

Aplikasi Perangkat Lunak Hidrologi-Hidrolika (HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM) pada Kasus Drainase Kawasan Permukiman

Istiarto

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM

weblog <https://istiarto.staff.ugm.ac.id>

email istiarto@ugm.ac.id

1 Perangkat Lunak untuk Analisis Hidraulik Drainase Kawasan Permukiman

1.1 Perangkat Lunak Aplikasi HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM

Perangkat lunak aplikasi HEC-HMS, HEC-RAS, dan SWMM adalah tiga perangkat lunak yang cocok dipakai sebagai perangkat hitung dalam penelusuran aliran banjir. HEC-HMS merupakan perangkat hitung hidrologi, HEC-RAS adalah perangkat hitung hidrolika, SWMM adalah perangkat hitung hidrologi-hidrolika. Ketiga perangkat lunak dibuat oleh suatu institusi pemerintah federal Amerika Serikat. HEC-HMS dan HEC-RAS dibuat dan masih terus dirawat-kembangkan (*di-maintain*) oleh US Army Corps of Engineers. SWMM dibuat dan dirawat-kembangkan oleh US Environmental Protection Agency.

Ketiga perangkat lunak memiliki empat ciri yang menonjol, yaitu (1) memiliki kemampuan hitung yang mumpuni, (2) mudah dimengerti dan dioperasikan, (3) gratis, tidak berbayar, dan (4) dikembangkan dan dirawat oleh institusi besar. Keempat ciri ini menjadikan ketiga perangkat lunak pilihan yang tepat untuk dipakai dalam hitungan penelusuran banjir.

Hitungan hidrologi-hidrolika dalam studi dan desain hidrolika sistem drainase menjadi mudah dan cepat apabila dilakukan dengan memakai HEC-HMS, HEC-RAS, atau SWMM. HEC-HMS dan HEC-RAS dipakai secara berpasangan. HEC-HMS menghitung beban aliran (debit aliran) dari lahan yang masuk ke saluran drainase berdasarkan data masukan hujan dan karakteristik lahan. HEC-RAS menghitung profil aliran di saluran drainase berdasarkan data masukan beban aliran dari lahan dan geometri saluran. Jadi, HEC-HMS melakukan transformasi hujan-aliran di lahan dan HEC-RAS mensimulasikan aliran di saluran. SWMM melakukan keduanya. Dari sisi cakupan kasus hitungan hidrologi-hidrolika, HEC-HMS dan HEC-RAS lebih luas daripada SWMM. HEC-HMS dan HEC-RAS dapat diaplikasikan pada kasus sungai dan drainase perkotaan. SWMM lebih ditujukan untuk manajemen air hujan perkotaan. SWMM tidak cocok untuk kasus penelusuran banjir di sungai.

HEC-HMS, HEC-RAS, dan SWMM memiliki antar-muka yang sangat memudahkan pengguna dalam pemakaian ketiganya. Pengguna mudah memahami alur hitungan dan mudah mengikuti langkah-langkah hitungan. Hasil hitungan pun dapat ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel dengan berbagai tingkat kerincian. Ini sangat membantu pengguna dalam membaca dan menginterpretasikan hasil hitungan.

Ketiga perangkat lunak gratis. File induk (*master file*) untuk instalasi dapat diunduh dan diinstall tanpa harus membeli lisensi. Ini tentu saja sangat menguntungkan bagi pengguna, khususnya pengguna di Indonesia. Pemakaian perangkat lunak gratis tidak hanya menguntungkan bagi pengguna yang melakukan praktik profesi keinsinyuran, namun menguntungkan pula bagi pengguna di kampus. Di kampus, suatu perangkat lunak dipakai oleh banyak orang (mahasiswa).

Pembelian perangkat lunak berbayar yang dapat dipakai banyak pengguna biasanya berharga sangat mahal dan kadang di luar kemampuan finansial kampus.

HEC-HMS, HEC-RAS, dan SWMM dibuat dan dikembangkan oleh institusi besar dan kredibel di negara maju. HEC-HMS dan HEC-RAS dibuat dan dikembangkan oleh Hydrology Engineering Center, salah satu divisi dalam Institute for Water Resources, di bawah United States Army Corps of Engineers (USACE). HEC adalah akronim Hydrologic Engineering Center, HMS adalah akronim Hydrologic Modeling System, dan RAS adalah akronim River Analysis System. SWMM dibuat dan dikembangkan oleh Office of Research and Development, Water Supply and Water Resources Division, United States Environmental Protection Agency (U.S. EPA). SWMM merupakan singkatan Storm Water Management Model. Ketiga perangkat lunak ini masih terus dirawat dan dikembangkan oleh masing-masing pembuatnya. Versi terbaru HEC-HMS adalah HEC-HMS 4.7.1, yang terbit pada 3 Desember 2020. Saat naskah ini ditulis, HEC-HMS 4.8 Beta baru saja terbit pada 15 Januari 2021. Versi terbaru HEC-RAS adalah HEC-RAS 4.6 Update 1, yang juga baru terbit pada Januari 2021. Versi terbaru SWMM adalah SWMM 5.1.015 yang terbit pada 20 Juli 2020.

Versi masing-masing perangkat lunak dari ketiga perangkat lunak yang dipakai dalam *mini training* ini beserta alamat laman untuk mengunduh *file* instalasinya dituliskan di bawah ini.

1. HEC-HMS 4.7.1 (<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>).
2. HEC-RAS 4.1.0 (<https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx>).
3. SWMM 5.1.015 (<https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>).

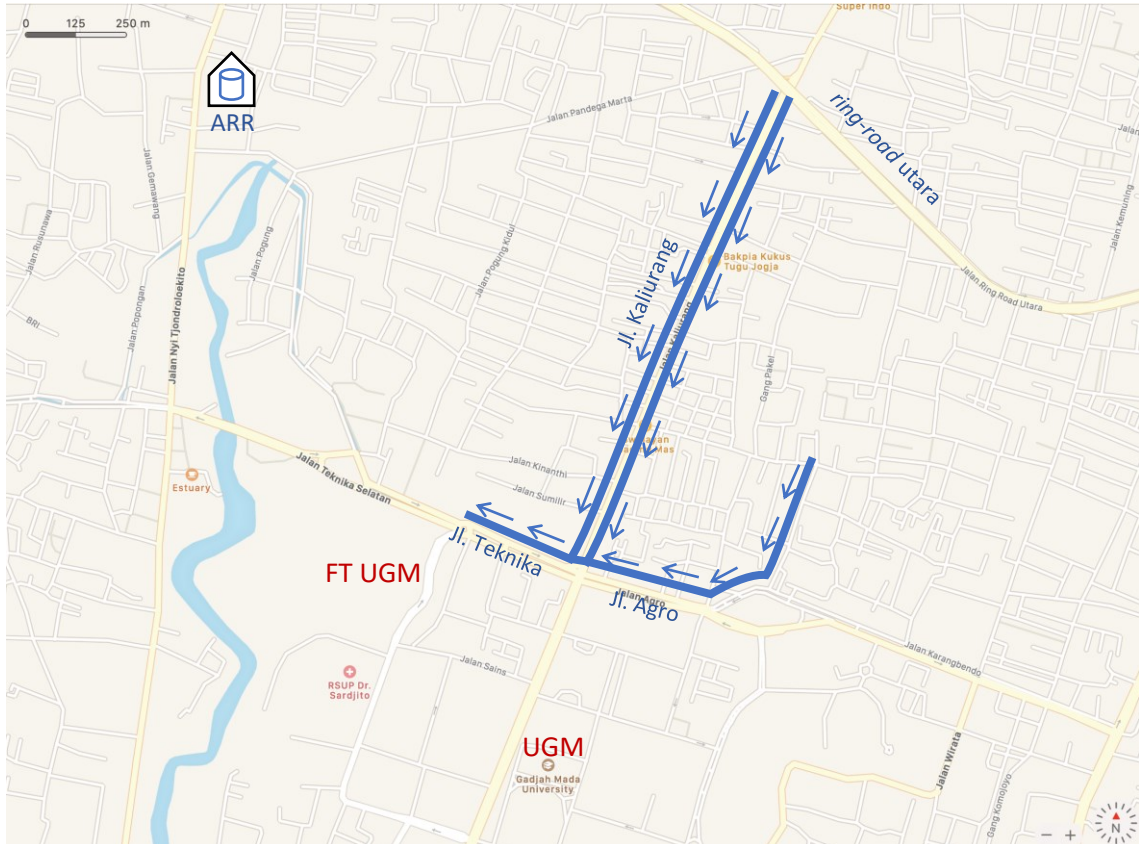
Mini training memakai HEC-RAS versi lama karena *file* instalasinya berukuran kecil dan kemampuannya telah memadai untuk diterapkan pada kasus drainase kawasan permukiman yang diacu dalam *mini training*. Peserta *mini training* tentu saja boleh memakai versi yang berbeda. Misalnya, HEC-RAS versi terbaru.

1.2 Drainase Kawasan Permukiman

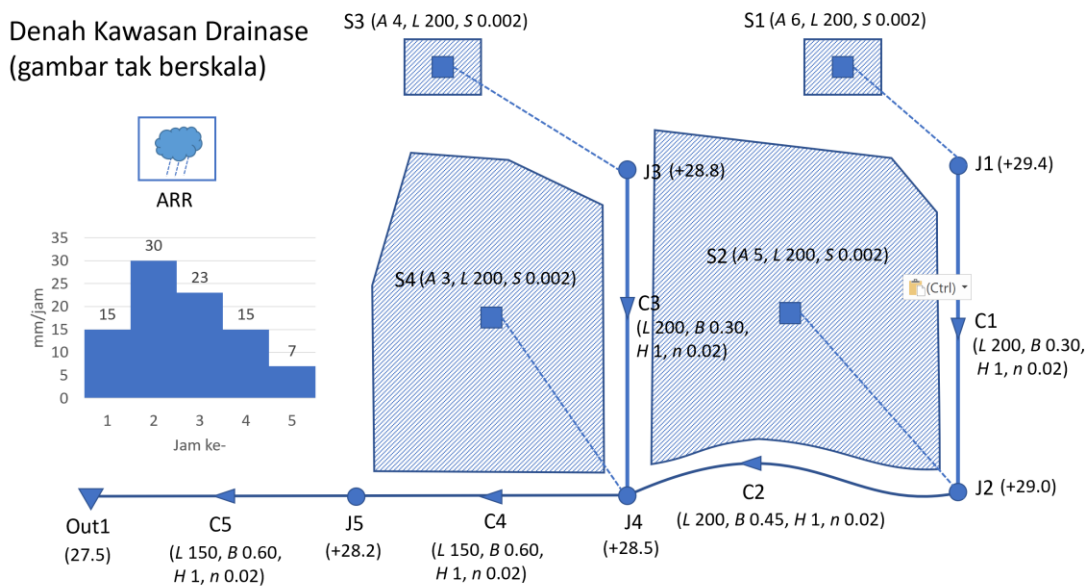
Dalam *mini training* ini, ketiga perangkat lunak akan diaplikasikan pada kasus drainase kawasan permukiman. Ini adalah suatu kasus hipotetik, yang dibuat sederhana sehingga pemodelan kasus ini dalam HEC-HMS, HEC-RAS, dan SWMM tidak sulit, mudah diikuti oleh peserta *mini training* yang kemungkinan memiliki tingkat pengenalan beragam terhadap ketiga perangkat lunak. Kasus hipotetik ini diilhami oleh drainase kawasan yang berada di utara kampus UGM, di antara *ring-road* utara dan kampus UGM. Drainase kawasan ini membebani saluran drainase Jalan Agro dan Jalan Teknika yang bermuara di saluran drainase Jalan Kesehatan Kampus UGM. Gambar 1.1 menampilkan peta kawasan ini dan alur saluran drainase utama, yaitu saluran drainase Jalan Kaliurang (sisi kanan dan kiri jalan), Jalan Agro, dan Jalan Teknika.

Gambar 1.2 menampilkan denah kawasan drainase hipotetik yang diilhami oleh drainase kawasan permukiman di utara kampus UGM. Skema ini mengacu kepada skema model drainase kawasan menurut perangkat lunak SWMM. Geometri (dimensi) kawasan tangkapan hujan (*subcatchment*, *S*) dan saluran drainase (*conduit*, *C*) tidak sama dengan dimensi sesungguhnya di kawasan utara kampus UGM. Paragraf-paragraf di bawah ini memaparkan komponen drainase di kawasan itu.

1. Beban drainase dialirkan melalui lima saluran persegi panjang, bagian atas ditutup. Tabel 1.1 menyajikan dimensi kelima saluran.
2. Setiap ruas saluran berawal dan berakhir di suatu titik hubung, berupa *junction* atau *outlet*. Ada lima *junction* dan satu *outlet*. *Junction* memiliki elevasi dasar dan tinggi. *Outlet* memiliki elevasi dasar dan sifat pengaliran. Aliran di *outlet* Out1 berupa terjunan. Tabel 1.2 menyajikan geometri *junction* dan *outlet*.



Gambar 1.1 Drainase kawasan Jalan Agro dan Jalan Teknika Kampus UGM



Gambar 1.2 Drainase kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM

- Beban aliran berasal dari limpasan langsung empat kawasan tangkapan hujan (*subcatchment*). Setiap kawasan tangkapan hujan memiliki luas, lebar tegak lurus arah aliran limpasan langsung, dan kemiringan lahan sejajar arah aliran limpasan langsung. Tabel 1.3 menyajikan geometri keempat kawasan tangkapan hujan. Masih ada lagi beberapa parameter yang mencerminkan respon kawasan terhadap hujan, misalnya sifat permukaan lahan (kedap atau lolos air), kemampuan untuk menyimpan air, dan kecepatan infiltrasi. Hal ini akan dibahas pada penerapan SWMM di kawasan drainase ini.

