

Spectrum Handoff pada Teknologi *Dynamic Spectrum Access and Sharing* untuk Radio Kognitif

M.Nur Rahman, Suwadi, Wirawan

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wirawan@its.ac.id

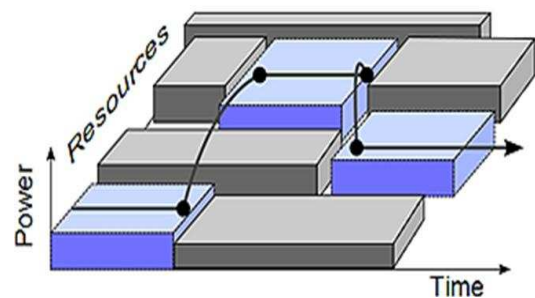
Abstrak— Penggunaan aturan spektrum tetap saat ini telah menjadi halangan untuk melakukan pengelolaan spektrum secara efisien. Hal ini mendasari munculnya konsep radio kognitif. Radio kognitif, menggunakan teknologi *dynamic spectrum access and sharing*, mengijinkan *wireless device* untuk menggunakan spektrum yang bukan merupakan spektrum primernya untuk melakukan fungsinya. Salah satu teknik dalam *dynamic spectrum access and sharing* yang diimplementasikan pada sistem radio kognitif adalah *spectrum handoff*. *Spectrum handoff* merupakan salah satu dari tiga bagian penting dalam teknologi radio kognitif selain spektrum sensing dan spektrum management. *Spectrum handoff* biasa juga disebut spektrum mobility yang menunjukkan bahwa penggunaan spektrum untuk melakukan transmisi dalam teknologi radio kognitif dapat berpindah-pindah. Pada tugas akhir ini metode *spectrum handoff* dibagi menjadi dua macam, yaitu metode *spectrum handoff* proaktif dan reaktif. Dimana proaktif berarti kanal yang akan ditempati berikutnya telah di-reserve terlebih dahulu dan reaktif berarti kanal dicari ketika dibutuhkan. Model yang digunakan adalah sistem antrian *preemptive resume priority M/G/1*. Dari hasil simulasi dalam tugas akhir ini didapat penggunaan *spectrum handoff* dapat mengurangi delay pengguna sekunder hingga 50% bergantung dari trafik pengguna primer.

Kata Kunci— Proaktif, Radio Kognitif, Reaktif, *Spectrum handoff*

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN teknologi telekomunikasi yang pesat, seperti munculnya perangkat dan aplikasi wireless baru dan bertambahnya jumlah pengguna membuat kebutuhan akan spektrum frekuensi meningkat dengan pesat pula. Namun pada kenyataannya penggunaan spektrum frekuensi yang jumlahnya terbatas menggunakan alokasi-alokasi khusus untuk perangkat tertentu (*fixed spectrum assignment policy*). Hal tersebut menyebabkan manajemen pengelolaan spektrum tidak bisa efisien. Pada radio kognitif, pengguna perangkat dan aplikasi nirkabel dapat melakukan adaptasi terhadap kondisi lingkungan dan memilih spektrum yang sedang tidak terpakai.[1] Meskipun alokasi frekuensi sudah penuh namun ketika dilihat dari bidang waktu terdapat ruang-ruang kosong yang dapat digunakan. Karena itu, konsep dari teknologi ini membagi pengguna ke dalam dua kategori, yaitu pengguna primer dan pengguna sekunder. Dimana pengguna primer adalah pengguna yang menggunakan spektrum frekuensi yang

telah ditetapkan dan pengguna sekunder adalah pengguna yang meminjam atau menumpang pada spektrum frekuensi milik pengguna primer yang sedang tidak dipakai.



