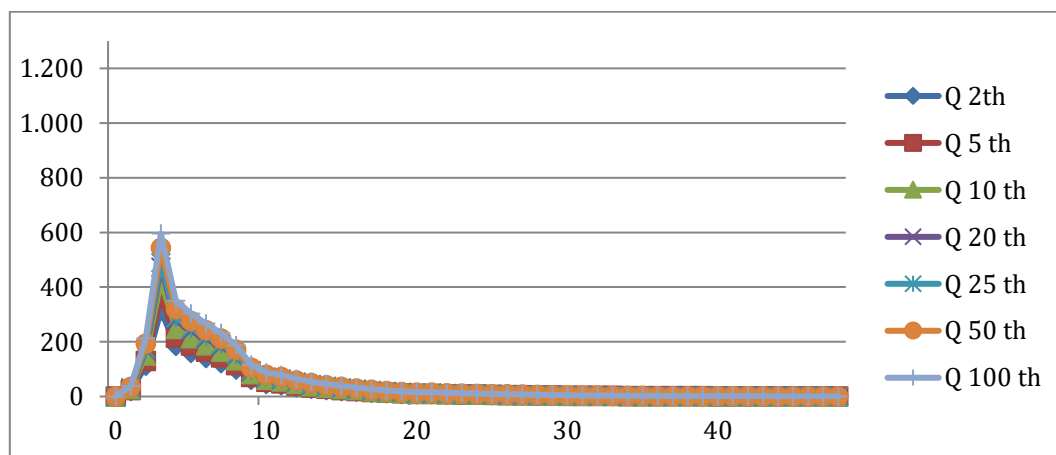
Tabel 4. 22 Ordinat Hidrograf Satuan

Waktu Jam	Qt m ³ /det	bentuk kurva
0	0,0000	t1
1	0,7428	t1
2	3,9208	t1
3	10,3750	t1
4	3,2643	t2
5	2,4605	t2
6	1,8546	t2
7	1,3979	t2
8	1,0537	t2
9	0,7942	t2
10	0,5986	t2
11	0,6875	t3
12	0,5694	t3
13	0,4716	t3
14	0,3906	t3
15	0,3235	t3
16	0,2680	t3
17	0,2219	t3
18	0,1838	t3
19	0,1522	t3
20	0,1261	t3
21	0,1528	t4
22	0,1327	t4
23	0,1152	t4
24	0,1000	t4
25	0,0868	t4
26	0,0754	t4
27	0,0654	t4
28	0,0568	t4
29	0,0493	t4
30	0,0428	t4
31	0,0372	t4
32	0,0323	t4

33	0,0280	t4
34	0,0243	t4
35	0,0211	t4
36	0,0183	t4
37	0,0159	t4
38	0,0138	t4
39	0,0120	t4
40	0,0104	t4
41	0,0090	t4
42	0,0079	t4
43	0,0068	t4
44	0,0059	t4
45	0,0051	t4
46	0,0045	t4
47	0,0039	t4
48	0,0034	t4

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu, diperoleh ordinat hidrograf satuan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Tabel 4.22. Perhitungan dilakukan berdasarkan karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Babon dengan luas DAS sebesar $94,64 \text{ km}^2$, panjang sungai penggaron 17,58 km, dan koefisien karakteristik DAS (α) sebesar 3. Dari hasil perhitungan tersebut diperoleh waktu kelambatan (T_g) sebesar 1,42 jam, durasi hujan efektif (T_r) sebesar 1,06 jam, waktu mencapai debit puncak (T_p) sebesar 2,27 jam, serta waktu penurunan debit hingga mencapai 30% dari debit puncak ($T_{0,3}$) sebesar 4,26 jam.

Berdasarkan parameter tersebut, diperoleh debit puncak hidrograf satuan (Q_t) sebesar $10,375 \text{ m}^3/\text{det}/\text{mm}$. Grafik orddinat hidrograf satuan menunjukkan bahwa debit meningkat secara bertahap hingga mencapai puncak pada waktu 4 jam, kemudian mengalami penurunan secara bertahap mengikuti kurva resesi hingga mendekati kondisi aliran dasar. Nilai ordinat hidrograf satuan pada setiap interval waktu selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses konvolusi untuk memperoleh hidrograf banjir rencana pada berbagai kala ulang, yaitu 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100 tahun.