Tabel 1.1 Geometri saluran drainase kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM

Saluran	Panjang, L (m)	Lebar, B (m)	Dalam, H (m)	Koefisien Manning, n
C1	200	0.30	1	0.02
C2	200	0.45	1	0.02
C3	200	0.30	1	0.02
C4	150	0.60	1	0.02
C5	150	0.60	1	0.02

Tabel 1.2 Geometri junction dan outlet saluran drainase kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM

Titik hubung	Elevasi dasar (m)	Tinggi (m)
J1	+29.4	1.5
J2	+29.0	1.5
J3	+28.8	1.5
J4	+28.5	1.5
J5	+28.2	1.5
Out1	+27.5	---

Tabel 1.3 Geometri kawasan tangkapan hujan kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM

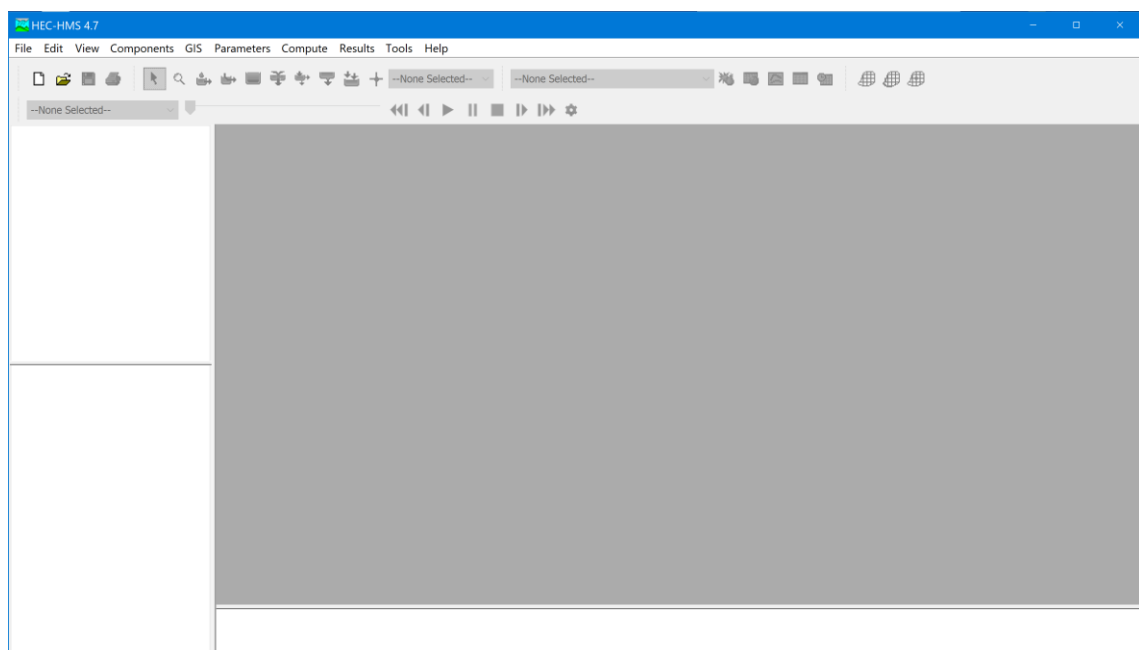
Kawasan	Luas (ha)	Lebar (m)	Kemiringan
S1	6	200	0.002
S2	5	200	0.002
S3	4	200	0.002
S4	3	200	0.002

2 HEC-HMS

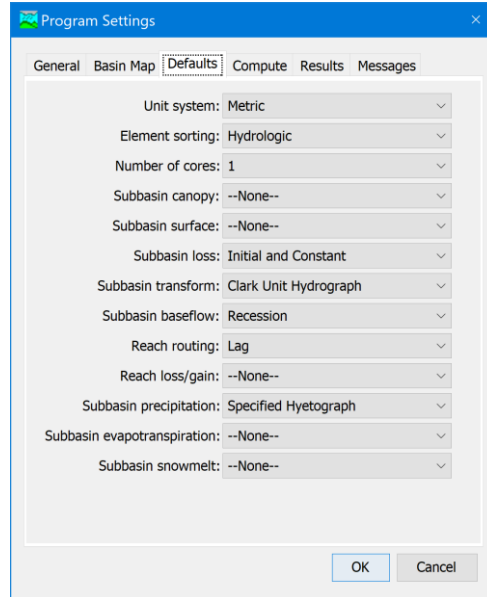
2.1 Instalasi dan Pengaturan HEC-HMS

File untuk instalasi perangkat lunak HEC-HMS diunduh dari laman resmi USACE yang beralamat di <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/downloads.aspx>. Pengunduhan *file* instalasi dari laman resmi ini sangat disarankan. Versi yang dipakai dalam *mini training* ini adalah HEC-HMS 4.7.1. *File* instalasi HEC-HMS 4.7.1 berukuran 200 MB. Instalasi mudah dilakukan. Klik *file* instalasi dan ikuti perintah yang muncul di setiap layar.

Setelah instalasi berhasil, aktifkan HEC-HMS 4.7.1. Pada layar monitor komputer akan muncul layar utama HEC-HMS 4.7.1 seperti tampak pada Gambar 4.1. Ketika memakai sebuah perangkat lunak keairan (hidrologi, hidraulika) untuk pertama kali, perlu dilakukan pengaturan awal perangkat lunak. Salah satu pengaturan yang sebaiknya dilakukan adalah pengaturan sistem satuan. HEC-HMS dibuat di Amerika Serikat, yang banyak memakai sisten satuan imperial. Di sisi lain, kita memakai sistem satuan metrik. Pilih (klik) menu Tools | Program Settings. Pada layar yang muncul, pilih (klik) Defaults. Periksa pilihan Unit System. Apabila isian yang muncul adalah U.S. Customary, maka gantilah menjadi Metric seperti tampak pada Gambar 2.2. Tutup layar dengan mengklik tombol OK.



Gambar 2.1 Layar utama HEC-HMS 4.7.1



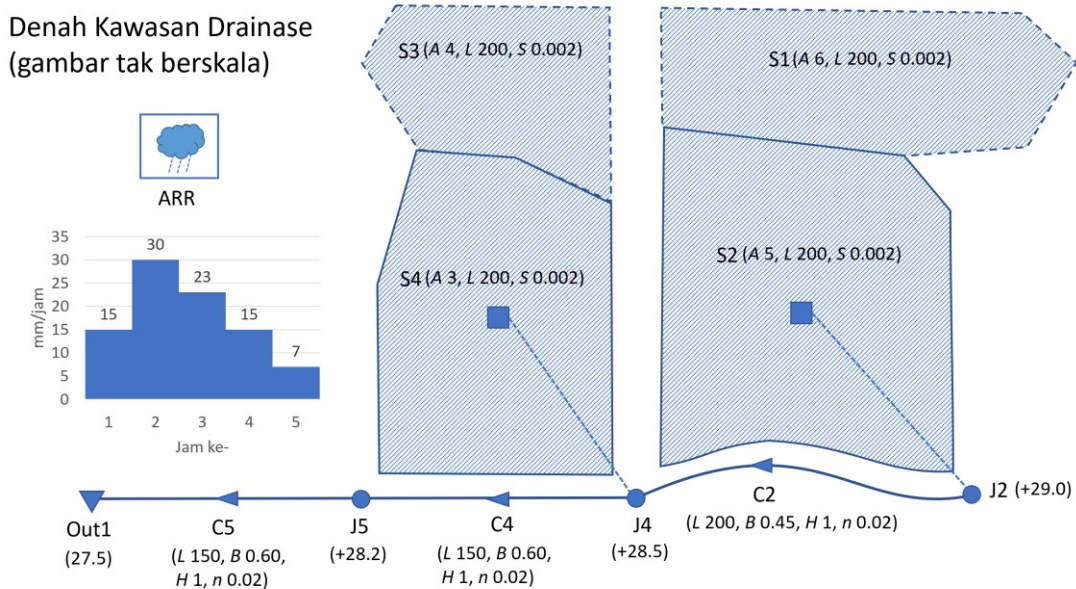
Gambar 2.2 Layar pengaturan HEC-HMS 4.7.1

2.2 Transformasi Hujan Menjadi Aliran Langsung

HEC-HMS melakukan modelisasi atau hitungan hidrologi untuk mengubah hujan yang jatuh di kawasan tangkapan hujan menjadi aliran langsung, atau kadang disebut pula dengan istilah limpasan permukaan. Aplikasi HEC-HMS pada kasus sederhana, seperti kasus drainase kawasan permukiman hipotetik dalam *mini training* ini, mengikuti langkah pemodelan sebagai berikut:

1. membuat *project*,
2. memodelkan sistem drainase kawasan (*model components*)
 - a. memodelkan kawasan tangkapan hujan (*basin model*),
 - b. memasukkan data hujan (*meteorologic model*),
 - c. mengatur skema hitungan (*control specifications*),
3. melakukan hitungan (*compute, simulation run*),
4. menampilkan hasil hitungan (*results*), dan
5. membaca dan menginterpretasikan hasil hitungan.

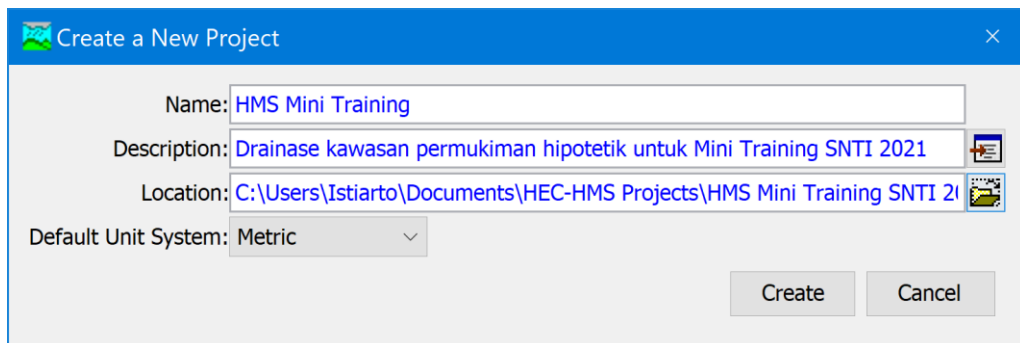
Skema drainase kawasan permukiman hipotetik seperti disajikan pada Gambar 1.2 perlu dimodifikasi agar mudah dituangkan menjadi model kawasan tangkapan hujan dalam HEC-HMS. Gambar 2.3 menyajikan skema drainase kawasan permukiman hipotetik setelah disesuaikan dengan kebutuhan contoh penerapan HEC-HMS. Empat kawasan tangkapan hujan dikelompokkan menjadi dua, yaitu kawasan S1+S2 dan S3+S4.



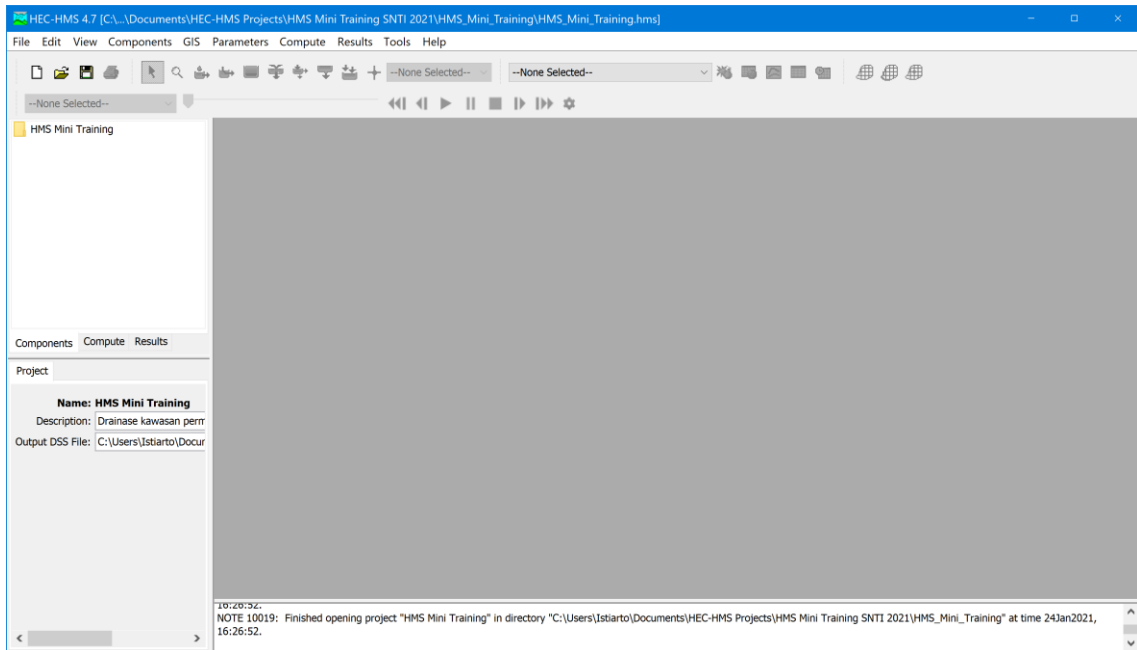
Gambar 2.3 Skema drainase kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-HMS

Paragraf-paragraf di bawah ini memaparkan langkah penerapan HEC-HMS pada drainase kawasan permukiman hipotetik tersebut. Paparan disajikan secara ringkas. Langkah pemodelan secara rinci akan dipaparkan pada saat pelaksanaan *mini training*. Peserta melakukan pemodelan dengan dipandu instruktur.

