

ANALISIS HIDROGRAF LIMPASAN AKIBAT VARIASI INTENSITAS HUJAN DAN KEMIRINGAN LAHAN (KAJIAN LABORATORIUM DENGAN SIMULATOR HUJAN)

Nur Rizki Oktarina

Mahasiswa S-1 Teknik Sipil Universitas Sriwijaya

Korespondensi penulis : kikizaibi@yhoo.com

Abstrak

Hidrograf merupakan kurva hubungan antara waktu dan aliran, baik berupa kedalaman aliran ataupun debit aliran. Informasi mengenai hidrograf aliran menjadi penting ketika melakukan perencanaan sumber air dan perkiraan debit banjir. Namun, terkadang dilapangan untuk menentukan hidrograf pengamatan secara langsung sulit dilakukan. Oleh karena itu, metode hidrograf satuan sintetik dan metode rasional dimodifikasi diturunkan dari hidrograf pengamatan untuk mempermudah perhitungan melalui parameter-parameter yang tersedia di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan hasil hidrograf pengamatan dengan hidrograf satuan sintetik Gama I, Nakayasu, dan metode Rasional Modifikasi. Dilakukan di laboratorium menggunakan simulator hujan dengan intensitas hujan 30 mm/jam, 40 mm/jam, dan 50 mm/jam. Kemiringan lahan diberikan variasi 0%, 3%, dan 5%. Dari hasil penelitian, seiring meningkatnya intensitas hujan dan kemiringan lahan akan diikuti pula meningkatnya debit puncak serta berkurangnya waktu puncak. Serta perbandingan hidrograf pengamatan secara langsung/hidrograf observasi dan metode-metode pendekatan dihasilkan bahwa metode rasional modifikasi lebih mendekati hidrograf observasi. Hal ini dikarenakan memiliki nilai coefficient of efficiency (CE) mendekati nilai nol yaitu 0,8143 atau lebih menyerupai bentuk hidrograf observasi.

Kata kunci : limpasan, hidrograf, simulator hujan.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hasil hidrograf limpasan merupakan salah satu hal yang menjadi pertimbangan dalam mengatasi masalah-masalah hidrologi seperti merencanakan sumber air dan perencanaan perkiraan banjir. Hal ini karena hidrograf menggambarkan suatu distribusi waktu dari aliran permukaan di suatu tempat pengukuran, yakni hasil dalam bentuk grafik yang dapat menunjukkan kapan terjadinya debit puncak. Melalui alat simulator hujan menjadi sebuah alternatif pemodelan untuk menampilkan proses hujan-limpasan. Simulator hujan adalah alat yang dapat mengeluarkan air dari *nozzle* sebagai hujan buatan, dimana untuk intensitas hujan dan kemiringan lahan dapat diatur sesuai kebutuhan.

Namun, pada kenyataan di lapangan terkadang ada beberapa data hidrologi yang tidak tersedia atau sulit untuk di dapatkan. Untuk mengatasi hal tersebut dapat diturunkan hidrograf satuan menjadi hidrograf satuan sintetik (HSS). Hidrograf satuan sintetik ini di dasarkan pada parameter-parameter fisik dari daerah aliran sungai. Banyak metode HSS yang dapat digunakan seperti metode HSS Gama I, HSS Nakayasu, dan lain-lain. Selain hidrograf satuan sintetik, metode Rasional Modifikasi juga dapat digunakan untuk mendekati hidrograf pengukuran langsung.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam laporan tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh intensitas hujan, kemiringan lahan, dan kerapatan jaringan kurus terhadap hidrograf limpasan?
2. Bagaimana perbandingan antara hidrograf limpasan yang terbentuk berdasarkan

pengamatan, metode HSS Gama I, HSS Nakayasu, dan metode Rasional Modifikasi ?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian laporan tugas akhir ini adalah :

1. Membuat hidrograf pengukuran langsung berdasarkan pengamatan, metode HSS Gama I, HSS Nakayasu dan metode Rasional Modifikasi akibat variasi intensitas hujan, kemiringan lahan dan kerapatan jaringan kurus.
2. Membandingkan hasil antara metode HSS Gama I, HSS Nakayasu, dan metode Rasional Modifikasi terhadap hidrograf observasi dengan cara uji kuantitatif.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya. Pembahasan penelitian ini meliputi penggambaran hidrograf limpasan yang terbentuk akibat 3 variasi intensitas hujan yaitu 30 mm/jam, 40 mm/jam, dan 50 mm/jam. Serta 3 variasi kemiringan lahan 0%, 3%, dan 5% pada lahan uji yang kerapatan jaringan kurus berbeda yaitu 0 m/m²; 1,0315 m/m²; dan 1,663 m/m². Alat yang digunakan pada penelitian ini yaitu simulator hujan dan bahan uji berupa tanah yang berada di area Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya. Penelitian dibatasi pada pengamatan limpasan saja yang keluar dari *outlet* alat simulator hujan dan tidak memperhitungkan infiltrasi. Waktu simulasi berlangsung selama 1,75 jam dimana hujan efektif terjadi selama 1 jam.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Limpasan merupakan semua air yang bergerak keluar dari daerah pengaliran ke suatu aliran permukaan. Sebagian curah hujan yang mencapai permukaan tanah akan diserap ke dalam tanah, dan sebagian lagi yang tidak diserap akan menjadi limpasan permukaan (Soemarto, 1999). Menurut Laoh (2002), pada lahan bervegetasi lebat air hujan yang jatuh akan tertahan pada vegetasi dan meresap ke dalam tanah melalui vegetasi dan serasah daun di permukaan tanah, sehingga limpasan permukaan yang mengalir kecil. Pada lahan terbuka atau tanpa vegetasi air hujan yang jatuh sebagian besar menjadi limpasan permukaan yang mengalir menuju sungai, sehingga aliran sungai meningkat dengan cepat.

