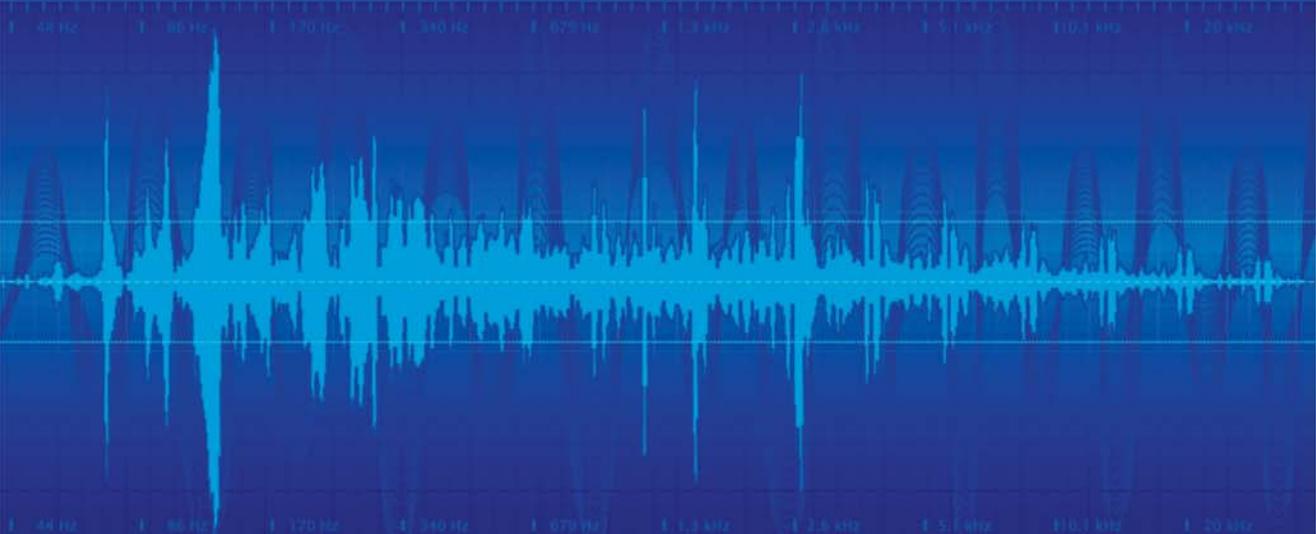




PEMROSESAN SINYAL DIGITAL

Nemuel Daniel Pah



PEMROSESAN
SINYAL DIGITAL

PEMROSESAN SINYAL DIGITAL

Nemuel Daniel Pah



GRAHA ILMU

PEMROSESAN SINYAL DIGITAL

oleh Nemuel Daniel Pah

Hak Cipta © 2018 pada penulis



GRAHA ILMU

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; Fax: 0274-889057; E-mail: info@grahailmu.co.id

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Pah, Nemuel Daniel

PEMROSESAN SINYAL DIGITAL/Nemuel Daniel Pah

- Edisi Pertama. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Graha Ilmu, 2018
xvi + 238 hlm.; 24 cm

Bibliografi: 237

ISBN : 978-602-262-789-0

E-ISBN : 978-602-262-790-6

1. Elektronika Digital

I. Judul

621.381

Prakata

Latar Belakang

Mata kuliah pemrosesan sinyal digital selalu dianggap sebagai mata kuliah yang sulit. Kesulitan ini bukan hanya menjadi pengalaman mahasiswa, tetapi juga dialami oleh dosen ketika harus mempersiapkan kuliah, bahkan ketika menjelaskan berbagai rumus di depan kelas. Kesulitan ini juga dialami oleh penulis ketika mendapat tugas untuk mengajar mata kuliah ini.

Ada sangat banyak buku teks tentang *Digital Signal Processing* yang membahas topik ini dengan sangat lengkap dan detail. Kelengkapan dan kedalaman dari buku-buku ini justru membuat kesulitan dalam mempersiapkan kuliah. Terlalu banyak bahan yang harus diajarkan, terlalu banyak rumus yang harus diturunkan dan dibuktikan, terlalu banyak konsep yang harus dipahami, terlalu banyak asumsi yang harus diterima, terlalu banyak simbol yang harus dihafal. Buku-buku ini cenderung membahas dari pendekatan sains, bukan pendekatan *engineering*. Kesulitan lainnya adalah karena adanya ketidakkonsistenan penggunaan simbol antara satu buku dengan buku lainnya. Kondisi inilah yang membuat pemrosesan sinyal digital terlihat sangat menyeramkan.