Langkah pertama transformasi hujan-aliran adalah pembuatan sebuah HEC-HMS *project*. Dari layar utama HEC-HMS, pilih menu File | New. Pada layar pembuatan *project* baru, tuliskan nama *project* dan deskripsi tentang *project*. Pilih *folder* tempat menyimpan *project*. Pastikan bahwa sistem satuan adalah Metric. Gambar 2.4 menampilkan layar pembuatan *project* baru yang diberi nama “HMS Mini Training”. Konfirmasikan pembuatan *project* baru ini dengan mengklik tombol Create. Setelah langkah ini, layar utama HEC-HMS tampak seperti Gambar 2.5. Tampak nama *project* “HMS Mini Training” telah muncul di sisi kiri layar utama HEC-HMS. Dalam *folder* yang dipilih untuk menyimpan *project* baru ini, muncul sebuah *folder* bernama mirip dengan nama *project*, yaitu “HMS_Mini_Training”. HEC-HMS akan menyimpan berbagai *file* yang dibuatnya seiring dengan langkah pemodelan *project* baru ini oleh pengguna.

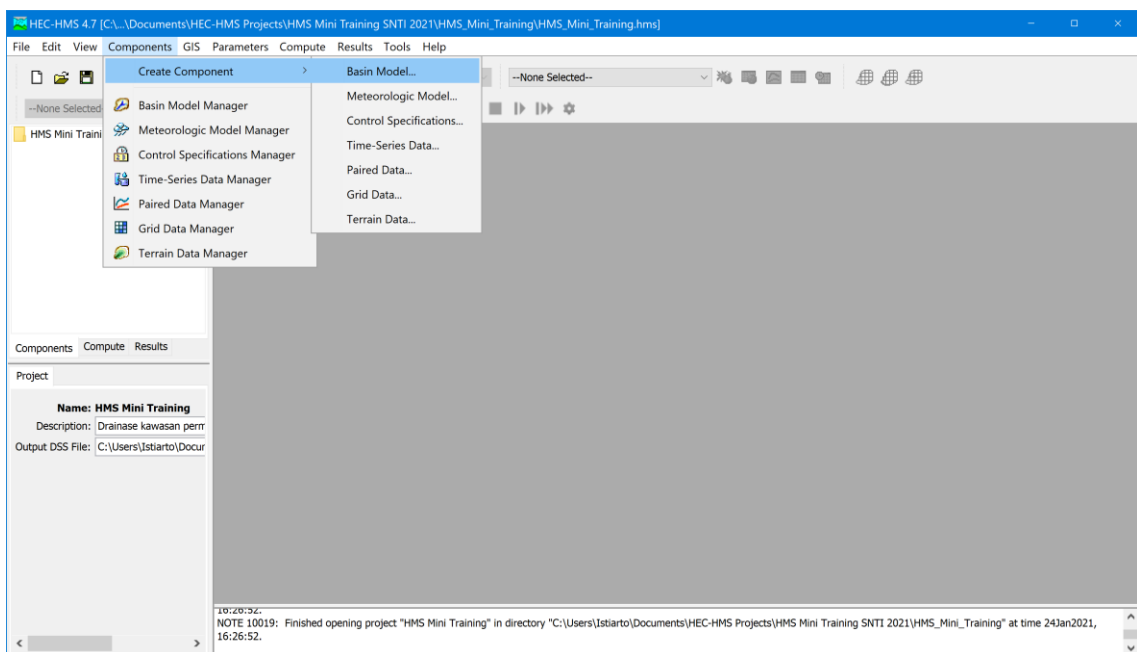


Gambar 2.4 Layar pembuatan project HEC-HMS

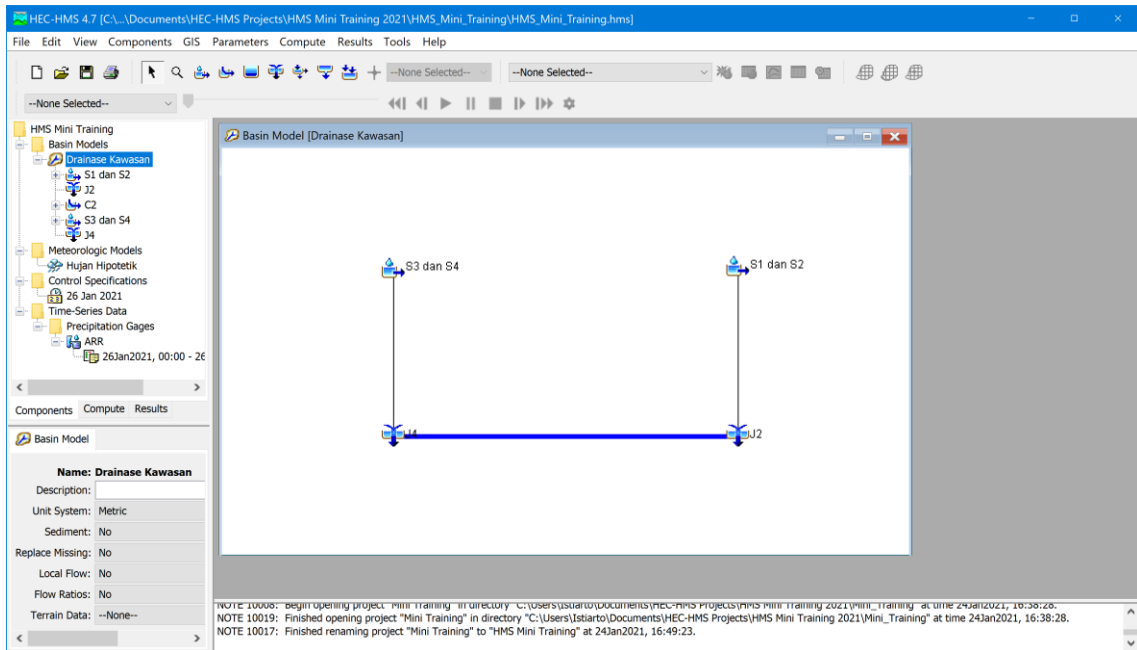


Gambar 2.5 Layar utama HEC-HMS setelah pembuatan project

Langkah kedua transformasi hujan-aliran dengan HEC-HMS adalah pemodelan sistem drainase kawasan permukiman hipotetik ini, yang dalam terminologi HEC-HMS adalah pembuatan *model components*. Pembuatan *model components* dilakukan melalui menu Component | Create Components dari layar utama HEC-HMS seperti tampak pada Gambar 2.6. Dalam kasus pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik ini, diperlukan pembuatan 4 dari 7 *components*. Keempat *components* ini adalah *basin model*, *meteorologic model*, *control specifications*, dan *time series data*. Naskah ini tidak memaparkan secara rinci langkah pembuatan keempat *components* ini. Peserta *mini training* akan melakukan langkah ini dengan dipandu instruktur. Ketika pembuatan *model components* telah selesai, tampilan layar utama HEC-HMS adalah seperti tampak pada

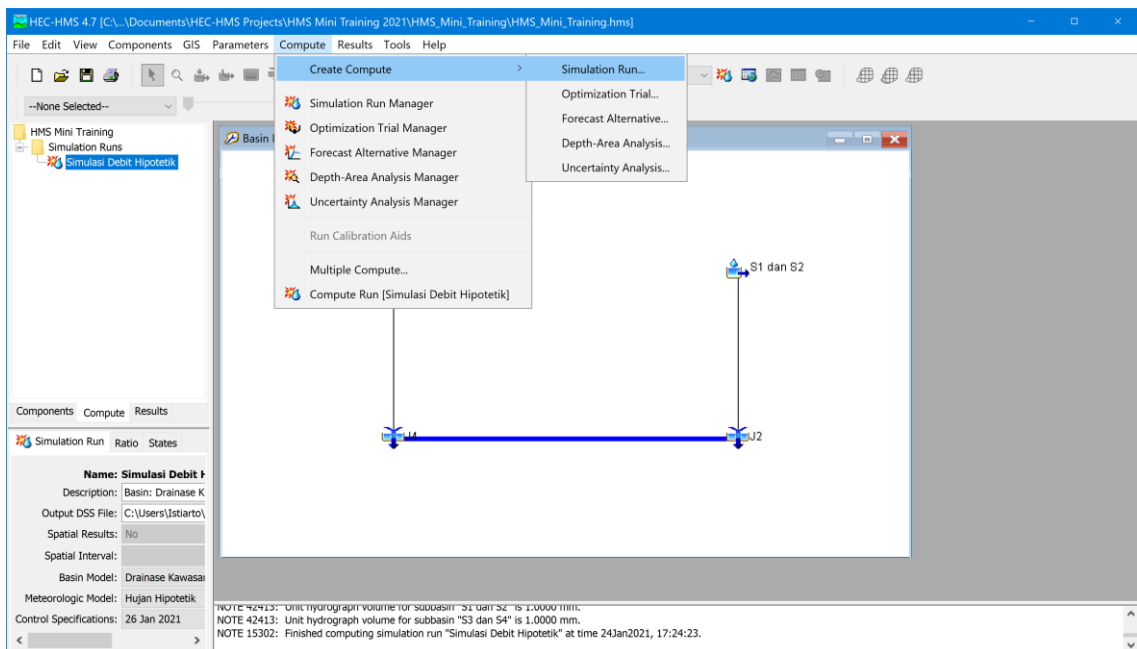


Gambar 2.6 Menu pembuatan model components dalam HEC-HMS

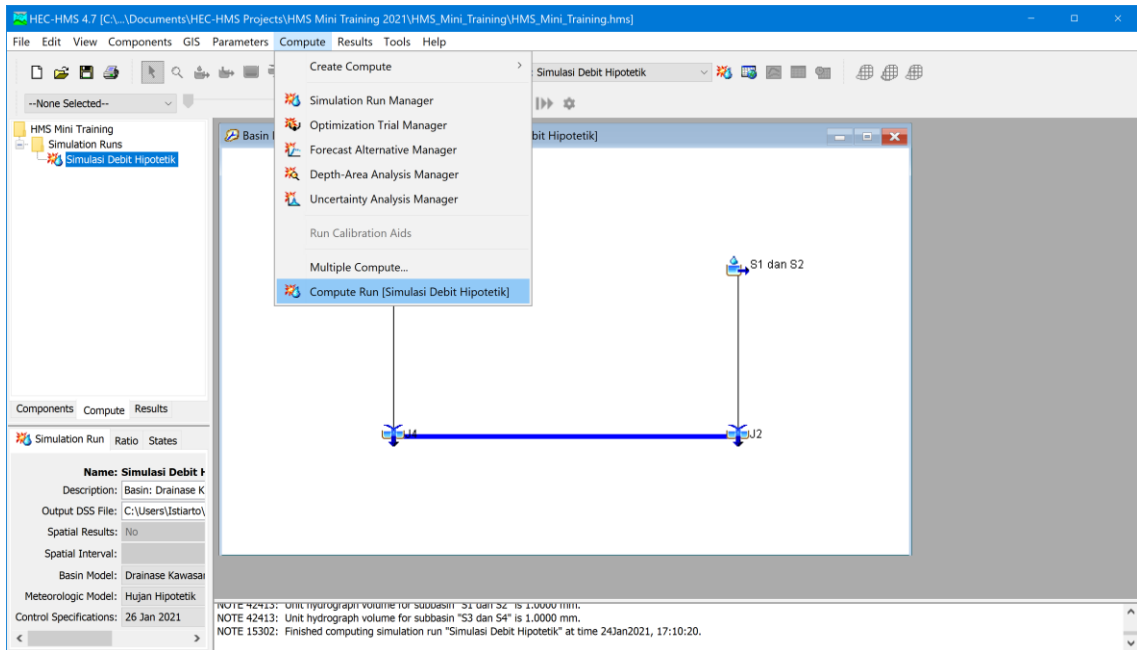


Gambar 2.7 Layar utama HEC-HMS setelah pembuatan semua model components yang diperlukan untuk pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik

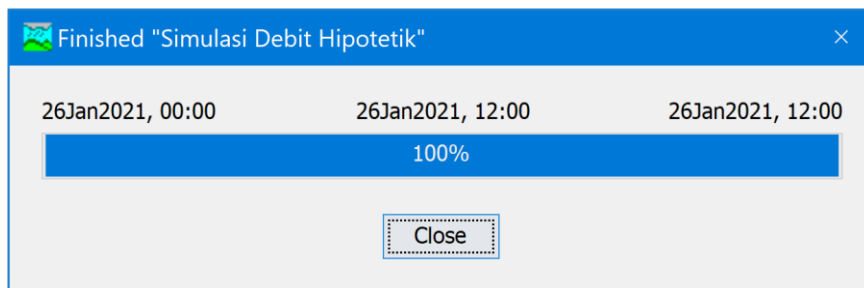
Langkah ketiga transformasi hujan-aliran dengan HEC-HMS adalah melakukan hitungan. Dari layar utama HEC-HMS, pilih menu **Compute | Create Compute | Simulation Run**. Hitungan ini diberi nama "Simulasi Debit Hipotetik" seperti ditampilkan pada Gambar 2.8. Ikuti langkah-langkah penyiapan hitungan setiap kali layar konfirmasi pemilihan *component* muncul di layar komputer. Setelah langkah penyiapan hitungan selesai, lakukan hitungan dengan mengklik menu **Compute | Compute Run (Simulasi Debit Hipotetik)**. Menu ini adalah sub-menu paling bawah dalam menu **Compute** di layar utama HEC-HMS seperti tampak pada Gambar 2.9. Hitungan yang berhasil (sukses) ditandai dengan pita warna biru pada layar hitungan yang berjudul **Finished "Simulasi Debit Hipotetik"** seperti ditampilkan pada Gambar 2.10.