Ada beberapa metode untuk menganalisis debit limpasan pada suatu DAS. Metode yang dipakai pada suatu lokasi lebih banyak ditentukan oleh ketersediaan data. Dalam praktek, analisa debit limpasan dilakukan dengan beberapa metode. Secara umum, metode yang umum dipakai adalah metode rasional dan metode hidrograf.

2.1. Metode Rasional

Rumus ini adalah rumus tertua diantara rumus empiris lainnya. Bentuk umum rumus rasional didasarkan pada :

$$Q = 0,278.C.I.A \quad (1)$$

Metode rasional modifikasi merupakan pengembangan dari metode rasional dimana waktu konsentrasi hujan terjadi lebih lama. Metode rasional modifikasi mempertimbangkan pengaruh koefisien tampungan dalam memperkirakan besarnya debit puncak limpasan (Kaharuddin, 2014). Persamaan yang digunakan adalah :

$$Q = 0,278.C_s.C.I.A \quad (2)$$

$$C_s = \frac{2 T_c}{2 T_c + T_d} \quad (3)$$

Untuk daerah tangkapan dimana waktu terjadi debit puncak (T_e) lebih besar daripada waktu konsentrasi :

$$Q_p' = C_s' . C . I . A \quad (4)$$

$$C_s' = \frac{2 T_e}{2 T_e + T_d} \quad (5)$$

dimana :

Q = debit puncak (m^3/det)

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km^2)

C = koefisien pengaliran

C_s = koefisien tampungan

T_c = waktu konsentrasi (jam)

T_d = waktu pengaliran atau *drain flow time* (jam)

2.2. Metode Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang memberi hubungan antara parameter aliran dan waktu. Parameter dalam hidrograf dapat berupa kedalaman aliran (elevasi) dan debit aliran. Sehingga terdapat dua macam hidrograf yaitu hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air dapat ditransformasikan menjadi hidrograf debit dengan menggunakan *rating curve* (Bambang Triatmodjo, 2013). Hidrograf mempunyai tiga komponen

pembentuk yaitu aliran permukaan, aliran antara, dan aliran air tanah.

2.3. HSS Gama I

HSS Gama I dikembangkan oleh Sri Hartato (1993, 2000) berdasar perilaku hidrologis di 30 DAS di Pulau Jawa pada dekade 1980-an yang mengkombinasikan antara Metode Strahler dan pendekatan Kraijenhorr van der Leur. Meskipun diturunkan dari data DAS di Pulau Jawa, ternyata hidrograf satuan sintetis Gama I juga berfungsi baik untuk berbagai daerah lain di Indonesia.

HSS Gama I terdiri dari empat variabel pokok, yaitu waktu naik (TR), debit puncak (Q_p), waktu dasar (TB), dan sisi resesi yang ditentukan oleh koefisien tampungan (K).

1. Waktu Naik (TR)

$$TR = 0,43 \left[\frac{L}{100.SF} \right]^3 + 1,0665.SIM + 1,2775 \quad (6)$$

2. Debit Puncak (Q_p)

$$Q_p = 0,1836.A^{0,5886} . TR^{-0,4008} . JN^{0,2381} \quad (7)$$

3. Waktu Dasar (TB)

$$TB = 27,4132 . T_R^{0,4175} . S^{-0,0986} . SN^{0,7344} . RUA^{0,2574} \quad (8)$$

4. Koefisien Tampungan (K)

$$K = 0,5617.A^{0,1798} . S^{-0,1446} . SF^{-1,0897} . D^{0,0452} \quad (9)$$

Sehingga, untuk menggambar hidrograf satuan sintetik digunakan persamaan yaitu :

$$Q_t = Q_p . e^{-t/K} \quad (10)$$

2.4. HSS Nakayasu

Debit puncak banjir dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$Q_p = \frac{C.A.Re}{3,6 (0,3 T_p + T_0,3)} \quad (11)$$

2.5. Uji Kuantitatif Terhadap Hidrograf Pengukuran Langsung

Model hidrograf satuan sintetis (HSS) mempunyai kemungkinan yang cukup besar berbeda dengan hidrograf satuan observasi. Selain dapat dilihat dari bentuk hidrograf, perlu juga dilakukan uji kuantitatif antara keduanya. Perbandingan kuantitatif antara hidrograf satuan sintetis dan hidrograf satuan pengukuran menggunakan ukuran-ukuran yang dikemukakan oleh (Chou & Wang 2002) yaitu:

1. *Coefficient of Efficiency* (CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^N [q(t) - q'(t)]^2}{\sum_{t=1}^N [q(t) - q(t)]^2} \quad (12)$$

2. *Relative error* dari volume total (EV)

$$EV = \frac{\sum_{t=1}^N [q'(t) - q(t)]}{\sum_{t=1}^N q(t)} \times 100\% \quad (13)$$

3. *Absolute error* dari debit puncak (AEQp)

$$AEQp = q_p' - q_p \quad (14)$$

4. *Relative error* dari debit puncak (EQp)

$$EQp = \frac{q_p' - q_p}{q_p} \times 100\% \quad (15)$$

5. *Absolute error* dari waktu puncak (ETp)

$$ETp = T_p' - T_p \quad (16)$$

dimana :

- $q(t)$ = debit hasil pengukuran (m^3/det)
- $\hat{q}(t)$ = estimasi hasil simulasi dari $q(t)$ (m^3/det)
- $\bar{q}(t)$ = nilai rata-rata $q(t)$ (m^3/det)
- q_p = debit puncak hasil pengukuran (m^3/det)
- q_p = debit puncak hidrograf satuan sintetik
- T_p = waktu puncak hasil pengukuran
- T_p = waktu puncak hidrograf satuan sintetik

