

MODEL TREE DENGAN SISTEM PERSAMAAN NON LINIER UNTUK PERAMALAN (*FORECASTING*) ALIRAN SUNGAI SETAHUN KEDEPAN

Sulianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang
Alamat Korespondensi : Jl. Mertojoyo H5 Malang
Telpon : 0341-7626513, Hp : 08123267065, Email: -

ABSTRACT

Peramalan aliran setahun kedepan merupakan tahapan yang sangat penting dalam perencanaan pola operasi bangunan hidrolik terutama yang berfungsi untuk penyediaan air. Metode peramalan konvensional yang banyak diterapkan saat ini terbukti kurang memberikan hasil yang memuaskan. Model Tree Non Linier yang dikembangkan dalam penelitian ini terbukti secara kualitatif mampu mempresentasikan perilaku aliran inflow Waduk Selorejo dan Waduk Lahor yang akan terjadi setahun kedepan.

Model Tree Non Linier yang dapat memberikan hasil terbaik adalah sistem persamaan yang dibentuk dari seri data historik yang digeser bulanan, berarti aliran yang akan terjadi pada sebulan kedepan ($t+1$) akan sangat dipengaruhi oleh nilai aliran pada bulan saat ini (t), bulan sebelumnya ($t-1$), 2 bulan sebelumnya ($t-2$) hingga 12 bulan sebelumnya ($t-12$). Dengan menggunakan p running factor sebesar 1, maka diperoleh sejumlah 13 persamaan untuk prediksi aliran inflow Waduk Lahor dan 14 persamaan untuk prediksi aliran inflow Waduk Selorejo.

Implementasi sistem persamaan yang dihasilkan cukup baik dalam mempresentasikan hubungan antara vektor input (*seri data historik*) dengan vektor output (*data prediksi*). Hasil perbandingan grafis secara visual menunjukkan bahwa output dari model dapat mengenali pola aliran yang terjadi. Pada pengujian terhadap data training diperoleh nilai RMSE sebesar 0,1792 $m^3/detik$ untuk data dari Waduk Lahor, dan sebesar 0,0723 $m^3/detik$ untuk data Waduk Selorejo. Pada pengujian terhadap data testing diperoleh nilai RMSE sebesar 2,19 $m^3/detik$ untuk data dari Waduk Lahor dan sebesar 1,89 $m^3/detik$ untuk data Waduk Selorejo.

Kata kuncinya : Optimalisasi, penangkap gas landfill, bahan bakar alternatif.

PENDAHULUAN

Metode peramalan debit konvensional yang banyak digunakan untuk operasional bangunan hidrolik adalah teknik peramalan debit sederhana, yaitu dengan menganggap bahwa debit aliran sungai yang terjadi pada periode mendatang akan sama dengan debit yang diukur saat ini. Teknik sederhana ini telah diterapkan antara lain di Proyek Jeratunseluna pada program Kowater (Kedungombo Water Management) yang diusulkan oleh Dr. Phien (1993) dalam kerangka Jratunseluna Flood Warning System. Metode lainnya adalah metode kurva Resesi, yang telah diusulkan oleh Hatmoko untuk digunakan pada Basin Water Resources Management (BWRM) di Jawa. Akan tetapi metode resesi ini agak sulit diterapkan karena teknik analisisnya sangat kompleks dan memerlukan

wawasan hidrologi yang cukup, sehingga dianggap tidak efisien. (Hatmoko & Amirwandi ; 2001)

Berbagai upaya untuk memperbaiki kinerja metode tersebut telah banyak dilakukan diantaranya dengan penerapan model-model stokastik seperti Model Markov, Thomas Fiering, Matallal atau yang lain. Pada kebanyakan studi dan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tingkat kinerja yang dihasilkan lebih baik dari metode konvensional, namun metode tersebut dinilai juga belum optimal karena masih memberikan tingkat kesalahan yang relatif besar. Model Markov cukup baik untuk data historik yang memiliki variasi tahunan kecil, namun bila variasi tahunannya besar hasil yang diperoleh menjadi kurang memuaskan. Hal ini menunjukkan bahwa Model Markov kurang mampu merespon terjadinya fluktuasi aliran yang

ekstrim, sehingga menjadi kurang relevan untuk diterapkan bila dikaitkan dengan isu adanya perubahan iklim global. (Sulianto, 2008)

Kemajuan dunia komputer dan metode numerik berdampak pada perkembangan kemajuan bidang pemodelan matematika. Model Tree merupakan salah satu model matematik yang berbasis pada sistem kecerdasan buatan (*artificial intelligence*). Aplikasi Model Tree dalam bidang hidrologi telah banyak dikembangkan untuk memecahkan berbagai kasus dengan hasil yang cukup memuaskan, diantaranya untuk penelusuran banjir pada perencanaan sistem peringatan banjir (flood warning system), transformasi data curah hujan menjadi data debit, peramalan pasang surut muka air laut dan lain-lain. Model Tree cukup baik dalam mempresentasikan hubungan antara hidrograf yang terjadi pada Stasiun Sidan dan Stasiun Buangga pada Tukad Ayung di Kabupaten Badung Propinsi Bali. Dengan nilai root mean square error (RMSE) sebesar 2,746 m³/detik atau setara dengan tingkat akurasi 78,32% menunjukkan bahwa hasil yang diperoleh cukup memuaskan. (Sulianto, 2006).

Penelitian ini pada dasarnya merupakan bagian dari kegiatan penelitian induk yang berjudul “Peramalan Aliran Sungai dengan Sistem Kecerdasan Buatan”. Disamping Model Tree, nantinya juga akan dikembangkan Model Jaringan Syaraf Tiruan dan Model Fuzzy Inference system. Dengan mencermati dan membandingkan hasil analisis yang diperoleh maka akan dapat diketahui tingkat kinerja beserta batasan-batasan penerapan dari model-model yang diteliti.

Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat kinerja dari penerapan Model tree dengan transformasi data logaritmik untuk peramalan aliran inflow Waduk Selorejo dan Waduk Lahor setahun ke depan. Agar dapat mengukur tingkat akurasi dari hasil analisis yang diperoleh maka seri data historik akan dibagi menjadi dua bagian, yaitu sebagian untuk data training dan sebagian lainnya untuk data testing. Data untuk mendukung kegiatan ini adalah debit inflow pada Waduk Selorejo dan Waduk Lahor yang tercatat sejak tahun 1992 hingga tahun 2007. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada pertimbangan bahwa seri data historik yang tersedia mencukupi ditinjau dari segi kuantitas maupun kualitas, dan pada daerah aliran sungai tersebut tidak terjadi perubahan hidrologis yang ekstrim. Hasil yang diperoleh diharapkan lebih baik

dari metode konvensional sehingga pola operasi Waduk Selorejo dan Waduk Lahor dapat direncanakan dengan hasil yang lebih optimal.

Permasalahan yang hendak dipecahkan dalam penelitian ini adalah :

- Bagaimana bentuk formula matematis berbasis Model Tree Non Linier yang sesuai untuk meramalkan debit inflow Waduk Selorejo dan Waduk Lahor?
- Sejahteramana formula matematis yang dihasilkan dapat mempresentasikan hubungan antara seri data debit historik dan debit hasil prediksi?

METODELOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Obyek penelitian adalah Waduk Selorejo dan Waduk Lahor di Kabupaten Malang. Kedudukan kedua waduk tersebut dalam Satuan Wilayah Sungai Brantas ditunjukkan pada Gambar 1.

Tahapan Kegiatan Penelitian

Tahapan kegiatan penelitian secara berturutan dilakukan sebagai berikut:

- Pengumpulan data
- Pemeriksaan data
- Analisis data
- Pembahasan hasil analisis data
- Penarikan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil penelitian

Pengumpulan Data

Data untuk keperluan penelitian ini adalah:

- Seri data debit inflow harian pada Waduk Selorejo dan Waduk Lahor dimulai tahun 1992 hingga tahun 2007.
- Seri data curah hujan harian pada stasiun-stasiun hujan yang tercakup dalam DAS Konto dan DAS Brantas dimulai tahun 1992 hingga tahun 2007.

Semua data tersebut pada dasarnya merupakan data sekunder yang bersumber dari Perum Jasa Tirta I Malang dan BMG Kabupaten Malang.

Pemeriksaan Data

Model Tree merupakan salah satu model yang berbasis pada data driven dimana tingkat unjuk kerja dari model yang dihasilkan akan sangat tergantung dari kualitas dan masukannya. Bagaimanapun kualitas data yang dimasukkan tentu tetap dapat memberikan output, namun model yang dihasilkan belum tentu dapat mempresentasikan fenomena yang terjadi sesungguhnya. Oleh sebab itu tahapan pemeriksaan dan pengujian data merupakan tahapan penting dalam penelitian ini.

