

## WIENER FILTER BASED CHANNEL PREDICTOR PERFORMANCE IMPROVEMENT USING POLINOMIAL EXTRAPOLATION

Rifan Budi Resmana<sup>1</sup>, Rina Pudji Astuti<sup>2</sup>, Adiwijaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Magister Elektro Komunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

### Abstrak

Prediktor kanal yang sudah banyak digunakan saat ini adalah prediktor kanal yang berbasis filter Wiener, dimana kanal diasumsikan bersifat acak dan memiliki nilai korelasi yang tidak bervariasi terhadap waktu. Berdasarkan prinsip quasi static, pada interval waktu pengamatan yang sempit kanal memiliki kecenderungan bersifat deterministik dan memiliki nilai korelasi yang bervariasi terhadap waktu. Hal ini menyebabkan pada interval waktu pengamatan yang sempit prediktor kanal berbasis filter Wiener tidak dapat menghasilkan mean squared error yang minimal. Untuk mengatasi hal ini filter harus mengakomodasi sifat deterministik dan fluktuasi nilai korelasi kanal. Hal ini dilakukan dengan melakukan ekstrapolasi polinomial untuk perhitungan nilai korelasi kanal.

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian kinerja filter Wiener konvensional dan filter Wiener dengan modifikasi ekstrapolasi polinomial. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi frekuensi carrier, variasi kecepatan penerima, variasi kecepatan simbol dan variasi orde filter. Kinerja yang ditinjau adalah persentase error hasil prediksi. Akan ditinjau pula kinerja metode ekstrapolasi polinomial terhadap noise.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kecepatan simbol yang tinggi, efektifitas metode ekstrapolasi polinomial tidak terlalu dipengaruhi frekuensi doppler dan bekerja lebih efektif pada orde filter yang rendah. Untuk perediksi kanal tanpa noise pada kecepatan simbol 120000 simbol/s sampai 1020000 simbol/s, kecepatan 60 m/s dan frekuensi carrier 2000 MHz, prediksi  $\hat{x}(n+1)$  menggunakan metode ekstrapolasi polinomial filter orde 1 menghasilkan reduksi persentase error prediksi sebesar 11,12% terhadap filter Wiener konvensional, sedangkan prediksi  $\hat{x}(n+2)$  menghasilkan reduksi persentase error prediksi sebesar 52,67%. Pada kecepatan simbol yang tinggi dan dalam pengaruh AWGN 10 dB, prediksi  $\hat{x}(n+2)$  menggunakan filter orde 1 metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan tingkat akurasi yang sulit untuk dihasilkan oleh berbagai orde filter Wiener konvensional. Hasil simulasi prediksi  $\hat{x}(n+2)$  pada berbagai variasi kecepatan, frekuensi carrier 2000 MHz dan kecepatan simbol 520000 simbol/s memperlihatkan bahwa prediksi  $\hat{x}(n+2)$  menggunakan filter orde 1 metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan rata-rata persentase error 29,78%, sedangkan filter Wiener konvensional berbagai orde menghasilkan rata-rata persentase error terendah 43,05%.

Kata Kunci : channel prediction, quasi static, wiener filter, polinomial interpolation, corelation



### Abstract

The widely used channel predictor today is Wiener filter-based channel predictor, where the channel is assumed to be random and has time invariant correlation value. Based on the principle of quasi static, in the short observation time interval the channel tends to be deterministic and has time variant correlation value. This makes Wiener filter-based channel predictor can not yield minimum mean squared error. To solve this problem the filter should accomodate the deterministic properties and the correlation value fluctuation of the channel. This can be achieved by polinomially extrapolating the channel correlation value.

This study conducted performance evaluation of conventional Wiener filter and Wiener filter with polinomial extrapolation modification. The performance was evaluated by varying the carrier frequencies, receiver velocities, symbol rates and the filter orders. The performance evaluation is the error percentage of the prediction. However, the polinomial extrapolation performance for the noise was also observed.

