

SIMULASI KARAKTERISTIK GENANGAN BANJIR MENGUNAKAN HEC-RAS 5 (STUDI KASUS SUBSISTEM SEKANAK DI KOTA PALEMBANG)

M.B. Al Amin^{1,*}, L. Ulfah², H. Haki³ dan Sarino⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
(Jl. Raya Prabumulih - Km 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan)

Abstract

This paper deals with the modelling and simulation of flood inundation characteristics i.e. boundaries, depths, and velocities within Sekanak Subsystem which is one of flood-prone areas in Palembang City, Indonesia. The area of subsystem being studied was about 11 km². The new hydrodynamic model, HEC-RAS 5.0 was used to simulate the flood flow regimes by integrating the one-dimensional and two-dimensional model, known as combined 1D/2D flow model. The geometry of drainage channel was used as 1D domain to simulate the flow routing along the channel based on certain boundary conditions i.e. 25-yrs flood discharge and tide level both in upstream and downstream. The 2D domain in the model was the geometry of area beside the channel. The flow of 1D and 2D domain were connected by lateral weir, so the water which overflowing from the channel could be routed within 2D areas. The result shows that the area of inundation during lowest tide level is about 3.43 km² with the velocities and depths range between 0 – 1.18 m/s and 0 – 3.08 m respectively. Furthermore, for average tide level, the area of inundation increases to 3.54 km² with the velocities and depths range between 0 – 1.30 m/s and 0 – 3.11 m respectively. The maximum potential of inundation during the highest tide level is about 4.46 km² with the velocities and depths respectively range between 0 – 2.64 m/s and 0 – 3.40 m. Therefore, it can be concluded that almost half of subsystem area potentially being inundated (40.11%), so it requires appropriate flood control and management to reduce the risk.

Key Words: *flood mapping, GIS, hydrodynamic model, urban drainage*

1. PENDAHULUAN

Permasalahan banjir merupakan salah satu masalah klasik yang sangat sering melanda Indonesia, khususnya di kawasan kota. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) dalam menyebutkan data kejadian banjir di Indonesia adalah yang terbanyak yaitu 31,7 % dari total 1.928 kejadian bencana yang tercatat sampai dengan Oktober 2016 (<http://dibi.bnpb.go.id/>) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1. Kejadian banjir tersebut paling banyak terjadi pada Januari sampai dengan Februari (Gambar 2). Hal ini dapat dipahami karena banjir tersebut umumnya terjadi saat musim penghujan.

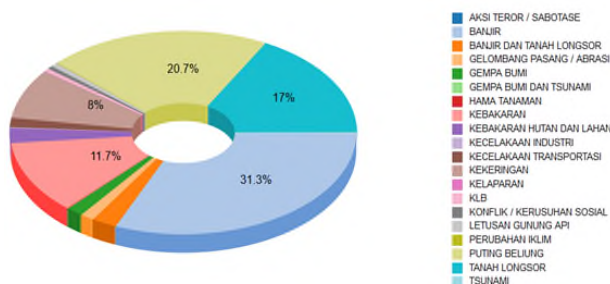
National Research Council (2009) menjelaskan bahwa genangan banjir umumnya diakibatkan oleh luapan sungai yang terjadi ketika saluran di hilir menerima volume air yang melebihi kapasitasnya diakibatkan oleh hujan deras, pencairan es salju, blokade oleh es dan debris, serta keruntuhan bendungan dan tanggul. Peningkatan volume limpasan dapat disebabkan oleh perubahan tata guna lahan, yang mana lahan terbuka dikonversi menjadi

lahan terbangun sehingga air hujan yang melimpas lebih banyak dibandingkan dengan yang meresap ke dalam tanah (Al Amin, Sarino dan Haki, 2016; Al Amin, Sarino dan Ilmiaty, 2016). Oleh karena sungai berhubungan langsung dengan lingkungan sekitarnya, maka kawasan di sepanjang sungai merupakan area yang sangat rentan dan berisiko terjadi genangan banjir.

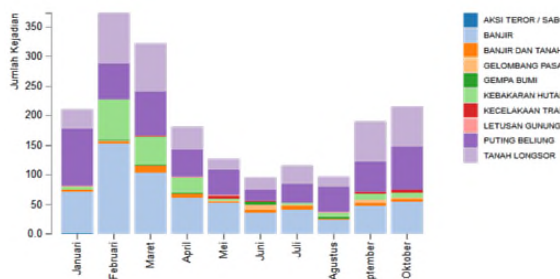
Untuk mengurangi risiko dan jumlah kejadian banjir maka diperlukan perencanaan sistem pengendalian banjir yang tepat dan terpadu. Kodoatie (2013) menjelaskan bahwa dalam perencanaan sistem pengendalian banjir di suatu kawasan perlu adanya evaluasi dan analisis yang memperhatikan daerah atau cakupan genangan banjir. Karakteristik banjir berupa luasan/cakupan genangan, kedalaman genangan, dan kecepatan aliran perlu dipetakan sehingga dapat menjadi landasan yang sangat dasar dan penting dalam perencanaan pengendalian banjir. Peta banjir juga menjadi kebutuhan dalam perencanaan suatu kawasan oleh para pengembang untuk menentukan asuransi dan jaminan banjir dari bangunan gedung, rumah, perkantoran dan

^{*} Corresponding Author : baitullah@unsri.ac.id

sebagainya. Disamping itu, pemerintah juga membutuhkan peta banjir dalam mendukung perencanaan infrastruktur, fasilitas transportasi, dan perencanaan lainnya termasuk persiapan dan tanggap darurat banjir (*National Research Council*, 2009).



Gambar 1. Statistik bencana di Indonesia
(sumber: <http://dibi.bnpb.go.id> diakses 18 Oktober 2017)



Gambar 2. Statistik bencana di Indonesia tiap bulannya
(sumber: <http://dibi.bnpb.go.id> diakses 18 Oktober 2017)

Pemetaan banjir (*flood mapping*) merupakan rangkaian analisis yang dilakukan untuk menghasilkan peta banjir yang setidaknya memuat cakupan atau batasan genangan, zona risiko banjir, dan kedalaman genangan (FEMA, 2017). Untuk menghasilkan peta banjir yang detail dan realistis diperlukan analisis hidraulika melalui pemodelan dan simulasi hidrodinamika yang diintegrasikan dengan sistem informasi geografis (SIG). Perkembangan model hidrodinamika saat ini telah memungkinkan untuk dilakukan pemodelan yang sangat kompleks sehingga diharapkan dapat menghasilkan analisis yang lebih cepat dan akurat. Salah satu model hidrodinamika yang sudah dikenal luas adalah *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS)*. Pada saat ini, HEC-RAS telah mencapai versi 5 (HEC-RAS 5) yang telah beredar sejak akhir tahun 2016 dengan kapabilitasnya yang telah mampu memodelkan aliran satu (1D) dan dua dimensi (2D).

Makalah ini membahas mengenai pemodelan dan simulasi banjir menggunakan model hidrodinamika HEC-RAS 5.0 untuk memetakan karakteristik genangan banjir. Lokasi penelitian mengambil studi kasus di Subsistem Sekanak, yaitu salah satu subsistem di Kota Palembang yang rawan

banjir. Luas Subsistem Sekanak adalah sekitar 11 km², dimana sungai utamanya adalah Sungai Sekanak yang bermuara ke Sungai Musi. Pasang surut Sungai Musi turut mempengaruhi aliran di Sungai Sekanak. Pada saat pasang maksimum, banyak area di subsistem Sekanak yang memiliki elevasi yang lebih rendah dibandingkan elevasi muka air. Hal ini menyebabkan area-area tersebut berisiko tinggi terhadap banjir (Putra, dkk., 2011). Subsistem Sekanak dipilih sebagai lokasi penelitian juga disebabkan karena merupakan kawasan di pusat Kota Palembang yang terdiri dari pemukiman padat, pasar dan niaga, perkantoran, dan pusat pemerintahan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Pemetaan Banjir

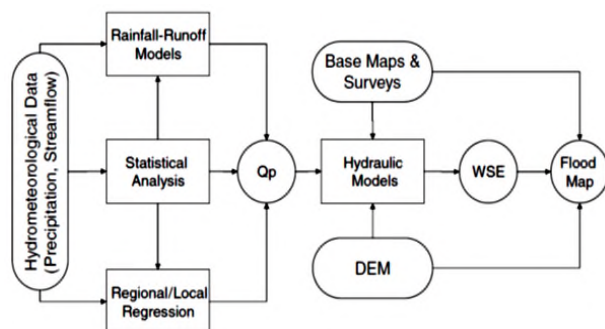
Pemetaan genangan banjir di sungai membutuhkan analisis hidrologi dan hidraulika untuk menentukan elevasi dasar permukaan dan sungai, kedalaman genangan, lebar dataran banjir, debit air yang dialirkan oleh saluran saat banjir, dan hambatan terhadap aliran (FEMA, 2003 dalam *National Research Council*, 2009).