Setelah membaca berbagai buku, mencoret-coret di kertas, mencoba di komputer, menghitung dengan kalkulator,

menempuh berbagai kebingungan, berdiskusi dengan rekan dosen, akhirnya mata kuliah ini berhasil saya ajarkan dengan hasil yang memuaskan. Mahasiswa dapat mengerti dan menjadi tertarik untuk mempelajari bidang ini lebih lanjut. Pengalaman dan materi yang diajarkan pada setiap minggu perkuliahan ini menjadi begitu berharga bagi saya sehingga didokumentasikan dalam bentuk buku ajar kuliah ini.

Motivasi

Buku ini ditulis karena dorongan untuk membagikan pengalaman dan memberi kuliah ini agar rekan-rekan dosen yang lain tidak perlu menempuh kesulitan yang tidak perlu dalam mempersiapkan kuliah pemrosesan sinyal digital. Buku ini ditulis agar ada suatu set bahan ajar yang siap disajikan sehingga, baik dosen maupun mahasiswa, dapat menyajikan kuliah dan mempelajari bidang pemrosesan sinyal digital ini dengan kualitas konsep yang baik, kedalaman yang cukup, dan contoh-contoh perhitungan yang lengkap.

Bab-bab dalam buku ini dibuat dengan konsep yang *compact*. Setiap bab dibuat tidak terlalu panjang sehingga suatu konsep dapat ditanamkan dalam maksimum satu kali perkuliahan 3 sks. Bab-bab ini juga berisi contoh perhitungan dan soal latihan untuk menajamkan pemahaman konsep dan *skill engineering*.

Sekalipun materi dalam buku ini telah disiapkan dengan sangat baik dan siap disajikan dalam perkuliahan, buku ini tidak ditujukan untuk menggantikan peran dari buku-buku teks utama dalam bidang *Digital Signal Processing*. Bab-bab dalam buku ini hanya mencapai tingkat kedalaman untuk sesi perkuliahan. Rumus-rumus dan prosedur perhitungan yang digunakan hanya dipaparkan dan dijelaskan secara konseptual tetapi tidak dirinci penurunannya secara matematis.

Bab-bab ini lebih menuntut mahasiswa untuk memahami, menerima dan memakai prosedur dan rumus yang ada untuk analisis dan desain sistem pemrosesan sinyal digital. Setelah memahami materi dalam buku ini, dosen pengasuh dan mahasiswa sangat dianjurkan untuk menggali lebih dalam melalui buku-buku teks. Hal ini terlebih lagi ditekankan bagi para dosen. Tidak cukup bagi dosen untuk hanya mempersiapkan perkuliahan dari buku ini saja. Buku ini hanya digunakan sebagai media komunikasi antara dosen dan mahasiswa disajikan di kelas. Konsep dan kedalaman pemahaman harus digali dari berbagai buku.

Capaian Pembelajaran

Buku Pemrosesan Sinyal Digital ini merupakan buku ajar yang dapat digunakan sebagai bahan ajar maupun bahan belajar dari dosen dan mahasiswa untuk mata kuliah program sarjana. Materi dalam buku ini dirancang untuk suatu mata kuliah dengan beban 3 sks.

Setelah menyelesaikan pembelajaran dengan buku ini maka mahasiswa diharapkan akan dapat:

- Menjelaskan konsep sinyal dan sistem serta mendeskripsikan sinyal dalam persamaan matematis baik kontinyu maupun diskrit.
- Mentransformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi dan sebaliknya
- Menganalisa sinyal berdasarkan spektrum frekuensinya.
- Merancang dan mengimplementasi filter digital.
- Merancang sistem pemrosesan sinyal untuk aplikasi sinyal suara dan dapat mengimplementasikan dalam bentuk program aplikasi komputer.

