

Peramalan Kebutuhan *Bandwidth* Iub Jaringan UMTS dan HSDPA Menggunakan *Fuzzy Inference System* dan *Time Series*

Afterina Wahyu P., Erni Yudaningtyas dan Sholeh Hadi Pramono

Abstrak—Pertumbuhan pengguna sistem komunikasi data melalui *wireless* mengakibatkan kenaikan jumlah kebutuhan *bandwidth* pada Iub. Kenyataan ini dapat dipenuhi melalui teknologi *Radio Access Network* (RAN) berbasis *Internet Protocol* (IP) yang merupakan bagian dari arsitektur jaringan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) dan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Penerapan *interface Iub over IP* merupakan pengembangan dari RAN yang berbasis jaringan IP. Penentuan besarnya kebutuhan *bandwidth* yang menggunakan sistem manual mengakibatkan banyak terdapat Node B yang memiliki utilisasi Iub di bawah 40% dengan jumlah sewa *bandwidth* 50 Mbps. Paper ini mengkaji analisis kebutuhan *bandwidth* 1 bulan ke depan terhadap perkiraan pertumbuhan permintaan yang akan terjadi. Metode yang digunakan adalah *Fuzzy Inference System* (FIS) Sugeno dan *Fuzzy Time Series* (FTS). Hasil peramalan dengan metode FIS Sugeno untuk 20 Node B memiliki rata-rata *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 20,95 % sedangkan metode FTS memiliki rata-rata MAPE sebesar 11,14%. Rekomendasi terhadap kebutuhan *bandwidth* yang tepat adalah sebesar 25 Mbps sehingga dapat meningkatkan penghematan sewa *bandwidth* sebesar 50%.

Kata kunci—UMTS, HSDPA, Iub, FIS Sugeno, FTS.

I. PENDAHULUAN

PERTUMBUHAN pengguna jasa sistem komunikasi data melalui *wireless* menunjukkan kenaikan yang pesat yaitu pada tahun 2012 sebesar 37 % [1] dan tahun 2013 sebesar 45,4 % [2]. Kenyataan ini dapat dipenuhi melalui teknologi *Radio Access Network* (RAN) berbasis *Internet Protocol* (IP) yang merupakan bagian dari arsitektur jaringan *Universal Mobile Telecommunication System* (UMTS) dan *High Speed Downlink Packet Access* (HSDPA). Penerapan *interface Iub over IP* merupakan pengembangan dari RAN yang berbasis jaringan IP [4].

Logika *fuzzy* adalah suatu metode untuk mewakili adanya ketidakpastian yang menyertai data yang

diterima atau informasi sebagai hasil pengolahan data [4]. Parameter yang digunakan untuk meramalkan kapasitas *bandwidth* mengandung ketidakpastian, seperti contohnya "beban trafik tinggi" tidak dapat menjelaskan level secara spesifik. Parameter yang ambigu dapat dengan mudah diwakili dan dibuat keputusan berdasarkan aturan *fuzzy* menggunakan logika *fuzzy* [5].

Penggunaan logika *fuzzy* salah satunya adalah *Fuzzy Inference System* (FIS). FIS khususnya metode Sugeno telah banyak dimanfaatkan dalam beberapa penelitian dengan tingkat kesalahan yang relatif rendah. FIS digunakan untuk peramalan aliran sungai karena pada FIS Sugeno *output* (konsekuen) sistem tidak berupa himpunan *fuzzy*, melainkan berupa konstanta atau persamaan *linear* sehingga perhitungan yang dilakukan lebih sedikit [6] dan memiliki hasil yang lebih akurat dibanding dengan model regresi linier yang konvensional [7]. FIS juga digunakan untuk peramalan beban listrik jangka pendek karena memiliki hasil peramalan yang lebih akurat daripada metode konvensional [8].

Penelitian ini juga menggunakan hasil peramalan dengan metode *Fuzzy Time Series* (FTS) berbasis rata-rata. FTS dipilih karena masih menggunakan prinsip *fuzzy* sebagai dasarnya namun data-data pada FTS memiliki hubungan satu sama lain yang disebut *Fuzzy Logical Relationship* (FLR) [9]. Penelitian terkait aplikasi FTS telah banyak dilakukan untuk beberapa permasalahan seperti meramalkan indeks saham gabungan di Shanghai dengan data masa lalu yang sedikit [10].

Penentuan besarnya kebutuhan *bandwidth* masih menggunakan sistem manual yang mengakibatkan terjadi ketidakefisienan yaitu ada beberapa Node B yang memiliki utilisasi Iub di bawah 40% dengan jumlah sewa sebesar 50 Mbps sesuai dengan data yang diambil dari pihak operator. Pembuatan perangkat lunak digunakan untuk meramalkan kebutuhan *bandwidth* 1 bulan yang akan datang.

Berdasarkan pada permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini dilakukan beberapa hal yaitu yang pertama adalah melakukan peramalan kebutuhan *bandwidth* menggunakan metode FIS Sugeno dengan masukan trafik UMTS dan HSDPA, jumlah pelanggan dan kualitas pelayanan. Yang kedua adalah melakukan peramalan kebutuhan *bandwidth* menggunakan metode

Afterina Wahyu P adalah mahasiswa Program Magister Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. (email: afterina.wp@gmail.com)

Erni Yudaningtyas adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, email : erni_yudaningtyas@yahoo.co.id

Sholeh Hadi Pramono adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia, email : sholehpramono@gmail.com

FTS dengan masukan *trend bandwidth* selama bulan Februari 2012 sampai Januari 2014 dan yang terakhir adalah menghitung tingkat keakuratan hasil peramalan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) baik pada model peramalan FIS maupun FTS dan penghematan sewa *bandwidth* yang dapat dicapai pihak operator.