Terdapat empat metode yang dapat digunakan untuk kajian dan pemetaan banjir seperti yang dijelaskan dalam *National Research Council* (2009), yaitu: 1) kajian detail (*detailed studies*), 2) kajian detail terbatas (*limited detailed studies*), 3) kajian pendekatan (*approximate studies*), dan 4) redelineasi. Metode kajian detail mensyaratkan data pengukuran sungai dan atau model hujan-limpasan dalam analisis hidrologi, sedangkan analisis hidraulika membutuhkan pemodelan aliran (aliran mantap/*steady* atau dinamis) dengan data survei bangunan sungai yang detail. Adapun metode kajian detail terbatas mensyaratkan data pengukuran sungai untuk analisis hidrologi, sedangkan untuk analisis hidraulika diperlukan pemodelan aliran mantap tanpa informasi detail mengenai bangunan sungai. Metode kajian pendekatan dilakukan dengan menentukan atau memperkirakan batas-batas genangan tanpa kajian teknis, misalnya dengan membaca peta topografi dan survei lapangan. Metode yang keempat, yaitu redelineasi adalah dengan membuat ulang peta banjir berdasarkan histori elevasi muka air banjir di atas peta topografi yang baru.

Umumnya metode yang digunakan dalam pemetaan banjir terbatas pada metode kajian pendekatan dan redelineasi seperti yang dilakukan oleh Kristyawan dan Firdaus (2010), Sari dan Murti (2013), Hamdani, Permana dan Susetyaningsih (2014), Aji, Sudarsono dan Sasmito (2014), Ariyora, Budisusanto dan Prasasti (2015), Angriani dan Kumalawati (2016), dan Rahman (2017). Informasi yang disajikan dalam peta banjir yang dihasilkan dari

kedua metode tersebut terbatas pada hanya kedalaman genangan dan luasan daerah rawan banjir saja. Untuk menghasilkan informasi lengkap tentang karakteristik genangan banjir yang memuat debit, kecepatan aliran, kedalaman genangan dan luasan banjir, maka dibutuhkan pemodelan dan simulasi hidrodinamik seperti yang telah dilakukan oleh Sarhadi, Soltani dan Modarres (2012), Malik dan Ahmad (2014), Al Amin (2015), Giustarini, dkk. (2015), Hirtan (2015), Mina dan Ying (2015), Nut dan Plermkamom (2015), Getahun dan Gebre (2015), Ali, Anik dan Khan (2016), Quiroga, dkk. (2016), Rahman dan Ali (2016), Al Amin, Sarino dan Haki (2017), Hajibayov, Ozkul dan Terzi (2017). Walaupun demikian, biaya yang diperlukan untuk pemetaan banjir yang detail lebih besar daripada metode lainnya. Biaya tersebut diperlukan untuk kegiatan survei dan pengukuran, pengolahan data, dan analisis. Oleh karena itu, diperlukan penyesuaian antara tingkat akurasi dan detail peta banjir yang dibutuhkan terhadap anggaran yang tersedia.

Dalam kajian detail untuk pemetaan banjir, tahapan analisis hidrologi dan hidraulika diberikan dalam bagan alir seperti pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan skema dan tahapan dalam pemetaan banjir. Analisis hidrologi dilakukan terlebih dahulusehingga outputnya digunakan dalam analisis hidraulika. Data hidrometeorologi seperti hujan dan aliran di sungai (kecepatan, kedalaman, debit) digunakan sebagai input yang kemudian dihitung menggunakan model hujan-limpasan, analisis frekuensi (metode statistik), atau metode regresi (*rating-curve*) seperti yang dilakukan oleh Lamichhane dan Sharma (2017) untuk menghasilkan hidrograf banjir dan debit puncak (Q_p). Output analisis hidrologi kemudian digunakan sebagai input untuk kondisi batas dalam analisis hidraulika. Model hidrodinamika digunakan untuk menghitung elavasi muka air (*water surface elevation/ WSE*) banjir. Dengan input data topografi berupa *digital elevation model (DEM)* dan peta dasar, maka dapat disimulasikan karakteristik genangan banjir sehingga dihasilkan peta banjir yang lengkap.



Gambar 3. Bagan alir pemetaan banjir
 (National Research Council, 2009)

Model Hidrodinamika untuk Simulasi Banjir

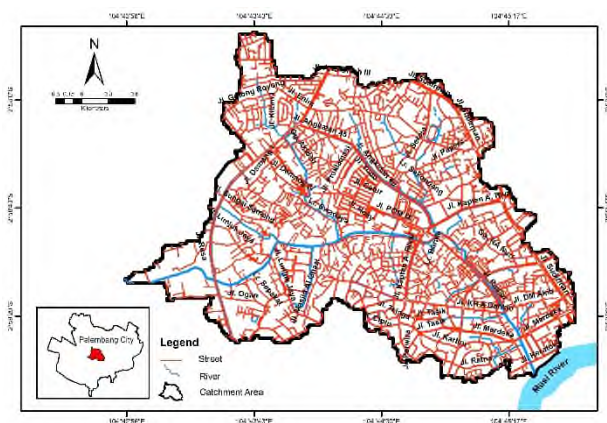
Genangan banjir dapat disimulasikan menggunakan model aliran satu (1D), dua (2D), dan tiga dimensi (3D) secara spasial. Walaupun demikian, model aliran 2D dan atau integrasi/ hibrid/ kombinasi aliran 1D dan 2D lebih sesuai digunakan untuk kawasan kota disebabkan representasi 2D memberikan hasil perhitungan dan visualisasi yang lebih kompleks dan realistis. Namun, model aliran 2D membutuhkan waktu perhitungan yang lebih lama tergantung pada interval waktu dan resolusi grid yang digunakan (Neal, Bates dan Fretwell, 2012 dalam Di Baldassarre, 2012). Adapun model aliran 3D untuk pemodelan banjir skala yang luas adalah tidak efektif dan sangat jarang digunakan (USACE, 2002 dalam Duan, dkk., 2009).

Meskipun banyak sekali model hidrodinamika yang telah beredar dan digunakan secara luas, namun beberapa model hidrodinamika aliran 2D yang telah diakui oleh *Federal Emergency Management Agency (FEMA)* diantaranya adalah AdH, FESWMS 2DH, FLO-2D, Mike Flood HD, TABS RMA2, XPSWMM 2D/ XPSstorm 2D, HEC-RAS 5, SRH-2D, S2DMM, dan TUFLOW (FEMA, 2017).

Model hidrodinamika HEC-RAS 5.0 yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers (USACE)* dapat digunakan untuk simulasi genangan banjir aliran dinamik 2D dan kombinasi 1D dan 2D baik menggunakan persamaan Saint Venant atau *Diffusion Wave* (Brunner, 2016). HEC-RAS 5.0 merupakan model hidrodinamika yang baru beredar sebagai pengembangan dari HEC-RAS 4 yang telah digunakan secara luas sebelumnya. Jumlah penelitian yang menggunakan HEC-RAS 5.0 tersebut terbilang masih sangat sedikit, diantaranya beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Quiroga, dkk. (2016), Ali, Anik dan Khan (2016), Hajibayov, Ozkul dan Terzi (2017).

3. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian



Gambar 4. Lokasi penelitian

Penelitian ini mengambil studi kasus Substems Sekanak di Kota Palembang yang mencakup empat kecamatan, yaitu Kecamatan Lorok Pakjo, Bukit Lama, 24 Ilir, dan 25 Ilir seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 3. Sungai Sekanak bermuara ke Sungai Musi sehingga alirannya masih dipengaruhi oleh pasang surut Sungai Musi.