Setelah semua seri data historik terkumpul, pemeriksaan terhadap setiap titik data dilakukan dengan seksama untuk mengetahui kemungkinan adanya bagian dari seri data yang hilang, maka bagian tersebut perlu diisi terlebih dahulu. Bila seri data yang hilang memiliki rentang pengukuran yang lebih dari satu tahun berturut-turut, maka seri data tersebut dibianakan dan data yang digunakan sebagai dasar analisis adalah seri data lengkap terakhir. Namun bila bagian data yang hilang memiliki rentang yang pendek, upaya melengkapi data yang hilang tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode rasio normal (*normal ratio methode*). Terjadinya kesalahan pengukuran atau penulisan data dapat ditelusuri dari adanya data ekstrim yang tercata. Untuk maksud ini dapat dilakukan uji silang terhadap data curah hujan yang bersesuaian. Upaya untuk memperbaiki data juga dapat dilakukan bila bagian seri data yang salah terjadi dalam rentang waktu yang pendek, yaitu dengan metode rasio normal. Namun bila kesalahan terjadi dalam rentang waktu yang panjang, apapun metode perbaikan yang dilakukan tidak akan memberikan hasil yang memuaskan, oleh sebab itu penggunaan seri data lengkap periode terakhir menjadi pilihan yang paling relevan sebagai dasar analisis.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengikuti alur seperti ditunjukkan Gambar 1. Tahapan analisis data tersebut dapat didiskripsikan sebagai berikut:

- Setelah seri data historik diperiksa dan diperbaiki berarti data tersebut telah siap

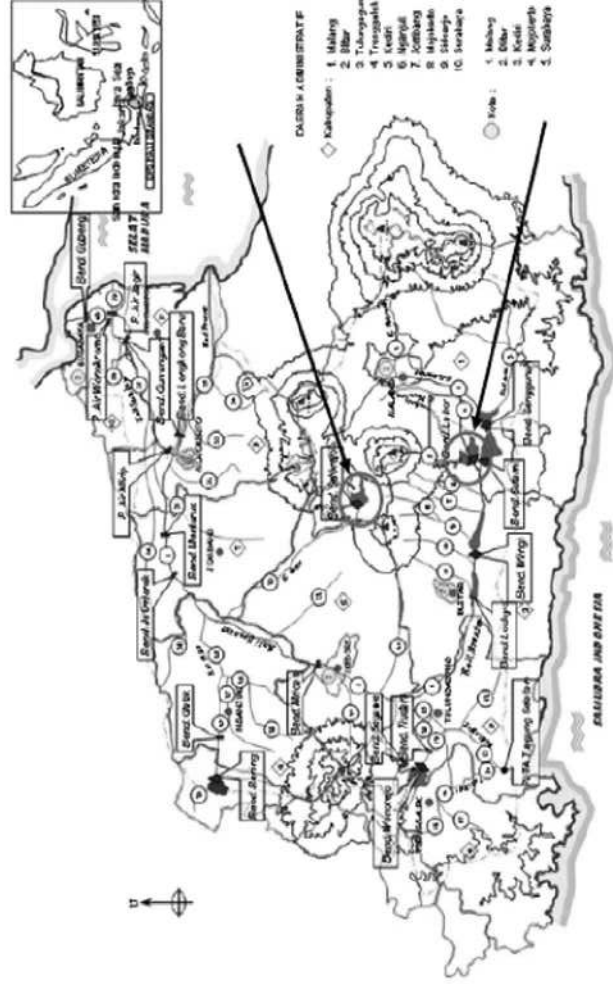
digunakan sebagai masukan pada analisis lebih lanjut

- Seri data dikelompokkan menjadi dua bagian, yaitu data latih (*data training*) dan data testing. Data training digunakan untuk membentuk model
- ekstrapolasi berbasis Model Tree dan data testing untuk menguji tingkat kinerja dari model yang dihasilkan. Untuk maksud ini data testing adalah seri data yang terukur pada dua tahun terakhir, dan sisanya adalah data training
- Analisis korelasi sederhana dimaksudkan untuk mengetahui hubungan antara masing-masing variabel independent dengan variabel dependent. Hasil analisis yang diperoleh selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan jumlah atribut dalam penyusunan Model Tree. Dalam analisis ini ditinjau dua cara sesuai dasar pendekatannya, yaitu hubungan antara debit pada periode bulan ke i terhadap debit pada periode bulan ke $i-1, i-2, \dots, i-12$ dan hubungan debit bulan ke i pada tahun ke t terhadap debit bulan ke i pada tahun-tahun sebelumnya. Nilai koefisien korelasi (r) semakin mendekati nilai 1 atau (-1) berarti variabel independent dan dependent memiliki hubungan yang erat dan saling mempengaruhi, dan bila mendekati nilai 0) berarti sebaliknya.
- Evaluasi dan penentuan batas jumlah variabel independent Berapapun jumlah variabel independent yang dilibatkan sebagai dasar analisis tentu akan memberikan keluaran sesuai harapan, namun dengan semakin besarnya jumlah variabel yang dilibatkan akan berdampak pada lamanya proses perhitungan untuk menghasilkan model yang sesuai dan model yang dihasilkan menjadi sangat kompleks sehingga menjadi sulit untuk diaplikasikan. Untuk menghindari hal tersebut maka pembatasan jumlah variabel independent perlu dilakukan agar dampak tersebut dapat ditekan sekecil mungkin. Koefisien korelasi merupakan besaran yang dapat digunakan sebagai indikator untuk menyatakan tingkat hubungan antar variabel dependent dan independent

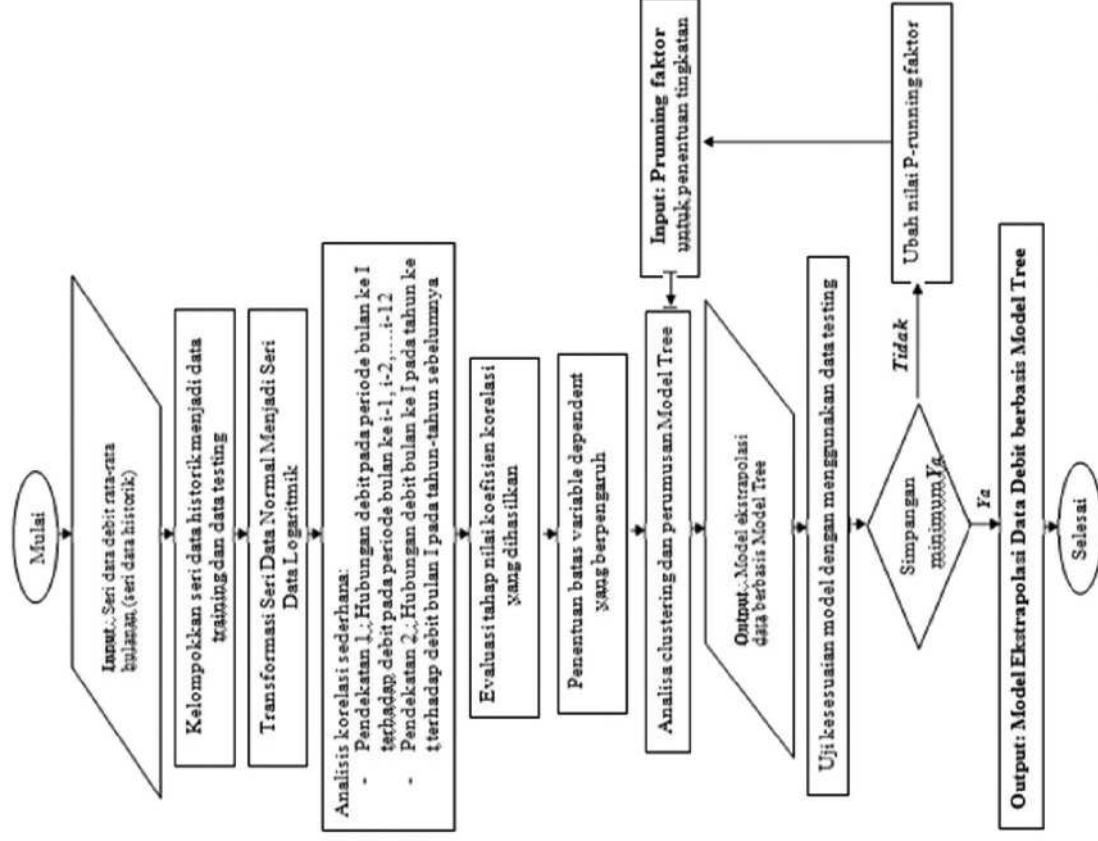
- Penyusunan matrik hubungan data input dan target sebagai input program WEKA. Matrik hubungan data input dan data target sebagai input dalam program WEKA disusun berdasarkan atribut dari variabel-variabel yang dilibatkan sebagai dasar analisis dengan batasan jumlah variabel. Kolom-kolom awal digunakan untuk pengisian data input, sedangkan kolom paling akhir digunakan untuk pengisian data target.
- Running program WEKA dengan berbagai Prunning Dalam analisisnya sebaran data hubungan antara variabel independent (*input*) dan dependent (*target*) dikelompokkan menjadi bagian-bagian yang kecil, selanjutnya tiap bagian ditentukan hubungan secara linier. Semakin banyak pembagian berarti tingkatan pohon akan semakin panjang dan model yang diperoleh juga semakin panjang sehingga persamaan-persamaan yang dihasilkan menjadi semakin rumit, namun demikian belum tentu diikuti dengan semakin membaiknya tingkat kinerja model yang dihasilkan. Tingkat pohon yang diindikasikan dengan P running factor harus diinputkan secara berulang-ulang dengan nilai yang berbeda-beda, selanjutnya hasil model yang diperoleh dipilih yang paling sesuai dan relevan. Tingkat kesesuaian model tentu saja ditentukan dengan pertimbangan kecilnya nilai

simpangan yang dihasilkan (RMSE) dan kesederhanaan model agar mudah diaplikasikan

- Penyusunan persamaan dan algoritma Model Tree untuk aplikasi Analisis dengan menggunakan Program WEKA 3.2 pada dasarnya merupakan proses clustering data yang memberikan hasil berupa persamaan-persamaan linier berganda yang menyatakan hubungan antara seri data debit historik dengan debit prediksi beserta syarat-syarat penerapannya. Jumlah persamaan yang dihasilkan akan semakin besar seiring dengan kecilnya nilai P running faktor dan besarnya jumlah variabel independent yang dilibatkan dalam analisis. Untuk dapat mengaplikasikan model yang dihasilkan guna melakukan prediksi besaran debit pada periode-periode mendatang, maka persamaan-persamaan linier berganda beserta syarat-syarat penerapannya tersebut harus dirangkai menjadi suatu algoritma matematis yang logis sehingga dapat dibuat program perhitungannya
- Uji Model dengan menggunakan input data testing Uji unjuk kerja model untuk mengetahui hubungan panjang seri data historik dengan akurasi hasil prediksi. Untuk maksud ini maka digunakan indikator RMSE (*root mean square error*)