2.6. Simulator Hujan

Prinsip dasar alat ini adalah pembuat hujan buatan dengan bermacam-macam intensitas sesuai yang dikehendaki. Hujan buatan ini akan menyirami suatu petak tanah dengan luasan tertentu yang sebanding dengan ukuran dari perangkat alat ini. Hujan buatan dioperasikan dengan intensitas sesuai dengan yang telah ditetapkan sebelumnya sejak saat yang sama semua air yang keluar dari petak tanah dicatat. Pencatatan terus dilakukan sampai suatu saat debit yang keluar dari petak tanah tersebut mencapai nilai tetap. Bila keadaan ini telah tercapai, maka hujan buatan dapat dihentikan. Pada keadaan demikian berarti telah mencapai keseimbangan antara hujan, limpasan (aliran permukaan), dan infiltrasi.

Pada saat air hujan buatan telah dihentikan, bukan berarti debit yang keluar dari petak tanah tersebut terhenti. Oleh karena masih ada tampungan permukaan, maka masih terdapat aliran keluar dari petak tanah tersebut. Jadi, pengukuran debit masih terus dilakukan sampai debit yang keluar dari petak tanah sama dengan nol. Hidrograf limpasan yang dihasilkan akan mempunyai suatu cabang naik (selama hujan) dan suatu cabang menurun (setelah berhenti hujan). Jumlah selisih antara intensitas hujan dan limpasan setiap waktu antara 0 sampai t , menunjukkan kehilangan dan sama dengan jumlah infiltrasi (Arfan, 2010).

Intensitas hujan buatan dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I = \left(\frac{V}{At} \right) \quad (17)$$

dimana :

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- V = volume air dalam tampungan (mm^3)
- A = luas permukaan bak uji (mm^2)
- t = waktu (jam)

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Studi Literatur

Studi literatur yaitu studi yang digunakan sebagai acuan dalam mengumpulkan dan mempelajari materi yang berhubungan dengan masalah yang akan diteliti. Materi tersebut didapat dari tulisan ilmiah, diktat, jurnal yang telah diseminarkan, buku, dan internet yang berkaitan dengan masalah yang akan diteliti.

3.2. Alat dan Bahan

1. Simulator hujan
2. *Stopwatch* digunakan untuk mengukur waktu.
3. Sarung tangan dipakai untuk membersihkan tanah yang basah.

4. Mistar untuk mengukur tinggi tanah pada bak uji.
5. Ember dan baskom, digunakan untuk menampung air yang keluar.
6. Selang digunakan sebagai penghubung dari pipa pengeluaran ke ember/baskom tempat penampungan air.
7. Cangkul dan sekop, digunakan untuk mengambil tanah uji.
8. Gelas ukur untuk mengukur volume air yang dikeluarkan sebagai limpasan.
9. Troli digunakan untuk mengangkat tanah dari lapangan (sekitar laboratorium) ke dalam laboratorium.
10. Satu set alat analisa saringan, untuk menguji jenis tanah yang digunakan pada penelitian ini.
11. Satu set alat uji kadar air, untuk mengetahui jumlah kadar air dalam tanah.
12. Bahan yang digunakan adalah tanah di sekitar Laboratorium Mekanika Fluida dan Hidrolika Teknik Sipil Universitas Sriwijaya.

3.3. Prosedur Penelitian

Adapun tahapan persiapan untuk prosedur penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Membersihkan alat simulator hujan. Menguras bak penampungan air yang akan digunakan sebagai hujan serta diisi kembali dengan air yang bersih. Memperbaiki pipa-pipa yang bocor dan *nozzle* yang rusak,
2. Pengambilan tanah uji di sekitar laboratorium.
3. Menguji karakteristik tanah di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya. Hal ini diperlukan untuk mengetahui jenis tanah dan jumlah kadar air yang terdapat pada tanah uji.
4. Mengatur intensitas hujan. Pada penelitian ini variasi intensitas hujan adalah 30 mm/jam, 40 mm/jam, dan 50 mm/jam.

Tabel 1. Data intensitas hujan

| I (mm/jam) | A (mm ²) | t (jam) | Volume (L) |
|------------|----------------------|---------|------------|
| 30 | 0,000002 | 0,25 | 15 |
| 30 | 0,000002 | 1 | 60 |
| 40 | 0,000002 | 0,25 | 20 |
| 40 | 0,000002 | 1 | 80 |
| 50 | 0,000002 | 0,25 | 25 |
| 50 | 0,000002 | 1 | 100 |

5. Masukkan tanah ke dalam bak uji pada alat simulator hujan yang berukuran 2m x 1m dengan tebal tanah 10 cm.
6. Atur kemiringan lahan. Pada penelitian ini digunakan kemiringan 0%, 3%, dan 5%.
7. Setelah semua komponen diatur (kondisi tanah uji, intensitas hujan, dan kemiringan lahan), maka alat dapat dijalankan sebagai proses hujan-limpasan.
8. Setelah proses hujan-limpasan selesai dilakukan, ganti kembali tanah uji dengan tanah yang baru atau buang tanah setebal 5 cm dan ganti tanah uji

baru. Proses penggantian tanah tersebut dilakukan setelah ± 2 jam dari selesainya proses *running*.

9. Ulangi kembali proses diatas dengan prosedur yang sama (4) sampai (8) untuk intensitas hujan, kemiringan lahan, dan kerapatan jaringan kurus yang berbeda-beda.
10. Kerapatan jaringan kurus dibedakan berdasarkan tanah uji tanpa saluran, berbentuk saluran, dan saluran bercabang.