Gambar 2.8 Menu penyiapan hitungan dalam HEC-HMS

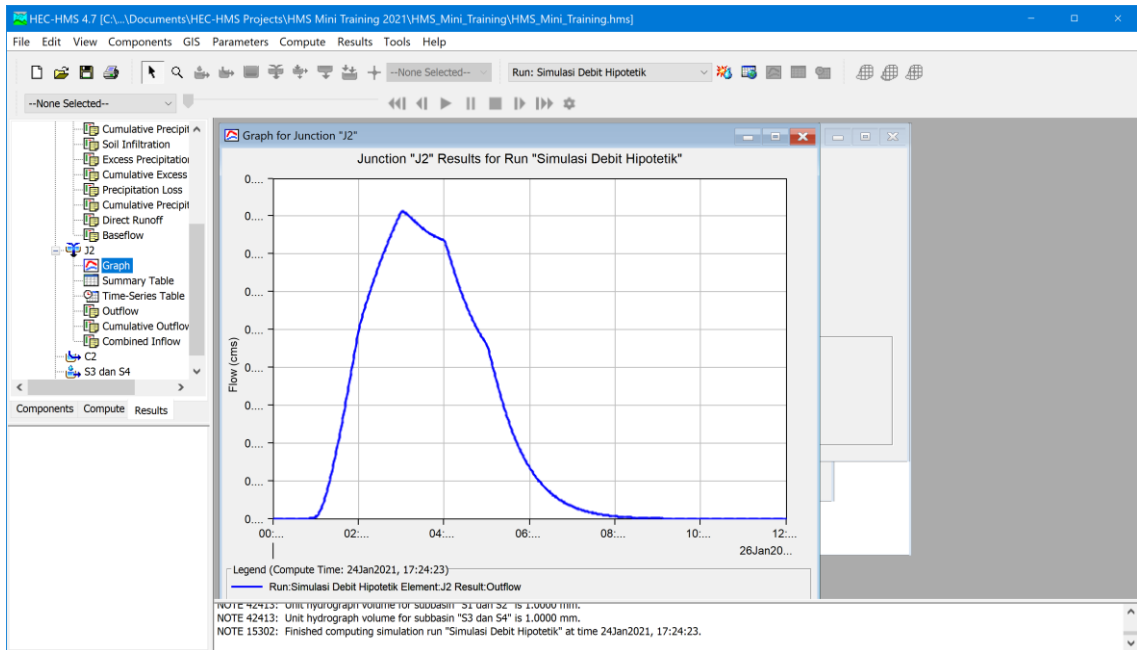


Gambar 2.9 Menu hitungan dalam HEC-HMS



Gambar 2.10 Layar konfirmasi bahwa hitungan telah selesai dengan sukses

Langkah keempat transformasi hujan-aliran dengan HEC-HMS adalah penampilan hasil hitungan. HEC-HMS menyediakan tampilan hasil hitungan dalam bentuk gambar dan tabel. Contoh tampilan hasil hitungan HEC-HMS ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12.



Gambar 2.11 Contoh tampilan grafis hasil hitungan transformasi hujan-aliran dengan HEC-HMS

Date	Time	Inflow from... (M3/S)	Outflow (M3/S)
26Jan2021	00:00	0.0	0.0
26Jan2021	00:01	0.0	0.0
26Jan2021	00:02	0.0	0.0
26Jan2021	00:03	0.0	0.0
26Jan2021	00:04	0.0	0.0
26Jan2021	00:05	0.0	0.0
26Jan2021	00:06	0.0	0.0
26Jan2021	00:07	0.0	0.0
26Jan2021	00:08	0.0	0.0
26Jan2021	00:09	0.0	0.0
26Jan2021	00:10	0.0	0.0
26Jan2021	00:11	0.0	0.0
26Jan2021	00:12	0.0	0.0
26Jan2021	00:13	0.0	0.0
26Jan2021	00:14	0.0	0.0

Gambar 2.12 Contoh tampilan tabel hasil hitungan transformasi hujan-aliran dengan HEC-RAS

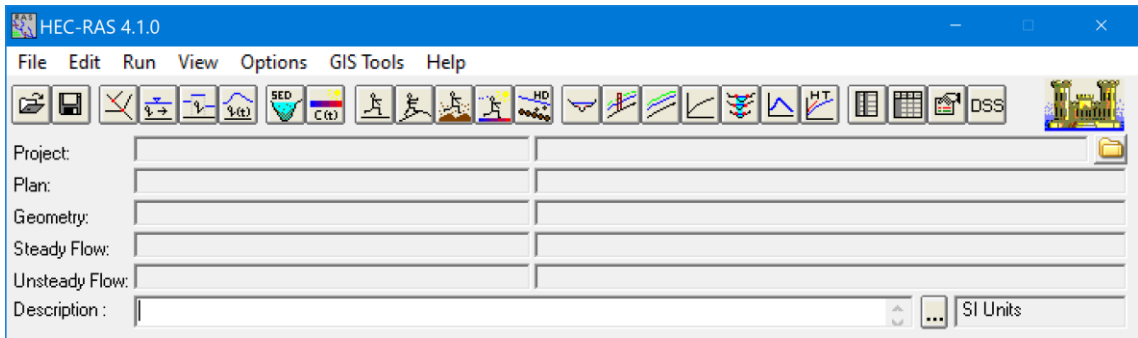
Langkah keenam, terakhir, dalam simulasi transformasi hujan-aliran dengan HEC-HMS adalah pembacaan hasil simulasi dengan cermat dan penginterpretasian hasil simulasi. Interpretasi ini sangat penting untuk memahami hasil simulasi dan mendapatkan simpulan yang benar dan tepat. Pemahaman yang baik terhadap hidrologi sangat diperlukan untuk mendapatkan simpulan yang benar dan tepat.

3 HEC-RAS

3.1 Instalasi dan Pengaturan HEC-RAS

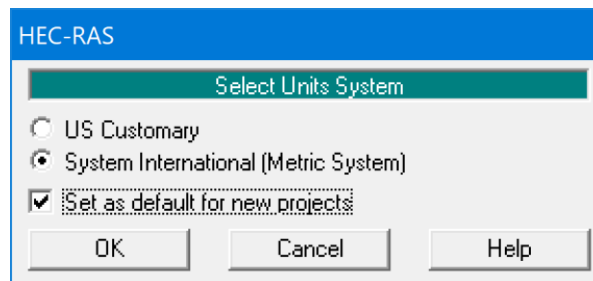
File instalasi perangkat lunak HEC-RAS dapat diunduh dari laman USACE yang beralamat di <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/download.aspx>. Pilih file instalasi HEC-RAS versi yang diinginkan. *Mini training* memakai HEC-RAS 4.1.0, yang telah memadai untuk diterapkan pada kasus drainase kawasan permukiman hipotetik seperti yang ditampilkan pada Gambar 1.2. Ukuran file instalasi HEC-RAS 4.1.0 adalah 49.7 MB, lebih kecil daripada ukuran file instalasi versi-versi yang lebih baru. Peserta tentu saja boleh memakai versi yang lebih baru. Lakukan instalasi HEC-RAS dengan mengikuti petunjuk langkah instalasi yang muncul di layar.

Aktifkan HEC-RAS. Gambar 3.1 adalah tampilan layar utama HEC-RAS 4.1.0. Tampilan layar utama versi yang lebih baru berukuran lebih panjang dengan adanya tambahan beberapa papan tombol (*toolbars*) seiring dengan fitur baru yang tidak ada pada versi 4.1.0.



Gambar 3.1 Layar utama HEC-RAS 4.1.0

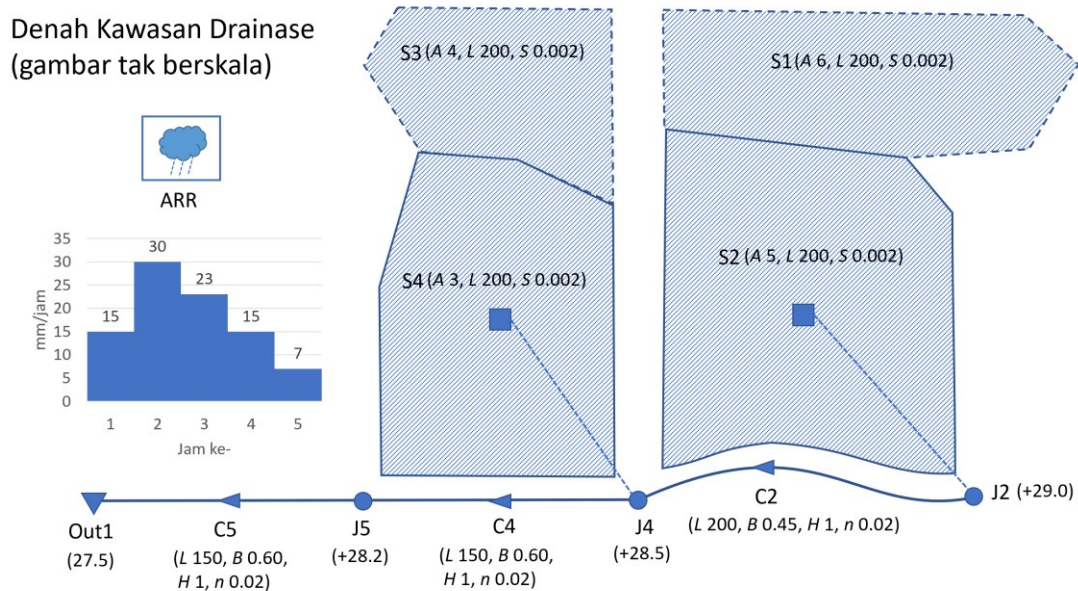
Lakukan pengaturan perangkat lunak untuk memudahkan penggunaannya sesuai dengan kebutuhan pengguna. Salah satu pengaturan yang baik untuk dilakukan adalah pada sistem satuan. Klik menu Options | Unit system (U.S. Customary/SI). Pilih System International (Metric System) dan tandai (klik) Set as default for new projects (). Dengan pengaturan ini, maka *project* baru yang dibuat akan memakai sitem metrik (SI).



Gambar 3.2 Layar pengaturan sistem satuan HEC-RAS 4.1.0

3.2 Simulasi Aliran di Saluran Drainase

HEC-RAS adalah perangkat lunak hidraulika. Dalam kasus drainase kawasan permukiman hipotetik (Gambar 1.2), HEC-RAS dipakai untuk menyimulasikan aliran di ruas C2-C4-C5. Beban aliran drainase dari kawasan permukiman masuk ke *node* J2 dan J4. Beban aliran ini telah diketahui dari hasil hitungan HEC-HMS pada Sub-bab 2.2. Untuk memudahkan pembacaan kasus yang dimodelkan, denah kawasan drainase permukiman hipotetik disajikan ulang pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema drainase kawasan permukiman hipotetik yang dipakai untuk contoh penerapan perangkat lunak HEC-RAS

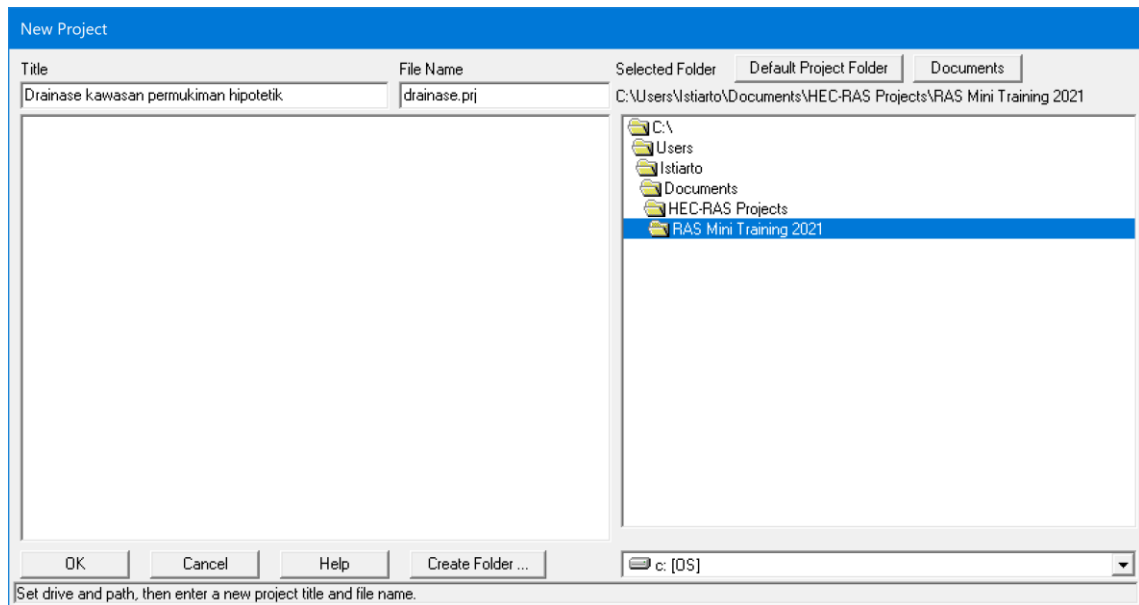
Penerapan HEC-RAS untuk mensimulasikan aliran di saluran drainase kawasan permukiman hipotetik mengikuti langkah kerja berikut:

1. membuat *project*,
2. memodelkan geometri saluran,
3. memasukkan data aliran,
4. melakukan hitungan,
5. menampilkan hasil hitungan, dan
6. membaca dan menginterpretasikan hasil hitungan.