Gambar 1 : Peta Lokasi Waduk Lahor dan Waduk Selorejo



Gambar 2. Alur Proses Analisa Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Teknis

Awal operasi
Manfaat

: Tahun 1972.
: PLTA, Irigasi, Pariwisata dan Pengendali banjir

Data Teknis Waduk Selorejo

Waduk

NWL : + 622.00 m
HWL : + 624.00 m
LWL : + 598.00 m
Luas Genangan (HWL) : 4.00 Km²

Waduk Selorejo terletak di Desa Selorejo, Kecamatan Ngantang, Kabupaten Malang Jawa Timur. Waduk Selorejo dibangun dengan cara membendung Sungai Konto yang merupakan salah satu anak Sungai Brantas. Ringkasan data teknis Waduk Selorejo diuraikan sebagai berikut :

Bendungan

Luas DAS : 236 Km²

Tipe : Urugan Batu

Elevasi puncak mercu : + 625.00 m

Kapasitas Tampungan

Tampungan Maksimum : 62.30 juta m³
Tampungan Efektif : 50.10 juta m³
Tampungan Mati : 12.20 juta m³

Data Teknis Waduk Lahor

Waduk Lahor terletak di Desa Karangates, Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang, Jawa Timur. Waduk Lahor dibangun dengan cara membendung Sungai Lesti yang merupakan salah satu anak Sungai Brantas. Ringkasan data teknis Waduk Lahor diuraikan sebagai berikut :

Bendungan

Luas DAS : 160 Km²
Tipe : Urugan Batu dengan inti tanah
Elevasi puncak mercu : + 278 m
Awal operasi : Tahun 1975.
Manfaat : PLTA, Irigasi, Pariwisata dan Pengendali banjir, pasokan ke Bendungan Sutami (Karangates)

Waduk

NWL : + 272.70 m
HWL : + 274.90 m
LWL : + 253.00 m
Luas Genangan (HWL) : 2.60 Km²

Kapasitas Tampungan

Tampungan Maksimum : 36,10 juta m³
Tampungan Efektif : 29,40 juta m³
Tampungan Mati : 6,70 juta m³

Kondisi Waduk

Waduk Selorejo

Waduk Selorejo dibangun tahun 1972, Bendungan Selorejo hulu terdapat Sabo Dam Tokol yang berfungsi untuk menangkap sedimen yang akan masuk ke Waduk Selorejo dan hilirnya terdapat kolam harian Mendalan atau Kolam Sekuli, PLTA Mendalan, Sabo Dam Mendalan, PLTA Siman dan Pondage Siman (untuk irigasi) yang dibangun pada zaman Belanda. Kondisi waduk ini sangat bagus dan pemandangan disekitar juga sangat asri karena waduk ini terletak diantara gunung Arjuno dan gunung Kelud. Selain bermanfaat untuk PLTA, irigasi dan pengendali banjir waduk ini juga digunakan untuk pariwisata. Type waduk ini adalah urugan batu dengan inti tanah. Luas daerah aliran sungai mencapai 236 Km². Kondisi Waduk

Selorejo secara visual ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Sarana outlet Waduk Selorejo



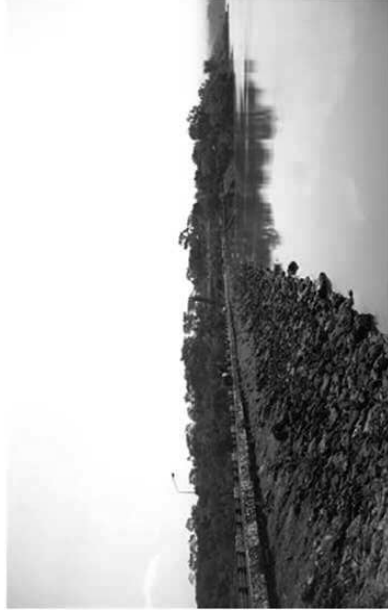
Gambar 4. Kondisi Waduk Selorejo

Waduk Lahor

Waduk Lahor dibangun tahun 1975 dan terletak berdekatan dengan Waduk Sutami (Karangates) di Kabupaten Malang. Didalam Waduk Lahor terdapat terowongan interkoneksi yang menghubungkan Waduk Lahor dengan Waduk Sutami. Dalam operasionalnya Waduk Lahor berfungsi sebagai pemasok air ke Waduk Sutami. Waduk Lahor terletak di Sungai Amprong dan memiliki luas daerah aliran sungai mencapai 160 Km². Kondisi Waduk Lahor secara visual ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5. Kondisi Waduk Lahor



Gambar 6. Kondisi Waduk Lahor

Data Debit Inflow

Data debit inflow yang digunakan sebagai dasar analisis dalam penelitian ini adalah data 10 harian sepanjang 15 Tahun yaitu Tahun 1992 sampai dengan Tahun 2007. Data yang ada dibagi menjadi dua bagian, sebagian untuk data training dan sebagian lainnya untuk data testing. Data mulai tahun 1992 sampai 2006 digunakan sebagai data training dan data tahun 2007 digunakan sebagai data testing.

Seri data periode 10 harian mulai Tahun 1992 hingga Tahun 2007 pada Waduk Selorejo dan Waduk Lahor secara rinci disajikan pada Tabel 3 dan Tabel 4, dan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 6. dan Gambar 7. Dari kedua kelompok data tersebut dapat diinterpretasikan beberapa hal sebagai berikut :

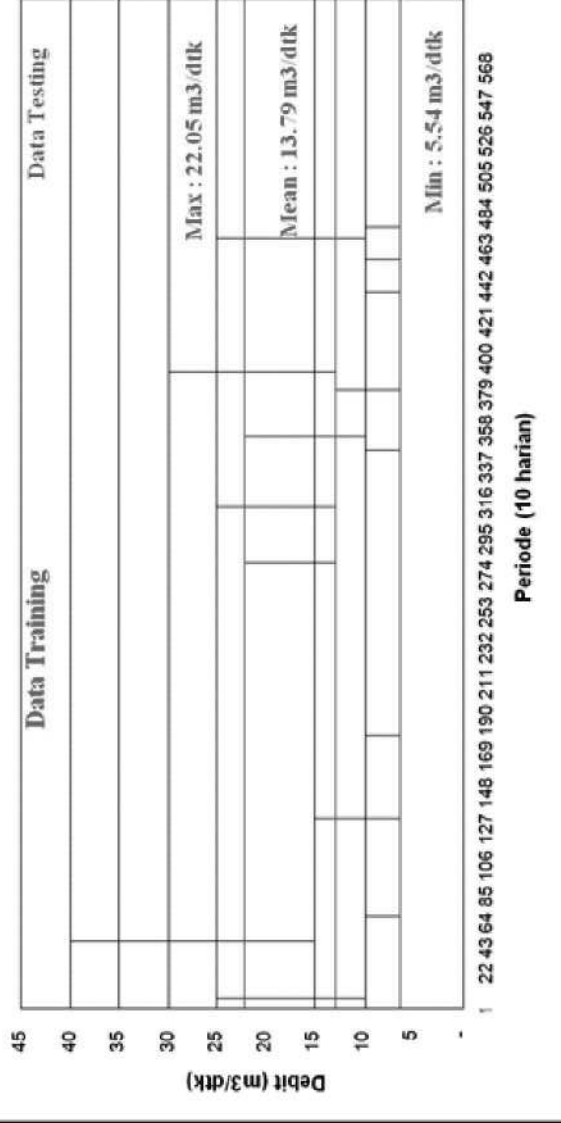
Waduk Selorejo

Fluktuasi aliran inflow ke Waduk Selorejo ditunjukkan pada Gambar 6. Catatan aliran yang terjadi terlihat cukup bagus. Nilai rerata minimum sebesar 5.54 m³/detik dan nilai rata-rata maksimum sebesar 22.05 m³/detik, sehingga mean rerata data adalah sebesar 13.79 m³/detik

Tabel 1 . Debit Inflow Rata-Rata Waduk Selorejo

Thn	Q_Min (m ³ /detik)	Q_Max (m ³ /detik)
1992	6.03	22.84
1993	5.44	40.38
1994	5.47	21.77
1995	5.18	18.80
1996	4.82	18.04
1997	3.51	20.65
1998	5.38	16.44
1999	6.09	23.13
2000	6.71	21.54
2001	6.86	21.43
2002	5.90	30.26
2003	4.66	19.23
2004	5.37	22.64
2005	5.93	14.01
2006	5.31	17.02
2007	5.97	24.57
Rata2	5.54	22.05
Rerata	13.79	