3.4. Data yang Diperoleh

Data yang diperoleh dari hasil pengukuran selanjutnya di olah dan di analisis. Data yang diolah adalah data eksisting yang relevan agar dapat mendukung dalam menganalisis hasil penelitian, data tersebut antara lain :

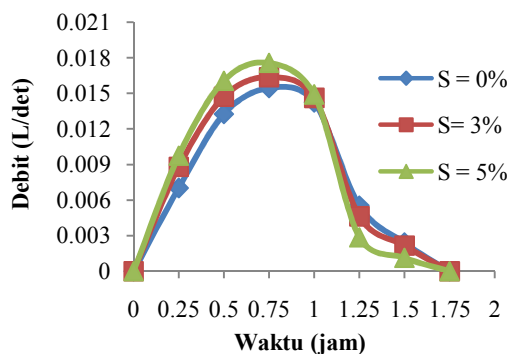
1. Data volume limpasan (L)
2. Data debit aliran (L/det)
3. Data waktu puncak (menit)
4. Data panjang saluran (m)
5. Data kerapatan jaringan kurus (m/m^2)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengukuran Limpasan pada $D = 0 \text{ m}^2$

Tabel 2. Data hasil pengukuran $I = 30 \text{ mm/jam}$

| I = 30 mm/jam D = 0 | | | | | | |
|---------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| Waktu (Jam) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 6,31 | 0,0070 | 7,92 | 0,0088 | 8,78 | 0,0097 |
| 0,5 | 11,93 | 0,0132 | 13,25 | 0,0147 | 14,47 | 0,0160 |
| 0,75 | 13,91 | 0,0154 | 14,73 | 0,0163 | 15,82 | 0,0175 |
| 1 | 12,82 | 0,0142 | 13,16 | 0,0146 | 13,41 | 0,0149 |
| 1,25 | 4,98 | 0,0055 | 4,17 | 0,0046 | 2,58 | 0,0028 |
| 1,5 | 2,15 | 0,0023 | 1,94 | 0,0021 | 1,02 | 0,0011 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |

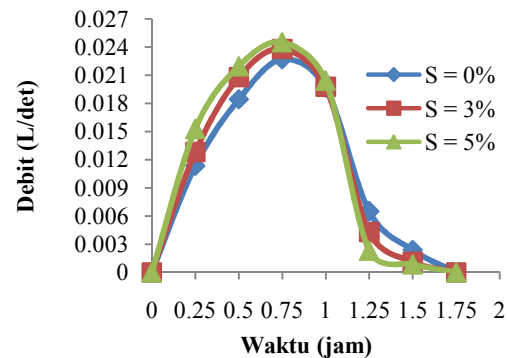


Gambar 1. Hidrograf observasi $I = 30 \text{ mm/jam}$

Dari Gambar 1 dapat dilihat bahwa semakin meningkat kemiringan lahan maka debit puncak yang dihasilkan semakin tinggi. Demikian pula dengan waktu puncak akan semakin pendek. Debit puncak tertinggi dihasilkan oleh kemiringan 5% sebesar $0,01758 \text{ L/det}$ pada jam ke 0,7 atau 42 menit.

Tabel 3. Data hasil pengukuran $I = 40 \text{ mm/jam}$

| I = 40 mm/jam D = 0 | | | | | | |
|---------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| Waktu (Jam) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 10,22 | 0,0113 | 11,54 | 0,0128 | 13,73 | 0,0152 |
| 0,5 | 16,6 | 0,0184 | 18,72 | 0,0208 | 19,76 | 0,0219 |
| 0,75 | 20,42 | 0,0226 | 21,42 | 0,0238 | 22,06 | 0,0245 |
| 1 | 17,71 | 0,0196 | 17,79 | 0,0197 | 18,36 | 0,0204 |
| 1,25 | 5,85 | 0,0065 | 3,87 | 0,0043 | 2,09 | 0,0023 |
| 1,5 | 2,16 | 0,0040 | 1,02 | 0,0011 | 0,77 | 0,0008 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |



Gambar 2. Hidrograf observasi $I = 40 \text{ mm/jam}$

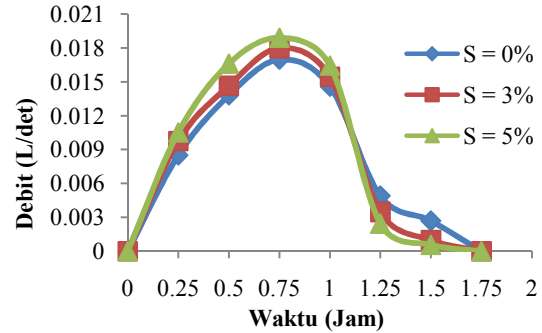
Dari gambar 2 dapat dilihat hidrograf yang terbentuk pada masing-masing kemiringan lahan memiliki nilai debit puncak yang berbeda. Peningkatan kemiringan lahan ini mengakibatkan peningkatan debit puncak dan penurunan waktu puncak..