The results of the simulations show that at high symbol rate, the polinomial extrapolation effectiveness does not tightly depend on the Doppler frequency and it is able to work more effectively in the low order filter. The noiseless channel prediction at the symbol rate of 120000 symbol/s to 1020000 symbol/s, receiver velocity of 60 m/s and carrier frequency of 2000 MHz,  $(n+1)$  prediction using the first order of polinomial extraplation filter has a prediction error percentage reduction of 11.12% to the conventional Wiener filter; while  $(n+2)$  prediction has a prediction error percentage reduction of 52.67%. At high symbol rate and in the influence of 10 dB of AWGN,  $(n+2)$  prediction using the first order of polinomial extraplation filter has an accuracy which could not be achieved by various orders of conventional Wiener filter. The results of  $(n+2)$  prediction simulation at various velocity, carrier frequency of 2000 MHz and symbol rate of 520000 symbol/s indicated that  $(n+2)$  prediction using first order of polinomial extraplation filter has prediction error percentage of 29.78%; while various orders of conventional Wiener filter has the minimum prediction error percentage of 43.05%.

Keywords : channel prediction,quasi static, wiener filter, polinomial interpolation, corelation

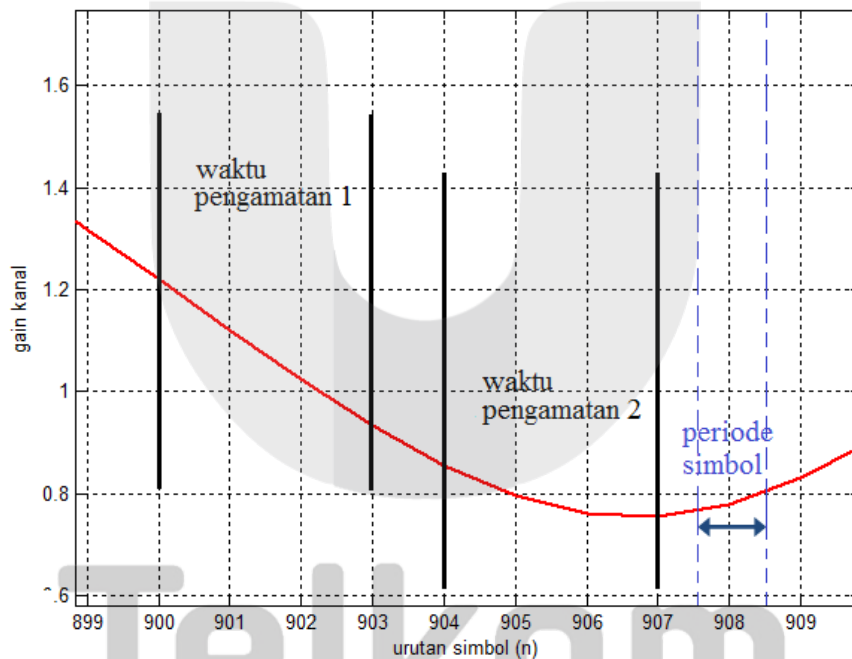
---

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Perubahan kondisi kanal sangat dipengaruhi oleh pergerakan penerima. Semakin cepat penerima bergerak, maka semakin cepat perubahan kondisi kanal yang terjadi. Perubahan kondisi kanal sepanjang periode simbol ditentukan oleh mobilitas penerima. Jika kecepatan simbol jauh lebih besar dari kecepatan perubahan kanal, maka kondisi kanal dalam satu periode simbol dapat dianggap konstan (*quasi static*) [1]. Perubahan kondisi kanal selama dua simbol yang beriringan akan bersifat linear atau hampir linear. Perubahan kondisi kanal selama lebih dari dua simbol yang berurutan akan membentuk pola yang deterministik, seperti ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Contoh pola perubahan nilai *gain* kanal yang terjadi selama beberapa periode simbol.

Gambar 1 memperlihatkan perubahan *gain* kanal (ditunjukkan oleh garis merah) yang terjadi selama beberapa periode simbol. Pola perubahan *gain* kanal yang terjadi pada gambar 1 membentuk kurva yang menyerupai fungsi kuadrat (fungsi deterministik). Hal ini menyebabkan nilai korelasi kanal selama interval waktu yang cukup singkat membentuk pola yang deterministik pula.

Selain itu, perubahan kondisi kanal sepanjang interval waktu yang sempit menyebabkan kanal memiliki nilai korelasi yang bervariasi terhadap waktu, seperti digambarkan oleh garis-garis

waktu pengamatan pada gambar 1. Pada gambar 1, bentuk kurva yang terjadi selama pengamatan 1 berbeda dengan bentuk kurva yang terjadi selama pengamatan 2. Hal ini menyebabkan nilai korelasi kanal pada waktu pengamatan 1 akan berbeda dengan nilai korelasi pada waktu pengamatan 2. Semua penjelasan ini menunjukkan bahwa pada interval waktu yang cukup singkat, kanal memiliki kecenderungan untuk memiliki nilai korelasi yang bervariasi terhadap waktu dan pola perubahan nilai korelasinya bersifat deterministik.