Hidrograf Data Debit Inflow Waduk SelorejoSelorejo 1992~Th. 2007



Gambar 7 : Data debit inflow Waduk Th. 1992-2007

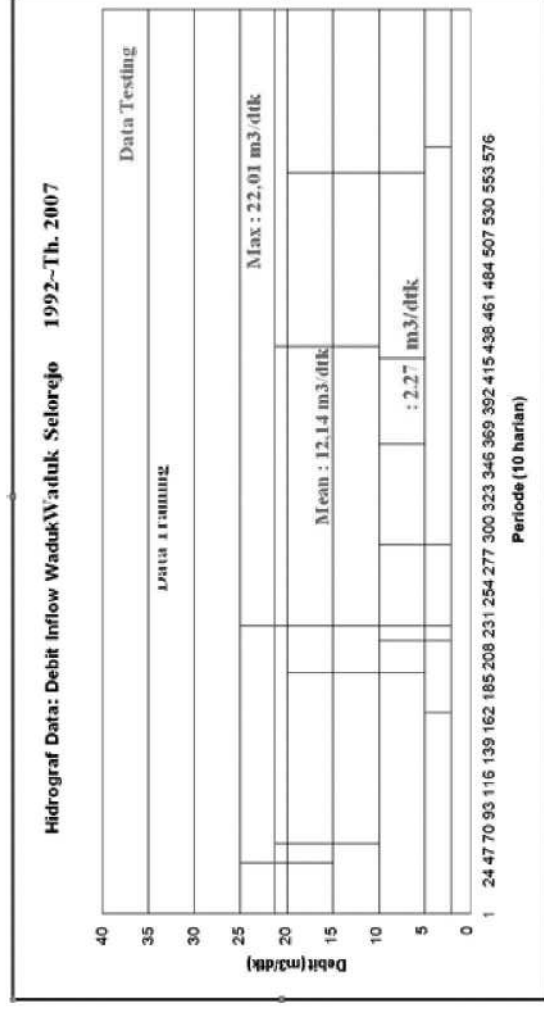
Waduk Lahor

Fluktuasi aliran inflow ke Waduk Lahor ditunjukkan pada Gambar 5.6. Catatan aliran yang terjadi terlihat kurang begitu bagus oleh karena memiliki

perbedaan yang cukup besar antara musim hujan dan musim kemarau. Nilai rerata minimum sebesar 2.27 m3/detik dan nilai rata-rata maksimum sebesar 22.01 m3/detik, sehingga mean rerata data adalah sebesar 12.14 m3/detik.

Tabel 2 . Debit Inflow Rata-Rata Waduk Lahor

Thn	Min	Max
1992	3.66	24.74
1993	1.42	22.54
1994	1.25	24.22
1995	1.37	15.81
1996	0.57	19.31
1997	1.52	24.25
1998	3.03	22.76
1999	3.06	21.39
2000	3.33	15.56
2001	2.76	17.83
2002	2.96	34.96
2003	2.34	17.42
2004	2.49	22.76
2005	2.45	19.31
2006	2.44	23.13
2007	1.68	26.18
Rata2	2.27	22.01
Rerata	12,14	



Gambar 8. Data debit inflow Lahor Th. 1992Th.sampai

Transformasi data

Untuk keperluan analisa Model Tree Non Linier, maka data aliran seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1, Tabel 2 diubah menjadi data dalam bentuk logaritmik. Data hasil transformasi selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 5-5, Tabel 5-6, Tabel 5-7 dan Tabel 5-8, dan secara grafis ditunjukkan pada Gambar 5.7 dan Gambar 5.8.

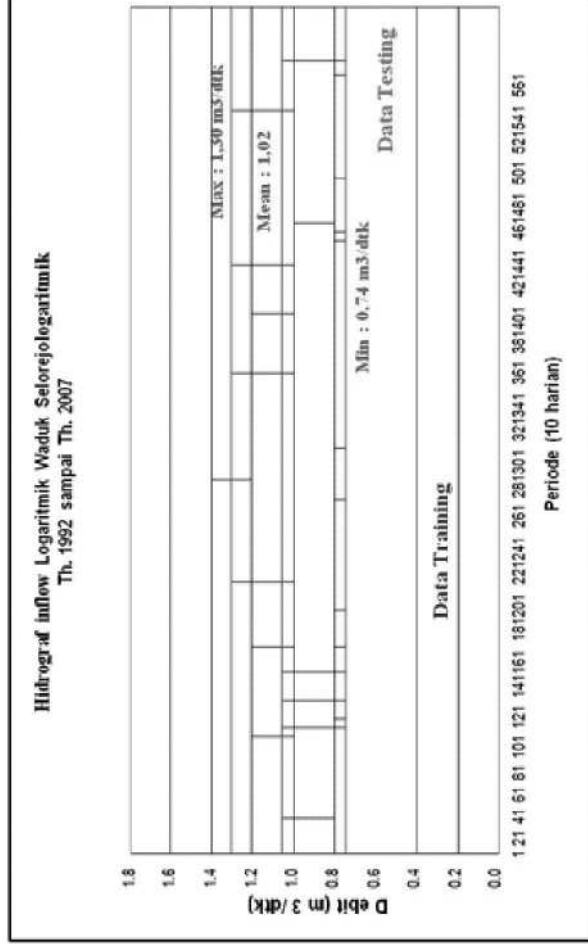
Dari kedua kelompok data tersebut dapat diinterpretasikan beberapa hal sebagai berikut:

Waduk Selorejo

Fluktuasi aliran inflow ke Waduk Selorejo dalam skala logaritmik ditunjukkan pada Gambar 5.7. Nilai rerata minimum, maksimum dan rerata dari data tersebut ditunjukkan pada Tabel 5-5. Nilai rerata minimum sebesar 0,74 m³/detik dan nilai rerata maksimum sebesar 1,30 m³/detik sehingga mean antara debit maksimum dan debit minimum adalah sebesar 1,02 m³/dtk.

Tabel 3. Debit Inflow Skala Logaritmik Waduk Selorejo

Thn	Log(Q) ₃ _Min (m ³ /detik)	Log(Q) ₃ _Maks (m ³ /detik)
1992	0.78	1.35
1993	0.73	1.54
1994	0.74	1.34
1995	0.71	1.25
1996	0.68	1.23
1997	0.54	1.30
1998	0.73	1.11
1999	0.78	1.34
2000	0.83	1.32
2001	0.84	1.31
2002	0.77	1.47
2003	0.66	1.25
2004	0.73	1.35
2005	0.77	1.14
2006	0.72	1.22
2007	0.77	1.28
Rata2	0.74	1.30
Mean		1.02

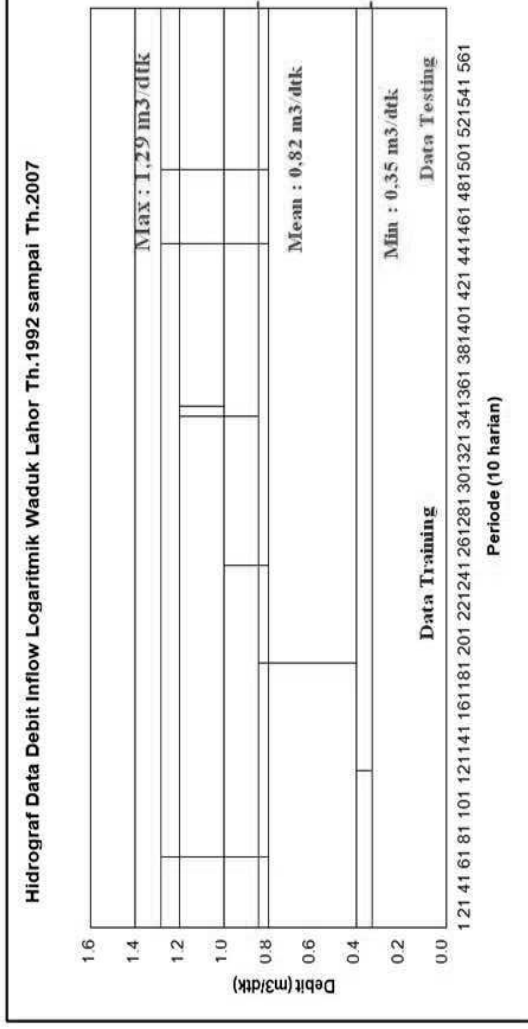


Gambar 9. Data Debit Inflow Waduk Selorejo dalam skala Hidrograf Waduk Lahor

Fluktuasi aliran inflow ke Waduk Lahor dalam skala logaritmik ditunjukkan pada Gambar 5.8. Nilai rerata minimum, maksimum dan rerata dari data tersebut ditunjukkan pada Tabel 5-6. Nilai rerata minimum sebesar 0,35 m³/detik dan nilai rerata maksimum sebesar 1,29 m³/dtk, sehingga mean antara debit maksimum dan debit minimum adalah sebesar 0,82 m³/dtk.

Tabel 4. Debit Inflow Logaritmik Rerata Waduk Lahor

Thn	Log(Q) Min (m ³ /detik)	Log(Q) Maks (m ³ /detik)
1992	0.56	1.37
1993	0.12	1.35
1994	0.09	1.36
1995	0.13	1.12
1996	0.42	1.26
1997	0.15	1.20
1998	0.46	1.34
1999	0.47	1.32
2000	0.52	1.18
2001	0.43	1.24
2002	0.45	1.49
2003	0.37	1.21
2004	0.39	1.31
2005	0.39	1.27
2006	0.38	1.29
2007	0.22	1.29
Rata2	0.35	1.29
Mean	0.82	



Gambar 10. Hidrograf inflow Waduk Lahor dalam skala logaritmik

Analisa Korelasi Sederhana (r)

Penentuan parameter statistik berupa koefisien korelasi merupakan tahapan penting dalam analisis Model Tree. Pengujian koefisien korelasi ini bertujuan untuk mengetahui hubungan keterkaitan antar seri data. Jumlah data yang diambil dari populasi yang sama kemudian dapat diketahui nilai korelasi (r), semakin mendekati +1 atau -1 maka variabel dependen dan variabel independen memiliki hubungan yang sangat erat dan saling mempengaruhi. Tingkat keeratan hubungan antar kelompok data historik secara ringkas ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7 dan Tabel 8.