Manfaat dari penelitian ini adalah terpenuhinya informasi tentang kebutuhan *bandwidth* yang diharapkan sesuai dengan kondisi empiris berdasarkan metode yang digunakan, sehingga dapat melakukan efisiensi terhadap kebutuhan Operator Telekomunikasi X.

Ruang lingkup yang dimaksud dalam penelitian ini adalah lingkup tempat penelitian dan lingkup aspek kajian. Lingkup tempat penelitian dilakukan di jaringan UMTS dan HSDPA pada Operator Telekomunikasi X. Sedangkan data yang digunakan untuk meramalkan kebutuhan *bandwidth* Node B satu bulan yang akan datang yang meliputi jumlah pelanggan, kualitas layanan dan pemakaian *bandwidth* pada Node B dalam kurun waktu bulan Februari 2012 sampai bulan Januari 2014 berasal dari pengukuran yang ada di Operator Telekomunikasi X dan data tersebut hanya berasal dari Node B yang menggunakan *Iub over IP*.

II. DASAR TEORI

A. Jaringan UMTS

UMTS merupakan generasi ketiga (3G) yang menggunakan teknologi *Wideband Code Division Multiple Access* (WCDMA). WCDMA menggunakan teknik akses *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) dimana *code sequence* digunakan secara langsung untuk memodulasi sinyal radio yang dipancarkan dengan menggunakan sinyal penebar [11].

Sistem ini memiliki standar *bandwidth* sebesar 5 MHz, yang juga dapat ditingkatkan sampai dengan 10 MHz hingga 20 MHz, serta memiliki kecepatan data yang tinggi sampai 144 kbps untuk mobilitas tinggi, 384 kbps untuk mobilitas rendah dan 2 Mbps pada keadaan statis (diam) [12].

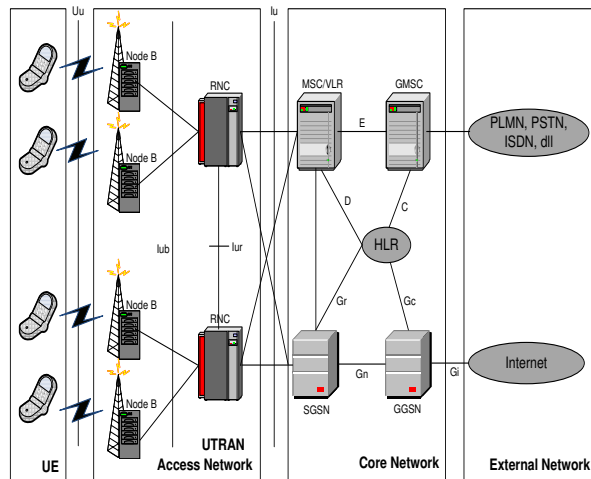
Gambar 1 merupakan arsitektur jaringan UMTS terdiri dari *User Equipment* (UE), *UMTS Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN), *Core Network* dan *External Network*. Pada bagian UTRAN terdapat bagian Node B dan *Radio Network Controller* (RNC) yang dihubungkan oleh *interface Iub*.

B. Jaringan HSDPA

HSDPA merupakan pengembangan dari *air interface* pada jaringan WCDMA sehingga HSDPA tetap menggunakan arsitektur jaringan UMTS. HSDPA bertujuan meningkatkan performansi jaringan WCDMA untuk mengatasi peningkatan *user* dan perkembangan komunikasi data yang mengarah pada komunikasi multimedia. HSDPA memiliki kecepatan berpotensi melampaui 10Mbps. Pada HSDPA diperkenalkan beberapa fitur baru yaitu [12]:

1. *Adaptive Modulation and Coding* (AMC)
2. *Channel Quality Indicator* (CQI)

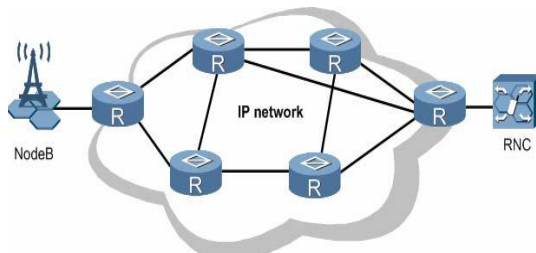
3. *Hybrid Automatic Repeat and Request* (HARQ)
4. *Fast Scheduling*
5. *Handover* (*Fast Cell Selection*)



Gambar 1. Arsitektur Jaringan UMTS

C. Konsep Iub over IP

Peningkatan peran *Internet Protokol* (IP) pada jaringan telekomunikasi modern menjadi semakin pesat seiring dengan lebih terkenalnya *IP transport* pada jaringan UTRAN [13]. *IP transport* pada UTRAN ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Topologi UTRAN dengan IP Transport