Tabel 4. Data hasil pengukuran $I = 50 \text{ mm/jam}$

| I = 50 mm/jam D = 0 | | | | | | |
|---------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|--------|
| | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| Waktu | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 10,22 | 0,0113 | 11,54 | 0,0128 | 13,73 | 0,0152 |
| 0,5 | 16,6 | 0,0184 | 18,72 | 0,0208 | 19,76 | 0,0219 |
| 0,75 | 20,42 | 0,0226 | 21,42 | 0,0238 | 22,06 | 0,0245 |
| 1 | 17,71 | 0,0196 | 17,79 | 0,0197 | 18,36 | 0,0204 |
| 1,25 | 5,85 | 0,0065 | 3,87 | 0,0043 | 2,09 | 0,0023 |
| 1,5 | 2,16 | 0,0040 | 1,02 | 0,0011 | 0,77 | 0,0008 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |

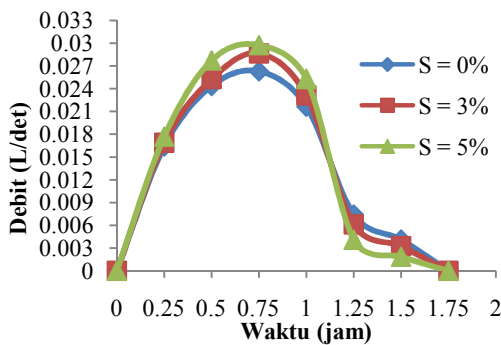
| (Jam) | () | () | () | () | () | (L/d et) |
|--------|-------|---------|-------|---------|-------|----------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 14,76 | 0,0164 | 15,18 | 0,0168 | 15,91 | 0,0176 |
| 0,5 | 21,92 | 0,0243 | 22,75 | 0,0252 | 24,96 | 0,0277 |
| 0,75 | 23,66 | 0,0262 | 25,79 | 0,0286 | 26,77 | 0,0297 |
| 1 | 19,47 | 0,0216 | 20,82 | 0,0231 | 22,73 | 0,0252 |
| 1,25 | 6,69 | 0,0074 | 5,5 | 0,0061 | 3,69 | 0,0041 |
| 1,5 | 3,66 | 0,00407 | 2,91 | 0,00323 | 1,66 | 0,0018 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |

| | | | | | | |
|------|------|--------|------|--------|------|--------|
| 1,25 | 4,4 | 0,0048 | 3,12 | 0,0034 | 2,18 | 0,0024 |
| 1,5 | 2,41 | 0,0026 | 0,89 | 0,0009 | 0,51 | 0,0005 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | | 0,0000 |



Gambar 4. Hidrograf observasi I = 30 mm/jam

Dari Gambar 4 dapat dilihat hidrograf limpasan yang terbentuk pada variasi kemiringan lahan terjadi waktu puncak yang sama, namun debit puncak yang berbeda. Hal ini dikarenakan pengamatan yang dilakukan secara manual, kemungkinan terjadinya kesalahan pada pengukuran volume limpasan yang keluar dari outlet dan pembacaan interval waktu yang tidak tepat.



Gambar 3. Hidrograf observasi I = 50 mm/jam

Dari gambar 3 dapat dilihat hidrograf limpasan yang terbentuk pada masing-masing kemiringan memiliki debit puncak yang berbeda. Semakin besar kemiringan lahan, maka nilai debit puncak pada tiap kemiringan semakin tinggi pada waktu yang lebih singkat. Terlihat bahwa kemiringan lahan 5% dapat mencapai debit puncak tertinggi dalam waktu 39 menit atau 0,65 jam dengan debit puncak sebesar 0,03 L/det. Sedangkan kemiringan lahan 0% dan 5% mengalami waktu puncak selama satu jam.

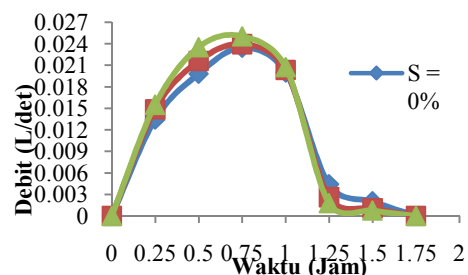
4.2. Pengukuran Limpasan pada D = 1,0315 m²

Tabel 5. Data hasil pengukuran I = 30 mm/jam

| I = 30 mm/jam Dd = 1,0315 | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Waktu (Jam) | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 7,64 | 0,0084 | 8,77 | 0,0097 | 9,47 | 0,0105 |
| 0,5 | 12,43 | 0,0138 | 13,2 | 0,0146 | 14,96 | 0,0166 |
| 0,75 | 15,27 | 0,0169 | 16,19 | 0,0179 | 17,02 | 0,0189 |
| 1 | 13,12 | 0,0145 | 13,9 | 0,0154 | 14,8 | 0,0164 |

Tabel 6. Data hasil pengukuran I = 40 mm/jam

| I = 40 mm/jam Dd = 1,0315 | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Waktu (Jam) | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 12,1 | 0,0134 | 13,4 | 0,0148 | 13,93 | 0,0154 |
| 0,5 | 17,85 | 0,0198 | 19,45 | 0,0216 | 21,19 | 0,0235 |
| 0,75 | 21,12 | 0,0234 | 21,57 | 0,0239 | 22,56 | 0,0250 |
| 1 | 18,01 | 0,0200 | 18,33 | 0,0203 | 18,68 | 0,0207 |
| 1,25 | 3,98 | 0,0044 | 2,36 | 0,0026 | 1,61 | 0,0017 |
| 1,5 | 1,8 | 0,0020 | 0,97 | 0,0008 | 0,68 | 0,0006 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |

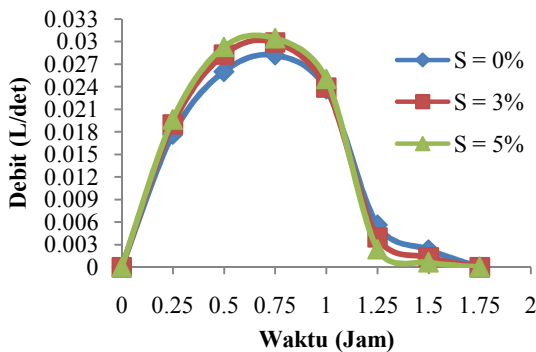


Gambar 5. Hidrograf observasi I = 40 mm/jam

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa hidrograf limpasan yang terbentuk akibat variasi kemiringan lahan memiliki bentuk yang berbeda. Seiring meningkatnya kemiringan lahan, diikuti dengan meningkatnya debit puncak dan memendeknya waktu puncak. Debit puncak maksimum terjadi pada kemiringan lahan 5% yaitu sebesar 0,02507 L/det dalam waktu 42 menit.