Tabel 5 adalah hasil analisis korelasi kelompok data periode tertentu dengan data bulan-bulan

sebelumnya (seri data digeser bulanan), sedangkan Tabel 5-10 menunjukkan hasil analisis korelasi antara data periode tertentu dengan data periode yang sama tahun-tahun sebelumnya (seri data digeser tahunan). Dari kedua tabel tersebut terlihat bahwa seri data digeser tahunan cenderung memiliki nilai yang lebih baik dibanding seri data yang digeser bulanan. Disamping itu juga terlihat tidak adanya kecenderungan nilai koefisien korelasi yang dihasilkan, sehingga sulit untuk membatasi jumlah variabel yang dilibatkan dalam analisis Model Tree. Untuk meminimalisir kesalahan, maka semua variabel mulai Q(t-1) hingga Q(t-12) pada analisis data bulanan dan mulai Q(t-1) hingga Q(t-6) pada analisis data tahunan dilibatkan dalam pembentukan persamaan Model Tree. Kondisi tersebut diberlakukan pada kedua kelompok data yang diteliti.

Tabel 5. Analisa Korelasi Data Debit Inflow Waduk Selorejo Antar Periode Bulanan

	Q(t-12)	Q(t-11)	Q(t-10)	Q(t-9)	Q(t-8)	Q(t-7)	Q(t-6)	Q(t-5)	Q(t-4)	Q(t-3)	Q(t-2)	Q(t-1)	Qt
Q(t-12)	1.00	0.71	0.44	0.12	-0.21	-0.47	-0.56	-0.49	-0.26	0.05	0.37	0.57	0.72
Q(t-11)		1.00	0.71	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.57	-0.49	-0.27	0.05	0.37	0.57
Q(t-10)			1.00	0.71	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.57	-0.50	-0.27	0.05	0.36
Q(t-9)				1.00	0.70	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.57	-0.50	-0.27	0.04
Q(t-8)					1.00	0.71	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.58	-0.50	-0.28
Q(t-7)						1.00	0.70	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.58	-0.50
Q(t-6)							1.00	0.70	0.44	0.12	-0.21	-0.48	-0.58
Q(t-5)								1.00	0.71	0.44	0.12	-0.21	-0.48
Q(t-4)									1.00	0.71	0.45	0.13	-0.20
Q(t-3)										1.00	0.71	0.45	0.13
Q(t-2)											1.00	0.71	0.45
Q(t-1)												1.00	0.72
Qt													1.00

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 6 : Analisa Korelasi Data Debit Inflow Waduk Selorejo Antar Periode Tahunan

	Q(t-6)	Q(t-5)	Q(t-4)	Q(t-3)	Q(t-2)	Q(t-1)	Qt
Q(t-6)	1.00	0.72	0.65	0.60	0.52	0.56	0.66
Q(t-5)		1.00	0.72	0.62	0.58	0.50	0.58
Q(t-4)			1.00	0.69	0.61	0.55	0.50
Q(t-3)				1.00	0.67	0.60	0.51
Q(t-2)					1.00	0.65	0.60
Q(t-1)						1.00	0.63
Qt							1.00

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 7. Analisa Korelasi Data Debit Inflow Waduk Lahor Antar Periode Bulanan

	Q(t-12)	Q(t-11)	Q(t-10)	Q(t-9)	Q(t-8)	Q(t-7)	Q(t-6)	Q(t-5)	Q(t-4)	Q(t-3)	Q(t-2)	Q(t-1)	Qt
Q(t-12)	1.00	0.65	0.39	0.14	-0.13	-0.37	-0.48	-0.42	-0.22	0.00	0.26	0.40	0.55
Q(t-11)		1.00	0.65	0.39	0.15	-0.12	-0.37	-0.47	-0.42	-0.23	-0.02	0.24	0.39
Q(t-10)			1.00	0.65	0.39	0.15	-0.12	-0.37	-0.48	-0.42	-0.23	-0.03	0.23
Q(t-9)				1.00	0.65	0.39	0.15	-0.12	-0.37	-0.48	-0.43	-0.25	-0.04
Q(t-8)					1.00	0.65	0.39	0.15	-0.12	-0.37	-0.49	-0.44	-0.27
Q(t-7)						1.00	0.65	0.39	0.15	-0.13	-0.38	-0.49	-0.46
Q(t-6)							1.00	0.65	0.39	0.15	-0.13	-0.37	-0.49
Q(t-5)								1.00	0.65	0.39	0.15	-0.12	-0.37
Q(t-4)									1.00	0.65	0.39	0.16	-0.11
Q(t-3)										1.00	0.65	0.40	0.17
Q(t-2)											1.00	0.66	0.41
Q(t-1)												1.00	0.66
Qt													1.00

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 8. Analisa Korelasi Data Debit Inflow Waduk Lahor Antar Periode Tahunan

	Q(t-6)	Q(t-5)	Q(t-4)	Q(t-3)	Q(t-2)	Q(t-1)	Qt
Q(t-6)	1.00	0.48	0.45	0.56	0.40	0.35	0.55
Q(t-5)		1.00	0.51	0.48	0.58	0.41	0.44
Q(t-4)			1.00	0.45	0.51	0.59	0.46
Q(t-3)				1.00	0.45	0.51	0.56
Q(t-2)					1.00	0.47	0.52
Q(t-1)						1.00	0.50
Qt							1.00

Pembelajaran dengan Program WEKA

Pemecahan Model Tree dilakukan dengan bantuan software berupa program WEKA versi 3.2. dengan memasukkan data training. Dengan memasukkan P. running factor maka diperoleh persamaan yang merupakan komponen dari Model Tree yang dihasilkan, berikut indikator tingkat kinerjanya berupa correlation coefficient, root mean squared error dan root relative squared error. Running

program dilakukan dengan besaran P running faktor 1.00, 2.00, 3.00, 4.00 dan 5.00. Hasil running program WEKA selengkapnya disajikan pada Tabel 9, Tabel 10, Tabel 11 dan Tabel 12. ringkasan hasil evaluasi perhitungan yang diperoleh diuraikan sebagai berikut :

Tabel 9. P running faktor Waduk Selorejo digeser Bulanan

P running faktor	correlation coefficient	root mean squared error	root relative squared error
1.00	0.8256	0.0966	56.5019 %
2.00	0.8275	0.096	56.1599 %
3.00	0.8311	0.0951	55.6131 %
4.00	0.8327	0.0947	55.372 %
5.00	0.8327	0.0947	55.372 %

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 10. P running faktor Waduk Selorejo digeser Tahunan

P running faktor	correlation coefficient	root mean squared error	root relative squared error
1.00	0.7242	0.1078	69.0342 %
2.00	0.7163	0.1092	69.9012 %
3.00	0.7383	0.1054	67.4553 %
4.00	0.7383	0.1054	67.4553 %
5.00	0.7383	0.1054	67.4553 %

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 11. P running faktor Waduk Lahor digeser Bulanan

P running faktor	correlation coefficient	root mean squared error	root relative squared error
1.00	0.7563	0.1739	65.5439 %
2.00	0.7382	0.1792	67.5585 %
3.00	0.734	0.1804	67.987 %
4.00	0.7359	0.1797	67.7352 %
5.00	0.7371	0.1793	67.5898 %

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 12. P running faktor Waduk Lahor digeser Tahunan

P running faktor	correlation coefficient	root mean squared error	root relative squared error
1.00	0.7071	0.1738	70.8284 %
2.00	0.6978	0.1762	71.8129 %
3.00	0.7004	0.1754	71.4582 %
4.00	0.6891	0.1781	72.5534 %
5.00	0.664	0.1839	74.9198 %

Sumber : Hasil Analisa

Dari tabel diatas terlihat bahwa model yang dihasilkan dengan memasukkan P running faktor yang berbeda cenderung tidak memberikan perbedaan hasil yang signifikan. Dengan mempertimbangkan tingkat