Gambar 4. 3 Visualisasi Kolektif Hidrograf Banjir Rancangan Nakayasu

Berdasarkan hasil analisis Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu, diperoleh hidrograf banjir rencana untuk kala ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50, dan 100 tahun seperti ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa seluruh hidrograf memiliki pola yang sama, yaitu debit meningkat hingga mencapai debit puncak kemudian menurun secara bertahap pada fase resesi. Perbedaan antar hidrograf terletak pada besarnya debit puncak yang

dihasilkan, dimana semakin besar kala ulang yang digunakan maka semakin besar pula debit banjir rencana yang diperoleh. Hasil perhitungan debit puncak banjir berturut-turut sebesar $314,23 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 2 tahun, $365,87 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 5 tahun, $420,10 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 10 tahun, $473,09 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 20 tahun, $490,08 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 25 tahun, $542,93 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 50 tahun, dan $596,10 \text{ m}^3/\text{detik}$ untuk kala ulang 100 tahun. Hasil hidrograf banjir rencana tersebut selanjutnya dibunakan sebagai debit masukan (inflow) pada permodelan hidrolika menggunakan HEC-RAS.

4.6 Permodelan Sungai Menggunakan Software HEC-RAS

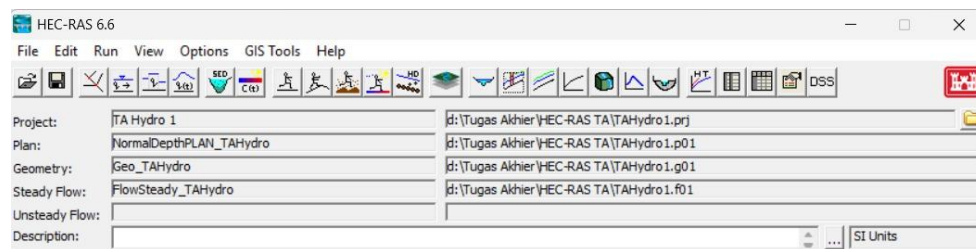
Setelah diperoleh debit banjir rencana malalui analisis hidrologi menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis hidraulika menggunakan perangkat lunak HEC-RAS. Permodelan ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas penampang Sungai Penggaron dalam mengalirkan debit banjir rencana pada berbagai kala ulang, serta mengetahui potensi terjadinya luapan di kawasan penelitian. Debit banjir hasil analisis hidrologi digunakan sebagai debit masukan (flow data) dalam simulasi HEC-RAS, sedangkan data geometri sungai diperoleh dari BBWS (Balai Besar Wilayah Sungai) Pemali Juwana. Tahapan ini sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengevaluasi kapasitas Sungai Penggaron terhadap banjir menggunakan HEC-RAS.

4.6.1 Pembuatan Project di HEC-RAS

Pada tahap ini dilakukan pembuatan proyek baru (NEW PROJECT) pada perangkat lunak HEC-RAS sebagai langkah awal dalam pemodelan hidraulika Sungai Penggaron. Pembuatan proyek bertujuan untuk menyimpan seluruh data geometri, data aliran, serta hasil simulasi dalam satu berkas proyek sehingga memudahkan proses analisis.

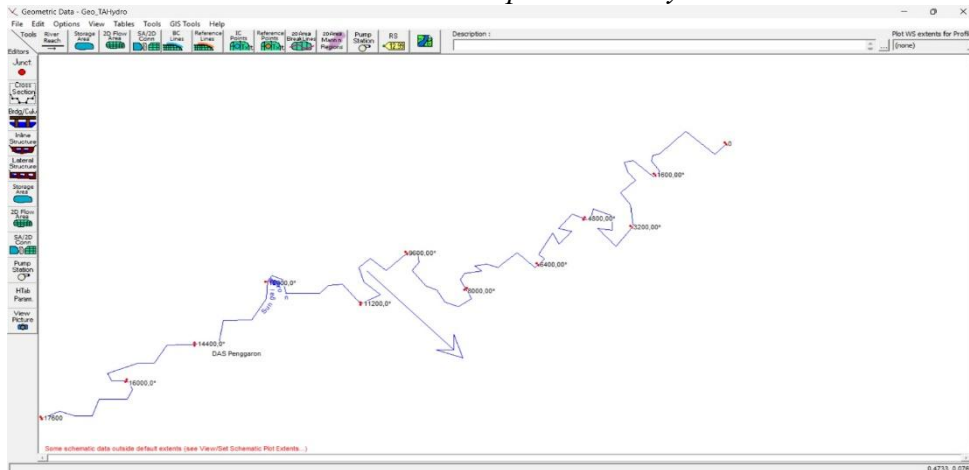
Selanjutnya dilakukan input data geometri sungai melalui menu Geometry Data. Data geometri yang dimasukkan meliputi alur Sungai Penggaron beserta penampang melintang (*cross section*) hasil survei pada lokasi penelitian di sekitar Perum Dinar Indah Kota Semarang. Setiap penampang diberikan nomor river station sesuai urutan dari lahir menuju hulu sehingga hubungan antar penampang dapat dikenali oleh program HEC-RAS.

Setelah data geometri selesai dimasukkan, dilakukan pemeriksaan kembali terhadap posisi penampang, elevasi dasar sungai, elevasi tebing, serta konektivitas antar penampang agar tidak terjadi kesalahan pada saat proses simulasi. Geometri yang telah diversifikasi selanjutnya disimpan sebagai dasar dalam analisis hidraulika.