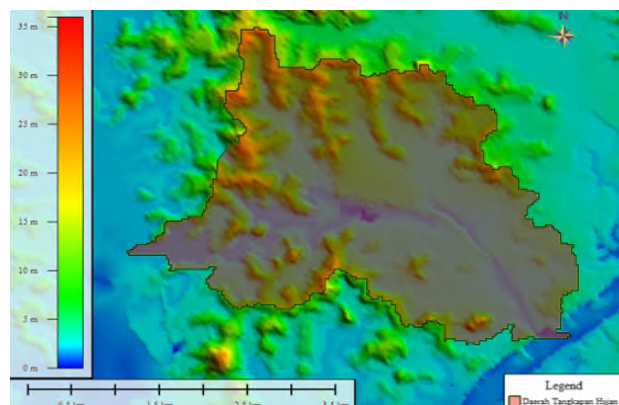
Tahapan Analisis

Rangkaian analisis yang dilakukan dalam penelitian ini secara berurutan dirinci sebagai berikut:

- 1) Delineasi *catchment area* dari lokasi penelitian berdasarkan peta *digital elevation model (DEM)* dengan bantuan *software GIS*.
- 2) Perhitungan curah hujan rancangan melalui analisis frekuensi untuk menentukan curah hujan periode ulang T tahun dengan metode distribusi normal, log-normal, log-Pearson III, dan Gumbel. Uji kecocokan yang digunakan adalah metode chi-kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.
- 3) Perhitungan intensitas hujan rancangan dengan menggunakan rumus Mononobe.
- 4) Perhitungan distribusi curah hujan rancangan dengan metode Mononobe modifikasi dan perhitungan hujan efektif menggunakan metode SCS-CN.
- 5) Analisis hidrograf satuan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis (HSS) SCS untuk menghitung debit limpasan.
- 6) Perhitungan debit banjir rancangan berdasarkan HSS SCS dan hujan efektif yang dihitung pada poin 4 dan 5 di atas.
- 7) Simulasi profil muka air banjir dan genangan banjir menggunakan HEC-RAS 5.0.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Delineasi *Catchment Area*

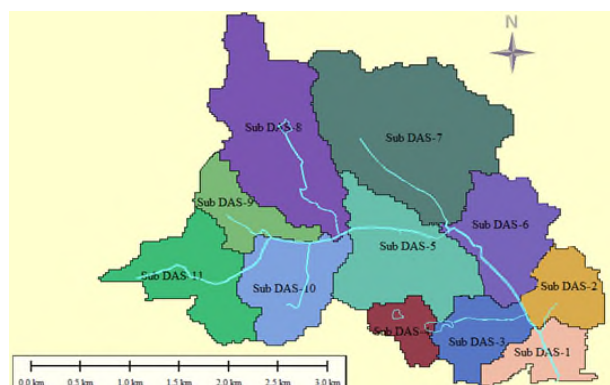


Gambar 5. *Catchment area* dari Substems Sekanak overlay dengan peta DEM

Dalam penelitian ini, daerah tangkapan hujan (*catchment area*) Substems Sekanak ditentukan berdasarkan peta DEM menggunakan bantuan

program GIS seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 4. Peta DEM tersebut memiliki resolusi 10 m x 10 m yang dihasilkan dari analisis data titik-titik tinggi (*spot heights*) dan kontur. Substems Sekanak kemudian dibagi menjadi 11 *subcatchment* seperti yang diberikan dalam Gambar 5.

Dari hasil delineasi tersebut diperoleh luasan total Substems Sekanak adalah 11,11 km². Tabel 1 memberikan rincian luasan untuk setiap *subcatchment area*.



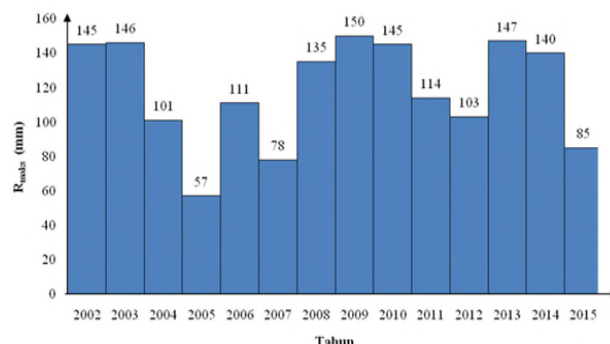
Gambar 6. Pembagian *subcatchment area*

Tabel 1. Luasan setiap *subcatchment area* di Substems Sekanak

<i>Subcatchment</i>	Luas, A (km ²)
S - 1	0,479
S - 2	0,535
S - 3	0,589
S - 4	0,337
S - 5	1,349
S - 6	0,984
S - 7	2,463
S - 8	1,885
S - 9	0,544
S - 10	0,921
S - 11	1,025
Total	11,11

Hujan Rancangan

Hujan rancangan dihitung menggunakan analisis frekuensi berdasarkan data curah hujan harian maksimum selama 14 tahun (2002 – 2005) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 6. Data hujan tersebut diperoleh dari stasiun pencatatan hujan di kampus Tridinanti yang dikelola oleh BMKG Palembang.



Gambar 7. Curah hujan harian maksimum terukur (sumber data: BMKG Palembang, 2016)

Dalam penelitian ini diterapkan empat distribusi probabilitas, yaitu distribusi normal, log-normal, log-Pearson tipe III, dan Gumbel yang persamaannya dijelaskan secara rinci dalam Triatmodjo (2008), Mays (2001) dan beberapa literatur lainnya. Tabel 2 memberikan nilai hujan rancangan untuk setiap jenis distribusi probabilitas.

Metode pengujian distribusi probabilitas yang dilakukan dalam penelitian ini ada dua, yaitu metode chi-kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Berdasarkan kedua uji tersebut, diperoleh bahwa distribusi normal adalah distribusi yang terbaik untuk seri data hujan yang digunakan.

Tabel 2. Hujan rancangan (mm/hari)

Periode Ulang	Distribusi Probabilitas			
(tahun)	Normal	Log-Normal	Log-Pearson Tipe III	Gumbel
2	118,357	114,133	121,936	114,071
5	143,737	146,109	145,767	147,999
10	157,031	166,289	155,009	170,464
25	169,720	188,147	162,337	198,846
50	180,295	208,541	165,813	219,901
100	188,755	226,437	168,172	240,804

Intensitas Hujan Rancangan

Intensitas hujan rancangan dihitung menggunakan rumus Mononobeyang hasilnya diberikan dalam Tabel 3 di bawah ini. Untuk luasan Subsystem Sekanak sebesar 11,11 km², maka periode ulang yang digunakan adalah 25 tahun sebagai kriteria perancangan hidrologi.

Tabel 3. Intensitas hujan rancangan (mm/jam)

Durasi	Periode Ulang, T (tahun)					
t (menit)	2	5	10	25	50	100
10	135,48	164,53	179,75	194,281	206,386	216,070
40	53,767	65,297	71,336	77,101	81,904	85,748
80	33,871	41,134	44,939	48,570	51,597	54,018
120	25,849	31,391	34,295	37,066	39,376	41,223
160	21,338	25,913	28,310	30,597	32,504	34,029
200	18,388	22,331	24,397	26,368	28,011	29,325
240	16,284	19,775	21,604	23,350	24,805	25,969
280	14,693	17,844	19,494	21,070	22,383	23,433
320	13,442	16,324	17,834	19,275	20,476	21,437
360	12,427	15,091	16,487	17,820	18,930	19,818

Distribusi Hujan

Distribusi hujan dihitung menggunakan metode Mononobe modifikasi yang merupakan distribusi hujan sintetis dikarenakan ketiadaan pola atau distribusi hujan jam-jaman di lokasi penelitian. Tabel 4 di bawah ini memberikan rincian distribusi hujan di lokasi penelitian untuk periode ulang 25 tahun.

Tabel 4. Distribusi hujan rancangan periode ulang 25 tahun

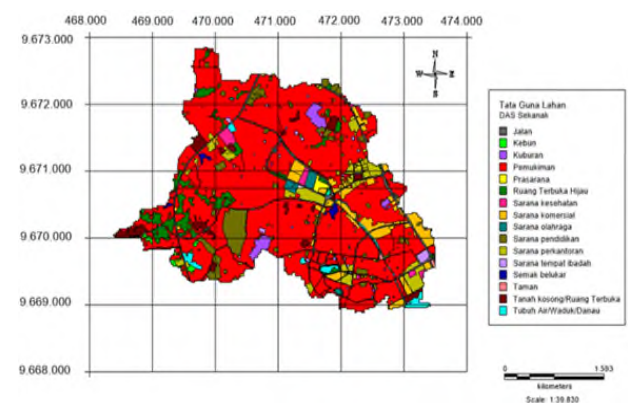
T_d	I_t	$I_t \cdot T_d$	Δp	P_i	P_i
mnt	mm/jam	mm	mm	%	mm
10	194,281	32,380	32,380	30,285	51,40
40	77,101	51,400	4,700	4,396	7,461
80	48,570	64,760	2,819	2,637	4,475
120	37,066	74,132	2,119	1,982	3,364
160	30,597	81,593	1,737	1,624	2,757
200	26,368	87,893	1,490	1,394	2,365
240	23,350	93,401	1,316	1,231	2,089
280	21,070	98,325	1,185	1,108	1,881
320	19,275	102,801	1,082	1,012	1,718
360	17,820	106,917	0,999	0,935	1,586

Hujan Efektif

Hujan efektif dihitung menggunakan metode SCS-CN seperti yang dijelaskan dalam Mays (2001) yang tahapan perhitungan dijelaskan dalam paragraf-paragraf di bawah ini.