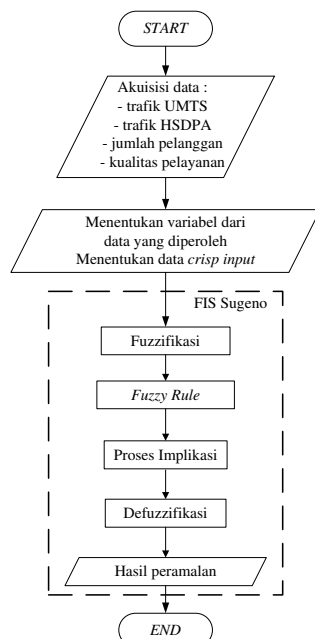
Iub sendiri merupakan *interface* yang menghubungkan suatu Node B dengan RNC sedangkan *Iub over IP* didefinisikan sebagai *interface Iub* yang berjalan diatas TCP/IP sebagai *layer transport* (3GPP Release 5). Dengan adanya *Iub over IP* ini memudahkan operator penyelenggara layanan telekomunikasi dalam mengintegrasikan perangkatnya dengan produk dari penyedia perangkat telekomunikasi lainnya. Beberapa keuntungan dari penerapan *Iub over IP* antara lain [14]:

- Dengan penggunaan teknologi IP dan *Ethernet* menurunkan biaya per bit transmisi dan meningkatkan skalabilitas transport RAN
- IP RAN *transport* memiliki tingkat keamanan yang cukup tinggi dan mampu mempertahankan kinerja RAN secara umum
- Merupakan solusi yang paling efisien, karena mampu dengan cepat terintegrasi dengan perangkat-perangkat pendukung lainnya
- Perancangan jaringannya yang lebih sederhana dan mampu diimplementasikan dengan cepat tanpa merubah desain jaringan secara keseluruhan

III. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan sebagai *input* dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang digunakan berupa data trafik UMTS dan HSDPA, jumlah pelanggan, kualitas pelayanan dan besar *bandwidth* yang diperoleh dari Operator Telekomunikasi X di wilayah Malang. Data yang diambil berupa data historis selama 24 bulan dari bulan Februari 2012 sampai dengan bulan Januari 2014. Node B di daerah Candi Badut digunakan sebagai contoh perhitungan.

Data historis tersebut digunakan untuk peramalan dan untuk menguji apakah *output* sistem sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Hasil dari pengujian tersebut adalah nilai kesalahan yang diperoleh dari masing-masing metode baik FIS maupun FTS. Cara analisis data yang digunakan adalah analisis teoritik yang mengacu pada kepustakaan dan jurnal hasil penelitian yang terkait dengan permasalahan.



Gambar 3. Diagram Alir Fuzzy Inference System (FIS) Metode Sugeno

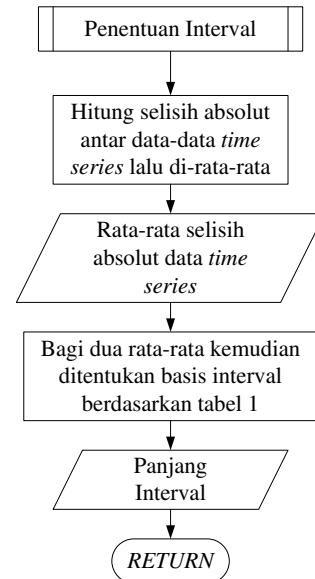
A. Fuzzy Inference System (FIS) Sugeno

Gambar 3 merupakan tahapan metode FIS Sugeno yaitu diawali dengan memasukkan data dari beberapa variabel yang mempengaruhi besarnya kebutuhan *bandwidth*. Variabel yang digunakan sebagai *input* adalah trafik UMTS dan HSDPA, jumlah pelanggan dan kualitas pelayanan. Variabel-variabel ini adalah variabel yang diproses dengan logika *fuzzy* dan menghasilkan nilai keluaran *fuzzy*. Pembentukan himpunan *fuzzy* pada metode Sugeno, baik variabel *input* maupun variabel *output* dibagi menjadi satu atau lebih himpunan *fuzzy*. Nilai *output fuzzy* merupakan nilai *bandwidth* yang diramalkan.

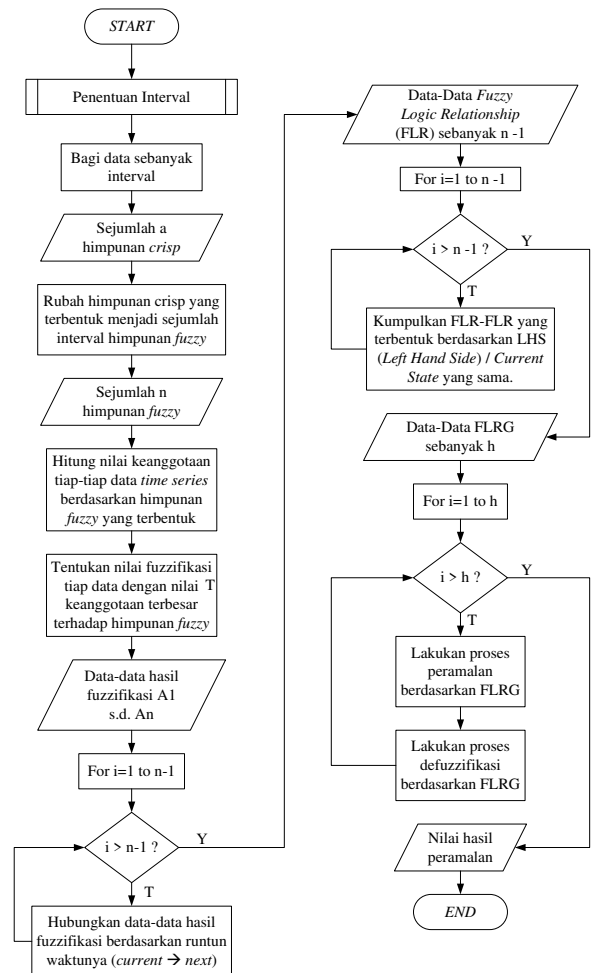
B. Fuzzy Time Series (FTS)

Langkah awal pada proses FTS adalah penentuan interval seperti dalam Gambar 4. Seluruh tahapan metode FTS dapat dilihat dalam Gambar 5. Penentuan

basis berdasarkan panjang interval yang telah ditetapkan sesuai dengan Tabel 1.