Gambar 1 Ilustrasi Spectrum Handoff[2]

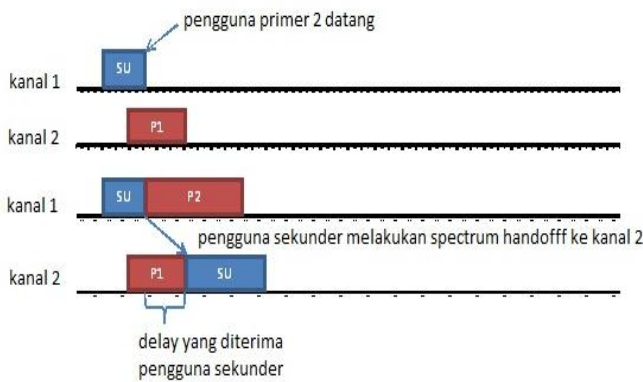
Karena status dari pengguna sekunder hanyalah meminjam spektrum, maka ketika pengguna sekunder sedang menggunakan spektrum yang dipinjam dan tiba-tiba datang pengguna primer ingin menggunakan spektrum tersebut, pengguna sekunder harus mengembalikannya dan berpindah ke spektrum frekuensi lain yang sedang kosong. Perpindahan spektrum yang dilakukan oleh pengguna sekunder menggunakan metode *spectrum handoff*. Dengan menggunakan *spectrum handoff* pengguna sekunder dapat mendeteksi kedatangan pengguna primer dan melakukan tindakan perpindahan spektrum ke frekuensi yang tidak dipakai dan meneruskan koneksinya.

II. SPECTRUM HANDOFF

Ketika keadaan kanal pada suatu saat menjadi buruk atau pengguna primer muncul dan mengklaim channelnya, pengguna sekunder harus berhenti melakukan transisi dan mencari kanal lain yang tersedia untuk meneruskan transmisinya. Keadaan inilah yang disebut dengan *spectrum handoff*. Karena transmisi dari pengguna sekunder tertunda selama melakukan *spectrum handoff*, pengguna sekunder akan mengalami delay paket yang lebih lama. Karena itu diperlukan mekanisme *spectrum handoff* dengan perpindahan frekuensi yang lancar dan latensi yang kecil.

Cara yang baik untuk meminimalisir penurunan performansi akibat delay yang lama adalah dengan me-reserve beberapa

kanal. sehingga ketika pengguna sekunder harus berpindah spektrum dia tinggal memilih salah satu dari band frekuensi yang telah di *reserve*. Namun jika terlalu banyak band frekuensi yang *dirererve* maka akan berakibat throughput pada pengguna sekunder terlalu kecil, karena pengguna primer tidak akan terlalu sering mengklaim spektrumnya.[3]



Gambar 2 Proses terjadinya spektrum handoff

Spectrum handoff merupakan salah satu dari tiga bagian penting dalam teknologi radio kognitif selain spektrum sensing dan spektrum management. [4]*Spectrum handoff* biasa juga disebut spektrum mobility yang menunjukkan bahwa penggunaan spektrum untuk melakukan transmisi dalam teknologi radio kognitif dapat berpindah-pindah sesuai dengan algoritma-algoritma yang digunakan mengikuti perubahan environment yang terjadi di lapangan seperti yang terlihat pada gambar 1.

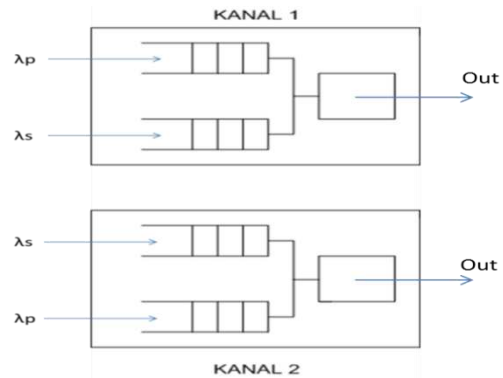
Berdasarkan pemilihan kanal untuk perpindahan spektrum, metode *spectrum handoff* dapat dibagimenjadi dua macam, yaitu metode *spectrum handoff* proaktif dan *handoff* reaktif. Seperti yang terlihat pada gambar 2 proses *spectrum handoff* terjadi ketika terdapat pengguna primer yang ingin menggunakan kanal yang sedang dipakai oleh pengguna sekunder. Ketika terjadi hal tersebut maka pengguna sekunder akan mengosongkan kanal tersebut dan berpindah ke kanal yang lain. Ketika pindah ternyata kanal tersebut juga digunakan oleh pengguna primer yang lain, maka pengguna sekunder tersebut harus menunggu hingga kanal tersebut telah selesai dipakai oleh pengguna primer.