1) Curve Number (CN)

Parameter *curve number* (CN) diidentifikasi berdasarkan jenis tata guna lahan di lokasi penelitian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 8. Adapun rincian nilai CN diberikan dalam Tabel 5.



Gambar 8. Peta tata guna lahan di lokasi penelitian (Sumber data: BAPPEDA Palembang, 2013)

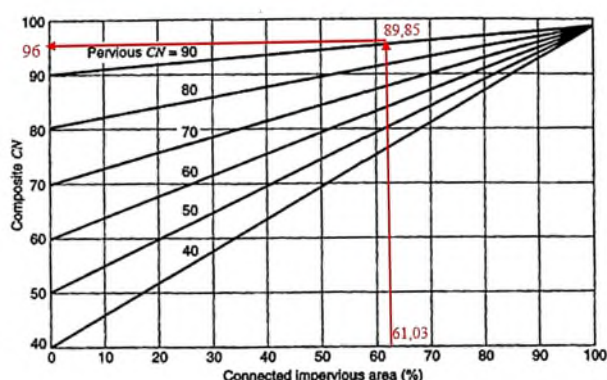
Tabel 5. Rincian tata guna lahan dan nilai CN

Tata Guna Lahan	Luas, A (km ²)	CN	$A \times CN$	% Imperviousness	$A \times \% Imp$
Paved road	0,461	98	45,139	90	3,731
Garden	0,043	88	3,824	5	0,020
Cemeteries	0,151	84	12,698	5	0,068
Residential area	7,578	90	681,993	60	40,917
Infrastructure area	0,026	94	2,462	95	0,224
Open space	0,457	80	36,555	2	0,082
Health facilities	0,103	94	9,682	95	0,881
Commercial area	0,579	94	54,456	95	4,953
Sport facilities	0,082	94	7,662	95	0,697
Education facilities	0,541	94	50,850	95	4,625
Business area	0,478	94	44,960	95	4,089
Social facilities	0,084	94	7,863	90	0,678
Brush/ shrub	0,041	77	3,166	2	0,007
Parks	0,013	79	0,994	2	0,002
Barren land	0,271	79	21,374	2	0,049
Water bodies	0,204	72	14,663	0	0,000
Total	11,111		998,341		61,028

Nilai CN rata-rata untuk berbagai jenis tata guna lahan di lokasi penelitian dihitung menggunakan persamaan CN komposit sebagai berikut:

$$CN = \frac{\sum A \times CN}{\sum A} = \frac{998,341}{11,111} = 89,85 \quad (1)$$

Oleh karena aliran limpasan permukaan secara langsung masuk ke dalam sistem drainase, maka ditentukan bahwa area yang kedap (*impervious area*) saling berhubungan. Nilai CN rata-rata dengan area kedap yang terhubung untuk Substansi Sekanak diperoleh menggunakan grafik yang diberikan oleh *Natural Resources Conservation Service (NRCS)* dalam Mays (2001) seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 9. Dari pembacaan grafik tersebut diperoleh nilai CN rata-rata adalah 96.



Gambar 9. Grafik hubungan antara persentase area kedap dan CN komposit (Sumber: NRCS dalam Mays, 2001)

- 2) Potensi retensi maksimum (S) dan abstraksi awal (I_a) dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 10,583 \text{ mm} \quad (2)$$

$$I_a = 0,2 \times S = 2,177 \text{ mm} \quad (3)$$

- 3) Kumulatif kehilangan hujan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_{a,t} = \frac{S(P_t - I_a)}{P_t - I_a + S} \quad (4)$$

Maka hujan efektif dihitung dengan persamaan:

$$P_{e,t} = P_t - I_a - F_{a,t} \quad (5)$$

Perhitungan kehilangan hujan dan hujan efektif dibuat dalam bentuk tabulasi seperti yang diberikan dalam Tabel 6 di bawah ini.

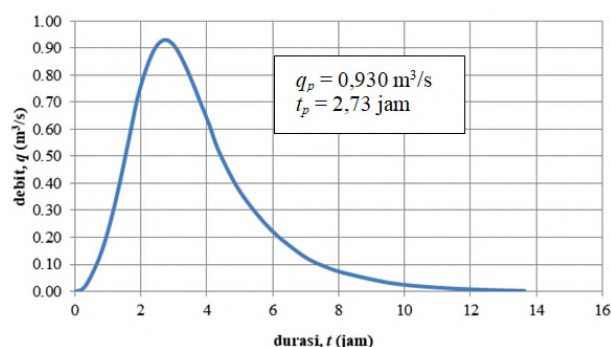
Tabel 6. Perhitungan kehilangan hujan dan hujan efektif

t (jam)	P kum (mm)	I_a (mm)	F_a kum (mm)	P_e kum (mm)	P_e (mm)	P_e Loss kum (mm)	P_e Loss (mm)
0,167	51,400	2,117	8,712	40,571	40,57	10,829	10,829
0,667	81,593	2,117	9,340	70,137	7,35	11,456	0,112
1,333	102,801	2,117	9,577	91,107	4,43	11,693	0,042
2,000	117,677	2,117	9,695	105,865	3,34	11,812	0,024
2,667	129,521	2,117	9,772	117,633	2,74	11,888	0,017
3,333	139,522	2,117	9,826	127,579	2,35	11,943	0,012
4,000	148,264	2,117	9,869	136,279	2,08	11,985	0,010

t (jam)	P kum (mm)	I_a (mm)	F_a kum (mm)	P_e kum (mm)	P_e (mm)	P_e Loss kum (mm)	P_e Loss (mm)
4,667	156,082	2,117	9,903	144,062	1,87	12,019	0,008
5,333	163,186	2,117	9,931	151,139	1,71	12,047	0,007
6,000	169,720	2,117	9,955	157,649	1,58	12,071	0,006

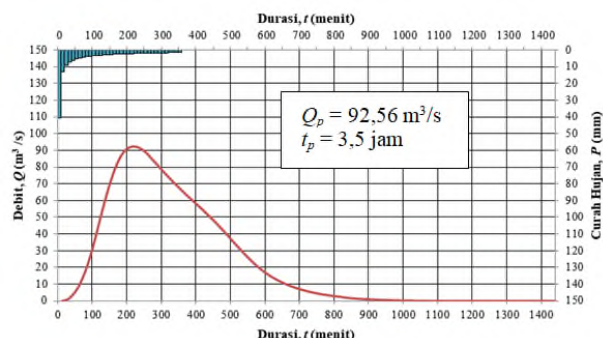
Hidrograf Limpasan Langsung

Dalam penelitian ini, hidrograf satuan dihitung menggunakan metode hidrograf satuan sintesis (HSS) SCS seperti yang diberikan dalam Mays (2001). Parameter-parameter yang diperhitungkan antara lain panjang saluran utama/ pengaliran, kemiringan lahan, luas catchment area, waktu jeda (*lag time*) dan waktu konsentrasi (*time of concentration*). Hidrograf satuan limpasan langsung untuk lokasi penelitian diberikan dalam Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. HSS SCS Substansi Sekanak

Perhitungan hidrograf limpasan langsung direncanakan menggunakan periode ulang 25 tahun dengan interval 10 menit selama 24 jam. Berdasarkan hasil perhitungan hidrograf limpasan langsung didapat debit puncak sebesar 92,560 m³/s. Grafik hubungan antara curah hujan dan debit limpasan diberikan pada Gambar 11 berikut.

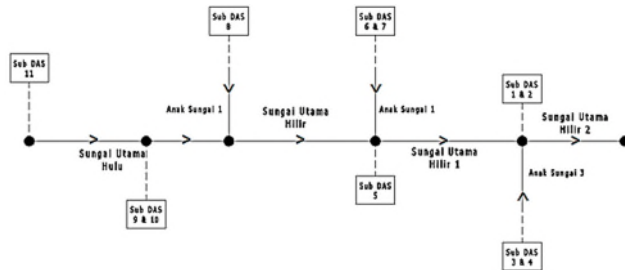


Gambar 11. Grafik hubungan antara curah hujan dan debit limpasan langsung

Pemodelan Hidrologi

Model hidrologi hujan-limpasan digunakan untuk penelusuran hidrograf limpasan dari setiap *subcatchment* dalam Substansi Sekanak. Model hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah

HEC-HMS 4.2. Hashemyan, Khaleghi dan Kamyar (2015) menjelaskan bahwa kombinasi dari HEC-HMS dan HEC-RAS memberikan kemudahan dan akurasi yang baik dalam pemodelan dan simulasi banjir. Skematisasi dan model geometri dari Subsystem Sekanak dalam HEC-HMS masing-masing diberikan dalam Gambar 12 dan 13 berikut.