Prediktor kanal yang banyak digunakan saat ini adalah prediktor yang berbasis filter Wiener konvensional. Prediktor ini mengasumsikan bahwa perubahan kanal sepenuhnya bersifat acak dan memiliki nilai korelasi yang tidak bervariasi terhadap waktu [2]. Sifat deterministik dan perubahan nilai korelasi kanal sepanjang interval waktu yang singkat menyebabkan asumsi yang digunakan pada filter Wiener konvensional tidak sepenuhnya terpenuhi, sehingga filter dapat kehilangan optimalitasnya. Dengan memanfaatkan sifat deterministik dari kanal, filter Wiener konvensional dapat dimodifikasi untuk meningkatkan tingkat akurasi. Modifikasi dilakukan dalam hal perhitungan nilai korelasi. Nilai korelasi yang digunakan untuk prediksi kanal dapat dihitung menggunakan pendekatan deterministik, dalam hal ini menggunakan polinom.

Sekalipun terdapat kemungkinan bertambahnya kompleksitas melalui pendekatan deterministik ini, dengan melakukan penelitian ini diharapkan akan ditemukan hal-hal baru yang mungkin dapat dikaji lebih jauh, dikembangkan atau bahkan diimplementasikan.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memperbaiki tingkat akurasi prediktor kanal berbasis filter Wiener ketika terjadi perubahan kanal yang bersifat deterministik dan memiliki nilai korelasi yang bervariasi terhadap waktu.

## 1.3. Perumusan Masalah

Prediktor kanal berbasis filter Wiener dapat bekerja dengan baik bila perubahan kanal bersifat acak dan nilai korelasinya tidak bervariasi terhadap waktu. Ketika terjadi perubahan kanal yang bersifat deterministik dan nilai korelasinya bervariasi terhadap waktu, prediktor kanal tersebut tidak dapat bekerja secara optimal, dalam arti filter tidak dapat menghasilkan *mean squared error* yang minimal. Untuk itu diperlukan suatu prediktor kanal yang dapat memprediksi kanal yang

bersifat deterministik dengan nilai korelasi yang bervariasi terhadap waktu tanpa kehilangan optimalitasnya.

#### 1.4. Batasan Masalah

1. Kanal yang diuji dalam penelitian ini adalah kanal Rayleigh dengan sifat *identically independent distributed* (i.i.d).
2. Diasumsikan proses deteksi simbol dapat bekerja dengan baik
3. Penelitian yang dilakukan berupa pemodelan dan simulasi komputer menggunakan software matlab 2009.

#### 1.5. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dipakai dalam penyusunan Tesis ini meliputi :

##### 1. Studi Literatur

Studi literatur ini meliputi proses pembelajaran semua materi dengan pencarian referensi serta informasi dari internet, jurnal, buku maupun media yang ada yang berkaitan dengan penelitian ini.

2. Membuat model dari sistem yang akan diuji, meliputi pembuatan model kanal Rayleigh, pembuatan model noise stasioner, pembuatan model noise deterministik, pemodelan filter prediksi kanal berbasis filter Wiener, modifikasi filter Wiener menggunakan ekstrapolasi polinomial, dan mengukur performa sistem yang dibuat.
3. Melakukan pengujian dengan bantuan *tools* Matlab2009

#### 1.6 Kegunaan Penelitian

1. Mengatasi kesalahan skema transmisi (modulasi, coding, power control dll.) dalam sistem komunikasi nirkabel yang disebabkan oleh kesalahan informasi kanal.
2. Modifikasi filter Wiener dengan modifikasi ekstrapolasi polinomial dapat diterapkan untuk memprediksikan berbagai sistem mengakomodasi sifat *quasi static*, tidak terbatas hanya pada prediksi kanal, misalnya prediksi suhu, prediksi kelembaban udara, prediksi pergerakan kendaraan dan lain-lain.

#### 1.7 Sistematika Penulisan

Laporan disusun dalam lima bab dengan sistematika penulisan sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini membahas latar belakang, tujuan penelitian, perumusan masalah, batasan masalah, metodologi penelitian, kegunaan penelitian dan sistematika penulisan.