III. MODEL SISTEM

Pada radio kognitif, pengguna atau user dibedakan menjadi dua, yaitu pengguna primer dan pengguna sekunder. Pengguna primer dan sekunder memiliki jumlah kedatangan dalam satu waktu pengamatan yang terdistribusi secara poisson dan waktu antar kedatangan yang terdistribusi secara eksponensial dengan mean λ_p dan λ_s . Selain itu pengguna primer dan sekunder juga memiliki *holding time* yang terdistribusi secara truncated pareto Distribusi ini umum digunakan untuk memodelkan besar paket data yang ditransmisikan oleh tiap user yang telah dibangkitkan dengan persamaan

$$f(x) = \begin{cases} \alpha \frac{K^\alpha}{x^{\alpha+1}} & , K \leq x \leq m \\ \left(\frac{K}{m}\right)^\alpha & , x = m \end{cases} \dots\dots(1)$$

Untuk mendapatkan nilai trafik jumlah kedatangan pengguna primer dan sekunder yang memenuhi nilai distribusi poisson, maka parameter dari distribusi poisson harus terpenuhi, yaitu nilai mean dan variannya harus sama dengan nilai λ nya. Karena itu untuk penentuan nilai parameter per titiknya harus dilakukan sekian kali iterasi.



Gambar 3 Model antrian PRP M/G/1 untuk 2 kanal

Sehingga didapatkan nilai rata-rata yang akurat dan memenuhi kondisi distribusi yang digunakan.

Model jaringan radio kognitif pada penelitian ini menggunakan sistem PRP M/G/1. Karakteristik dari sistem antrian ini cocok untuk digunakan pada sistem komunikasi radio kognitif karena memiliki prioritas pelayanan yang menjadi ciri khas pada radio kognitif (pengguna primer dan sekunder) seperti yang terlihat pada gambar 3.

Penggunaan dari sistem model antrian ini terletak pada hal-hal berikut:

- Tiap server atau kanal dapat menerima dua tipe pengguna pada antrian namun hanya satu yang dapat dilayani, pengguna dengan prioritas tinggi (pengguna primer) dan pengguna dengan prioritas rendah (pengguna sekunder).
- Pengguna primer memiliki prioritas untuk menggunakan kanal dan dapat menginterupsi transmisi dari pengguna sekunder
- pengguna dengan prioritas yang sama mengikuti aturan first come first serve
- Pengguna sekunder dapat meneruskan transmisi yang diinterupsi setelah pengguna primer melakukan transmisi dan tidak perlu mengulang transmisis dari awal.[5]

Dari parameter-parameter antrian pada tabel 1 dapat dilakukan perhitungan rata-rata delay yang dirasakan pengguna sekunder dalam sistem dengan model *spectrum handoff* proaktif dan reaktif.[6]

Untuk model reaktif diberikan persamaan berikut:

$$E[X_s] + \frac{\lambda_p [(ts+tf)\mu_s + (E[X_p])^2 \lambda_p \mu_s + E[X_p](\lambda_s - (ts+tf)\lambda_p \mu_s)]}{(1 - \lambda_p E[X_p])(\mu_s)^2} \dots(2)$$

Dimana $E[X_s]=1/\mu_s$ dan $E[X_p]=1/\mu_p$ Sedangkan untuk model proaktif didapat dari dua persamaan berikut:

$$E[Lstay] = E[Xs] + \lambda p E[Xs] \frac{E[Xp]}{(1-\lambda p E[Xp])} \dots\dots\dots(3)$$

Tabel 1 parameter pada sistem antrian

Parameter	simbol
arrival rate dari pengguna primer	λp
arrival rate dari pengguna sekunder	λs
holding time dari pengguna primer	μp
holding time dari pengguna sekunder	μs
waktu perpindahan kanal	ts
waktu sensing kanal	tf