Gambar 12. Skematisasi model aliran di Sungai Sekanak



Gambar 13. Geometric model dalam HEC-HMS

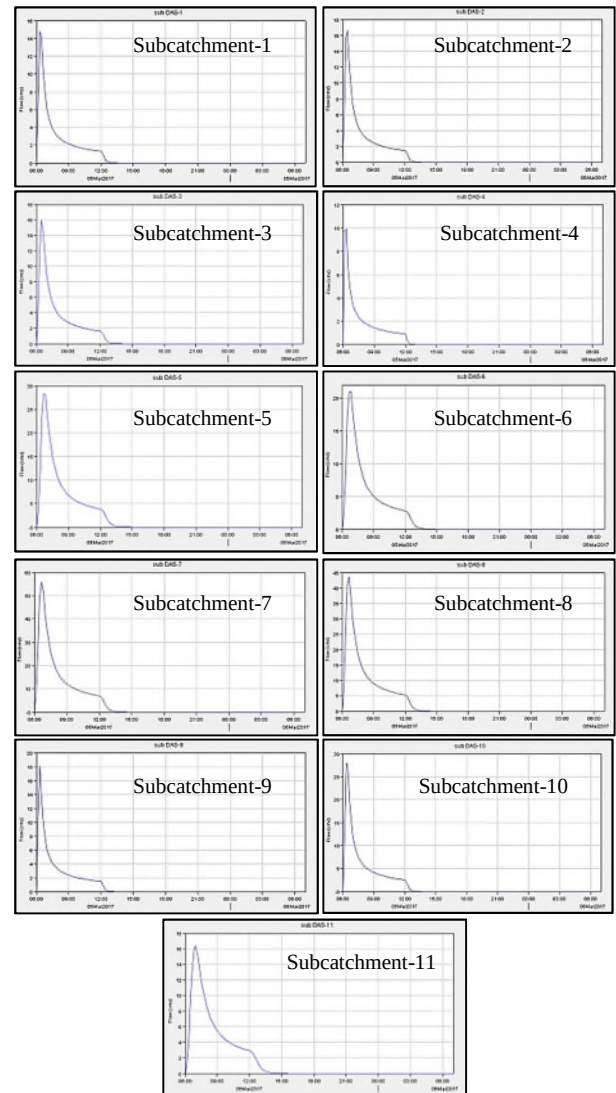
Hasil simulasi hidrologi memberikan hidrograf limpasan langsung untuk setiap *subcatchment areayang* hasilnya secara rinci seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 14.

Pemodelan Hidraulika

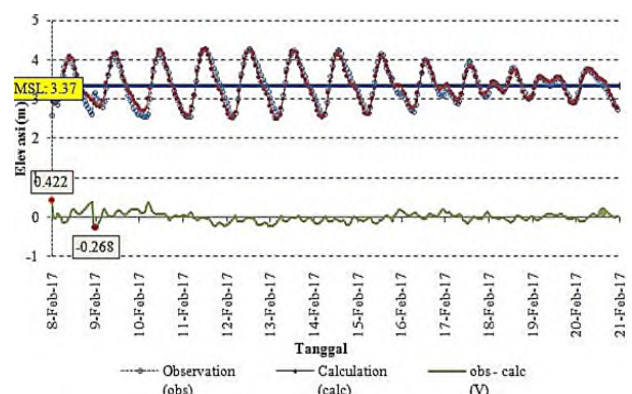
Perangkat lunak HEC-RAS 5.0 merupakan model hidrodinamika yang digunakan dalam penelitian ini. HEC-RAS 5.0 digunakan untuk memodelkan hidraulika sungai sehingga dapat disimulasikan profil aliran banjir berikut karakteristik genangan.

Debit limpasan langsung yang dihasilkan dari pemodelan hidrologi sebelumnya digunakan sebagai kondisi batas (*boundary conditions*) berupa aliran lateral. Adapun kondisi batas di hulu ruas sungai adalah aliran dasar, sedangkan untuk kondisi batas hilir berupa elevasi muka air pasang surut. Kondisi batas di hilir diperoleh dengan memprediksikan muka air pasang surut berdasarkan hasil pengukuran selama 14 hari (2 minggu) secara kontinyu di hilir Sungai Sekanak. Peramalan pasang surut tersebut dibantu program ERGTIDE dengan metode yang digunakan adalah *least square*. Hasil peramalan pasang surut diberikan dalam Gambar 15. Dari hasil

peramalan, ditentukan tiga skenario elevasi muka air di hilir, yaitu elevasi muka air maksimum (3,146 m), rata-rata (1,807 m) dan minimum (1,375 m).



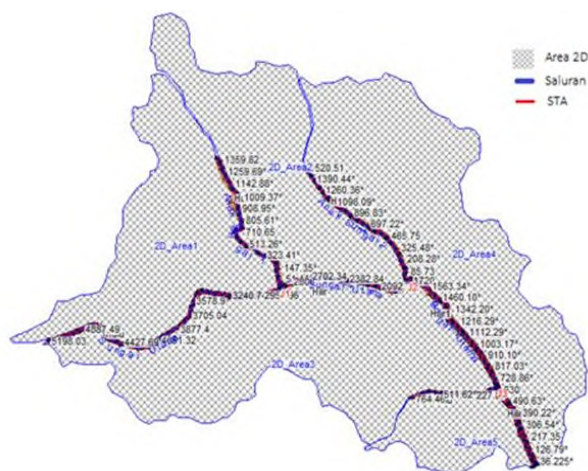
Gambar 14. Hidrograf limpasan langsung setiap *subcatchment*



Gambar 15. Peramalan pasang surut dengan ERGTIDE

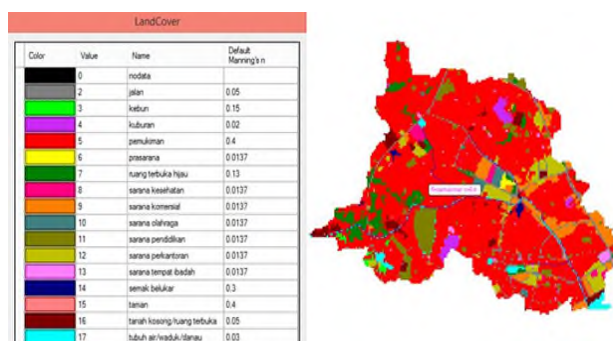
Peniruan geometrik sungai dalam HEC-RAS 5.0 meliputi ruas sungai (*river reaches*), penampang melintang sungai (*cross sections*), struktur lateral (*lateral structures*) dan area 2D yang meliputi wilayah genangan (*2Darea*). Model geometri Sungai

Sekanak dalam HEC-RAS 5.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Model geometri Sungai Sekanak di HEC-RAS 5.0

Untuk geometri 2D area, dalam penelitian ini dipertimbangkan pengaruh nilai kekasaran permukaan Manning dalam perhitungan aliran permukaan (*overland flow*) yang nilainya ditetapkan berdasarkan jenis tata guna lahan seperti yang diberikan dalam Gambar 17. Nilai kekasaran permukaan Manning secara rinci diberikan dalam Goodell dan Warren (2006).

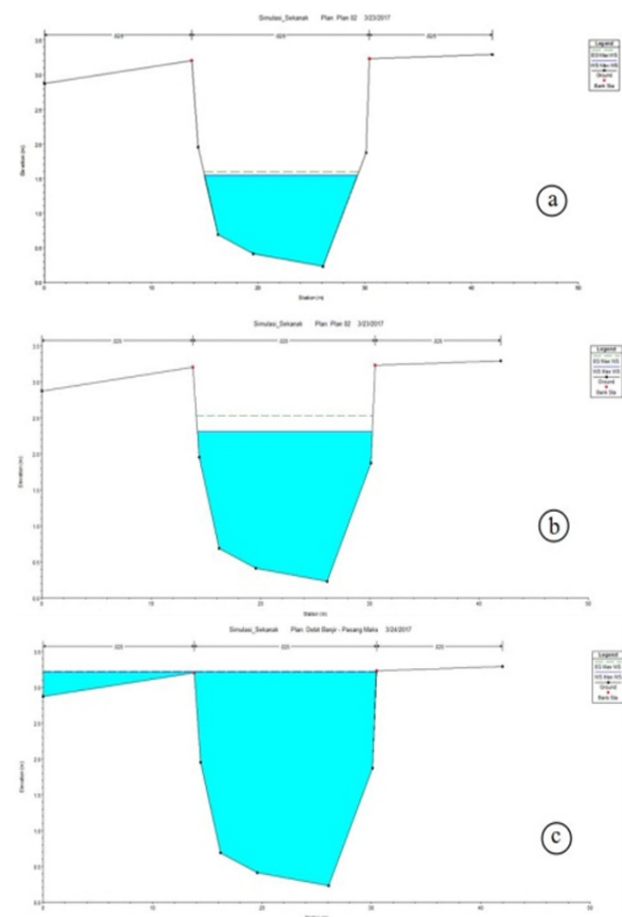


Gambar 17. Nilai kekasaran Manning untuk 2D area dalam model geometri HEC-RAS

Hasil simulasi profil muka air banjir menggunakan HEC-RAS 5.0 ditampilkan dalam format potongan melintang dan memanjang. Gambar 18 dan 19 masing-masing menunjukkan potongan memanjang dan melintang sungai setelah simulasi untuk salah satu stasiun sungai di bagian hilir.