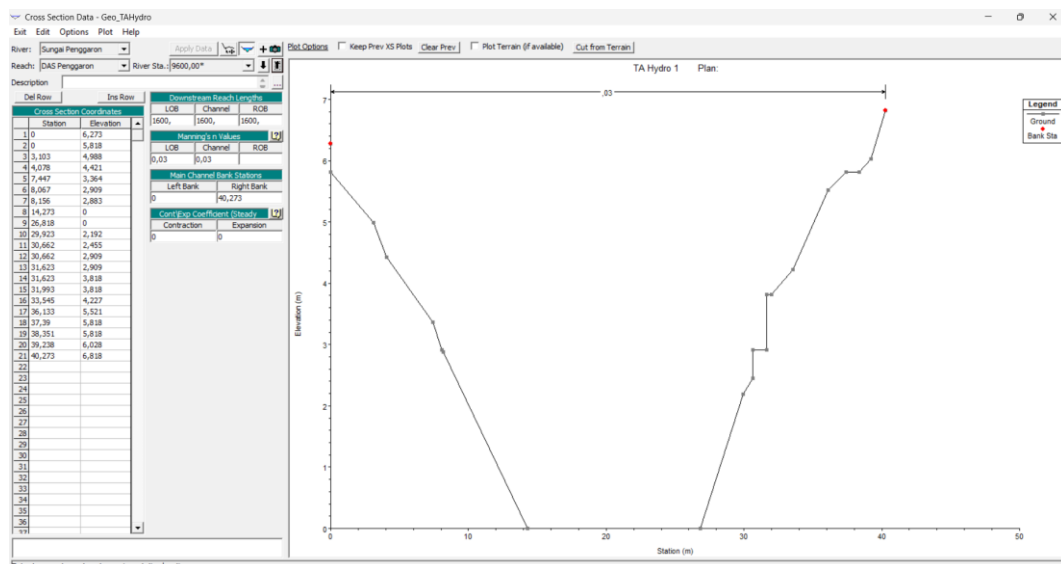


Gambar 4. 4 New Project
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4.5 *Input Geometry*



(Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4.6 *Input Cross Section Sta 9600 (Perumahan Dinar Indah)*

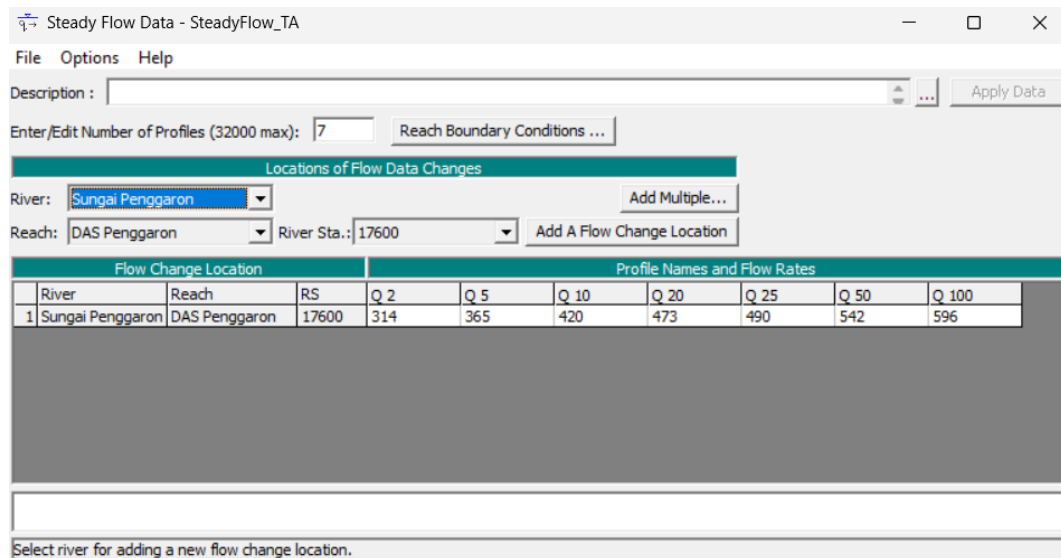
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.6.2 Input Data Aliran (Steady Flow Data)

Tahapan berikutnya adalah memasukkan data debit aliran menggunakan menu Steady Flow Data. Pada penelitian ini digunakan simulasi steady flow karena bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas penampang Sungai Penggaron terhadap debit rencana pada kondisi aliran mantap.

Nilai debit yang dimasukkan merupakan debit banjir rencana hasil analisis hidrologi menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu dengan periode ulang yang telah ditentukan pada pembahasan sebelumnya. Debit tersebut diinput pada bagian hulu sebagai kondisi batas (boundary condition) sehingga dapat disimulasikan sepanjang ruas Sungai Penggaron.