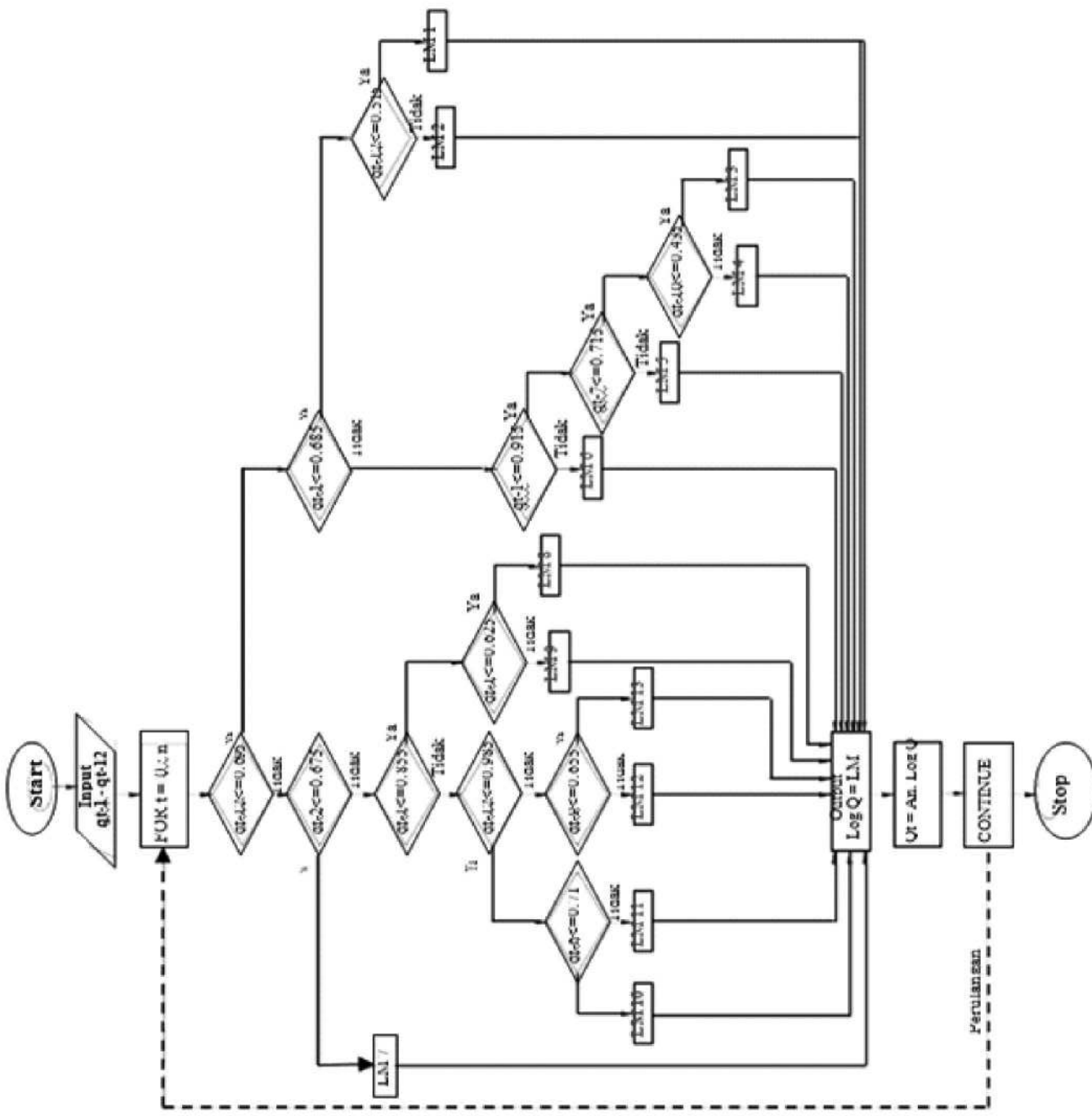
kesalahan atau simpangan minimum dan kesederhanaan model agar mudah diaplikasikan, maka Model Tree yang dihasilkan dapat ditentukan sebagai berikut :

1. Waduk Selorejo dengan data periode bulanan dengan P running factor 2.00
2. Waduk Selorejo dengan data periode tahunan dengan P running factor 1.00
3. Waduk Lahor dengan data periode bulanan dengan P running factor 2.00
4. Waduk Lahor dengan data periode tahunan dengan P running factor 3.00

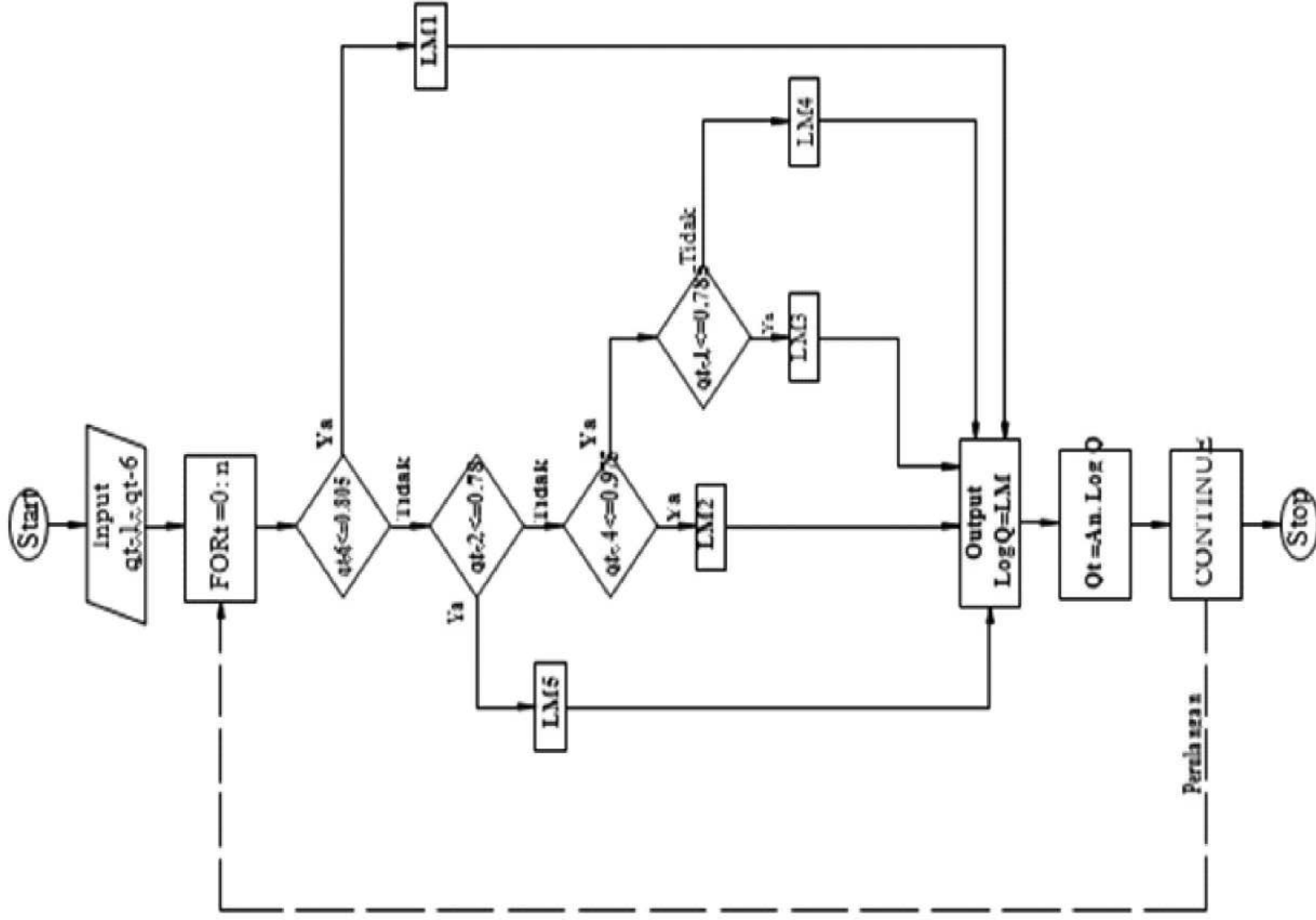
Algoritma Implementasi Model Tree Non Linier

Hasil running program WEKA versi 3.2 dengan masukan vektor input dan vektor target seperti disajikan pada Tabel 1 hingga Tabel 12, maka dapat disusun algoritma untuk implementasi model seperti ditunjukkan pada Gambar 10 hingga Gambar 13.

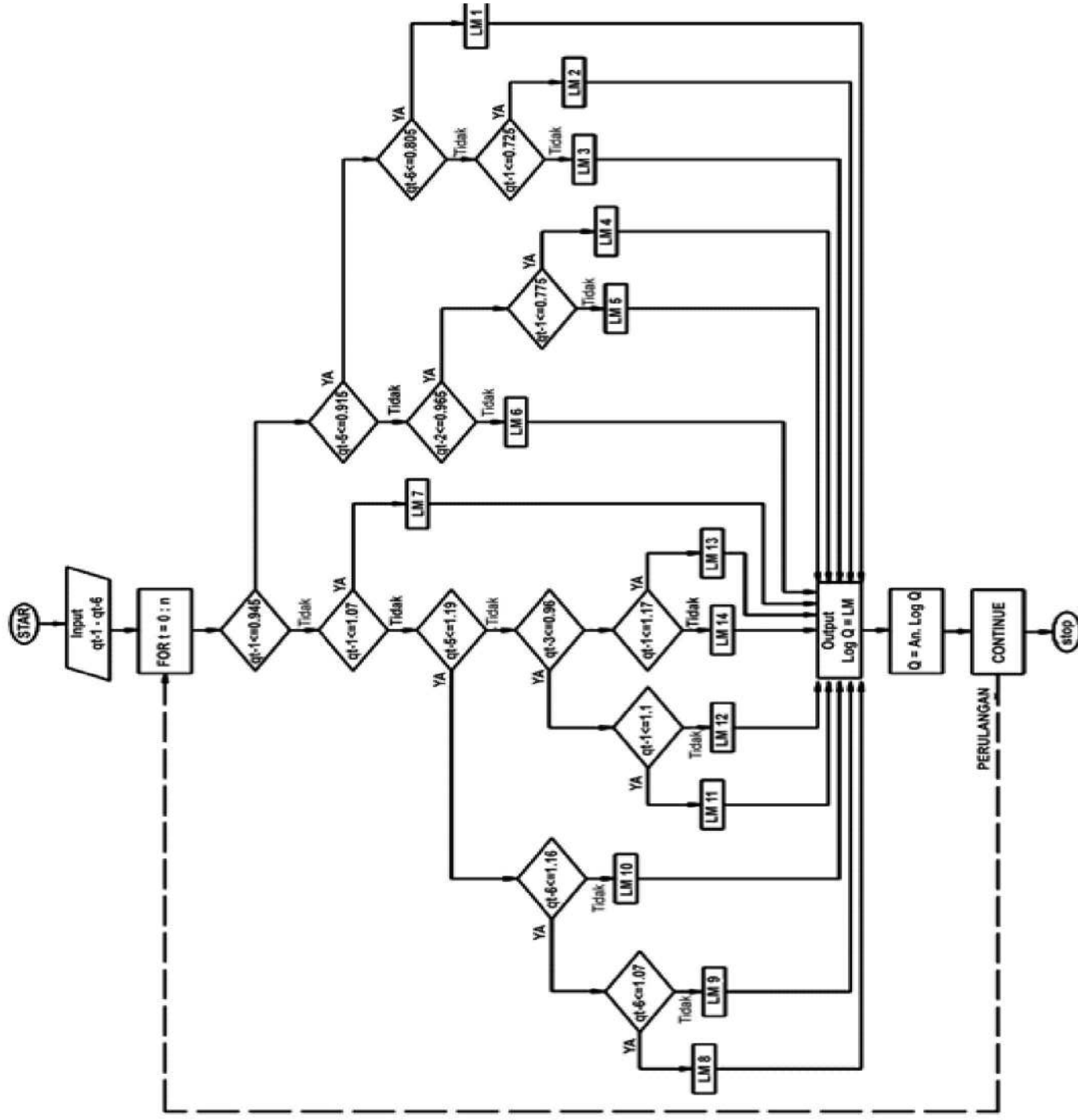
Hasil running Program WEKA 3.2 dengan berbagai nilai P running factor seperti diuraikan diatas.