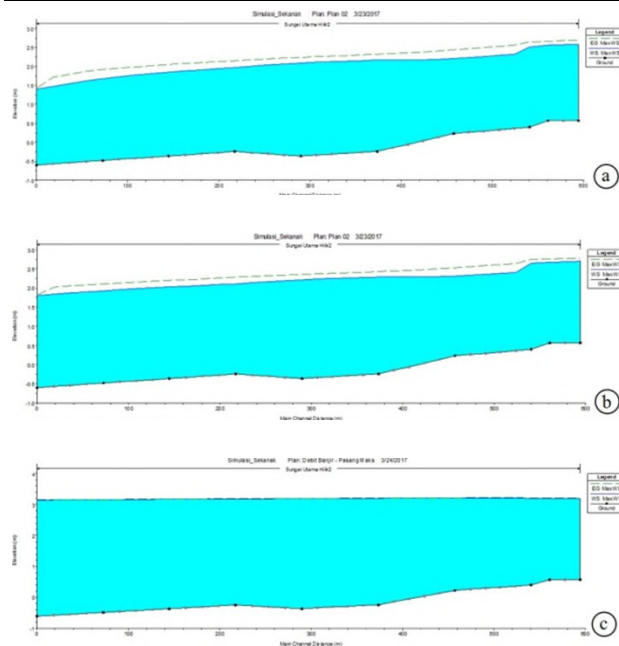
Pada Gambar 18 dan 19 tersebut dapat dilihat bahwa terjadi perbedaan profil muka air banjir untuk masing-masing skenario kondisi batas hilir. Semakin muka air di hilir naik, maka profil muka air di sepanjang sungai juga akan naik. Pada kondisi muka air minimum dan rata-rata tidak terjadi luapan sungai, sedangkan pada kondisi muka air pasang maksimum terjadi luapan sungai. Hal yang serupa secara umum

juga ditunjukkan untuk potongan melintang lainnya. Walaupun demikian, pada beberapa potongan melintang yang memiliki elevasi lebih rendah, terjadi luapan sungai walaupun kondisi batas hilir adalah muka air minimum dan rata-rata. Hal ini disebabkan muka air naik akibat adanya peningkatan debit di sungai sebagai tambahan dari limpasang permukaan.

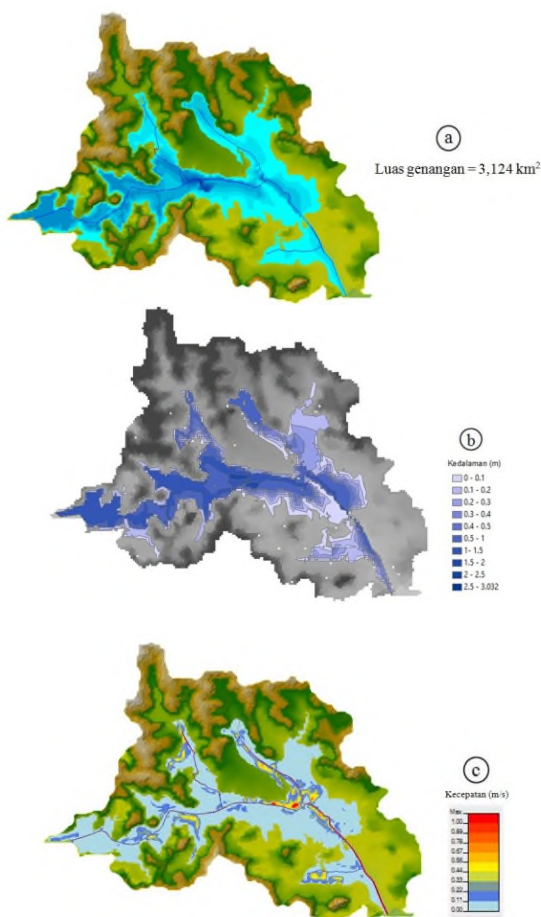


Gambar 18. Potongan melintang STA 0+457,16 (sungai utama hilir-2) kondisi elevasi muka air (a) minimum, (b) rata-rata, dan (c) maksimum

Luapan sungai yang dihasilkan dari simulasi profil banjir di atas kemudian dijadikan sebagai kondisi batas untuk simulasi aliran permukaan dalam model aliran 2D. Geometri saluran dan 2D area dihubungkan menggunakan komponen struktur lateral berupa tanggul (*levee*). Hasil simulasi genangan banjir di Substansi Sekanak pada model aliran 2D menggunakan HEC-RAS 5.0 digambarkan dengan tiga kondisi, yaitu kondisi elevasi muka air di hilir minimum, rata-rata, dan maksimum masing-masing ditunjukkan pada Gambar 20, 21, dan 22.



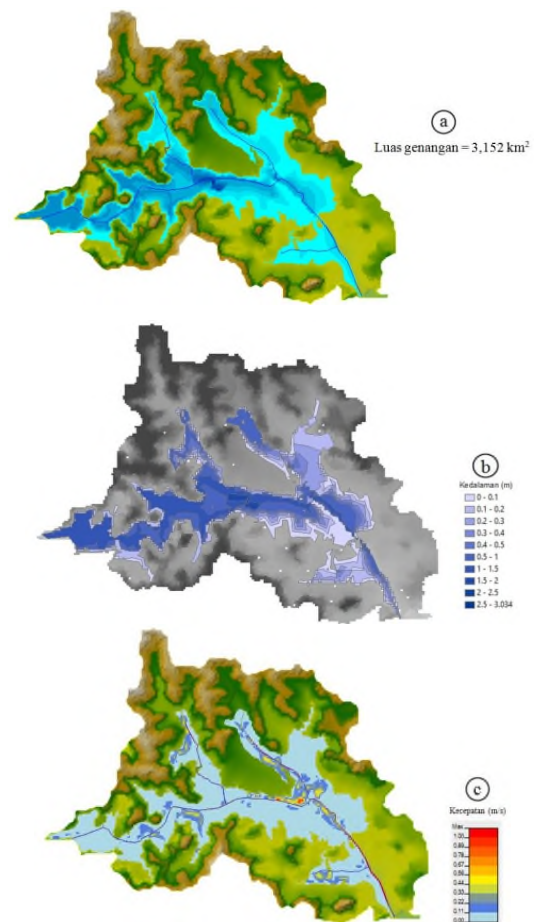
Gambar 19. Potongan memanjang STA 0+457,16 (sungai utama hilir-2) pada kondisi elevasi muka air (a) minimum, (b) rata-rata, dan (c) maksimum



Gambar 20. Karakteristik genangan banjir saat elevasi muka air minimum: luasan (a), kedalaman (b), dan kecepatan (c)