Dan persamaan

$$E[Lchange] = E[Xs] + \lambda p E[Xs] \frac{(E[Xp])^2 \lambda p + \frac{\lambda s}{(\lambda p + \lambda s) \mu s} + \frac{(\lambda p E[Xp])^2}{1 - \lambda p E[Xp]} E[Xp]}{(1 - \lambda p E[Xp]) - \lambda s E[Xs]} \dots\dots(4)$$

Kemudian didapatkan

$$E[Lproaktif] = \min\{E[Lstay], E[Lchange]\} \dots\dots\dots(5)$$

IV. SIMULASI

Asumsi dan penentuan nilai awal yang digunakan dalam sistem dan simulasi pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. sistem radio kognitif yang dipakai adalah sistem centralized dimana terdapat sistem terpusat yang mengatur kanal transmisi dan permasalahan pada tingkat propagasi telah selesai
2. nilai holding time untuk pengguna primer dan sekunder sama-sama terdistribusi eksponensial dengan nilai rata-rata 0,5

pemodelan sistem secara keseluruhan dapat dijelaskan sebagai berikut:

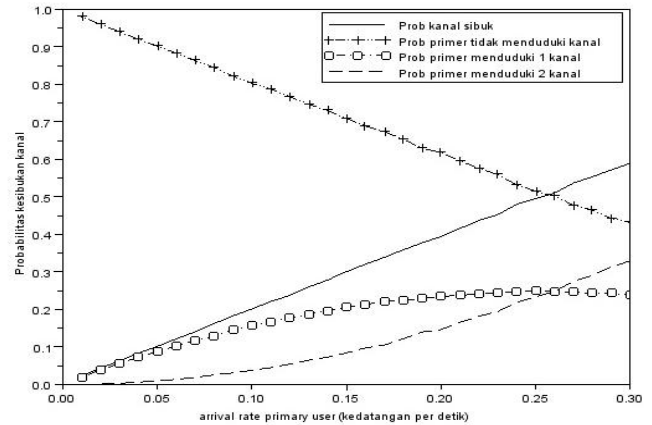
1. Dalam waktu pengamatan yang ditentukan, dalam hal ini 100 s dibangkitkan pengguna primer dan sekunder yang terdistribusi secara eksponensial.
2. Pengguna primer memiliki waktu service dengan rata-rata 2 detik yang terdistribusi secara eksponensial
3. Untuk pengguna sekunder dilakukan dua model trafik, yaitu dengan model eksponensial dan truncated pareto
4. Kemudian dari data yang telah dibangkitkan, dilakukan proses transmisi dengan tiga macam model, yaitu model non-handoff, model proaktif handoff, dan model reaktif handoff
5. Transmisi dilakukan dengan variasi nilai arrival rate dan variasi jumlah kanal yang tersedia

Parameter dari distribusi truncated pareto yang dipakai adalah sebagai berikut:

- m=66666
- K=81,5
- $\alpha=1,1$

Kemudian dilakukan juga variasi terhadap jumlah kanal yang dapat digunakan oleh pengguna sekunder sebagai acuan nilai-nilai spektrum mana yang dapat digunakan untuk meneruskan transmisi dengan catatan pada spektrum-spektrum tersebut

juga memiliki kemungkinan datangnya pengguna primer. Selain itu dilakukan juga pembatasan pada waktu tunggu maksimum dimana ketika pengguna sekunder telah melebihi waktu tersebut maka transmisinya akan putus.