Selain data debit, dilakukan pengaturan Steady Flow Analysis dan penentuan kondisi batas hilir (downstream boundary condition). Pada penelitian ini kondisi batas hilir dimasukkan dalam bentuk kemiringan dasar sungai (normal depth slope), sehingga HEC-RAS dapat menghitung profil muka air berdasarkan persamaan energi dan persamaan Manning.



Steady Flow Data - SteadyFlow_TA

File Options Help

Description : Apply Data

Enter/Edit Number of Profiles (32000 max): Reach Boundary Conditions ...

Locations of Flow Data Changes

River: Add Multiple...

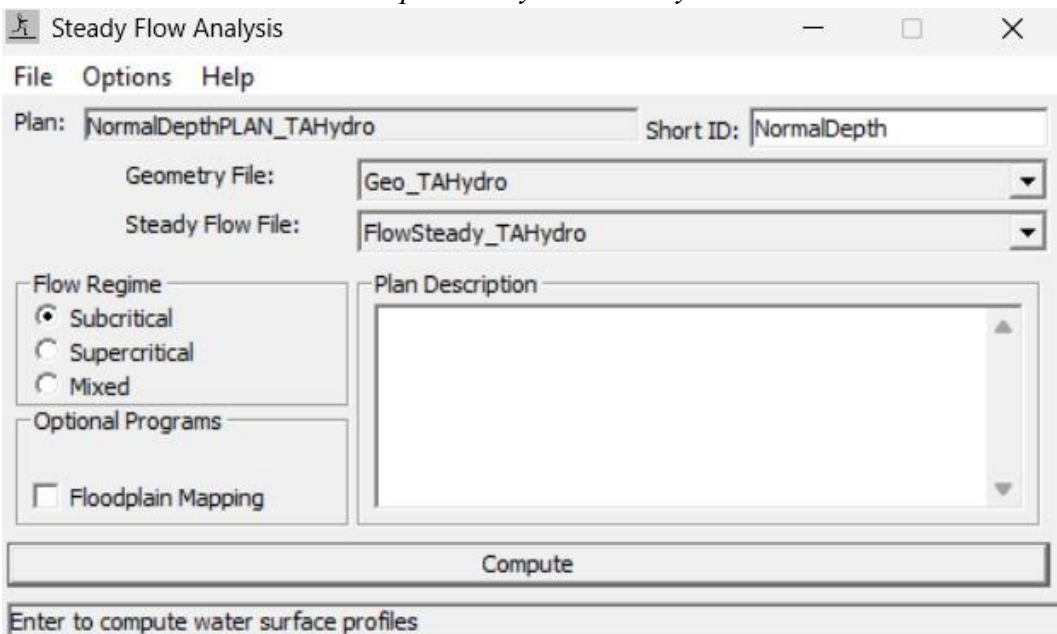
Reach: River Sta.: Add A Flow Change Location

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates							
River	Reach	RS	Q 2	Q 5	Q 10	Q 20	Q 25	Q 50	Q 100	
1	Sungai Penggaron	DAS Penggaron	17600	314	365	420	473	490	542	596

Select river for adding a new flow change location.

Gambar 4. 7 Input Data Aliran (*Steady Flow*)
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Gambar 4. 8 Input *Steady Flow Analysis*

(Sumber: 

Steady Flow Analysis

File Options Help

Plan: Short ID:

Geometry File:

Steady Flow File:

Flow Regime

☒ Subcritical

☐ Supercritical

☐ Mixed

Optional Programs

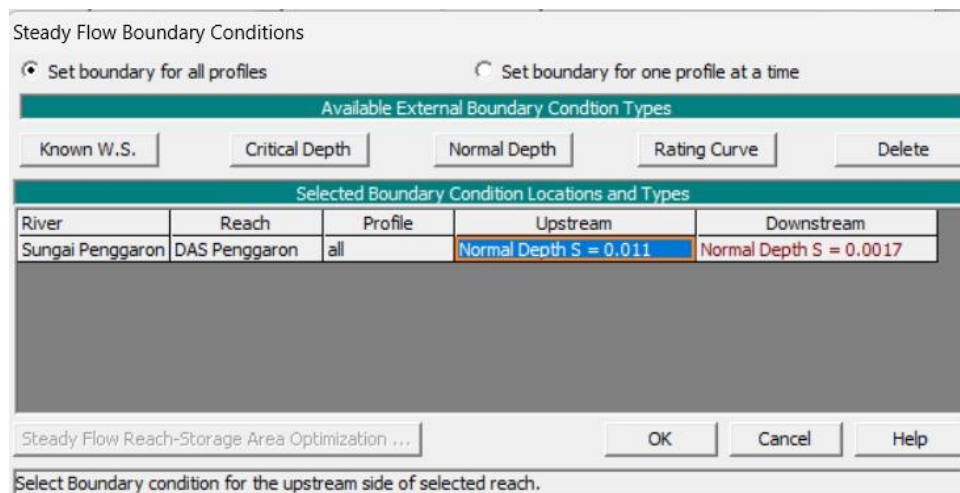
☐ Floodplain Mapping

Plan Description

Compute

Enter to compute water surface profiles

Dokumentasi Pribadi)