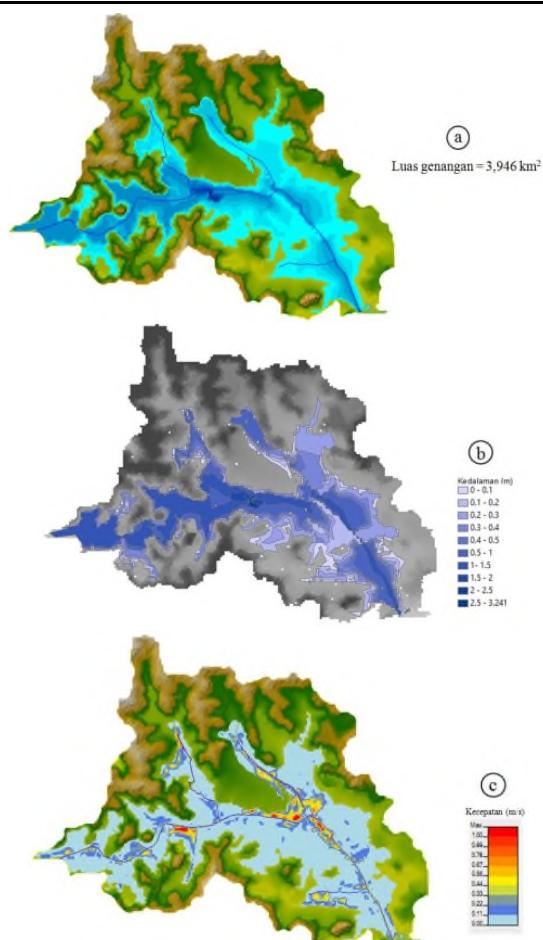
Dari Gambar 20 – 22 tersebut, dapat dilihat bahwa semakin muka air di hilir naik, maka luasan genangan akan semakin bertambah, begitu juga dengan

kedalaman genangan dan kecepatan aliran. Luasan genangan banjir saat surut terendah (muka air minimum) adalah 3,43 km² dengan kecepatan dan kedalaman aliran masing-masing adalah antara 0 – 1,18 m/s dan 0 – 3,08 m, sedangkan saat muka air rata-rata luasan genangan meningkat menjadi 3,54 km² dengan kecepatan dan kedalaman aliran masing-masing adalah antara 0 – 1,30 m/s dan 0 – 3,11 m. Potensi luasan genangan maksimum saat muka air pasang tertinggi adalah 4,46 km² dengan kecepatan dan kedalaman aliran antara 0 – 2,64 m/s dan 0 – 3,40 m. Pada kondisi tersebut, sebagian besar Substansi Sekanak mengalami genangan dengan persentase luasan 40,11 %.

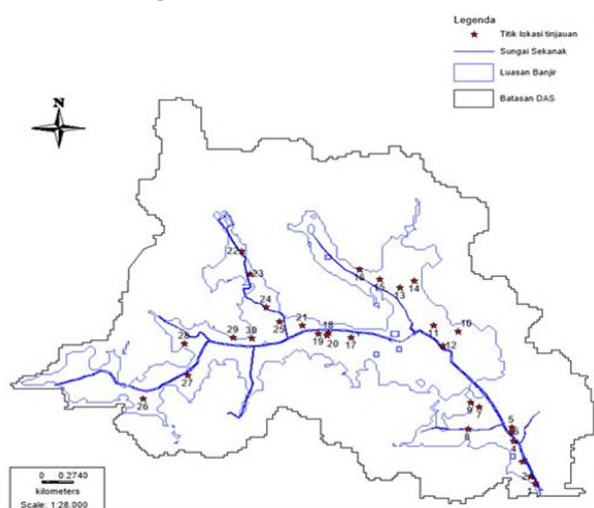


Gambar 21. Karakteristik genangan banjir saat elevasi muka air rata-rata: Luasan (a), Kedalaman (b), dan Kecepatan (c)

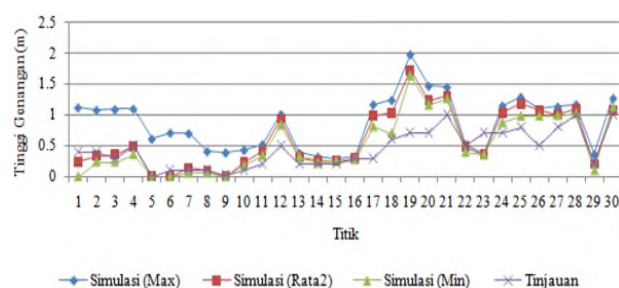
Untuk menguji akurasi hasil simulasi, maka dilakukan tinjauan langsung ke lapangan dan wawancara dengan masyarakat setempat berkaitan dengan histori banjir di lokasi penelitian. Dalam penelitian ini, ditetapkan sebanyak 30 titik tinjauan dimana lokasi dan sebarannya seperti yang diberikan dalam Gambar 24. Perbandingan hasil simulasi genangan banjir terhadap tinjauan lapangan diberikan dalam Gambar 25.



Gambar 22. Karakteristik genangan banjir saat elevasi muka air maksimum: Luasan (a), Kedalaman (b), dan Kecepatan (c)



Gambar 24. Lokasi tinjauan banjir di lapangan



Gambar 25. Hubungan antara tinggi genangan tinjauan dan hasil simulasi

Dalam Gambar 25 di atas terlihat bahwa hasil simulasi berkorelasi cukup baik dengan tinjauan lapangan. Adapun kesalahan relatif antara keduanya adalah sebesar 28,48 %. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa akurasi hasil simulasi adalah cukup baik. Penyimpangan hasil simulasi yang terjadi dapat disebabkan karena penggunaan metode distribusi hujan dan hidrograf satuan yang bersifat sintetis, bukan hasil penurunan terhadap data terukur di lapangan. Disamping itu, hasil tinjauan lapangan adalah berdasarkan pengamatan terhadap bekas atau jejak banjir dan wawancara dengan masyarakat setempat yang sangat dimungkinkan terjadinya bias. Untuk hasil yang lebih baik disarankan untuk penggunaan alat pencatat muka air yang disebar di beberapa titik di lokasi penelitian.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Pada kondisi muka air minimum, luas genangan di lokasi penelitian adalah 3,124 km² dengan kedalaman banjir 0 – 3,032 m dan kecepatan aliran 0 – 1,804 m/s.
- 2) Pada kondisi muka air rata-rata, luas genangan adalah 3,152 km² dengan kedalaman banjir 0 – 3,034 m dan kecepatan aliran 0 – 2,204 m/s.
- 3) Pada kondisi muka air maksimum, luas genangan adalah 3,946 km² dengan kedalaman banjir 0 – 3,241 m dan kecepatan aliran 0 – 2,418 m/s.
- 4) Semakin muka air di hilir sungai naik, maka luasan genangan semakin bertambah, begitu juga dengan kedalaman genangan dan kecepatan aliran. Pada kondisi maksimal, sebagian besar Substems Sekanak mengalami genangan dengan persentase luasan sebesar 40,11 %.
- 5) Hasil simulasi memiliki akurasi yang cukup baik dibandingkan terhadap tinjauan lapangan.
- 6) Program HEC-RAS 5.0 dapat digunakan secara luas untuk pemetaan genangan banjir, sehingga diharapkan dapat menjadi standar dalam perencanaan sistem pengendalian banjir di Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya melalui Unit Penelitian, Pengabdian pada Masyarakat dan Kerjasama (UPPMK) yang telah mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Aji N, M. D., Sudarsono, B. dan Sasmito, B. (2014) 'Identifikasi Zona Rawan Banjir Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: Sub DAS Dengkeng)', *Jurnal Geodesi Undip*, 3(1), pp. 36–50. Tersedia pada: <http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/geodesi/article/view/4708>.