Gambar 4 Probabilitas kondisi kesibukan kanal

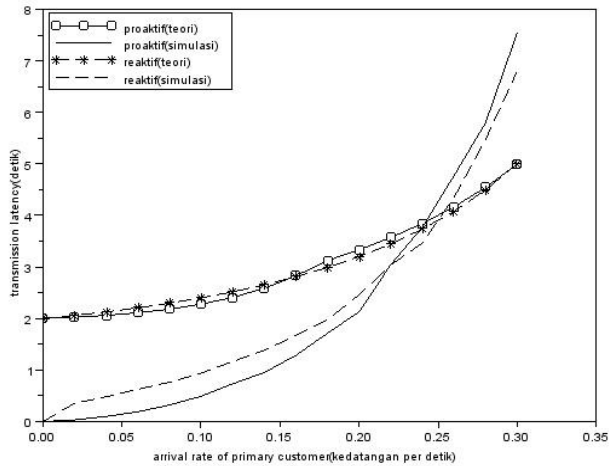
V. ANALISIS HASIL SIMULASI

Karakteristik dari kesibukan kanal relatif terhadap pengguna sekunder dapat dilihat pada gambar 4. Grafik tersebut memperlihatkan probabilitas kesibukan dari dua kanal yang digunakan pengguna sekunder untuk melakukan transmisi. Ketika arrival rate dari pengguna primer mendekati nol maka kemungkinan kanal tidak sedang digunakan oleh pengguna primer saat pengguna sekunder datang mendekati satu dan seiring dengan bertambahnya nilai arrival rate maka probabilitas terdapat pengguna primer yang sedang menggunakan kanal dan dapat melakukan interupsi bagi pengguna sekunder akan semakin besar hingga pada titik dimana nilai $\lambda p = 0,26$ probabilitas akan ada pengguna primer yang mengokupansi kedua kanal lebih besar dari satu kanal sehingga meskipun melakukan teknik spektrum mobility, dalam hal ini *spectrum handoff*, pengguna sekunder tetap akan mengalami delay akibat kanal telah penuh.

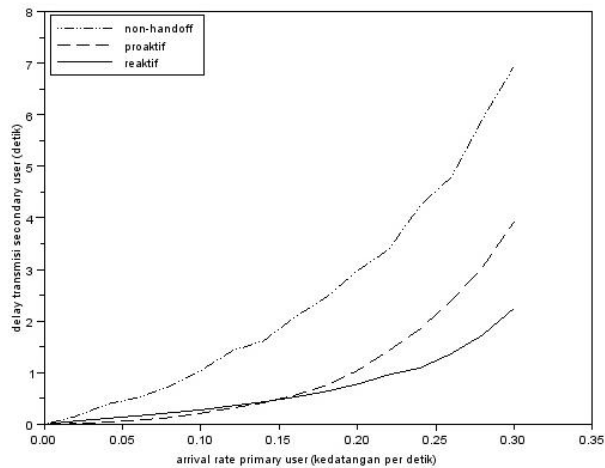
Ketika dibandingkan dengan hasil secara teoritis pada gambar 5 terdapat perbedaan nilai yang cukup signifikan namun dengan bentuk trend dari kurva yang sama. Hal ini disebabkan pada perhitungan secara teoritis terdapat nilai dari ekspektasi distribusi untuk semua nilai kedatangan primer. Sehingga ketika trafik sedang kosongpun nilai delay minimum untuk pengguna sekunder didapatkan sebesar 2 detik. Sedangkan pada simulasi nilai delay dihitung untuk tiap waktu pengguna sekunder diinterupsi oleh pengguna primer. Namun secara umum hasil yang didapatkan adalah sama, yaitu eksponensial naik dengan terdapat titik dimana nilai dari penggunaan sistem reaktif lebih baik dibandingkan dengan penggunaan sistem secara proaktif. Dimana dalam hal ini secara teori didapat pada nilai $\lambda p = 0,15$ dan hasil secara simulasi diperoleh pada nilai $\lambda p = 0,23$.

Model truncated pareto digunakan untuk merepresentasikan perhitungan parameter transmisi yang berupa paket-paket data. dan didapatkan hasil seperti pada gambar 6. Hasil yang didapatkan memiliki karakteristik yang kurva yang sama dengan model trafik yang sebelumnya, namun dengan nilai

yang lebih kecil. Pada transmisi yang tidak menerapkan *spectrum handoff* rata-rata delay yang dirasakan oleh pengguna sekunder adalah antara 0 sampai 7 detik bergantung pada nilai trafik pengguna primer.