## **BAB II TEORI DAN PEMODELAN KANAL RAYLEIGH DAN FILTER WIENER**

Bab ini membahas teori yang mendukung dan mendasari penulisan tesis ini, meliputi model kanal rayleigh, prediktor berbasis filter Wiener dan noise.

## **BAB III USULAN PREDIKTOR KANAL DENGAN PENDEKATAN POLINOM**

Bab ini membahas tentang perancangan model sistem yang di dalamnya akan diimplementasikan metode prediksi kanal yang diusulkan. Akan dilakukan pengujian kinerja prediktor kanal berbasis filter Wiener dengan ekstrapolasi polinomial dan dibandingkan dengan performansi prediktor kanal berbasis filter Wiener konvensional.

## **BAB IV PENGUJIAN KINERJA DAN ANALISA PREDIKTOR KANAL**

Bab ini membahas hasil simulasi yang diperoleh dan analisa terhadap hasil simulasi tersebut.

## **BAB V KESIMPULAN**

Bab ini berisi kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN PENELITIAN LANJUTAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada waktu pengamatan yang sempit, asumsi kanal bersifat deterministik dan memiliki nilai korelasi bervariasi terhadap waktu lebih terpenuhi daripada asumsi kanal bersifat acak dan memiliki nilai korelasi yang tidak bervariasi terhadap waktu. Hal ini terlihat dari nilai persentase error prediksi kanal tanpa noise menggunakan metode ekstrapolasi polinomial yang lebih rendah daripada persentase error prediksi menggunakan filter Wiener konvensional, terutama pada kecepatan simbol yang tinggi. Hal ini terlihat dari nilai persentase error prediksi kanal pada frekuensi carrier 2000 MHz, kecepatan 60 m/s, kecepatan simbol antara 120000 simbol/s sampai 1020000 simbol/s, filter orde 1. Pada kondisi ini prediksi  $\beta(n+1)$  metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan rata-rata persentase error prediksi 11,12% lebih rendah dari persentase error prediksi menggunakan filter Wiener konvensional dan prediksi  $\beta(n+2)$  metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan rata-rata persentase error prediksi 52,67% lebih rendah dari persentase error prediksi menggunakan filter Wiener konvensional.
2. Pada kecepatan simbol yang tinggi, dalam hal ini 520000 simbol/s, selisih persentase error prediksi metode ekstrapolasi polinomial dan persentase error prediksi menggunakan filter Wiener konvensional sangat dipengaruhi orde filter dan tidak terlalu dipengaruhi perubahan frekuensi Doppler. Pada keadaan ini, semakin tinggi orde filter semakin kecil reduksi persentase error prediksi yang dihasilkan metode ekstrapolasi polinomial. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi orde filter, maka fluktuasi nilai korelasi kanal terhadap waktu semakin lemah.
3. Hasil simulasi prediksi kanal tanpa noise menunjukkan bahwa pada kecepatan simbol yang tinggi, dalam hal ini 520000 simbol/s, metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan persentase error prediksi  $\beta(n+2)$  yang lebih rendah daripada persentase error prediksi  $\beta(n+1)$ , terutama filter orde 4. Pada keadaan ini filter orde 4 menghasilkan output yang memiliki hubungan linear terhadap input filter. Di sisi lain, perubahan kanal yang terjadi untuk filter orde 4 bersifat linear. Hal ini menyebabkan filter orde 4 memiliki nilai persentase error yang sangat rendah.