Gambar 4. Prosedur Penentuan Interval



Gambar 5. Diagram Alir Fuzzy Time Series (FTS)

TABEL I
TABEL BASIS INTERVAL

Jangkauan	Basis
0,1 – 1,0	0,1
1,1 – 10	1
11 – 100	10
101 - 1000	100

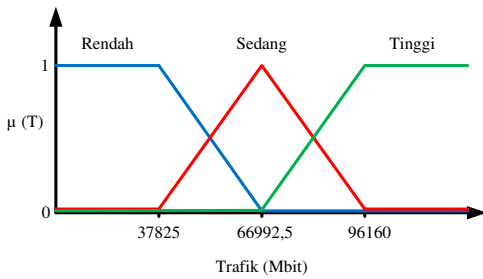
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Fuzzy Inference System (FIS) Sugeno

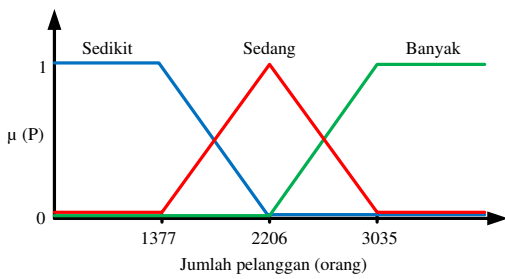
Beberapa tahapan dalam proses peramalan FIS metode Sugeno adalah sebagai berikut :

1. Fuzzifikasi

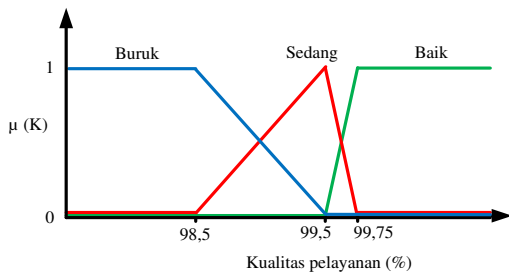
Proses fuzzifikasi yaitu proses perubahan nilai tegas tersebut ke dalam fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan trafik, jumlah pelanggan dan kualitas pelayanan untuk Node B di daerah Candi Badut ditunjukkan dalam Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8.



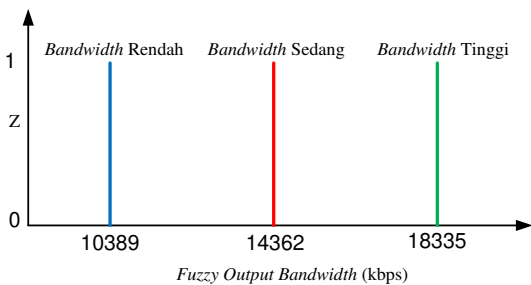
Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Himpunan Trafik UMTS dan HSDPA



Gambar 7. Fungsi Keanggotaan Himpunan Jumlah Pelanggan



Gambar 8. Fungsi Keanggotaan Himpunan Kualitas Pelayanan



Gambar 9. Diagram fuzzy output (Z) untuk kapasitas bandwidth

Peramalan besarnya *bandwidth* bulan Februari pada Node B Candi Badut maka data yang digunakan sebagai masukan adalah data pada bulan Januari yaitu :

Trafik UMTS dan HSDPA : 70349 Mbit
 Jumlah pelanggan : 2466 pelanggan
 Kualitas : 98.5075 %

Dari Gambar 6, Gambar 7 dan Gambar 8 maka nilai keanggotaan untuk data bulan Januari adalah sebagai berikut :

- Fungsi keanggotaan trafik UMTS dan HSDPA

$$\begin{aligned} \mu_{rendah}(70349) &= 0 \\ \mu_{sedang}(70349) &= \frac{96160 - x}{96160 - 66992,5} = \frac{96160 - 70349}{29167,5} \\ &= 0,88 \\ \mu_{tinggi}(70349) &= \frac{x - 66992,5}{96160 - 66992,5} = \frac{70349 - 66992,5}{29167,5} \\ &= 0,12 \end{aligned}$$

- Fungsi keanggotaan jumlah pelanggan

$$\begin{aligned} \mu_{sedikit}(2466) &= 0 \\ \mu_{sedang}(2466) &= \frac{3035 - x}{3035 - 2206} = \frac{3035 - 2466}{829} = 0,69 \\ \mu_{banyak}(2466) &= \frac{x - 2206}{3035 - 2206} = \frac{2466 - 2206}{829} = 0,31 \end{aligned}$$

- Fungsi keanggotaan kualitas pelayanan

$$\begin{aligned} \mu_{buruk}(98,5075) &= \frac{(99,5 - x)}{(99,5 - 98,5)} = \frac{(99,5 - 98,5075)}{1} \\ &= 0,99 \\ \mu_{sedang}(98,5075) &= \frac{(x - 98,5)}{(99,5 - 98,5)} = \frac{(98,5075 - 98,5)}{1} \\ &= 0,01 \\ \mu_{baik}(98,5075) &= 0 \end{aligned}$$

Diagram *fuzzy output* (variabel Z) untuk peramalan *bandwidth* menggunakan proses *Fuzzy Sugeno Orde-Nol* ditunjukkan pada Gambar 9.