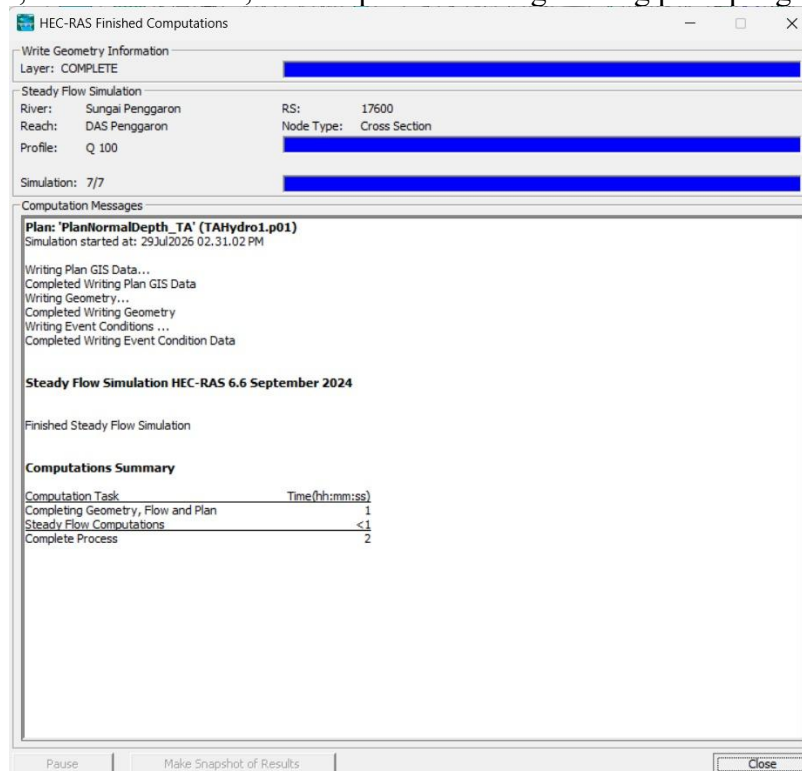


Gambar 4. 9 *Input Data Kemiringan*
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

4.6.3 Running Simulasi

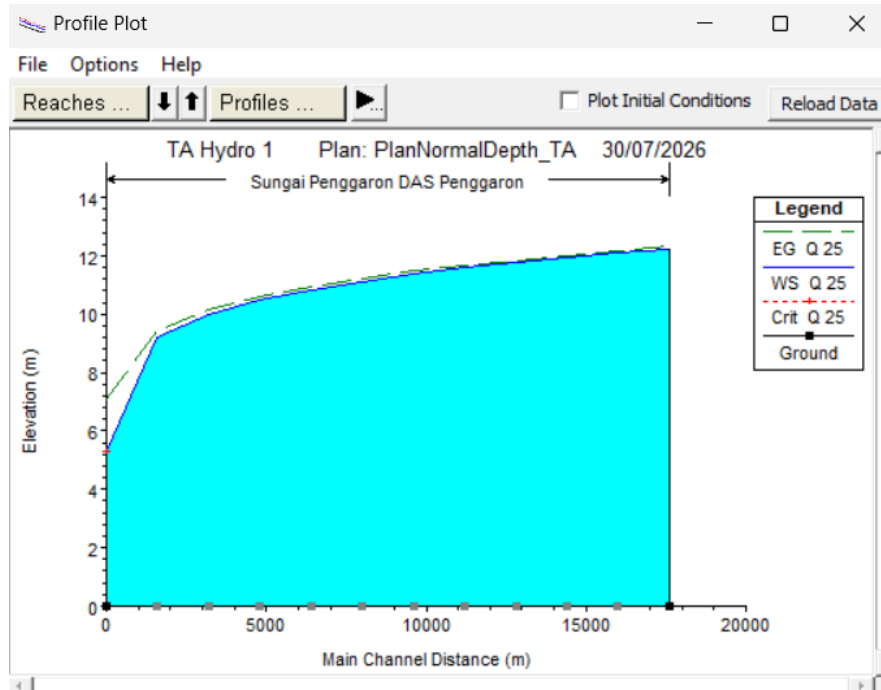
Setelah seluruh data geometri dan data aliran selesai dimasukkan, dilakukan proses simulasi menggunakan menu Compute pada HEC-RAS. Pada tahap ini perangkat lunak menghitung kondisi hidraulika sepanjang Sungai Penggaron berdasarkan data penampang, nilai koefisien kekasaran Manning, debit banjir rencana, serta kondisi batas yang telah ditentukan.