Tabel 7. Data hasil pengukuran I = 50 mm/jam

| I = 50 mm/jam Dd = 1,0315 | | | | | | |
|---------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Waktu (Jam) | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 15,86 | 0,0176 | 17,09 | 0,0189 | 17,65 | 0,0196 |
| 0,5 | 23,39 | 0,0259 | 25,43 | 0,0282 | 26,35 | 0,0292 |
| 0,75 | 25,36 | 0,0281 | 26,89 | 0,0298 | 27,37 | 0,0304 |
| 1 | 21,28 | 0,0236 | 21,5 | 0,0238 | 22,54 | 0,0250 |
| 1,25 | 5,05 | 0,0056 | 3,58 | 0,0039 | 2,15 | 0,0023 |
| 1,5 | 2,11 | 0,0023 | 1,2 | 0,0013 | 0,57 | 0,0006 |
| 1,75 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 | 0 | 0,0000 |



Gambar 6. Hidrograf observasi I = 50 mm/jam

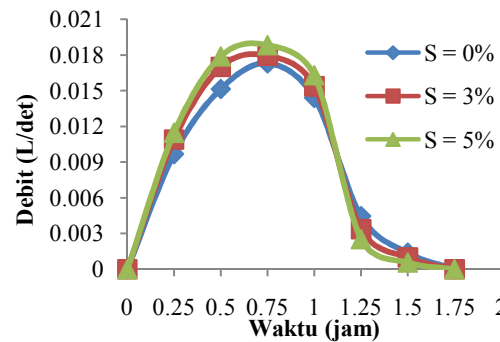
Dari gambar 6 dapat dilihat bahwa hidrograf limpasan yang terbentuk akibat variasi kemiringan lahan pada intensitas hujan 50 mm/jam dan $D = 1,0315 \text{ m}^2$ memiliki nilai debit puncak yang berbeda. Semakin meningkatnya kemiringan lahan, maka debit puncak akan meningkat dan waktu puncak terjadi lebih cepat.

4.3. Pengukuran Limpasan pada $D = 1,663 \text{ m}^2$

Tabel 8. Data hasil pengukuran I = 30 mm/jam

| I = 30 mm/jam Dd = 1,663 | | | | | | |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Waktu | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| | Limpasa | Debit | Limpasa | Debit | Limpasa | Debit |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 13,7 | 0,01522 | 14,61 | 0,01623 | 14,88 | 0,01653 |
| 0,5 | 18,89 | 0,02099 | 20,46 | 0,02273 | 22,17 | 0,02463 |
| 0,75 | 21,94 | 0,02438 | 22,15 | 0,02461 | 23,02 | 0,02558 |
| 1 | 17,22 | 0,01913 | 17,72 | 0,01969 | 17,27 | 0,01919 |
| 1,25 | 4,14 | 0,00460 | 3,13 | 0,00348 | 1,66 | 0,00184 |
| 1,5 | 1,03 | 0,00114 | 0,77 | 0,00086 | 0,49 | 0,00054 |
| 1,75 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 |

| (Jam) | n (L) | (L/det) | n (L) | (L/det) | n (L) | (L/det) |
|-------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 8,7 | 0,00967 | 9,81 | 0,01090 | 10,3 | 0,01144 |
| 0,5 | 13,63 | 0,01514 | 15,29 | 0,01699 | 16,1 | 0,01789 |
| 0,75 | 15,57 | 0,01730 | 16,15 | 0,01794 | 16,95 | 0,01883 |
| 1 | 12,96 | 0,01440 | 13,83 | 0,01537 | 14,67 | 0,01630 |
| 1,25 | 4,01 | 0,00446 | 3,02 | 0,00336 | 2,28 | 0,00253 |
| 1,5 | 1,22 | 0,00136 | 0,89 | 0,00099 | 0,51 | 0,00057 |
| 1,75 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 |

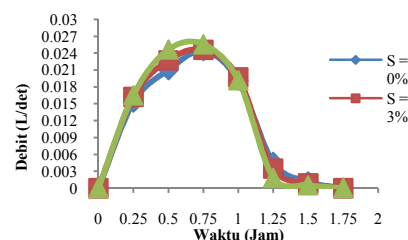


Gambar 7. Hidrograf observasi I = 30 mm/jam

Dari gambar 7 dapat dilihat bahwa kenaikan kemiringan lahan berbanding lurus dengan debit puncak. Kemudian untuk waktu puncak sendiri semakin memendek seiring meningkatnya kemiringan lahan.