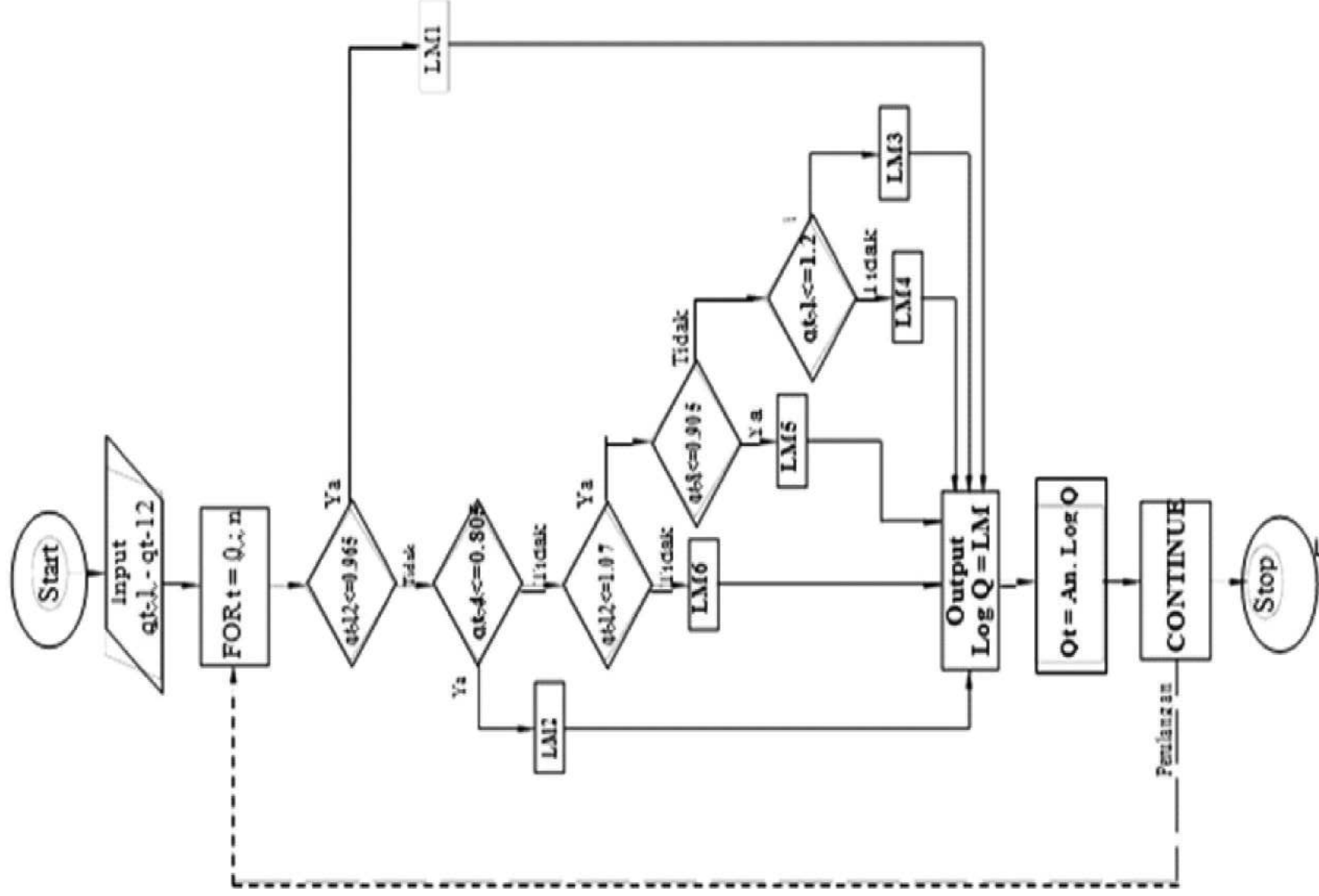
Gambar 11. Algoritma implementasi model dengan basis data digeser bulanan pada Waduk Lahor



Gambar 11. Algoritma implementasi model dengan basis data digeser tahunan pada Waduk Lahor



Gambar 12. Algoritma implementasi model dengan basis data digeser tahunan pada Waduk Selorejo



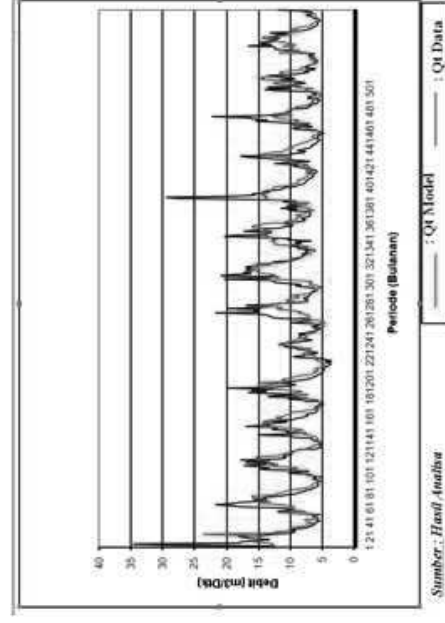
Gambar 13. Algoritma implementasi model dengan basis data digeser bulanan pada Waduk Selorejo

Pengujian Model

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kinerja dari metode prediksi berbasis Model Tree Non Linier yang dihasilkan. Uji model dilakukan pada dua tujauan, yaitu uji terhadap data training dan uji terhadap data testing. Data training yang digunakan adalah seri data Tahun 1992 sampai Tahun 2006, dan data testing yang digunakan sebagai pembandingan adalah data amatan Tahun 2007 pada Waduk Lahor dan Waduk Selorejo. Parameter untuk menentukan tingkat kecocokan adalah root mean square error (RMSE).

Uji terhadap Data Training.

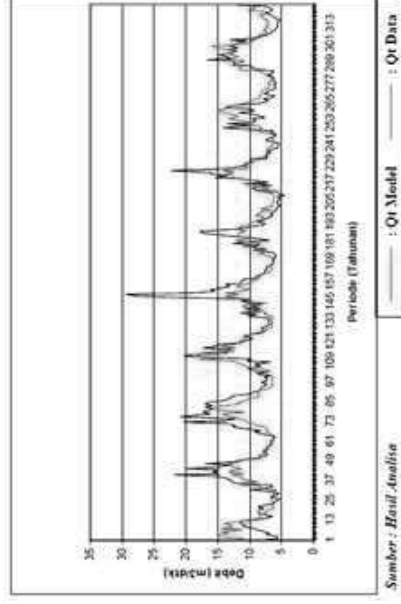
Perbandingan data debit hasil implementasi model dengan data training ditunjukkan pada Gambar 14 hingga Gambar 17. Gambar 14 menunjukkan perbandingan seri data training dengan seri data yang dihasilkan dari model yang dikembangkan dengan basis data digeser bulanan pada Waduk Selorejo. Dengan menggunakan sejumlah 14 persamaan hasil dari Model Tree, nilai RMSE diperoleh sebesar 0,0723 m³/detik. Nilai tersebut sangat kecil, dan menunjukkan bahwa model yang dikembangkan cukup baik dalam mengenali pola aliran yang terjadi.



Gambar 14. Hidrograf data hasil implementasi model (dari seri data digeser bulanan) dengan data training Waduk Selorejo

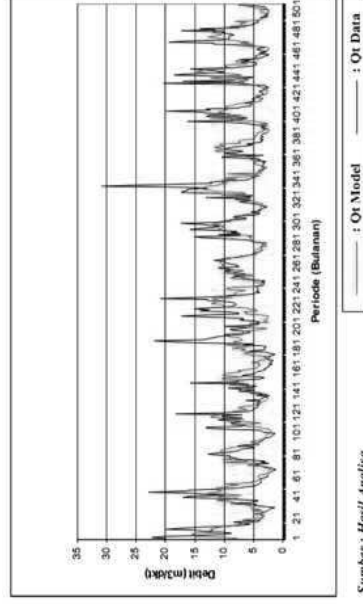
Gambar 15 menunjukkan perbandingan antara seri data training dengan seri data hasil implementasi model pada Waduk Selorejo. Model yang dibentuk dengan menggunakan masukan seri data digeser

tahunan yang hanya memberikan 6 persamaan, terlihat kurang memberikan hasil yang maksimal. Walaupun nilai RMSE yang diperoleh sebesar 0,1356 (cukup kecil), namun ditinjau dari pola aliran (terlihat secara visual) terlihat bahwa model tersebut kurang baik dalam mengenali perilaku fluktuasi aliran yang terjadi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem persamaan untuk prediksi aliran berbasis Model Tree Non Linier yang dikembangkan dari seri data digeser bulanan masih lebih baik dari data yang digeser

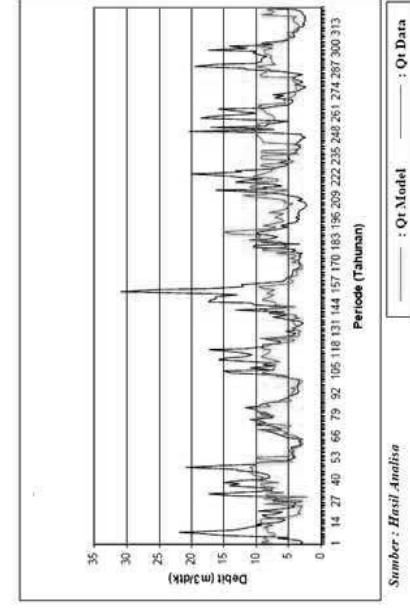


Gambar 15 . Hidrograf data hasil implementasi model (dari seri data digeser tahunan) dengan data training Waduk Lahor

Gambar 16 dan Gambar 17 menunjukkan bahwa untuk mendekati nilai debit minimum hingga nilai rata-rata model yang dikembangkan cukup baik, namun untuk mengantisipasi terjadinya debit ekstrim model tersebut terlihat kurang memadai. Nilai RMSE sebesar 0,1792 untuk data Waduk Lahor digeser bulanan dan 0,1754 untuk data digeser tahunan menunjukkan bahwa secara umum model yang dikembangkan dari seri data yang digeser bulanan lebih baik dalam mengenali perilaku aliran yang terjadi.