Apabila seluruh data telah dimasukkan dengan benar, proses komputasi akan berjalan tanpa menghasilkan pesan kesalahan (error) maupun peringatan (warning) yang memengaruhi hasil simulasi. Hasil perhitungan kemudian digunakan untuk memperoleh profil muka air, kecepatan aliran, elevasi muka air, serta kapasitas masing-masing penampang sungai.

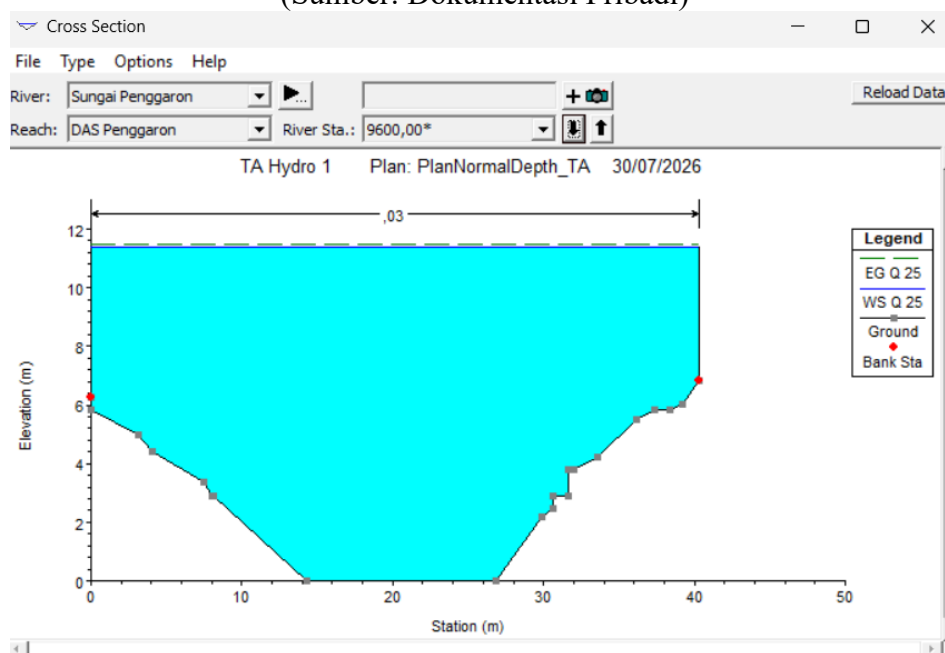


Gambar 4. 10 *Running Simulasi*
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)