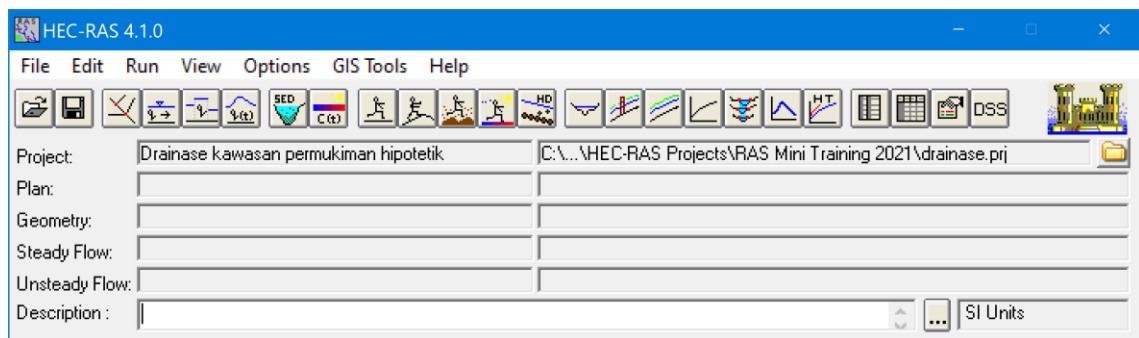
Paragraf-paragraf di bawah ini memaparkan langkah simulasi aliran di ruas C2-C4-C5. Paparan langkah kerja tidak dituliskan secara rinci. Peserta akan dipandu oleh instruktur dalam melakukan pemodelan aliran dengan HEC-RAS>

Langkah pertama dalam penyimulasian aliran di saluran adalah pembuatan *project*. Dari layar utama HEC-RAS pilih menu File | New Project. Pilih terlebih dulu lokasi (*folder*) tempat *project* akan disimpan. Sangat disarankan untuk membuat *folder* baru, misalnya RAS Mini Training 2021 untuk menyimpan *project*.

Beri judul *project* "Drainase kawasan permukiman hipotetik" dan nama *file* "drainase.prj". Pastikan bahwa *folder* tempat menyimpan *project* telah sesuai dengan yang diinginkan (Gambar 3.4). Klik tombol OK. Klik OK pada layar permintaan konfirmasi bahwa sebuah *project* akan dibuat. Layar utama HEC-RAS setelah pembuatan *project* tampak seperti Gambar 3.5.



Gambar 3.4 Layer pembuatan project HEC-RAS



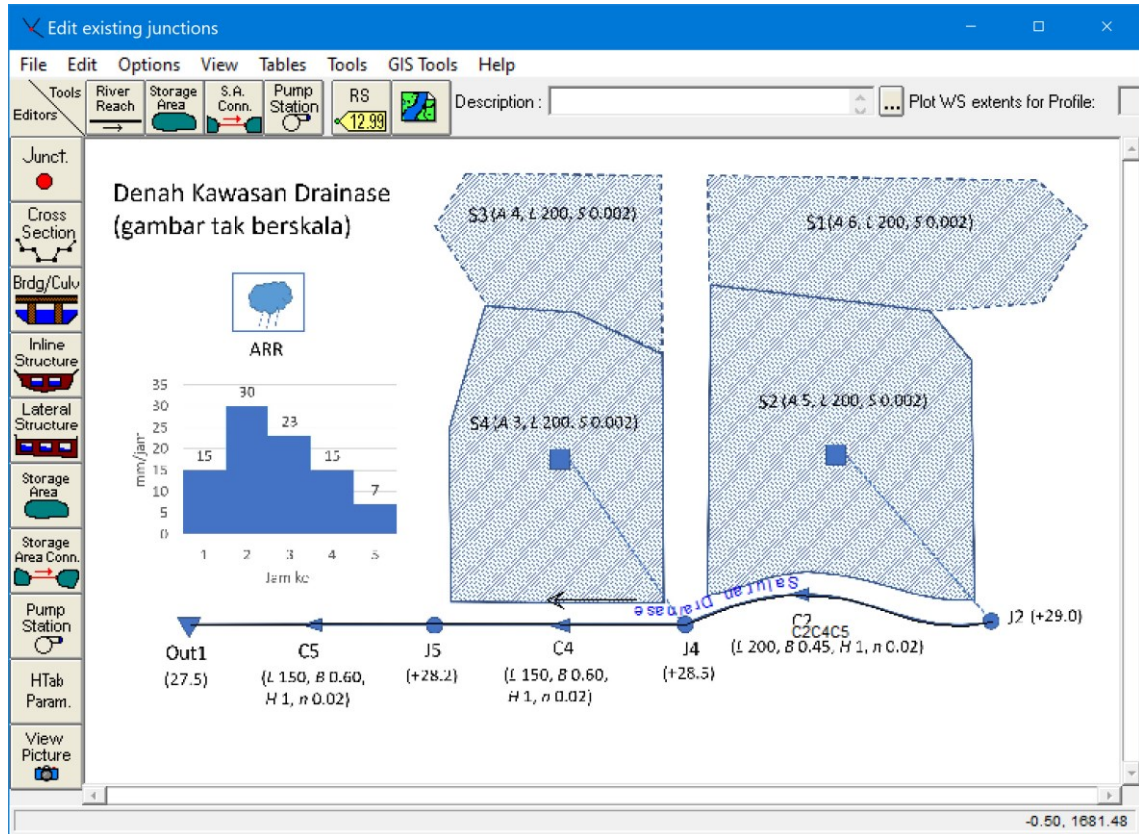
Gambar 3.5 Layer utama HEC-RAS setelah pembuatan project

Langkah kedua simulasi aliran dengan HEC-RAS adalah memodelkan saluran. Aktifkan layar editor data geometri dengan mengklik menu Edit | Geometric Data di layar utama HEC-RAS. Pengguna dapat mengunggah denah kawasan drainase (Gambar 3.3) ke layar editor data geometri saluran sebagai gambar latar. Ini tidak harus dilakukan. Pemasukan data geometri saluran meliputi:

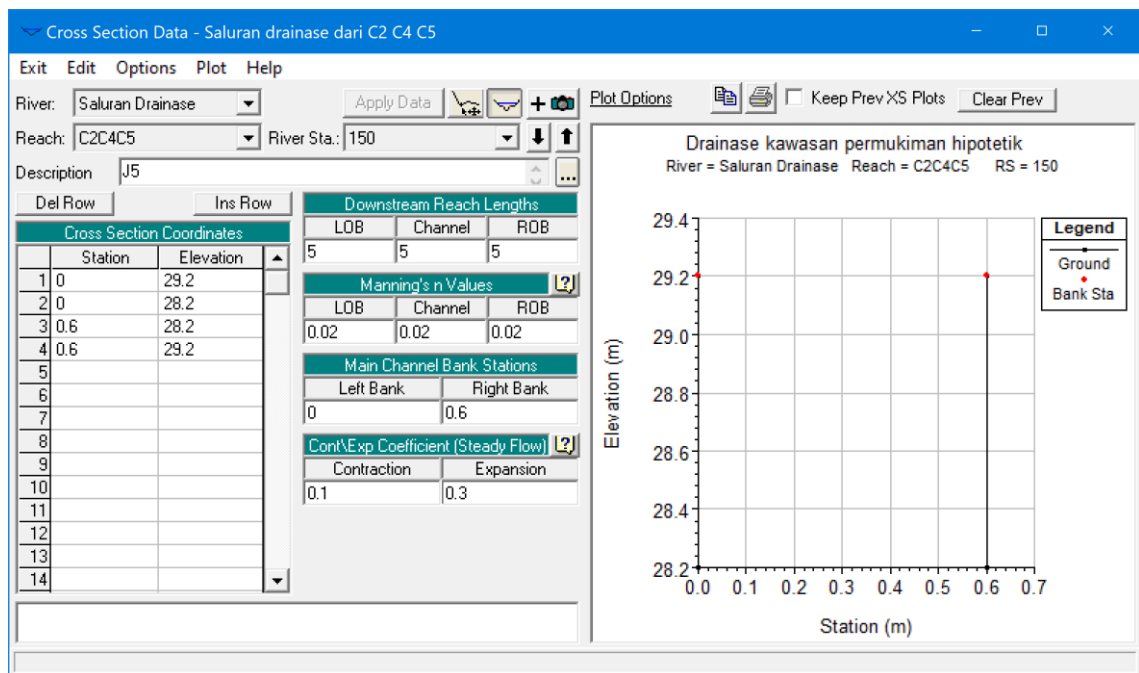
1. peniruan alur saluran (*river* dan *reach*), dan
2. pemasukan data tampang lintang saluran (*river station*).

Peniruan alur saluran dilakukan dengan merunut alur saluran mengikuti gambar latar, dimulai dari batas hulu (J2), menuju ke batas hilir (Out1). Walau saluran drainase terdiri dari empat ruas, HEC-RAS menirukannya sebagai satu ruas (*reach*) karena dari J2 sampai Out1 tidak ada pertemuan atau percabangan alur. Setelah peniruan alur saluran, layar editor geometri saluran tampak seperti Gambar 3.6. Data tampang lintang saluran yang dimasukkan ke HEC-RAS terdiri dari geometri tampang lintang, jarak ruas antar tampang lintang, dan koefisien kekasaran saluran (koefisien Manning). Setiap tampang lintang saluran diberi nama RS diikuti dengan angka yang menunjukkan nomor urut posisi tampang lintang, dari hilir (nomor kecil) ke hulu (nomor besar). Gambar 3.7 menunjukkan contoh tampang lintang saluran setelah semua data geometri tampang lintang dimasukkan ke HEC-RAS. Setelah semua data geometri saluran dimasukkan dalam HEC-RAS, simpan data geometri saluran melalui menu File | Save Geometry

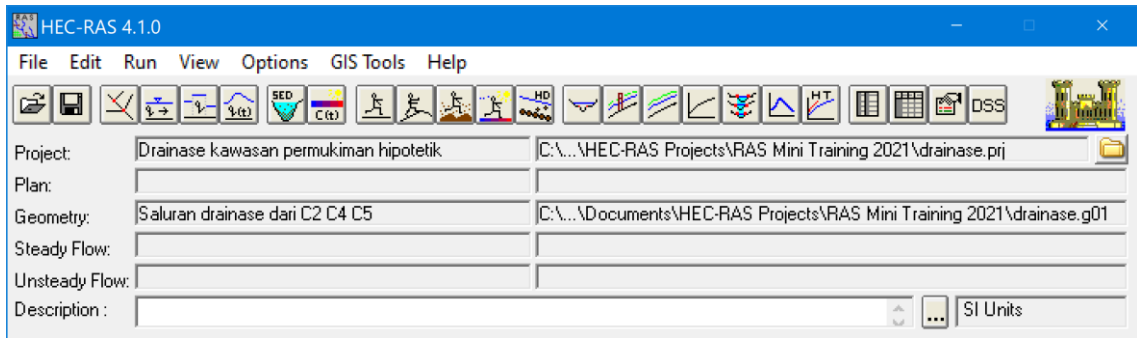
Data. Tutup layar editor data geometri saluran. Layar utama HEC-RAS akan tampak seperti Gambar 3.8. Tampang memanjang saluran dapat ditampilkan secara grafis (Gambar 3.9). Pilih menu View | Water Surface Profiles dari layar utama HEC-RAS untuk membuat gambar potongan memanjang saluran.