Gambar 5 Perbandingan hasil teoritis dan simulasi

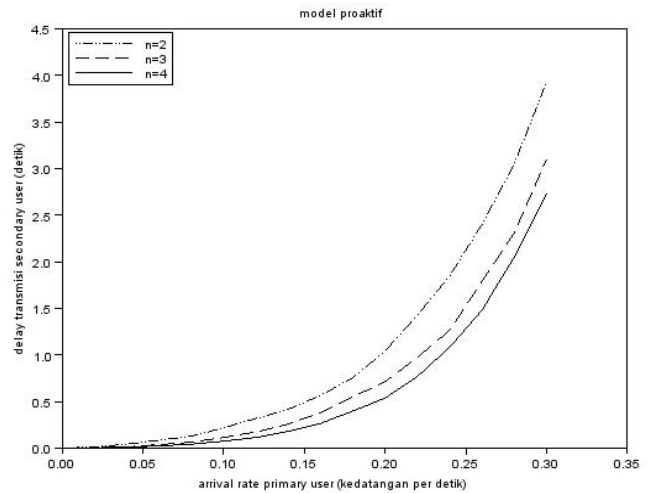


Gambar 6 model truncated pareto

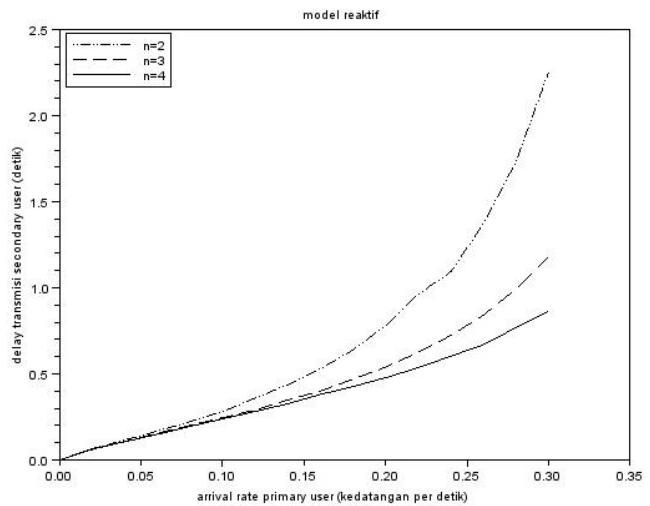
Sedangkan untuk *spectrum handoff* proaktif berada di angka 0 sampai 4 detik dan *spectrum handoff* reaktif berada pada kisaran 0 sampai 2 detik. Pada simulasi diambil nilai reaktif untuk waktu sensing kanal sama dengan 1 detik. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan *spectrum handoff* pada sistem radio kognitif sangatlah signifikan. Hal ini disebabkan karena pada radio kognitif yang tidak menerapkan *spectrum handoff* pengguna sekunder sudah dipastikan akan menerima delay selama pengguna primer menginterupsi transmisinya sedangkan pada radio kognitif dengan *spectrum handoff* delay didapatkan ketika pengguna sekunder melakukan sensing(reaktif) dan ketika kanal yang di-reserved tidak lagi tersedia atau sedang digunakan.

Ketika jumlah kanal dari masing-masing model ditambah, artinya pada tiap pengamatan tersedia hingga 4 buah kanal yang mungkin untuk ditumpangi maka didapat hasil seperti pada gambar 7 dan 8 masing-masing untuk model proaktif dan reaktif. Dapat dilihat bahwa semakin banyak kanal yang tersedia, rata-rata waktu tunggu dari pengguna sekunder radio

kognitif akan semakin turun. Hasil penurunan cukup signifikan pada saat arrival rate dari pengguna primer berada pada angka lebih dari 0,1.