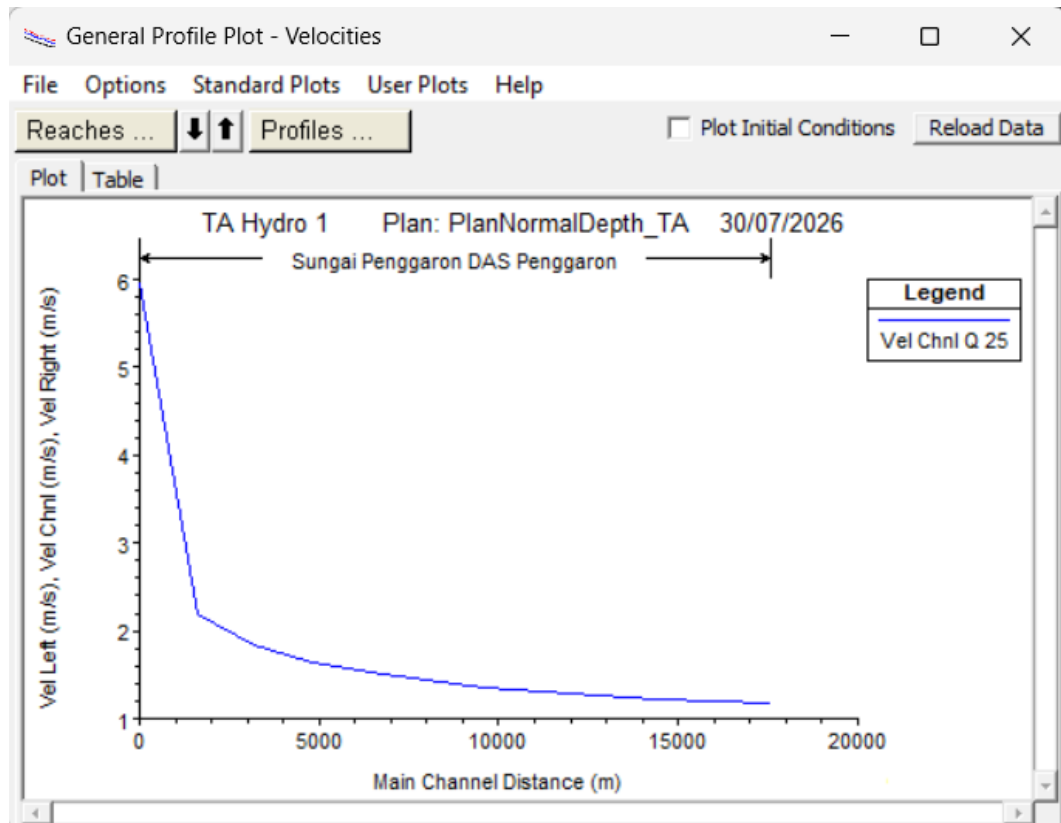
4.6.4 Hasil Simulasi HEC-RAS



Gambar 4. 11 Hasil *Running* Potongan Memanjang
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 12 Hasil *Running* Potongan Melintang
 (Sumber: Dokumentasi Pribadi)



Gambar 4. 13 Velocity
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

Dapat dilihat pada **Gambar 4.12** menunjukkan hasil simulasi profil memanjang Sungai Penggaron menggunakan HEC-RAS pada debit banjir rencana kala ulang 25 tahun (Q25). Profil ini menggambarkan perubahan elevasi muka air sepanjang alur sungai berdasarkan kondisi geometrik penampang yang dimodelkan. Garis muka air (WS Q25) dan garis energi (EG Q25) digunakan sebagai parameter untuk mengevaluasi kapasitas sungai dalam menampung debit banjir rencana. Hasil simulasi selanjutnya dianalisis untuk mengetahui lokasi yang berpotensi mengalami luapan akibat keterbatasan kapasitas penampang sungai.

Dan pada **Gambar 4.13** dengan debit rencana yang telah didapatkan dari hasil perhitungan $(Q25) = 490,08 \text{ m}^3/\text{det}$ hasil dari permodelan pada perangkat lunak HEC-RAS menunjukkan bahwa muka air melebihi dimensi saluran maka terjadi limpasan pada bagian hulu sungai. Sedangkan di hilir sungai tidak terdapat limpasan.

Dan juga pada **Gambar 4.14** menunjukkan profil kecepatan aliran Sungai Penggaron berdasarkan hasil simulasi HEC-RAS pada debit banjir rencana kala ulang 25 tahun (Q25). Grafik menunjukkan bahwa kecepatan aliran mengalami penurunan dari bagian hulu menuju hilir sungai. Perubahan nilai kecepatan tersebut dipengaruhi oleh kondisi geometrik penampang dan karakteristik aliran pada setiap ruas sungai. Hasil analisis kecepatan aliran ini menjadi salah satu parameter dalam mengevaluasi kondisi hidraulika Sungai Penggaron terhadap debit banjir rencana.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidraulika yang telah dilakukan pada Sungai Penggaron di kawasan Perum Dinar Indah Kota Semarang, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Analisis hidrologi DAS Babon (Sungai Penggaron) menggunakan metode Poligon Thiessen, dengan distribusi Log Pearson Tipe III untuk menghitung curah hujan rencana. Nilai curah hujan yang diperoleh meningkat seiring besarnya kala ulang: 122,30 mm (2

- tahun), 138,71 mm (5 tahun), 149,15 mm (10 tahun), 159,93 mm (20 tahun), 162,18 mm (25 tahun), 171,67 mm (50 tahun), dan 181,06 mm (100 tahun).
2. Debit banjir rencana DAS Babon menunjukkan debit puncak meningkat seiring bertambahnya kala ulang, yaitu: 314,23 m³/s (2 tahun), 365,87 m³/s (5 tahun), 420,10 m³/s (10 tahun), 473,09 m³/s (20 tahun), 490,08 m³/s (25 tahun), 542,93 m³/s (50 tahun), dan 596,10 m³/s (100 tahun).
 3. Evaluasi HEC-RAS dengan debit banjir Q25 (490,08 m³/detik) menunjukkan bahwa kapasitas eksisting Sungai Penggaron belum mampu menampung debit rencana secara menyeluruh. Bagian hulu kritis dan mengalami limpasan (*overflow*), sehingga memerlukan peningkatan kapasitas pengendalian banjir, sedangkan bagian hilir masih sanggup menampung aliran.