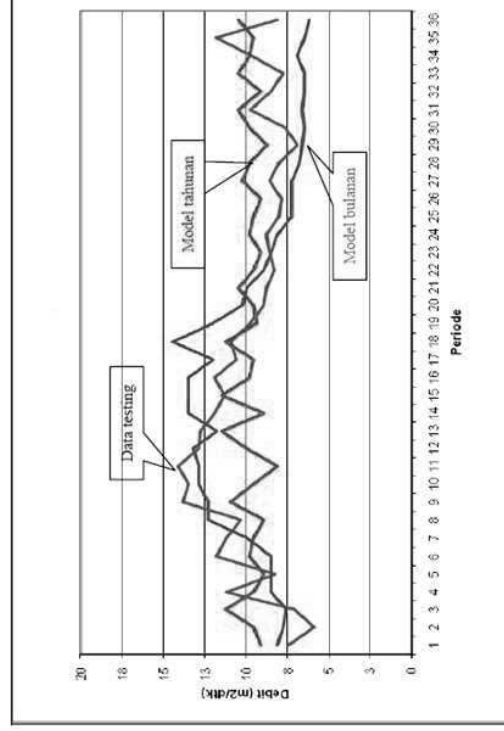
Gambar 16. Hidrograf data hasil implementasi model (dari seri data digeser bulanan) dengan data training Waduk Lahor



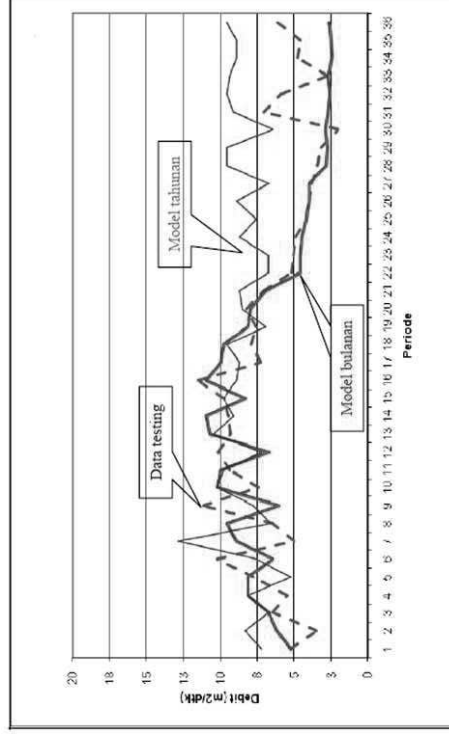
Gambar 17 . Hidrograf data hasil implementasi model (dari seri data digeser tahunan) dengan data training Waduk Lahor

Uji terhadap Data Testing.

Tabel 5-21 dan Tabel 5-22 menunjukkan perbandingan secara kuantitatif antara data aliran Tahun 2007 sebagai data testing dengan data hasil prediksi dari model yang telah diperoleh. Grafik yang menunjukkan perbandingan visual perilaku aliran dari kedua kelompok data tersebut ditunjukkan pada Gambar 18 dan 19. Interpretasi dari tabel dan gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa model yang dikembangkan dari basis data digeser bulanan memiliki pola yang lebih baik dari pada model dengan basis data digeser tahunan. Nilai RMSE terhadap data testing pada aliran inflow Waduk Lahor diperoleh sebesar 1,89 m³/detik dan Waduk Selorejo sebesar 2,19 m³/det.



Gambar 18 . Perbandingan antara data testing dengan hasil model Waduk Selorejo



Sumber : Hasil analisa

Gambar 19 . Perbandingan antara data testing dengan hasil model Waduk Lahor

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil analisis data dan pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model Tree Non Linier yang dapat memberikan hasil terbaik adalah sistem persamaan yang dibentuk dari seri data historik yang digeser bulanan, berarti bahwa aliran yang akan terjadi pada sebulan mendatang ($t+1$) akan sangat dipengaruhi oleh nilai aliran pada bulan saat ini (t), bulan sebelumnya ($t-1$), 2 bulan sebelumnya ($t-2$) hingga 12 bulan sebelumnya ($t-12$). Dengan menggunakan p running factor sebesar 1, maka diperoleh sejumlah 13 persamaan untuk prediksi aliran inflow Waduk Lahor dan 14 persamaan untuk prediksi aliran inflow Waduk Selorejo. Implementasi sistem persamaan yang dihasilkan cukup baik dalam mempresentasikan hubungan antara vektor input (seri data historik) dengan vektor output (data prediksi). Hasil perbandingan grafis secara visual menunjukkan bahwa output dari model dapat mengenali pola aliran yang terjadi. Pada pengujian terhadap data training diperoleh nilai RMSE sebesar 0,1792 m³/detik untuk data dari Waduk Lahor dan sebesar 0,0723 m³/detik untuk data Waduk Selorejo, dan pada pengujian terhadap data testing diperoleh nilai RMSE sebesar 2,19 m³/detik untuk data dari Waduk Lahor dan sebesar 1,89 m³/detik untuk data Waduk Selorejo.
2. Kemampuan adaptasi model yang dihasilkan cukup baik untuk mempresentasikan aliran-aliran normal, namun kurang baik untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya aliran-aliran yang bersifat ekstrim.

Saran

Mencermati hasil analisis yang telah diperoleh secara keseluruhan, kelemahan mendasar dari model yang dihasilkan adalah kurangnya kemampuan dalam mengantisipasi kemungkinan terjadinya debit-debit ekstrim. Kondisi tersebut sangat dipengaruhi oleh variasi data training. Nilai debit ekstrim yang akan

terjadi kemungkinan tidak terjangkau saat proses pembelajaran. Untuk meminimalkan resiko ini mungkin dapat ditempuh dengan memperpanjang seri data training dan melakukan analisis secara terpisah untuk aliran-aliran ekstrim saja.

DAFTAR PUSTAKA

- Frank, E., Wang, Y., Inglis, S., Holmes, G., and Witten, I.H., (1997), "Using *Model Trees for Classification*", Machine Learning Journal, Vol. 32, no 1, Pages 63-76.
- Hatmoko & Amirwandi, Waluyo, S (2001), "Penerapan Metode *Thomas Fiering Untuk Peramalan Debit Aliran Sungai Cimanuk di Bendung Rentang*, Prosiding Kongres VII & Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) **XIII HATHI**", Volume III, Malang.
- Lasminto, U (2004), "*Flood Modelling and Forecasting in The Surabaya River*", M.Sc. Thesis, HH 479, IHE, Delft, The Netherlands.
- Lasminto, U (2007), "*Model Tree Untuk Peramalan Elevasi Permukaan Air Laut 24 jam Kedepan di Muara Sungai Musi*", Jurnal Seminar Nasional Teknik Sipil III-2007, ISBN 978-979-99327-2-3 halaman E-75 ~ E84, Surabaya, Indonesia.
- Siek, M.B., (2003), "*Flexibility and Optimality in Model Trees Learning with Application to water-related Problem*", MSc. Thesis, HH 472, IHE, Delft, The Netherlands.
- Sikonja, M.R. and Kononenko, I. (1998), "*Pruning Regression Trees with MDDL.ECAI 98*", 13th European Conference in Artificial Intelligence.
- Solomatine, D.P. and Dulal, K.N. (2002), "*Model Tree as an Alternative to Neural Network Rainfall Runoff Modelling*", Hydrological

Sulianto (2006), "**Pengembangan Model Tree untuk penelusuran Debit** Tukad Ayung di Kabupaten Badung **Propinsi Bali**", Laporan Hasil Penelitian.

Sulianto, S. (2007), "**Pengaruh Panjang Seri Data Debit Historik Terhadap** Karakteristik Hasil Prediksinya Pada Penerapan Model Rantai Markov Untuk Ekstrapolasi Data Debit inflow di Waduk Selorejo Kabupaten **Malang**", Laporan Hasil Penelitian.

Waikanto ML Group (1997), "**User Manual-Weka the Waikato for Knowledge Analysis**", Departement of Computer Science, University of Waikato, June, pages 260.

Michael Hans (2004), "**Konsep Dasar Tree**", [Http://www.hansmichael.com](http://www.hansmichael.com).

Tikno, Sunu (2004), "**Peramalan Debit**", Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi, Hidrologi dan Lingkungan UPT Hujan Buatan-BPP Teknologi.