2. Fuzzy Rule

IF-THEN *rule* yang dibuat berdasarkan pada kondisi-kondisi yang pernah terjadi di waktu lampau yang diketahui dari data waktu lampau. Kombinasi sebanyak 27 *fuzzy rule* secara lengkap ditunjukkan dalam Tabel 2.

3. Aplikasi Fungsi Implikasi

Fungsi implikasi yang digunakan adalah AND (fungsi MIN) hal ini karena semua variabel masukan saling mempengaruhi. Aplikasi fungsi implikasi dilakukan dengan mencari α -predikat (*fire strength*) yaitu nilai keanggotaan sebagai hasil dari operasi tiga himpunan dan nilai Z untuk masing-masing aturan :

(R1) *If* trafik RENDAH *and* jumlah pelanggan SEDIKIT *and* kualitas pelayanan BURUK *then* RENDAH

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_1 &= \mu_{TrafikRENDAH} \cap \mu_{PelangganSEDIKIT} \cap \\ &\mu_{kualitasBURUK} \\ &= \min (\mu_{RENDAH}(70349); \\ &\mu_{SEDIKIT}(2466); \mu_{BURUK}(98,5075)) \\ &= \min (0; 0; 0,99) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Nilai $Z_1 = 10389$

Dengan cara yang sama juga dilakukan perhitungan α -predikat untuk 26 rule yang lain.

TABEL II
FUZZY RULE

Rule	Fuzzy Input			Fuzzy Output (Bandwidth)
	Trafik	Jumlah pelanggan	Kualitas pelayanan	
1.	RENDAH	SEDIKIT	BURUK	RENDAH
2.	RENDAH	SEDIKIT	SEDANG	RENDAH
3.	RENDAH	SEDIKIT	BAIK	RENDAH
4.	RENDAH	SEDANG	BURUK	RENDAH
5.	RENDAH	SEDANG	SEDANG	RENDAH
6.	RENDAH	SEDANG	BAIK	SEDANG
7.	RENDAH	BANYAK	BURUK	RENDAH
8.	RENDAH	BANYAK	SEDANG	SEDANG
9.	RENDAH	BANYAK	BAIK	SEDANG
10.	SEDANG	SEDIKIT	BURUK	RENDAH
11.	SEDANG	SEDIKIT	SEDANG	RENDAH
12.	SEDANG	SEDIKIT	BAIK	SEDANG
13.	SEDANG	SEDANG	BURUK	RENDAH
14.	SEDANG	SEDANG	SEDANG	SEDANG
15.	SEDANG	SEDANG	BAIK	SEDANG
16.	SEDANG	BANYAK	BURUK	RENDAH
17.	SEDANG	BANYAK	SEDANG	SEDANG
18.	SEDANG	BANYAK	BAIK	TINGGI
19.	TINGGI	SEDIKIT	BURUK	RENDAH
20.	TINGGI	SEDIKIT	SEDANG	SEDANG
21.	TINGGI	SEDIKIT	BAIK	SEDANG
22.	TINGGI	SEDANG	BURUK	SEDANG
23.	TINGGI	SEDANG	SEDANG	TINGGI
24.	TINGGI	SEDANG	BAIK	TINGGI
25.	TINGGI	BANYAK	BURUK	SEDANG
26.	TINGGI	BANYAK	SEDANG	TINGGI
27.	TINGGI	BANYAK	BAIK	TINGGI

4. Defuzzifikasi

α -predikat yang tidak nol hanya terdapat pada aturan (R13), (R14), (R16), (R17), (R22), (R23), (R25) dan (R26), dengan menggunakan metode *defuzzy weighted average*, maka besarnya Z (output)

$$Z = \frac{\text{apred}_{13} * z_{13} + \text{apred}_{14} * z_{14} + \dots + \text{apred}_{26} * z_{26}}{\text{apred}_{13} + \text{apred}_{14} + \dots + \text{apred}_{26}}$$

$$= 11256 \text{ kbps} \approx 12 \text{ Mbps}$$

Jadi peramalan untuk bulan Februari sebesar 11256 kbps (12 Mbps) dengan *bandwidth* aktual sebesar 19364 kbps.

Data selama Februari 2012 sampai Januari 2014 juga digunakan sebagai data untuk menguji validitas data antara data yang dihasilkan oleh Operator Telekomunikasi X dan data hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3 sehingga dapat diketahui nilai *error* yang dihasilkan sehingga dapat diketahui nilai *error* yang dihasilkan [15] :

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \quad (1)$$

$$= 10,86\%$$

Dimana :

A_t = data aktual saat waktu t

F_t = data hasil peramalan saat waktu t

n = jumlah data

TABEL III
HASIL PERBANDINGAN BANDWIDTH AKTUAL DAN BANDWIDTH HASIL PERAMALAN FIS SUGENO

Bulan	Bandwidth Aktual (kbps)	Bandwidth Hasil Peramalan dengan FIS Sugeno (kbps)
Feb 2012	12203	-
Maret 2012	10516	10389
April 2012	10389	10803
Mei 2012	10795	10822
Juni 2012	13464	10389
Juli 2012	11249	10389
Agt 2012	11566	10696
Sept 2012	12776	12231
Okt 2012	11050	10400
Nov 2012	11234	11818
Des 2012	11932	10389
Jan 2013	11833	10389
Feb 2013	12480	12052
Maret 2013	10965	10389
April 2013	12389	10431
Mei 2013	14815	11315
Juni 2013	14635	11951
Juli 2013	11463	10389
Agt 2013	12784	11667
Sept 2013	16104	14653
Okt 2013	15002	12098
Nov 2013	12281	13327
Des 2013	14380	12588
Jan 2014	18335	12483
Feb 2014	19364	11256

B. Fuzzy Time Series

Proses analisis data dengan menggunakan metode FTS diawali dengan menentukan interval berbasis rata-rata. Himpunan semesta, U , didefinisikan sebagai $(D_{\min} - D_1, D_{\max} - D_2)$, dimana D_{\min} dan D_{\max} adalah nilai minimum dan maksimum dari data *bandwidth* aktual. D_1 dan D_2 adalah dua nilai positif. Dari data didapat bahwa $D_{\min} = 10389$ dan $D_{\max} = 18335$. Maka $U = (9600, 18400)$.