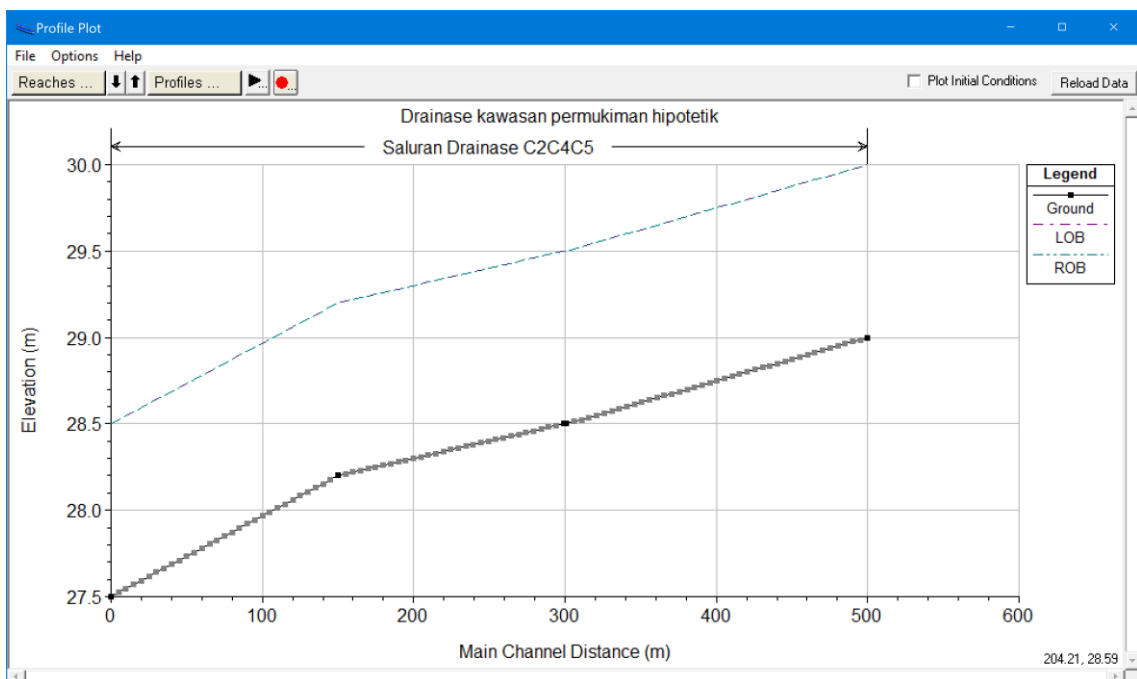
Gambar 3.6 Layar editor data geometri HEC-RAS setelah penuruan alur saluran drainase



Gambar 3.7 Contoh tampang lintang saluran dalam HEC-RAS

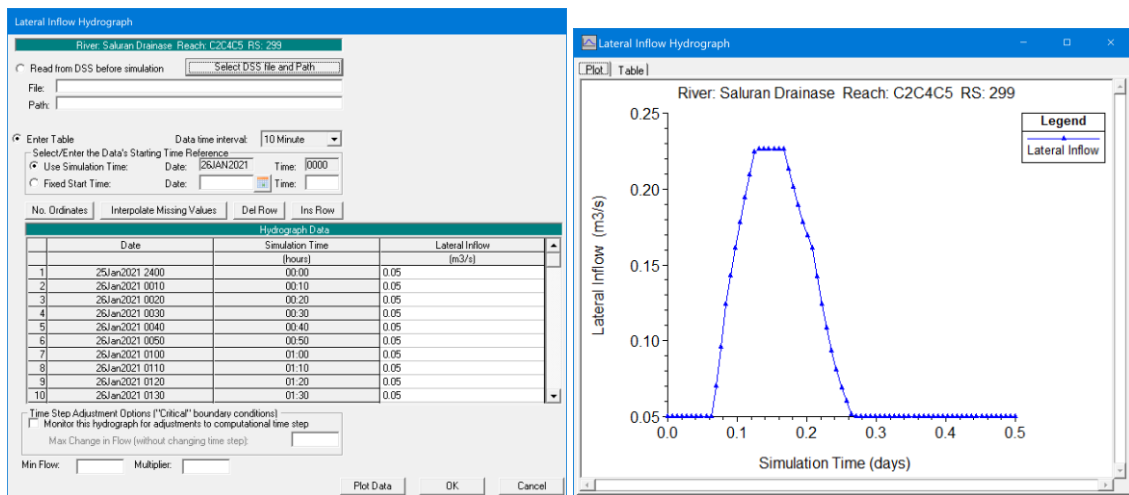
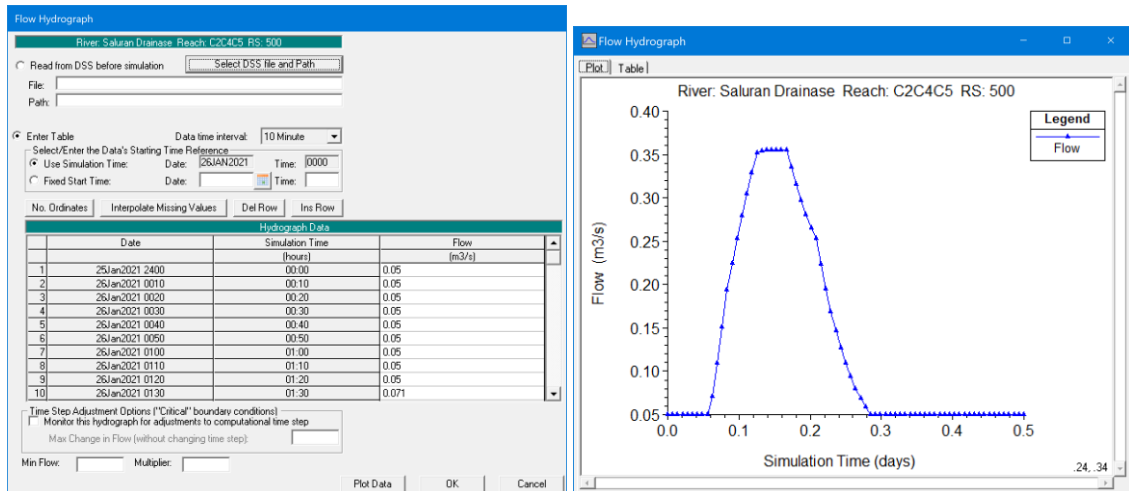


Gambar 3.8 Layar utama HEC-RAS setelah pemasukan data geometri saluran

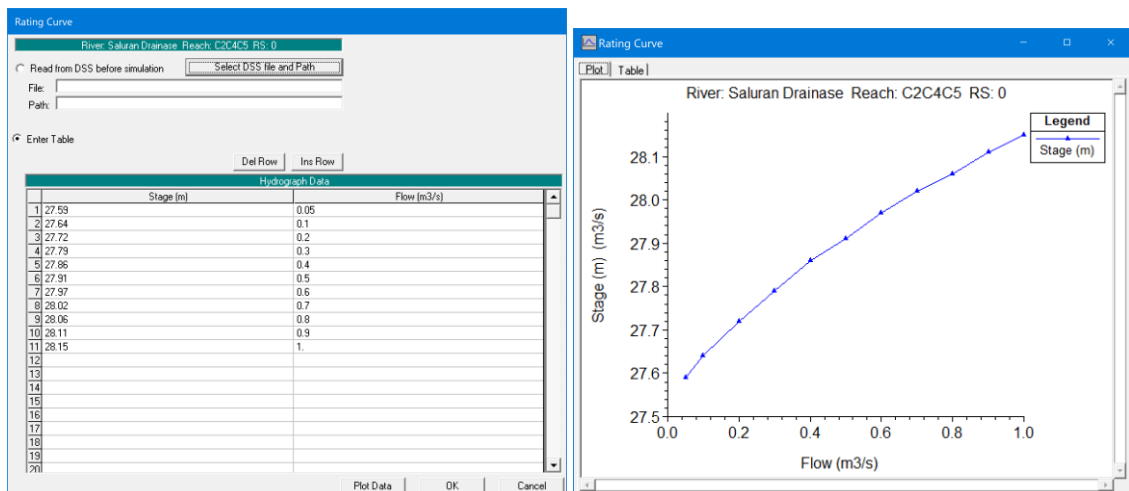


Gambar 3.9 Tampang memanjang saluran dalam HEC-RAS

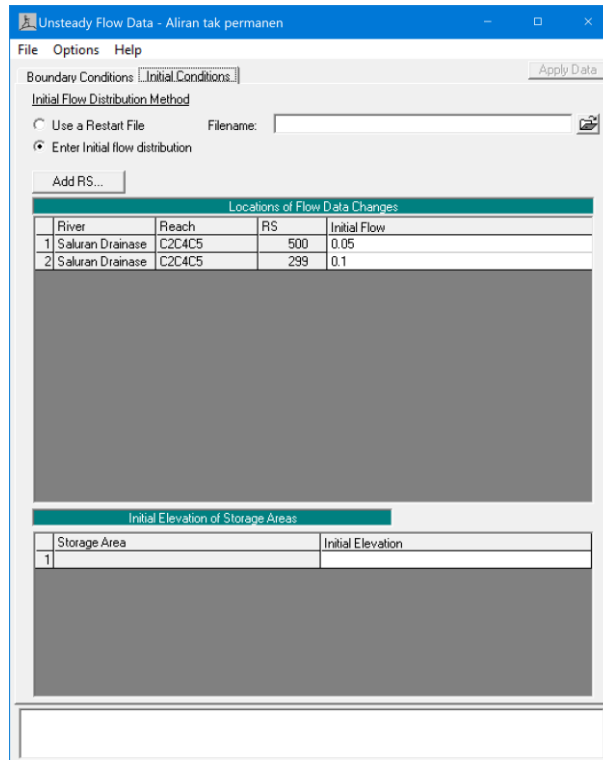
Langkah ketiga simulasi aliran dengan HEC-RAS adalah pemasukan data aliran, yang dikenal sebagai syarat batas (*boundary conditions*) dan syarat awal (*initial conditions*). Syarat batas dalam kasus drainase kawasan permukiman hipotetik ini adalah hidrograf aliran di J2 dan J4, serta kurva ukur (*rating curve*) di Out1. Hidrograf aliran diperoleh dari hasil hitungan HEC-HMS yang dipaparkan pada Sub-bab 2.2. Syarat awal dalam kasus ini adalah debit aliran di J2 dan J4 pada awal hidrograf. Jangan lupa, debit aliran di J4 adalah jumlah debit awal hidrograf hasil hitungan HEC-HMS di J2 dan J4. Pemasukan aliran dilakukan melalui menu Edit | Unsteady Flow Data di layar utama HEC-RAS. Gambar 3.10 menunjukkan layar editor pemasukan data aliran sebagai syarat batas di J2 (RS 500) dan J4 (RS 299). Gambar 3.11 menunjukkan syarat batas berupa kurva ukur debit di Out1 (RS 0). Gambar 3.12 menampilkan layar editor pemasukan data syarat awal debit aliran di J2 dan J4. Simpan data aliran melalui menu File | Save Unsteady Flow Data.



Gambar 3.10 Syarat batas berupa debit aliran di J2 (RS 500) dan J4 (RS 299) dalam simulasi aliran memakai HEC-RAS

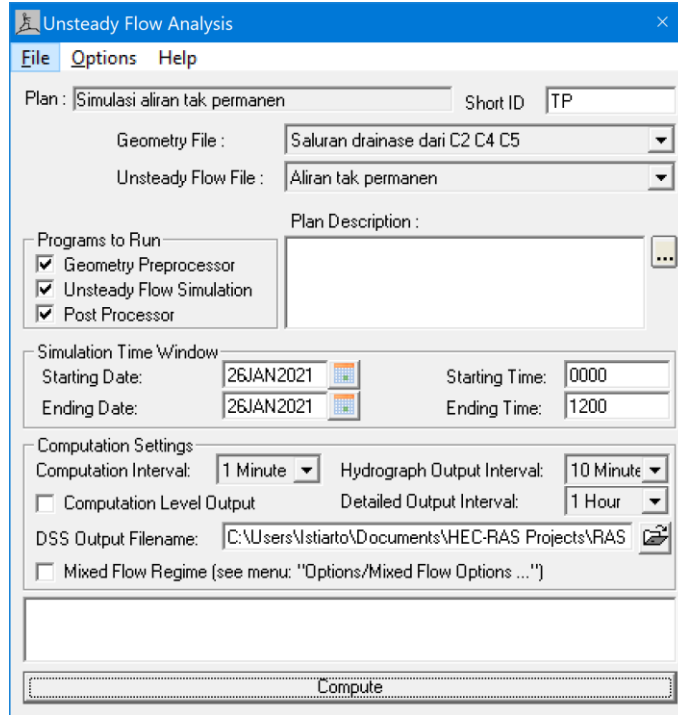


Gambar 3.11 Syarat batas berupa kurva ukur debit di Out1 (RS 0) dalam simulasi aliran memakai HEC-RAS

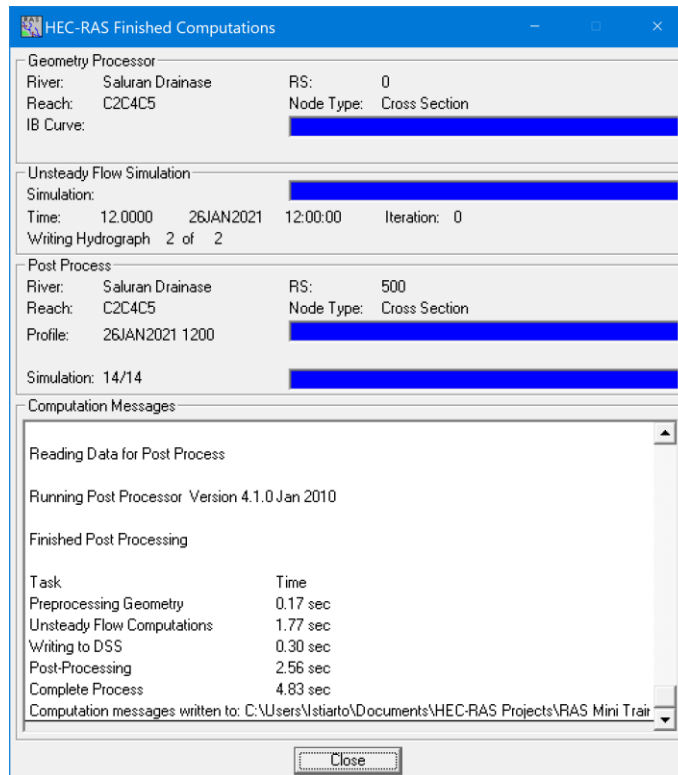


Gambar 3.12 Syarat awal debit aliran di J2 (RS 500) dan J4 (RS 299) dalam simulasi aliran memakai HEC-RAS

Langkah keempat simulasi aliran dengan HEC-RAS adalah melakukan hitungan aliran. Dalam kasus ini, beban aliran merupakan fungsi waktu sehingga simulasi yang dilakukan adalah simulasi aliran tak permanen (*unsteady flow*). Dari layar utama HEC-RAS pilih menu Run | Unsteady Flow Analysis. Lakukan pengaturan simulasi seperti ditampilkan pada Gambar 3.13. Klik tombol Compute untuk mengaktifkan proses hitungan. Layar HEC-RAS Computations akan muncul. Ketika hitungan selesai dan berhasil, ditandai dengan pita biru dan pesan Finished Post Processing, maka layar hitungan berubah menjadi HEC-RAS Finished Computations seperti ditampilkan pada Gambar 3.14. Tutup kedua layar hitungan sehingga hanya layar utama HEC-RAS yang muncul di layar komputer agar layar tidak terlalu ramai.