2. Ali, M. M., Anik, M. S. B. M. dan Khan, A. H. N. (2016) 'Flood Inundation Mapping on Jamuna Basin Floodplain Using HEC-RAS 1D / 2D Coupled Model', dalam Islam, Imam, Ali, Hoque, Rahman, dan Haque (eds) *3rd International Conference on Advances in Civil Engineering*. Chittagong, Bangladesh, pp. 21–23. Tersedia pada: <http://www.cuet.ac.bd/icace/papers/water/141.pdf>.
3. Al Amin, M. B. (2015) 'Pemanfaatan Teknologi Lidar dalam Analisis Genangan Banjir Akibat Luapan Sungai Berdasarkan Simulasi Model Hidrodinamik', *INFO TEKNIK*, 16(1), pp. 21–32. Tersedia pada: <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/infoteknik/article/view/210>.
4. Al Amin, M.B., Sarino dan Haki, H.(2016)'Perubahan Tutupan Lahan Pada Daerah Aliran Sungai di Kota Palembang Berdasarkan Analisis Citra Landsat', in *Prosiding Seminar Nasional AVOER 8*. Palembang, Indonesia, pp. 349-369.
5. Al Amin, M. B., Sarino dan Haki, H. (2017) 'Floodplain Simulation for Musi River Using Integrated 1D / 2D Hydrodynamic Model', in *MATEC Web of Conferences. SICEST 2016*. Bangka, Indonesia, pp. 1–5. Tersedia pada: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2017/15/mateconf_sicest2017_05023.pdf.
6. Al Amin, M. B., Sarino dan Ilmiaty, R. S. (2016) 'Analysis of Land Cover Change and Its Impact to Surface Runoff within Jakabaring Sub Basin', in *The 5th International Seminar of HATHI*. Bali, Indonesia, pp. 33–43.
7. Angriani, F. dan Kumalawati, R. (2016) 'Pemetaan Bahaya Banjir Kabupaten Hulu Sungai Tengah Provinsi Kalimantan Selatan', *SPATIAL*, 16(2), pp. 21–26. Tersedia pada: <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/spatial/article/view/243>.
8. Ariyora, Y. K. S., Budisusanto, Y. dan Prasasti, I. (2015) 'Pemanfaatan Data Penginderaan Jauh dan SIG untuk Analisa Banjir (Studi Kasus: Banjir Provinsi DKI Jakarta)', *GEOID*, 10(2), pp. 137–146. doi: <http://dx.doi.org/10.12962/j24423998.v10i2.805>.
9. Brunner, G.W. (2016) *HEC-RAS River Analysis System. 2D Modeling User's Manual*. US Army Corps of Engineers, USA.
10. Di Baldassarre, G. (2012) *Floods in Changing Climate. Inundation Modelling*. Cambridge University Press, New York.
11. Duan, M., Zhang, J., Liu, Z. dan Aekakkararungroj, A. (2006) 'Use Of Remote Sensing and GIS for Flood Hazard Mapping in Chiang Mai Province, Northern Thailand', in Jixian, Z., Zhilin, L., Pengfei, C., and Qin, Y. (eds) *International Conference on Geo-spatial Solutions for Emergency Management and the 50th Anniversary of the Chinese Academy of Surveying and Mapping*. Beijing, China, pp. 203–208. Tersedia pada: http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/7-C4/203_GSEM2009.pdf.
12. FEMA (2017) *National Flood Insurance Program: Flood Hazard Mapping*. Tersedia pada: <https://www.fema.gov/national-flood-insurance-program-flood-hazard-mapping>.
13. Getahun, Y. dan Gebre, S. (2015) 'Civil & Environmental Engineering Flood Hazard Assessment and Mapping of Flood Inundation Area of the Awash River Basin in Ethiopia using GIS and HEC-GeoRAS / HEC-RAS Model', *J Civil Environ Eng*, 5(4), pp. 1–12. doi: 10.4172/2165-784X.1000179.
14. Giustarini, L., Chini, M., Hostache, R. dan Pappenberger, F. (2015) 'Flood Hazard Mapping Combining Hydrodynamic Modeling and Multi Annual Remote Sensing data', *Remote Sensing*, 7, pp. 14200–14226. doi: 10.3390/rs71014200.
15. Goodell, C. dan Warren, C. (2006) 'Flood Inundation Mapping using HEC-RAS', *Obras y Protectos Revista de Ingenieria Civil*, pp. 18–23. Tersedia pada: http://www.oyp.ucsc.cl/2/Goodell_ch_bn.pdf.
16. Hajibayov, F., Ozkul, B. D. dan Terzi, F. (2017) 'Floodplain Modeling and Mapping Using The Geographical Information Systems (GIS) and Hec-RAS/HEC-GeoRAS Applications. Case of Edirne, Turkey.', in *GISRUK 2017*. Manchester, UK. Tersedia pada: http://huckg.is/gisruk2017/GISRUK_2017_paper_47.pdf.
17. Hamdani, H., Permana, S. dan Susetyaningsih, A. (2014) 'Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka)', *Jurnal Konstruksi Sekolah Tinggi Teknologi Garut*, 12(1), pp. 1–13. Tersedia pada: <http://jurnal.sttgarut.ac.id>.
18. Hashemyan, F., Khaleghi, M. R. dan Kamyar, M. (2015) 'Combination of HEC-HMS and HEC-RAS models in GIS in order to Simulate Flood (Case study : Khoshke Rudan river in Fars province , Iran)', *Research Journal of Recent Sciences*, 4(8), pp. 122–127. Tersedia pada: <http://www.isca.in/rjrs/archive/v4/i8/20.ISCA-RJRS-2014-42.pdf>.
19. Hendriana, K. I., Yasa, I. G. A. S., Kesiman, M. W. A. dan Sunarya, I. M. G. (2013) 'Sistem Informasi Geografis Penentuan Wilayah Rawan Banjir di Kabupaten Buleleng', *KARMAPATI*, 2(5), pp. 608–616. Tersedia pada: <http://pti.undiksha.ac.id/karmapati/files/vol2no5/10.pdf>.
20. Hirtan, R.-I. (2015) 'Floodplain Delineation For Calnau River Using HEC-RAS Software', *Scientific Papers. Series E. Land Reclamation, Earth Observation & Surveying, Environmental Engineering*, IV, pp. 84–87. Tersedia pada: <http://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2015/vol.IV/Art14.pdf>.
21. Kodoatie, R. J. (2013) *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Penerbit Andi, Yogyakarta.
22. Kristyawan, S. dan Firdaus (2010) 'Pemetaan Tingkat Ancaman Bencana Alam Banjir dan Tanah Longsor di Kecamatan Latambaga, Kabupaten Kolaka', *Jurnal Aplikasi Fisika*, 6(2), pp. 116–121. Tersedia pada: [http://118.97.35.230/fakultas/jaf_fmipa/9_JAF-agustus_10_\(Firdaus,_Said\).pdf](http://118.97.35.230/fakultas/jaf_fmipa/9_JAF-agustus_10_(Firdaus,_Said).pdf).
23. Lamichhane, N. dan Sharma, S. (2017) 'Development of Flood Warning System and Flood Inundation Mapping Using Field Survey and LiDAR Data for the Grand River near the City of Painesville, Ohio', *Hydrology*, 4(2), pp. 1–15. doi: 10.3390/hydrology4020024.
24. Malik, M. I. dan Ahmad, F. (2014) 'Flood Inundation Mapping and Risk Zoning of the Swat River Pakistan using HEC-RAS Model', *Lasbela. Uni. J. Sci., Tech.*, 3, pp. 45–52. Tersedia pada: <http://www.luawms.edu.pk/lujstvolume3/8.pdf>.
25. Mays, L. W. (2001) *Water Resources Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., USA.
26. Mina, F. dan Ying, T. P. (2015) 'GIS Techniques for Flood Modeling and Flood Inundation Mapping', *EJGE*, 20, pp. 11439–11450. Tersedia pada: <http://www.ejge.com/2015/Ppr2015.0723ma.pdf>.
27. Mudin, Y., Ende, F. dan M. Rusydi, H. (2015) 'Analisis Spasial Daerah Potensi Bahaya Banjir Menggunakan Metode Analitical Hierarchy Process (AHP) di Kabupaten Donggala', *Gravitasi*, 14(1), pp. 75–82. Tersedia pada: <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/GravitasiFisika/article/view/4439>.

28. Nut, N. dan Plermkamom, V. (2015) 'Floodplain Mapping Using HEC - RAS and GIS in Nam Phong River Basin , Thailand', *IJERD*, 6(1), pp. 153–158. Tersedia pada: <http://iserd.net/ijerd61/IJERD 6-1-27.pdf>.
29. Putra, E. S., Suryadi, F. X., Tarigan, K., Bastari, A., dan Sylvia, M. (2011). 'Strategy of Drainage and Flood Control in Palembang City'. Tersedia pada: http://www.rid.go.th/thaicid/_6_activity/Technical-Session/SubTheme5/5.07-Eddy_SP-FX_Suryadi-Kira_T-Akhmad_B-Marlina_S.pdf
30. Quiroga, V. M., Kure, S., Udo, K. dan Mano, A. (2016) 'Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5', *RIBAGUA - Revista Iberoamericana del Agu*. IAHR y WCCE, 3(1), pp. 25–33. doi: 10.1016/j.riba.2015.12.001.
31. Rahman, A. (2017) 'Penggunaan Sistem Informasi Geografis Untuk Pemetaan Tingkat Rawan Banjir Di Kabupaten Banjar Provinsi Kalimantan Selatan', *Enviro Scienteae*, 13(1), pp. 1–6. Tersedia pada: <http://ppjp.unlam.ac.id/journal/index.php/es/article/view/3506>.
32. Rahman, M. M. dan Ali, M. M. (2016) 'Flood Inundation Mapping of Floodplain of the Jamuna River Using HEC-RAS and HEC-GeoRAS', *Journal of PU*, 3(2), pp. 24–32. Tersedia pada: <http://presidency.edu.bd/uploads/Article016.pdf>.
33. Sarhadi, A., Soltani, S. dan Modarres, R. (2012) 'Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers : Linking GIS techniques and frequency analysis', *Journal of Hydrology*. Elsevier B.V., 458–459, pp. 68–86. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.039.
34. Sari, D. E. dan Murti, S. H. (2013) 'Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Pemetaan Zona Rawan Banjir di Sub Daerah Aliran Sungai Celeng Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul', in *Simposium Nasional Sains Geoinformasi - III*. Yogyakarta, Indonesia, pp. 365–374.
35. Triatmodjo, B. (2008) *Hidrologi Terapan*, Beta Offset, Yogyakarta.