Dari ke 24 data diperoleh rata-rata selisih sebesar 1531. Jika nilai 1531 dibagi dua maka diperoleh nilai 765.6589027 yang jika dirujuk dalam Tabel 1 maka nilai tersebut termasuk basis 100 karena terdapat dalam jangkauan 101-1000. Nilai 765.6589027 kemudian dibulatkan berdasarkan basis sehingga diperoleh nilai 800 sebagai panjang interval efektif. Jika 800 digunakan sebagai panjang interval untuk membagi himpunan semesta (U), maka terdapat jumlah interval sebanyak 11.

Himpunan semesta dibagi ke dalam 11 interval yang sama besar yaitu :

$$u_1 = (9600, 10400) \quad u_7 = (14400, 15200)$$

$$u_2 = (10400, 11200) \quad u_8 = (15200, 16000)$$

$$u_3 = (11200, 12000) \quad u_9 = (16000, 16800)$$

$$u_4 = (12000, 12800) \quad u_{10} = (16800, 17600)$$

$$u_5 = (12800, 13600) \quad u_{11} = (17600, 18400)$$

$$u_6 = (13600, 14400)$$

kemudian ditentukan 11 nilai linguistik yang membentuk 11 *fuzzy set* $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}$ yaitu

$$A_1 = 1/u_1 + 0,5/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11}$$

$$A_2 = 0,5/u_1 + 1/u_2 + 0,5/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11}$$

$$\begin{aligned}
 A_3 &= 0/u_1 + 0,5/u_2 + 1/u_3 + 0,5/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_4 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0,5/u_3 + 1/u_4 + 0,5/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_5 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0,5/u_4 + 1/u_5 + 0,5/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_6 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0,5/u_5 + 1/u_6 + 0,5/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_7 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0,5/u_6 + 1/u_7 + 0,5/u_8 + 0/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_8 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0,5/u_7 + 1/u_8 + 0,5/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_9 &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0,5/u_8 + 1/u_9 + 0/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_{10} &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0,5/u_9 + 1/u_{10} + 0/u_{11} \\
 A_{11} &= 0/u_1 + 0/u_2 + 0/u_3 + 0/u_4 + 0/u_5 + 0/u_6 + 0/u_7 + 0/u_8 + 0/u_9 + 0,5/u_{10} + 1/u_{11}
 \end{aligned}$$

TABEL IV
HASIL FUZZIFIKASI

Bulan	Bandwidth (kbps)	Fuzzifikasi
Februari 2012	12203	A ₄
Maret 2012	10516	A ₂
April 2012	10389	A ₁
Mei 2012	10795	A ₂
Juni 2012	13464	A ₅
Juli 2012	11249	A ₃
Agustus 2012	11566	A ₃
September 2012	12776	A ₄
Oktober 2012	11050	A ₂
November 2012	11234	A ₃
Desember 2012	11932	A ₃
Januari 2013	11833	A ₃
Februari 2013	12480	A ₄
Maret 2013	10965	A ₂
April 2013	12389	A ₄
Mei 2013	14815	A ₇
Juni 2013	14635	A ₇
Juli 2013	11463	A ₃
Agustus 2013	12784	A ₄
September 2013	16104	A ₉
Oktober 2013	15002	A ₇
November 2013	12281	A ₄
Desember 2013	14380	A ₆
Januari 2014	18335	A ₁₁

Proses selanjutnya adalah proses fuzzifikasi, masing-masing data dilakukan proses fuzzifikasi seperti dalam Tabel 4.

Langkah selanjutnya adalah membentuk *Fuzzy Logic Relationship* (FLR) dari Tabel 4 berdasarkan urutan waktunya seperti ditunjukkan dalam Tabel 5 .

Berdasarkan Tabel 5 maka dapat dibentuk *Fuzzy Logical Relationship Grup* (FLRG) dengan cara mengeliminasi FLR yang sama dan berulang. FLR yang memiliki *Left Hand Side* (LHS) atau *current state* yang sama digabungkan menjadi satu kelompok. FLRG yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Proses yang terakhir adalah proses peramalan dan defuzzifikasi berdasarkan FLRG yang telah dibentuk. Semua nilai yang mungkin dari hasil fuzzifikasi untuk masing-masing kelompok dapat dihitung terlebih dahulu untuk mempermudah proses peramalan.