Gambar 7 proaktif 2,3, dan4 kanal

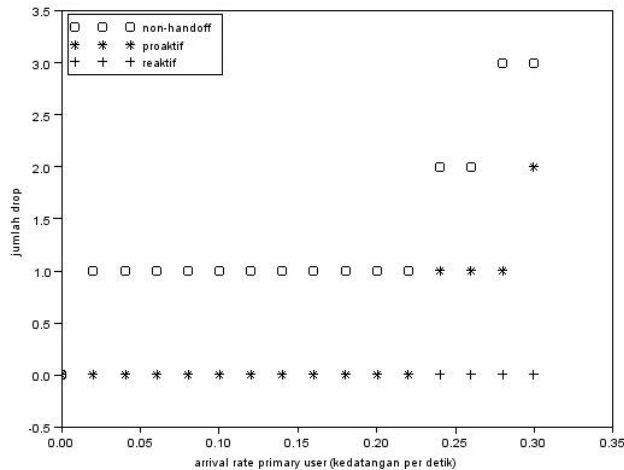


Gambar 8 reaktif 2,3, dan4 kanal

Hal ini menunjukkan semakin besar trafik pengguna primer maka kebutuhan akan ketersediaan kanal untuk pengguna sekunder juga semakin besar. Pada sistem proaktif terlihat bahwa hasil yang didapatkan tidak terlalu signifikan, hal ini disebabkan karena cara untuk melakukan *reserved* pada kanal nantinya akan didasarkan pada data statistik jangka panjang setelah sistem radio kognitif berjalan sehingga kemungkinan untuk diinterupsi menjadi lebih kecil yang akhirnya membuat delay yang diterima pengguna sekunder juga semakin kecil.

Ketika pada sistem ditambahkan waktu treshold yang menjadi waktu maksimal dari waktu tunggu pengguna sekunder sebelum transmisi dari pengguna sekunder terputus maka didapat jumlah drop transmission untuk masing-masing sistem seperti pada gambar 9. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada penerapan *spectrum handoff* juga dapat mengurangi terjadinya drop transmisi pada pengguna sekunder. Parameter waktu terputusnya transmisi diasumsikan 18 detik dan didapatkan untuk model proaktif terdapat drop pada saat trafik pengguna

primer sama dengan 0.24 sebanyak satu pengguna dan dua pengguna saat trafik dari pengguna primer 0,3. Sedangkan pada model reaktif rata-rata tidak terjadi drop transmisi untuk nilai kedatangan pengguna primer yang telah ditentukan.



Gambar 9 jumlah drop transmisi

VI. KESIMPULAN

Setelah melakukan simulasi dan analisa data, maka dapat diperoleh kesimpulan berdasarkan simulasi pada tugas akhir ini, dapat diketahui pengaruh penerapan sistem *spectrum handoff* pada radio kognitif dapat meningkatkan kinerja dengan menurunkan delay rata-rata pengguna sekunder hingga 50%.. Kemudian ketersediaan kanal pada radio kognitif mempengaruhi kinerja sistem. Ketika kanal bertambah diketahui pengaruh peningkatan signifikan pada saat nilai *arrival rate* dari pengguna primer lebih besar dari 0,1. Penerapan sistem *spectrum handoff* pada radio kognitif juga mengurangi jumlah drop transmisi seiring dengan berkurangnya delay yang dialami pengguna sekunder.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Beibei Wang and K. J. Ray Liu, "Advances in Cognitive Radio Networks: A Survey," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 5, no. 1, February 2011.
- [2] <http://www.gonzalo-vazquez-vilar.eu/cognitive-radio.htm>, diakses pada maret 2012.
- [3] Li-Chun Wang and Chung-Wei Wang, "Spectrum Handoff for Cognitive Radio Networks: Reactive-Sensing or Proactive-Sensing?," *IEEE IPCCC*, (2008)..
- [4] I.F. Akyildiz, "NeXt generation /dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey," May 2006 chapter 4-6..
- [5] Chung-Wei Wang, Li-Chun Wang, and Fumiyuki Adachi, "Modeling and Analysis for Proactive-decision Spectrum Handoff in Cognitive Radio Networks," *ICC'09*.
- [6] Chung-Wei Wang, Li-Chun Wang, and Chung-Ju Chang, "Modeling and Analysis for Spectrum Handoffs in Cognitif Radio Networks," *IEEE APWCS* 2011.