Tabel 9. Data hasil pengukuran I = 40 mm/jam

| I = 40 mm/jam Dd = 1,663 | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Waktu (Jam) | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 13,7 | 0,01522 | 14,61 | 0,01623 | 14,88 | 0,01653 |
| 0,5 | 18,89 | 0,02099 | 20,46 | 0,02273 | 22,17 | 0,02463 |
| 0,75 | 21,94 | 0,02438 | 22,15 | 0,02461 | 23,02 | 0,02558 |
| 1 | 17,22 | 0,01913 | 17,72 | 0,01969 | 17,27 | 0,01919 |
| 1,25 | 4,14 | 0,00460 | 3,13 | 0,00348 | 1,66 | 0,00184 |
| 1,5 | 1,03 | 0,00114 | 0,77 | 0,00086 | 0,49 | 0,00054 |
| 1,75 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 | 0 | 0,00000 |

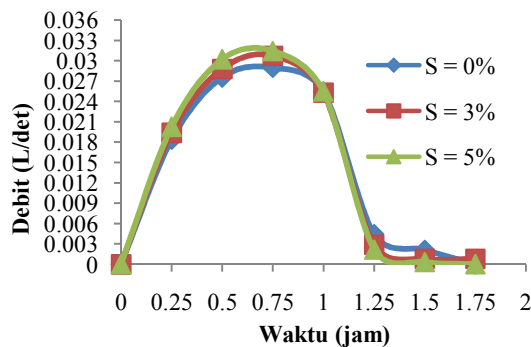


Gambar 8. Hidrograf observasi I = 40 mm/jam

Dari gambar 8 dapat dilihat bahwa hidrograf yang terbentuk pada masing-masing kemiringan lahan memiliki nilai debit puncak yang berbeda. Peningkatan kemiringan lahan ini mengakibatkan peningkatan debit puncak dan penurunan waktu puncak.

Tabel 10. Data hasil pengukuran I = 50 mm/jam

| I = 50 mm/jam Dd = 1,663 | | | | | | |
|--------------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| | S = 0% | | S = 3% | | S = 5% | |
| Waktu (Jam) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) | Limpasan (L) | Debit (L/det) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0,25 | 16,54 | 0,01838 | 17,45 | 0,01939 | 18,22 | 0,02024 |
| 0,5 | 24,79 | 0,02754 | 25,91 | 0,02879 | 27,18 | 0,03020 |
| 0,75 | 26,1 | 0,02900 | 27,67 | 0,03074 | 28,29 | 0,03143 |
| 1 | 22,89 | 0,02543 | 22,78 | 0,02531 | 22,94 | 0,02549 |
| 1,25 | 4,01 | 0,00446 | 2,62 | 0,00291 | 1,97 | 0,00219 |
| 1,5 | 1,93 | 0,00214 | 0,73 | 0,00081 | 0,32 | 0,00036 |
| 1,75 | 0 | 0,00000 | 0 | 0 | 0 | 0,00000 |



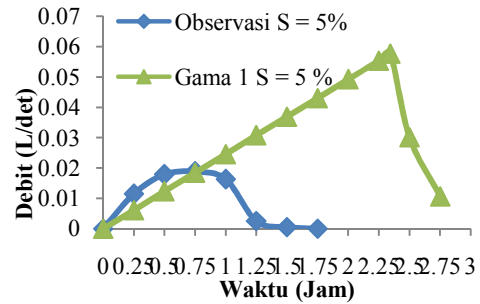
Gambar 9. Hidrograf observasi I = 50 mm/jam

Dari gambar IV.10 dapat dilihat bahwa pada kemiringan lahan 5% memiliki waktu puncak yang paling pendek yaitu pada jam ke 0,6 atau menit ke 36 dengan debit puncak sebesar 0,03143 L/det.

4.4. Uji Kuantitatif Metode Lain Terhadap Hidrograf Observasi

Perbandingan metode lain dengan hidrograf observasi dilakukan pada salah satu variasi intensitas hujan, kemiringan lahan, dan kerapatan jaringan kurus. Pada perhitungan ini dipilih intensitas hujan 50 mm/jam, kemiringan lahan 5%, dan kerapatan jaringan kurus (D) 1,663 m/m².

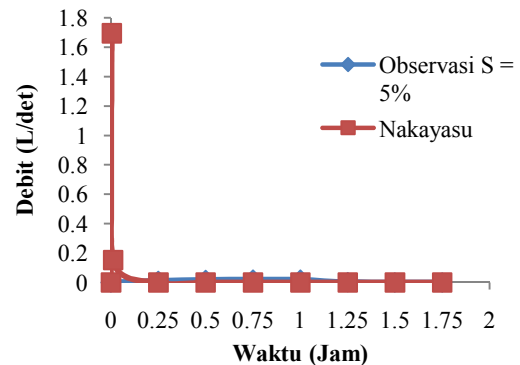
1. Perbandingan HSS Gama 1 dan Observasi



Gambar 10. Hidrograf HSS Gama I dan Observasi

Dari gambar 10 dapat dilihat pada metode HSS Gama I waktu puncak terjadi pada jam ke 2,344 dengan debit puncak sebesar 0,0577 L/det.

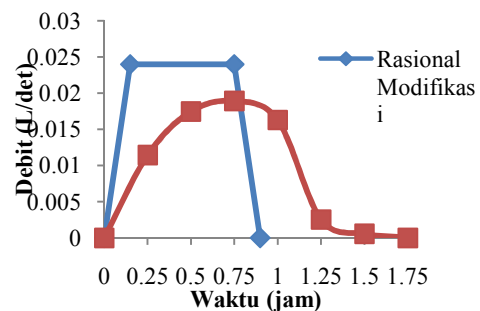
2. Perbandingan HSS Nakayasu dan Observasi



Gambar 11. Hidrograf HSS Nakayasu dan Observasi

Dari gambar 11 dapat dilihat pada metode HSS Nakayasu waktu puncak terjadi pada menit ke 0,234 dengan debit puncak sebesar 1,6953 L/det.

3. Perbandingan Metode Rasional Modifikasi dan Observasi



Gambar 12. Hidrograf asional modifikasi dan Observasi

Dari gambar 11 dapat dilihat pada metode HSS Nakayasu waktu puncak terjadi pada jam ke 0,148 dengan debit puncak sebesar 0,0239 L/det.