TABEL V
FUZZY LOGIC RELATIONSHIP (FLR)

Urutan waktu	FLR
Februari 2012 → Maret 2012	A ₄ → A ₂
Maret 2012 → April 2012	A ₂ → A ₁
April 2012 → Mei 2012	A ₁ → A ₂
Mei 2012 → Juni 2012	A ₂ → A ₅
Juni 2012 → Juli 2012	A ₅ → A ₃
Juli 2012 → Agustus 2012	A ₃ → A ₃
Agustus 2012 → September 2012	A ₃ → A ₄
September 2012 → Oktober 2012	A ₄ → A ₂
Oktober 2012 → November 2012	A ₂ → A ₃
November 2012 → Desember 2012	A ₃ → A ₃
Desember 2012 → Januari 2013	A ₃ → A ₃
Januari 2013 → Februari 2013	A ₃ → A ₄
Februari 2013 → Maret 2013	A ₄ → A ₂
Maret 2013 → April 2013	A ₂ → A ₄
April 2013 → Mei 2013	A ₄ → A ₇
Mei 2013 → Juni 2013	A ₇ → A ₇
Juni 2013 → Juli 2013	A ₇ → A ₃
Juli 2013 → Agustus 2013	A ₃ → A ₄
Agustus 2013 → September 2013	A ₄ → A ₉
September 2013 → Oktober 2013	A ₉ → A ₇
Oktober 2013 → November 2013	A ₇ → A ₄
November 2013 → Desember 2013	A ₄ → A ₆
Desember 2013 → Januari 2014	A ₆ → A ₁₁

TABEL VI
FUZZY LOGICAL RELATIONSHIP GROUP (FLRG)

Current State	Next State
A ₁ →	A ₂
A ₂ →	A ₁ , A ₅ , A ₃ , A ₄
A ₃ →	A ₃ , A ₄
A ₄ →	A ₂ , A ₇ , A ₉ , A ₆
A ₅ →	A ₃
A ₆ →	A ₁₁
A ₇ →	A ₇ , A ₃ , A ₄
A ₉ →	A ₇

Kelompok dengan *current state* A₁ maka hasil defuzzifikasi peramalannya adalah nilai tengah dari u₂ yaitu 10800 sedangkan untuk kelompok dengan *current state* A₂, dengan FLR yaitu A₁, A₅, A₃, A₄ maka hasil defuzzifikasi peramalannya adalah jumlah nilai tengah u₁, u₅, u₃ dan u₄ dibagi banyaknya jumlah relasi yaitu (10000+13200+11600+12400)/4 = 11800. Perhitungan tersebut juga berlaku untuk kelompok yang lain. Hasil defuzzifikasi FLRG untuk semua kelompok ditunjukkan dalam Tabel 7.

Data bulan Februari 2012 sampai Januari 2014 juga digunakan sebagai data untuk menguji validitas data antara data yang dihasilkan oleh Operator Telekomunikasi X dan data hasil perhitungan sehingga dapat diketahui nilai *error* yang dihasilkan.

TABEL VII
HASIL DEFFUZZIFIKASI FLRG

Current State	Bandwidth Hasil Peramalan (kbps)
A ₁ →	10800
A ₂ →	11800
A ₃ →	12000
A ₄ →	14000
A ₅ →	11600
A ₆ →	18000
A ₇ →	12933,33
A ₈ →	15600
A ₉ →	14800
A ₁₀ →	17200
A ₁₁ →	18000

Setelah hasil defuzzifikasi tiap kelompok sudah diketahui maka selanjutnya dilakukan proses peramalan untuk tiap data yang ada seperti dalam Tabel 8 :

TABEL VIII
HASIL PERBANDINGAN *BANDWIDTH* AKTUAL DAN *BANDWIDTH*
HASIL PERAMALAN FTS NODE B CANDI BADUT

Bulan	<i>Bandwidth</i>		<i>Bandwidth</i> Hasil peramalan dengan FTS (kbps)
	Aktual (kbps)	Fuzzifikasi	
Feb 2012	12203	A4	-
Mar 2012	10516	A2	14000
April 2012	10389	A1	11800
Mei 2012	10795	A2	10800
Juni 2012	13464	A5	11800
Juli 2012	11249	A3	11600
Agt 2012	11566	A3	12000
Sept 2012	12776	A4	12000
Okt 2012	11050	A2	14000
Nov2012	11234	A3	11800
Des2012	11932	A3	12000
Jan 2013	11833	A3	12000
Feb 2013	12480	A4	12000
Mar 2013	10965	A2	14000
April 2013	12389	A4	11800
Mei 2013	14815	A7	14000
Juni 2013	14635	A7	12933
Juli 2013	11463	A3	12933
Agt 2013	12784	A4	12000
Sept2013	16104	A9	14000
Okt 2013	15002	A7	14800
Nov 2013	12281	A4	12933
Des 2013	14380	A6	14000
Jan 2014	18335	A11	18000
Feb 2014	19364	-	18000

Hasil prediksi Node B Candi Badut pada bulan Februari 2014 sebesar 18000 kbps (18 Mbps) dengan nilai aktual sebesar 19364 kbps. Akurasi peramalan menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) seperti pada Pers.1 sebesar 8,7 %.

Perhitungan MAPE untuk 20 Node B ditunjukkan dalam Tabel 9. Dari Tabel 9 dapat dihitung nilai rata-rata MAPE untuk FIS Sugeno sebesar 20,95 % sedangkan untuk FTS sebesar 11,14 %.

Masing-masing metode baik FIS Sugeno maupun FTS dapat diaplikasikan pada peramalan kebutuhan *bandwidth*. Penerapan metode tergantung dari kebutuhan dari pihak operator. Jika pihak operator menginginkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kebutuhan *bandwidth* diikutsertakan dalam proses peramalan maka pihak *provider* dapat menggunakan metode FIS Sugeno. Namun jika pihak operator hanya memiliki data *trend* kebutuhan *bandwidth* tanpa memiliki data faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi kebutuhan *bandwidth* maka dapat menggunakan metode FTS. FTS hanya mempertimbangkan *trend* kebutuhan *bandwidth* sebagai masukan dimana variabel masukan dan keluaran adalah sama.