4. Hasil simulasi prediksi kanal dengan AWGN 10 dB menunjukkan bahwa pada frekuensi *carrier* antara 1800 MHz sampai 2200 MHz, kecepatan penerima 60 m/s dan kecepatan simbol 520000 simbol/s, tingkat akurasi prediksi  $\beta(n+1)$  metode ekstrapolasi polinomial lebih sensitif terhadap AWGN daripada tingkat akurasi prediksi  $\beta(n+2)$ . Hal ini terlihat dari nilai persentase error prediksi  $\beta(n+2)$  yang selalu lebih kecil dari persentase error prediksi  $\beta(n+1)$  untuk filter orde 1 sampai orde 8. Hal ini terjadi karena nilai korelasi yang digunakan untuk prediksi  $\beta(n+2)$  adalah rata-rata nilai korelasi yang telah teramati. Mengambil rata-rata korelasi kanal dalam pengaruh AWGN dapat menghilangkan pengaruh AWGN, karena rata-rata distorsi korelasi kanal yang disebabkan AWGN bernilai nol. Rata-rata persentase error prediksi terkecil untuk prediksi  $\beta(n+1)$  diperoleh pada orde 1 dengan nilai rata-rata 79,20%. Persentase error terkecil untuk prediksi  $\beta(n+2)$  diperoleh pada orde 2 dengan nilai rata-rata 56,84%. Pada orde 2 ini, metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan persentase error yang lebih kecil dari filter Wiener orde 17, dengan selisih persentase error sebesar 3,97%.
5. Pada kecepatan simbol yang tinggi dan dalam pengaruh AWGN 10 dB, prediksi  $|\beta(n+2)|$  menggunakan filter orde 1 metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan tingkat akurasi yang sulit untuk dihasilkan oleh filter Wiener konvensional, sekalipun untuk orde filter yang sangat tinggi. Hal ini terlihat dari hasil simulasi prediksi  $|\beta(n+2)|$  pada berbagai variasi kecepatan, frekuensi *carrier* 2000 MHz dan kecepatan simbol 520000 simbol/s, dimana prediksi  $|\beta(n+2)|$  menggunakan filter orde 1 metode ekstrapolasi polinomial menghasilkan rata-rata persentase error 29,78%, sedangkan filter Wiener konvensional berbagai orde menghasilkan rata-rata persentase error terendah 43,05%. Hal ini terjadi karena prediksi  $|\beta(n+2)|$  menggunakan metode ekstrapolasi polinomial memiliki mekanisme untuk menghilangkan pengaruh noise seperti dijelaskan pada kesimpulan nomor 4.

## 5.2 Saran Penelitian Lanjutan

1. Untuk menambah kecepatan komputasi, polinom yang digunakan untuk prediksi  $\beta(n+1)$  dapat dipotong dengan mengurangi pengamatan nilai-nilai korelasi. Misalnya pada gambar 3.6, filter tidak perlu menghitung korelasi pada  $k = 0$  karena nilai korelasi ini tidak dilibatkan dalam perhitungan prediksi  $\beta(n+1)$ .
2. Pengamatan nilai-nilai korelasi dapat dilakukan pada tiga nilai  $N$ . Misalnya pengamatan nilai korelasi pada gambar 3.5 dilakukan pada  $N = 0, 1$  dan  $2$ . Nilai korelasi pada  $N = 0,5$  diperoleh



dengan mengambil rata-rata korelasi antara  $N = 0$  dan  $N = 1$ , nilai korelasi pada  $N = 1,5$  diperoleh dengan mengambil rata-rata korelasi antara  $N = 1$  dan  $N = 2$ . Dengan langkah ini diharapkan dapat menghilangkan pengaruh AWGN, seperti dijelaskan pada bagian 4.3. Ekstrapolasi polinomial dilakukan menggunakan nilai korelasi pada  $N = 0,5$  dan  $N = 1,5$ .



## CHAPTER V

### CONCLUSIONS AND RECOMMENDATION FOR FURTHER WORK

#### 5.1 Conclusions

1. The results of the simulations show that in the short observation time interval, the assumption that the channel is deterministic and has time variant correlation value is more satisfied than the assumption that the channel is random and has time invariant correlation value. This is indicated from the prediction error percentage for noiseless channel using the polinomial extrapolating method which is lower than the prediction error percentage using conventional Wiener filter, especially at the high symbol rate. This is showed from the channel prediction error percentage at carrier frequency of 2000 MHz, velocity of 60 m/s, symbol rate of 120000 symbol/s up to 1020000 symbol/s, and using the first filter order. At this condition the  $\beta(n+1)$  prediction using the polinomial extrapolation method has a prediction error percentage of 11.12% which is lower than the prediction error using conventional Wiener filter. Similarly,  $\beta(n+2)$  prediction using the polinomial extrapolation method has a prediction error percentage of 52.67% which is lower than the prediction error using the conventional Wiener filter.
2. At high symbol rate, in this case 520000 symbol/s, the difference between the prediction error percentage of the polinomial extrapolation method and the prediction error percentage of conventional Wiener filter is very affected by the filter order and very slightly affected by the Doppler frequency shifts. At this condition, the higher the filter order resulting the lower reduction of the prediction error percentage made by the polinomial extrapolation method, because the higher the filter order the weaker the fluctuation of the channel.
3. The simulation of the noiseless channel prediction shows that at high symbol rate, in this case 520000 symbol/s, the polinomial extrapolation method has  $\beta(n+2)$  prediction error percentage which is lower than  $\beta(n+1)$  prediction error percentage, especially at fourth filter order. At this condition the fourth filter order gives the linear connection output to the filter input. On the other side, the change of the channel condition is linear for the fourth filter order; and as a result the fourth filter order has very low error percentage.
4. The simulation of the channel prediction with 10 dB of AWGN resulting that at the frequency ranging from 1800 MHz to 2200MHz, the receiver velocity of 60 m/s and the symbol rate of 520000 symbol/s, the  $\beta(n+1)$  prediction accuracy of the polinomial extrapolation method is