Hasil uji kuantitatif masing-masing metode diberikan pada tabel 11 berikut.

Tabel 11. Rekapitulasi uji kuantitatif

| No | Parameter | Gama I | Nakayasu | Rasional Modifikasi |
|----|--|-----------|----------|---------------------|
| 1 | <i>Coefficient of Efficiency</i> (CE) | 15,5176 | 2,16 | 0,81433 |
| 2 | <i>Relative error</i> dari volume total (EV) | 370,033 % | 100 % | 7,05984 % |
| 3 | <i>Absolute error</i> dari debit puncak (AEQp) | 0,0365 | -0,01892 | 0,00507 |
| 4 | <i>Relative error</i> dari debit puncak (EQp) | 224,034 % | 100 % | 7,53785 % |
| 5 | <i>Absolute error</i> dari waktu puncak (ETp) | 1,5 | -0,5 | 0 |

5. KESIMPULAN

Dari data hasil penelitian serta analisis dan pembahasan mengenai hidrograf limpasan akibat variasi intensitas hujan dan kemiringan lahan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Berdasarkan hasil pengamatan, seiring terjadinya peningkatan intensitas hujan dan kemiringan lahan maka akan terjadi pula peningkatan debit puncak dan waktu puncak yang lebih pendek. Hal ini tergambar pada masing-masing hidrograf observasi bahwa pada intensitas hujan 50 mm/jam dan kemiringan lahan 5% menghasilkan debit puncak terbesar dalam waktu singkat dibandingkan dengan intensitas hujan dan kemiringan lainnya.
- Adanya perbedaan kerapatan jaringan kurus yaitu $D = 0$, $D = 1,0315 \text{ m}^2$, dan $D = 1,663 \text{ m}^2$ menghasilkan debit puncak yang berbeda pula. Semakin besar nilai D , maka debit puncak akan semakin besar. Begitu pula pada waktu puncak, akan terjadi lebih cepat pada kerapatan jaringan kurus yang lebih besar.
- Hasil analisis uji kuantitatif menunjukkan bahwa hidrograf satuan sintetik metode Gama I dan Nakayasu tidak cocok jika diterapkan pada skala laboratorium karena nilai *error* yang dihasilkan lebih dari 100%. Metode yang paling mendekati hasil hidrograf observasi berdasarkan penelitian di laboratorium adalah metode Rasional Modifikasi, dimana hasil *error* yang didapat mendekati nilai nol yaitu sebesar 7,5378 %. Walaupun demikian, masih ada perbedaan yang cukup jauh pada gambar bentuk hidrograf limpasan dari segi debit puncak, waktu puncak, dan waktu selesai. Oleh karena itu, perlu dilakukan peninjauan ulang untuk mencari nilai atau faktor koreksi yang lebih mendekati hidrograf observasi.

Adapun saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya yaitu :

- Untuk mendapatkan hasil yang akurat, perlu dilakukan dengan variasi yang lebih banyak pada intensitas hujan, kemiringan lahan, dan kerapatan jaringan kurus. Serta kondisi tanah uji

seperti kepadatan tanah dan ketebalan tanah., agar dapat mendekati kondisi lapangan yang sebenarnya.

- Perlu dilakukan penambahan total waktu simulasi yang lebih lama dan interval waktu pengukuran yang lebih pendek agar terbentuk hidrograf limpasan yang lebih baik hingga terjadinya penurunan debit sampai mendekati nilai nol.
- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut di laboratorium untuk mendapatkan faktor koreksi yang sesuai, sehingga metode-metode hidrograf satuan sintetik dapat menghasilkan nilai *error* yang lebih kecil dan dapat diterapkan pada skala laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Cetakan ke 5, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta, 2010.
- Br, Sri Harto, *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, 1993.
- C, D., Soemarto, *Hidrologi Teknik*. Penerbit Erlangga, Jakarta, 1999.
- Chakravarti, Ankit, dan M.K. Jain, *Experimental Investigation and Modelling of Rainfall Runoff Process*. Department of Hydrology Indian Institute of Technology Roorkee, India, 2014.
- Chou, C.M, and R.Y. Wang. *Online Estimation of Unit Hydrograph Using The Wavelet-based LMS Algorithm*. Hydrol Sci 47 (5) 721-738, 2002.
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W, *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York, 1988.
- Eripin, I., *Dampak Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Sungai di Daerah Pengaliran Sungai Cipinang*. 2005.
- Koyari, Elroy, Dwi Priyantoro, dan Dian Sisinggih, *Pola Pengendalian Banjir Kawasan Bambu Kuning Kota Jayapura*. Jurnal Teknik Pengairan Universitas Brawijaya, Malang, 2012.
- Laoh, OSH, *Keterkaitan Faktor Fisik, Faktor Sosial Ekonomi dan Tata Guna Lahan di Daerah Tangkapan Air dengan Erosi dan Sedimentasi (Studi Kasus Danau Tondano, Sulawesi Utara)*. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2002.
- Linsley, Ray K., & Fransini, Joseph B., *Hidrologi Untuk Insinyur*. Erlangga, Jakarta, 1989.
- Siby, Elza Patricia, L. Kawet, dan F. Halim, *Studi Perbandingan Hidrograf Satuan Sintetik Pada Daerah Aliran Sungai Ranoyapo*. Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, 2013.
- Suripin, *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. ANDI Offset, Yogyakarta, 2004.
- Ramahani, Ahmad Tanzil, *Analisa Hidrograf Daerah Aliran Sungai Ajkwa di Timika Papua*. Laporan Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Sriwijaya, Indralaya, 2011.
- Triatmodjo, Bambang, *Hidrologi Terapan*. Cetakan ke-3, Beta Offset, Yogyakarta, 2013.