DAFTAR PUSTAKA

- Ramadhan, R. A., Salim, N., & Priyono, P. (2022). Analisis Dan Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Dengan Solusi Penanganannya Pada Sungai Bedadung Di Kabupaten Jember. *Jurnal Smart Teknologi*, 3(6), 624-637.
- Wangsa, A. A. R. R., Pradnyadari, N. L. M. A. M., & Ramadhana, M. A. (2021). Analisis Kapasitas Saluran Pada Proyek Normalisasi Sungai di Desa Adat Peminge Banjar Sawangan Nusa Dua Bali. *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 10(2), 86-96.
- Yumna, Y., Sapareng, S., Nur, B., Akmal, A., & Soma, A. S. (2025). Flood risk assessment and channel roughness adjustment modeling in a degraded Baliase River basin, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 12(5), 8997-9010.
- Yusuf, R. M., Rachmat, B., Barkah, M. N., & Arfiansyah, K. (2021). Analisis Debit Banjir Dengan Membandingkan Nilai Debit Banjir Metode Rasional Dan Kapasitas Debit Aliran Sungai Pada Sub-DAS Ciwaringin Kabupaten Majalengka Provinsi Jawa Barat. *Geoscience Journal*, 5(4), 424-432.
- Noviandani, R. D., Erwanto, Z., & Shofiyah, Q. (2020). Evaluasi Kapasitas Pada Sungai Tambong Tengah Terhadap Potensi Luapan Aliran. In *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV) Ke-6* (Vol. 6, No. 1, pp. 626-633).
- Rahadiyitno, I., & Dewi, V. A. K. (2025). Analisis kapasitas Sungai Tengin di Kabupaten Penajam Paser Utara, Ibu Kota Nusantara, sebagai alternatif penanggulangan banjir. *Media Teknik Sipil*, 23(1), 20-32.
- Choirul, D., Kusuma, R. F., Wahyuni, S. E., & Darsono, S. (2015). Pengendalian Banjir DAS Dolok–Penggaron pada Sungai Babon. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 242-249.
- Munawaroh, A., & Artanti, A. K. (2026). Analisa Kapasitas Rencana Tampungan Bendungan Kedunglanggar Di Kecamatan Tulis Kabupaten Batang (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Anggiani, G., Tanan, B., & Tanje, H. W. (2022). Analisis Kekasaran Dan Kapasitas Penampang Sungai Galang-Galang Kabupaten Polewali Mandar. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(1), 1-13.
- Kusuma, A. T., Rizal, N. S., & Abadi, T. A. (2016). Analisis dan Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Sampean Bondowoso dengan menggunakan Program Hec-Ras 4.1. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 2(02).
- Heinsy, A. J., Rombang, J. A., & Walangitan, H. D. (2018). Modeling Tutupan Lahan di DAS Tikala Berdasarkan Kapasitas Saluran Sungai Tikala.
- Yudono, A. R. A., Sungkowo, A., & Gomareuzzaman, M. Analisis Dampak Erosi Terhadap Kapasitas Sungai Mati di Kecamatan Tawang Sari dan Kecamatan Sukoharjo, Kabupaten Sukoharjo, Provinsi Jawa Tengah.
- Penampang, K., & Normalisasi, H. E. C. R. A. S. (2019). Analisis Dan Evaluasi Kapasitas Penampang Sungai Jatiroto Dengan Menggunakan Program Hec-Ras 4.1.

- Aryani, P., & Febriyanti, R. P. (2024). Analisis Kolam Retensi Long Storage Pada Muara Kanal Banjir Timur (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Ramadhan, Y. F., & Rahmawati, A. N. (2024). *Analisis Kapasitas Bangunan Pelimpah Samping Untuk Mengurangi Debit Banjir (Studi Kasus Sungai Tuntang Desa Ngroto Kecamatan Gubug)* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Fakhrizi, D. R., & Afuradan, A. (2025). *ANALISIS DEBIT BANJIR DAN PENAMPANGAN SUNGAI WULAN DENGAN METODE HSS NAKAYASU PADA KABUPATEN DEMAK* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Alfhard, D., & Sholakhuddin, A. (2023). *Analisis Debit Andalan Bendungan Glapan Untuk Pemenuhan Kebutuhan Air Baku Di Kecamatan Gubug Kabupaten Grobogan* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Sultan Agung Semarang).
- Mulia, R., Limantara, L. M., & Suhartanto, E. (2021). Kajian Penanganan Sedimentasi Sungai Banjir Kanal Barat Kota Semarang. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 12(1), 45–56.
- Samsuar, S., Harianto, H., & Zubaidah, S. (2022). Strategi Pengendalian Sedimen yang Efektif di Daerah Aliran Sungai. *JTRESDA: Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 2(1), 101–112.
- DetikJateng. (2023, 8 Januari). *Dinar Indah Banjir, Pemkot Semarang Evaluasi Perizinan dan Lokasi Sempadan Sungai*. Detikcom. <https://www.detik.com/jateng/berita/d-6504212/dinar-indah-banjir-pemkot-semarang-evaluasi-perizinan-dan-lokasi-sempadan-sungai>
- Humas Pemprov Jawa Tengah. (2023, 9 Januari). *Cegah Siklus Banjir, Konstruksi Tanggul Dinar Indah Akan Ditata Ulang*. Portal Resmi Provinsi Jawa Tengah. <https://jatengprov.go.id/berita/cegah-siklus-banjir-konstruksi-tanggul-dinar-indah-akan-ditata-ulang/>