more sensitive to AWGN than the  $\beta(n+2)$  prediction accuracy. This is indicated from the value of  $\beta(n+2)$  prediction error percentage which is always lower than  $\beta(n+1)$  prediction error percentage for the 1<sup>st</sup> to 8<sup>th</sup> filter orders. This is as a result of applying the previously observed average correlation value. Applying the average of the channel correlation in AWGN will eliminated the influence of AWGN, because the average value of channel distortion caused by AWGN is zero. The 1<sup>th</sup> filter order has the smallest average of  $\beta(n+1)$  prediction error percentage, numberly 79.20% in average. The 2<sup>nd</sup> filter order has the smallest average of  $\beta(n+2)$  prediction error percentage, numberly 56.84% in average. The polinomial extrapolation method using 2<sup>nd</sup> filter order has smaller error percentage than the 17<sup>th</sup> order of conventional Wiener filter; the difference error percentage is 3.97%.

5. At the high symbol rate and in the influence of 10 dB of AWGN,  $|\beta(n+2)|$  prediction using 1<sup>th</sup> filter order, the polinomial extrapolation filter achieves an accuracy which is very hard to be achieved by various orders of conventional Wiener filter, even though they has very high filter orders. This is indicated from the results of  $|\beta(n+2)|$  prediction simulation at various receiver velocities, carrier frequency of 2000 MHz and symbol rate of 520000 symbol/s. The  $|\beta(n+2)|$  prediction using 1<sup>st</sup> order of polinomial extrapolation filter has the error percentage of 29.78% in average; while the conventional Wiener filter using various orders has the smallest average error percentage of 43.05%. This is because  $|\beta(n+2)|$  prediction using polinomial extrapolation method has the mechanism to cancel the influence of AWGN as explained in point four.

## 5.2 Recommendations for Further Work

1. To increase the computation speed, the polinom used for calculating  $\beta(n+1)$  prediction can be truncated. For instance, in figure 3.6, the filter does not need to calculate the correlation at  $k = 0$  because this correlation does not need to be involved in calculating  $\beta(n+1)$  prediction.
2. Observation of correlation values can be done at three  $N$  value. For instance, the correlation value observation at figure 3.5 done at the  $N = 0, 1$  and  $2$ . Correlation value at  $N = 0.5$  calculated by taking the correlation average between  $N = 0$  and  $N = 1$ , correlation value at  $N = 1.5$  calculated by taking the correlation average between  $N = 1$  and  $N = 2$ . This step will extingguish the AWGN influence. Polinomial extrapolation done by using correlation value at  $N = 0.5$  and  $N = 1.5$ .
- 3.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Rappaport, Theodore, "Wireless Communications: Principles & Practice," Prentice Hall, New Jersey, United States, 2002.
2. S. V. Vaseghi, "Advanced Digital Signal Processing and Noise Reduction," John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, England, 2000.
3. D. Schafhuber, G. Matz, MMSE and Adaptive Prediction of Time-Varying Channels for OFDM Systems, IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 4, no. 2, March 2005.
4. A. Kurniawan, "Predictive Power Control in CDMA Systems," Dissertation submitted for the degree of Doctor of Philosophy, The University of South Australia, Institute for Telecommunications Research, Division of Information Technology, Engineering, and the Environment, February 2003.
5. J. G. Proakis, D. G. Manolakis, "DIGITAL SIGNAL PROCESSING principles, algorithms and applications," Prentice Hall, New Jersey, United States of America, 1996.
6. William C. Jakes, Jr., "Microwave Mobile Communication," John Wiley & Sons, New York, 1974.