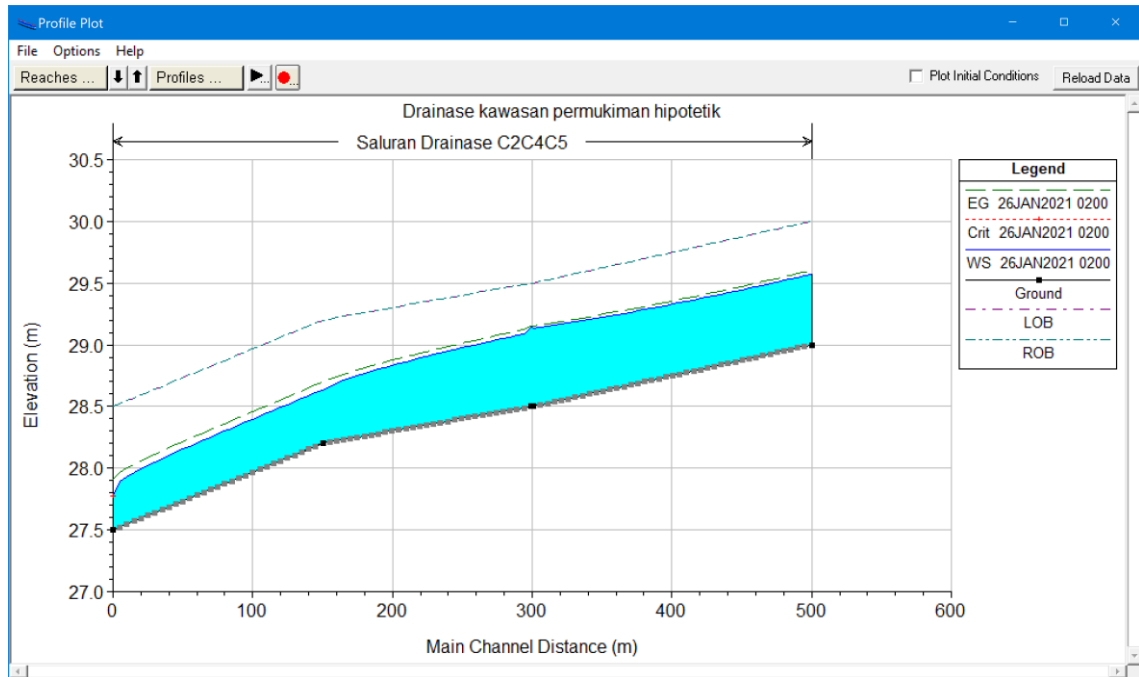


Gambar 3.13 Layar pengaturan hitungan aliran tak permanen dalam HEC-RAS



Gambar 3.14 Layar HEC-RAS Finished Computations yang menunjukkan bahwa hitungan simulasi aliran tak permanen telah selesai dengan sukses

Langkah kelima simulasi aliran dengan HEC-RAS adalah penampilan hasil hitungan. HEC-RAS menyediakan bentuk tampilan hasil hitungan berupa tabel dan grafik. Ada berbagai bentuk tabel dan grafik, antara lain ditampilkan pada Gambar 3.15 dan Gambar 3.16.



Gambar 3.15 Contoh tampilan grafis hasil simulasi aliran tak permanen dengan HEC-RAS

The screenshot shows the Cross Section Output window with the following parameters: River: Saluran Drainase, Profile: 26JAN2021 0200, Reach: C2C4C5, RS: 500, Plan: TP. The table below summarizes the key simulation results.

Plan: TP Saluran Drainase C2C4C5 RS: 500 Profile: 26JAN2021 0200					
E.G. Elev (m)	29.60	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.03	Wt. n-Val.		0.020	
W.S. Elev (m)	29.57	Reach Len. (m)	4.97	4.97	4.97
Crit W.S. (m)		Flow Area (m ²)		0.26	
E.G. Slope (m/m)	0.002588	Area (m ²)		0.26	
Q Total (m ³ /s)	0.19	Flow (m ³ /s)		0.19	
Top Width (m)	0.45	Top Width (m)		0.45	
Vel Total (m/s)	0.75	Avg. Vel. (m/s)		0.75	
Max Chl Dpth (m)	0.57	Hydr. Depth (m)		0.57	
Conv. Total (m ³ /s)	3.8	Conv. (m ³ /s)		3.8	
Length Wtd. (m)	4.97	Wetted Per. (m)		1.59	
Min Ch El (m)	29.00	Shear (N/m ²)		4.10	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	21.54	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.01	Cum Volume (1000 m ³)		0.14	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m ²)		0.27	

Below the table is a section for 'Errors, Warnings and Notes' which is currently empty.

Gambar 3.16 Contoh tabulasi hasil simulasi aliran tak permanen dengan HEC-RAS

Langkah keenam, terakhir, dalam simulasi aliran dengan HEC-RAS adalah pembacaan hasil simulasi dengan cermat dan penginterpretasian hasil simulasi. Interpretasi ini sangat penting

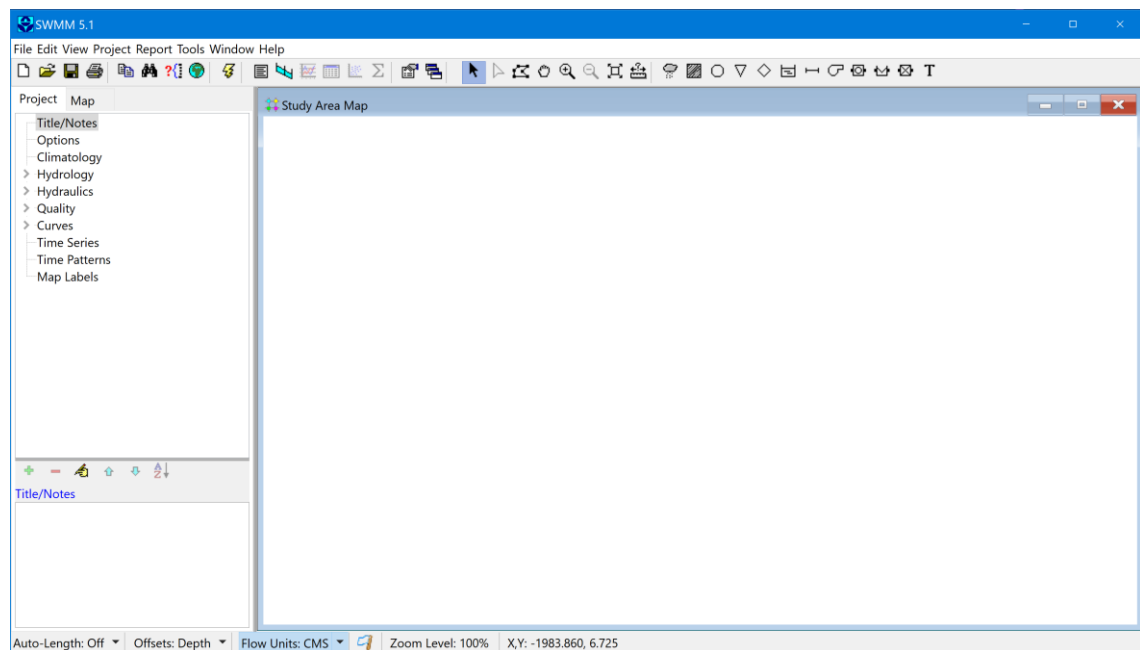
untuk memahami hasil simulasi dan mendapatkan simpulan yang benar dan tepat. Pemahaman yang baik terhadap hidraulika sangat diperlukan untuk mendapatkan simpulan yang benar dan tepat.

4 SWMM

4.1 Instalasi dan Pengaturan SWMM

File instalasi perangkat lunak SWMM dapat diunduh dari laman EPA yang beralamat di <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. *Mini training* ini memakai SWMM 5.1.015, versi terbaru saat ini. Versi ini terbit pada 20 Juli 2020. Ukuran file instalasi adalah 32 MB.

Gambar 4.1 menampilkan layar utama SWMM ketika SWMM diaktifkan untuk pertama kalinya. Seperti lazimnya layar perangkat lunak aplikasi, layar utama SWMM memiliki menu, papan tombol, editor, dan status. Bagian-bagian layar utama itu tidak akan dipaparkan secara rinci di sini. SWMM tidak terlalu membutuhkan pengaturan awal. Sistem satuan dapat diatur ke sistem metrik melalui pilihan Flow Unit yang ada di bagian bawah layar utama. Setiap kali SWMM diaktifkan, Flow Unit adalah CFS (*cubic feet per second*). Ubah Flow Unit ke CMS (*cubic meter per second*). Dengan pilihan CMS, maka SWMM akan memakai sistem satuan metrik.

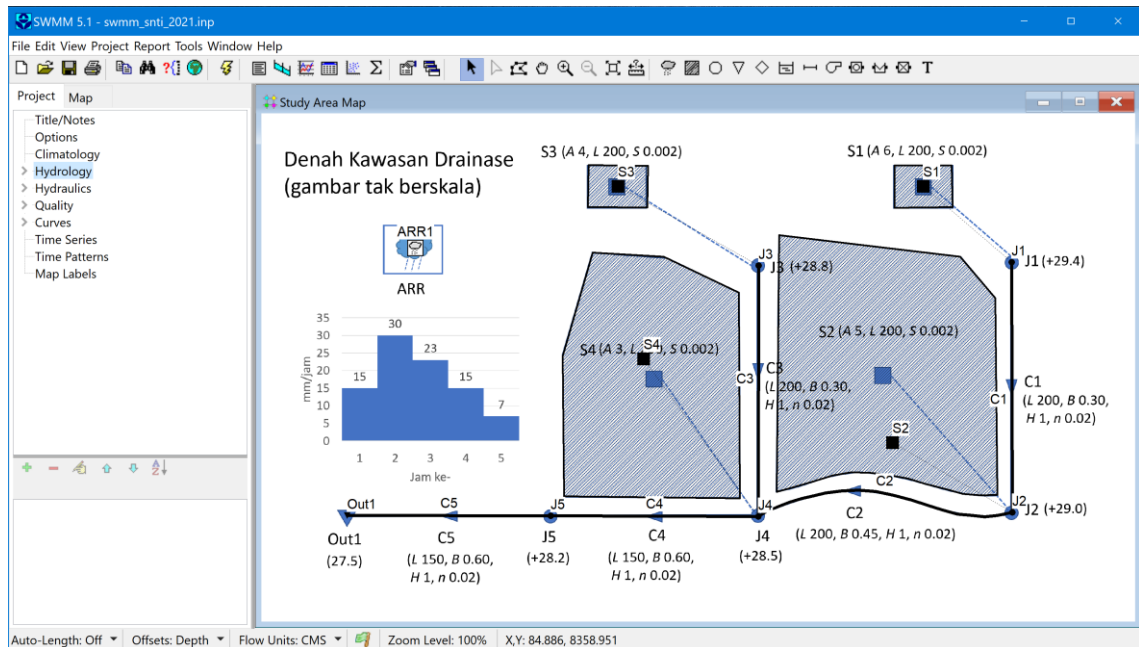


Gambar 4.1 Layar utama SWMM

4.2 Transformasi Hujan Menjadi Aliran Permukaan dan Simulasi Aliran di Saluran Drainase

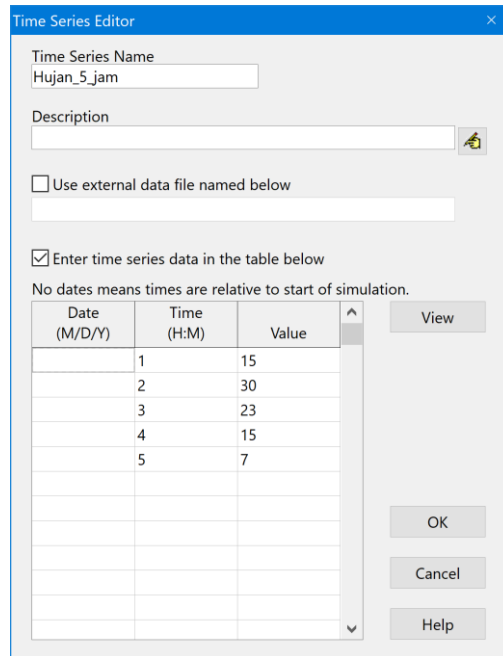
SWMM melakukan hitungan hidrologi dan hidraulika. SWMM melakukan transformasi hujan di kawasan tangkapan hujan (*subcatchment*) menjadi limpasan langsung di lahan. SWMM meneruskan limpasan langsung ini ke saluran (*conduit*) melalui sebuah *junction* dan kemudian melakukan hitungan hidraulika aliran di saluran. Hasil hitungan SWMM adalah debit aliran permukaan dari kawasan tangkapan hujan, profil muka air di saluran, dan profil kecepatan aliran di saluran.