Pihak operator menetapkan aturan bahwa beban maksimum *bandwidth* Iub sebesar 80% dari besarnya *bandwidth* yang disewa. Aturan yang diberikan pihak operator adalah sebagai berikut :

- 1 Mbps - 20 Mbps : jumlah sewa yang direkomendasikan sebesar 25 Mbps
- 20 Mbps – 40 Mbps : jumlah sewa yang direkomendasikan sebesar 50 Mbps

- 40 Mbps – 60 Mbps : jumlah sewa yang direkomendasikan sebesar 75 Mbps

TABEL IX
NILAI MAPE METODE FIS SUGENO DAN FTS
UNTUK 20 NODE B

No.	Node B	MAPE FIS Sugeno (%)	MAPE FTS (%)
1.	Candi Badut	10,86	8,8
2.	Ampeldento	21,43	15,77
3.	Bunulrejo	16,35	6,36
4.	Bandaraabrahmansaleh	28,96	17,21
5.	Barattelkomesuki	12,33	6,21
6.	Blimbingradiocakra	28,05	9,98
7.	Buringindah	28,77	16,77
8.	Ciptomulyo	17,89	14,83
9.	Cobanrondobatu	20,04	14,83
10.	Hoteltugu	24,82	8,52
11.	IKIP	18,19	9,34
12.	Karangloindah	25,97	10,56
13.	Kedungkandang	28,38	16,73
14.	Kepuharjo	28,50	17,84
15.	Kuntobaskoro	9,08	5,80
16.	Lesanpuro	22,36	11,59
17.	Mitra2	8,94	4,21
18.	Pasarbesar	19,73	9,34
19.	Royalangsep	29,51	11,60
20.	Tamansulfat	17,45	6,52
Rata-rata MAPE		20,88 %	11,14 %

Jadi jumlah sewa *bandwidth* yang direkomendasikan untuk pihak operator sebesar 25 Mbps untuk 20 Node B yang memiliki utilisasi Iub kurang dari 40%. Efisiensi biaya sewa *bandwidth* mencapai 50% dari yang sebelumnya sewa *bandwidth* ditetapkan sebesar 50 Mbps.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil proses peramalan dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil peramalan kebutuhan *bandwidth* pada bulan Februari 2014 dengan metode FIS Sugeno untuk Node B Candi Badut sebesar 11257 kbps atau sebesar 12 Mbps dengan MAPE sebesar 12,15 %.
2. Hasil peramalan kebutuhan *bandwidth* pada bulan Februari 2014 dengan metode FTS untuk Node B Candi Badut sebesar 18000 kbps atau sebesar 18 dengan MAPE sebesar 8,7 %.
3. Nilai rata-rata MAPE untuk 20 Node B adalah 20,95 % untuk metode FIS Sugeno dan 11,14% untuk metode FTS. Hasil peramalan jumlah sewa *bandwidth* bagi pihak operator sebesar 25 Mbps untuk semua Node B yang memiliki utilisasi Iub kurang dari 40%, sehingga efisiensi biaya sewa *bandwidth* mencapai 50% dari yang sebelumnya sewa *bandwidth* ditetapkan sebesar 50 Mbps.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Telkomsel, 2012. *Annual Report PT. Telekomunikasi Selular tahun 2012*. PT. Telekomunikasi Selular.
- [2] Telkomsel, 2012. *Annual Report PT. Telekomunikasi Selular tahun 2012*. PT. Telekomunikasi Selular.
- [3] Jung, C.Y., Chong, J.W., Hwang, H.Y., Sung, D.K. & Park, J.S. 2004. *Performance Comparison of ATM and IP based*

- Transmission Schemes in the UTRAN*. IEEE Communications Society.
- [4] Kusumadewi, S. & Purnomo, H. 2010. *Aplikasi Logika Fuzzy untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- [5] Seo, S., Kim, S.S., Agoulmine, N. & Hong, J.W.K. 2010. *On Achieving Self-Organization in Mobile WiMAX Network*. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium Workshops
- [6] Jacquin, A.P., & Shamseldin, A.Y. 2009. *Review of the application on fuzzy inference systems in river flow forecasting*. Jurnal of Hydroinformatics IWA Publishing.
- [7] Aqil, M., Kita, I., Yano, A., & Nishiyama, S. 2006. *A Takagi-Sugeno Fuzzy System for the Prediction of River Stage Dynamics*. JARQ.
- [8] Ahmadi, S., Bevrani, H., & Jannaty, H. 2012. *A Fuzzy Inference Model for Short-Term Load Forecasting*. IEEE 2012 Second Iranian Conference on Renewable Energy and Distributed Generation.
- [9] Song, Q. & Chissom, B.S. 1993. *Forecasting enrollments with fuzzy time series - part I*, Fuzzy Sets and Systems 54.
- [10] Xihao, S. & Yimin, L. 2008. *Average-based fuzzy time series models for forecasting Shanghai compound index*. World Journal of Modelling and Simulation. ISSN 1 746-7233, England, UK.
- [11] Holma, H. & Toskala, A. 2004. *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*. England: John Wiley and Sons, Ltd.
- [12] Holma, H. & Toskala, A. 2006. *HSDPA/HSUPA for UMTS: High Speed Radio Access for Mobile Communications*. England: John Wiley and Sons, Ltd.
- [13] Huawei. 2008. *IP RAN Description*. Huawei Technologies Co., Ltd
- [14] Cisco. 2009. *Migration to All-IP RAN Transport*. Cisco Systems, Inc.
- [15] Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & McGee, V.E. 1999. *Metode dan aplikasi peramalan*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.