Langkah pertama pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik menggunakan SWMM adalah pemodelan jaringan hidrologi-hidraulika kawasan. Untuk memudahkan langkah ini, gambar skema kawasan drainase (Gambar 1.2) dipakai sebagai gambar latar. Pilih menu View | Backdrop | Load. Pilih *file* gambar skema. Buatlah *subcatchments* (S1, S2, S3, S4), *junction nodes* (J1, J2, J3, J4), dan *outfall node* (Out1). Setelah itu, hubungkan *subcatchment* ke *junction* dengan *conduits links* (C1, C2, C3, C4, C5). Tambahkan *rain gage* ARR1.



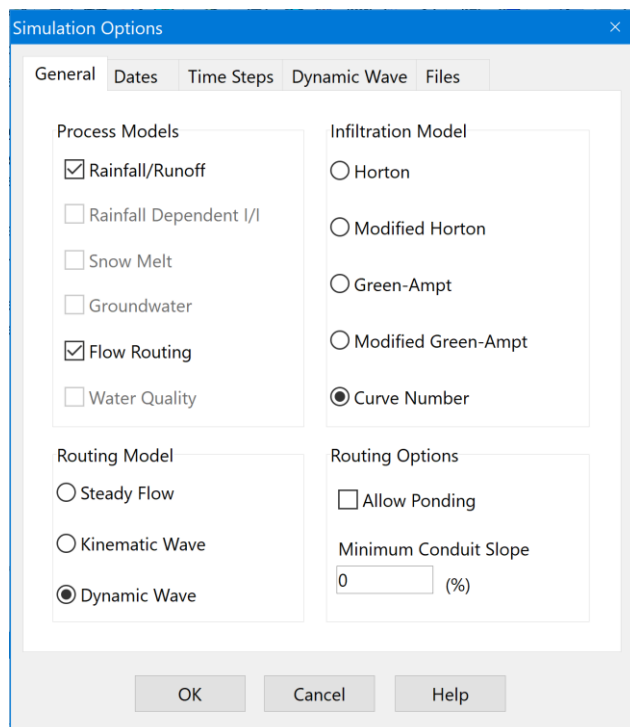
Gambar 4.2 Layar utama SWMM setelah pembuatan model jaringan drainase

Langkah kedua pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik dengan SWMM adalah pemasukan data teknis *subcatchments*, *nodes*, dan *links* sesuai Tabel 1.1, Tabel 1.2, dan Tabel 1.3. Data hujan di ARR1 dimasukkan sebagai *times series* (Gambar 4.3). Data hujan ini berlaku di seluruh kawasan (*subcatchments*) S1, S2, S3, dan S4. Langkah pengisian data teknis akan dipaparkan secara rinci pada saat *mini training*. Dalam pemasukan data teknis ini, peserta *mini training* akan dipandu oleh instruktur.



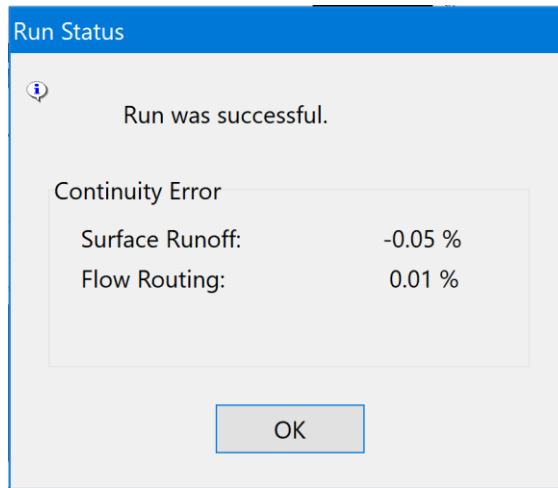
Gambar 4.3 Time series data hujan di ARR1 dalam SWMM

Langkah ketiga pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik dengan SWMM adalah pengaturan parameter hitungan hidrologi dan hidraulika. Pengaturan meliputi antara lain waktu atau durasi simulasi, langkah hitungan (*time step*), metode hitungan kehilangan air, dan metode penelusuran aliran. Gambar 4.4 menampilkan salah satu layar editor pengaturan parameter hitungan. Peserta *mini training* akan dipandu oleh instruktur untuk mengatur parameter hitungan.



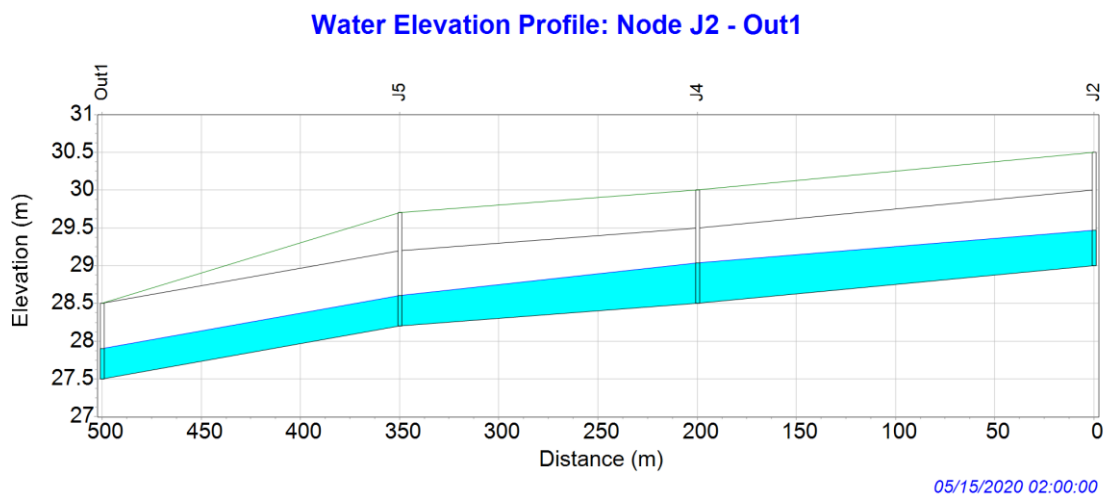
Gambar 4.4 Salah satu layar editor pengaturan parameter hitungan dalam SWMM

Langkah keempat pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik dengan SWMM adalah pelaksanaan hitungan. Pilih menu Project | Run Simulation dari layar utama SWMM. Ketika hitungan selesai dan sukses, maka layar Run Status akan tampak seperti Gambar 4.5.

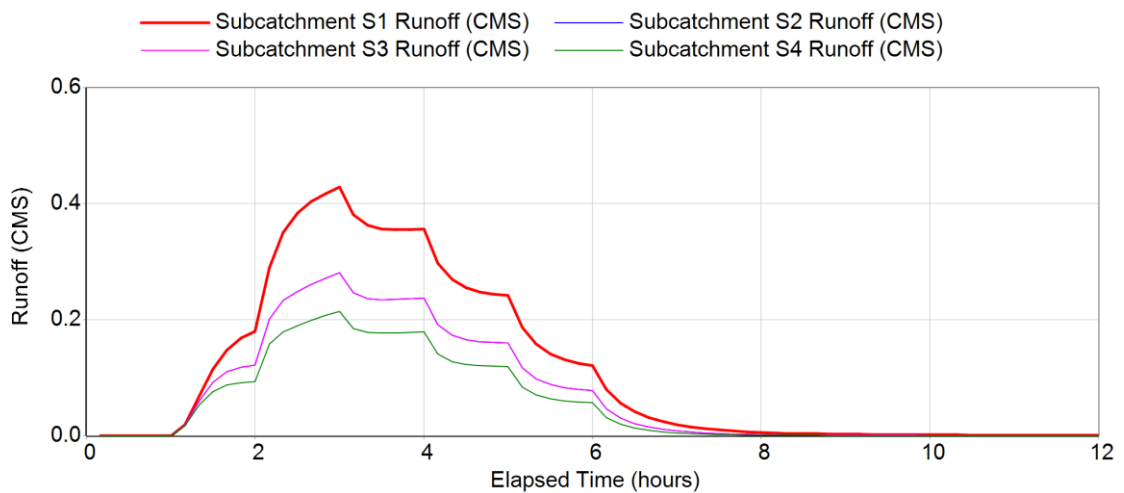


Gambar 4.5 Layar status hitungan SWMM yang menunjukkan bahwa hitungan berhasil

Langkah kelima pemodelan drainase kawasan permukiman hipotetik dengan SWMM adalah penampilah hasil hitungan. Seperti halnya dua perangkat lunak yang telah dipaparkan pada Bab 2 dan 3, SWMM menampilkan hasil hitungan dalam bentuk grafik atau tabel. Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menampilkan contoh tampilan hasil hitungan SWMM dalam bentuk grafik. Gambar 4.8 menampilkan cuplikan tampilan tabel hasil hitungan SWMM.



Gambar 4.6 Profil muka air di saluran drainase kawasan permukiman hipotetik hasil hitungan SWMM



Gambar 4.7 Hidrograf debit aliran langsung dari kawasan S1, S2, S3, dan S4 hasil hitungan SWMM

DaysHours	Subcatch S1	Subcatch S2	Subcatch S3	Subcatch S4
00:10:00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:20:00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:30:00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:40:00	0.00	0.00	0.00	0.00
00:50:00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00:00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:10:00	0.02	0.02	0.02	0.02
01:20:00	0.07	0.06	0.06	0.05
01:30:00	0.12	0.09	0.09	0.08
01:40:00	0.15	0.11	0.11	0.09
01:50:00	0.17	0.12	0.12	0.09
02:00:00	0.18	0.12	0.12	0.09
02:10:00	0.29	0.20	0.20	0.16
02:20:00	0.35	0.23	0.23	0.18
02:30:00	0.38	0.25	0.25	0.19
02:40:00	0.40	0.26	0.26	0.20

Gambar 4.8 Cuplikan tampilan hasil hitungan SWMM yang berupa tabel

Langkah keenam, terakhir, dalam simulasi aliran dengan SWMM adalah pembacaan hasil simulasi dengan cermat dan penginterpretasian hasil simulasi. Seperti halnya pada dua perangkat lunak yang dipaparkan pada Bab 2 dan 3, interpretasi hasil simulasi sangat penting dilakukan untuk memahami hasil simulasi dan mendapatkan simpulan yang benar dan tepat. Pemahaman yang baik terhadap hidrologi dan hidraulika sangat diperlukan untuk mendapatkan simpulan yang benar dan tepat.

Ucapan Terimakasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Panitia SNTI 2021 yang telah memrogramkan *mini training* penerapan perangkat lunak bidang keairan kepada peserta *mini training*. Kebutuhan terhadap hitungan hidrologi-hidraulika dalam praktik profesi sangat tinggi. Di sisi lain, jumlah enjinir bidang hidrologi dan hidraulika tidak banyak. Dari jumlah enjinir yang sedikit itu, hanya sebagian kecil yang menguasai perangkat lunak bidang keairan. Melalui *mini training* ini, penulis

berharap dapat menarik minat enjinir bidang keairan, terlebih enjinir muda, untuk mempelajari dan menguasai berbagai perangkat lunak hidrologi-hidrolika.

Dalam menyusun modul *mini training* ini, penulis dibantu oleh seorang kolega, Sigit Nurhady, ST, M.Eng. Untuk itu, penulis menyampaikan terima kasih kepadanya.

Daftar Acuan

Hydrologic Engineering Center, 2010, *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 4.1, January 2010*, U. S. Army Corps of Engineers, Davis, CA.

Hydrologic Engineering Center, 2020, *HEC-HMS Users Manual*, [HEC-HMS Users Manual \(army.mil\)](https://www.army.mil), diakses pada 23 Januari 2021.

Rossman, L.A. and Hubert, W.C., 2016, *Storm Water Management Model Reference Manual, Volume 1 – Hydrology (Revised)*, National Risk Management Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio.

Mini Training “Aplikasi Perangkat Lunak Hidrologi-Hidraulika (HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM) pada Kasus Drainase Kawasan Permukiman”

Materi

Pengenalan dan contoh aplikasi HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM untuk melakukan hitungan hidrologi dan hidraulika drainase kawasan.

Target

Setelah mengikuti *mini training*, peserta mampu mengoperasikan HEC-HMS, HEC-RAS, dan SWMM untuk menransformasikan hujan menjadi limpasan langsung dan menyimulasikan aliran di saluran drainase sederhana.

Agenda Mini Training

Waktu	Materi
07.00-07.15	Registrasi, persiapan
07.15-07.45	Pre-test
07.45-08.00	Jeda untuk pergantian sesi Pembagian file instalasi software dan data pendukung
08.00-08.30	Pengantar tentang software HEC-HMS, HEC-RAS, SWMM Instalasi software di laptop peserta
08.30-10.00	HEC-HMS: transformasi hujan-aliran
10.00-12.00	HEC-RAS: simulasi aliran di saluran drainase
12.00-13.00	ISHOMA
13.00-15.00	SWMM: transformasi hujan-aliran dan simulasi aliran di saluran drainase
15.00-15.30	Post test

-oOo-