Struktur Buku

Buku ini terdiri atas 17 bab yang dapat dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah pemahaman tentang konsep pemrosesan sinyal dan analisis sinyal. Bagian ini bertujuan untuk memberikan pemahaman tentang sinyal, baik dalam domain waktu maupun dalam domain frekuensi, serta memberikan pemahaman tentang konsep dan prosedur untuk menganalisis sinyal berdasarkan spektrum frekuensinya. Bagian yang pertama ini terdiri dari 7 bab yaitu:

- Bab 1: Pengantar Pemrosesan Sinyal, yang berisi konsep pemrosesan sinyal dan petunjuk dasar penggunaan Matlab.
- Bab 2: Domain Waktu dan Domain Frekuensi, yang memberikan fondasi dasar tentang pemahaman sinyal dan sistem dalam kedua domain.
- Bab 3: Sinyal Diskrit, memberikan langkah pertama untuk beralih dari sinyal analog ke sinyal diskrit.
- Bab 4: Discrete Fourier Transform, yang mengajarkan tentang teori dan prosedur perhitungan transformasi untuk beralih dari domain waktu ke domain frekuensi dan sebaliknya secara diskrit.
- Bab 5: Spektrum Frekuensi bertujuan untuk memberikan pemahaman dan skill untuk menganalisis spektrum frekuensi dari sinyal.
- Bab 6: Spektrogram bertujuan untuk memberikan pemahaman dan skill untuk menganalisis spektrum frekuensi dari sinyal non stasioner.
- Bab 7: Analisis Sinyal Suara yang merupakan bab aplikasi dari teori yang sudah dipelajari pada Bab 1 sampai Bab 6. Bab ini disajikan dalam bentuk bahan praktikum.

Bagian kedua terdiri dari 10 bab yang membahas secara spesifik tentang sistem diskrit. Pembahasan sistem diskrit pada bab-bab ini diarahkan pada pemahaman cara kerja

sistem diskrit dan berbagai metode untuk mendesain sistem diskrit berupa filter digital IIR dan FIR. Bab-bab ini adalah:

- Bab 8: Sistem Diskrit yang memberikan pemahaman tentang cara kerja sistem diskrit yang dinyatakan dengan impulse response dan sistem diskrit yang dinyatakan dalam bentuk *transfer function*.
- Bab 9: Transformasi Z, yang menjadi fondasi untuk merelasikan sistem dan sinyal analog dengan sistem dan sinyal diskrit.
- Bab 10: Konsep Filter, menjadi pintu masuk untuk memahami konsep filter.
- Bab 11: Filter Digital, memberikan gambaran detail tentang berbagai format dan bentuk implementasi dari filter digital.
- Bab 12 sampai Bab 14 berisi prosedur untuk desain filter FIR dengan metode sampling frekuensi, metode window, dan metode optimal.
- Bab 15 sampai Bab 17 berisi prosedur untuk mendesain filter IIR dengan metode *pole-zero placement*, transformasi bilinear, dan metode *impulse invariant*.

Beberapa bagian dalam buku ini dapat diaplikasikan dengan menjalankan perintah dari program komputer Matlab atau Octave. Program-program tersebut beserta dengan file data dapat diperoleh pada situs web buku ini dengan menghubungi dengan mengirim email kepada penulis di nemuelpah@staff.ubaya.ac.id.

Saran Penggunaan

Bab-bab dalam buku ini dirancang untuk perkuliahan pemrosesan sinyal digital sebanyak 16 minggu pertemuan/evaluasi, masing masing 3 sks (3 sesi tatap muka @ 50 menit). Berdasarkan rancangan ini maka disarankan untuk menggunakan bab-bab ini dengan urutan sebagai berikut:

Minggu 1:	Bab 1
Minggu 2:	Bab 2
Minggu 3:	Bab 3
Minggu 4:	Bab 4
Minggu 5:	Bab 5
Minggu 6:	Bab 6
Minggu 7:	Bab 7
Minggu 8:	Evaluasi (UTS)
Minggu 9:	Bab 8
Minggu 10:	Bab 9
Minggu 11:	Bab 10
Minggu 12:	Bab 12
Minggu 13:	Bab 13 dan Bab 14
Minggu 14:	Bab 15 dan Bab 16
Minggu 15:	Bab 17
Minggu 16:	Evaluasi (UAS)

Pembagian ini hanya merupakan saran saja. Dosen pengajar dapat menggunakan rancangan yang lain dan disesuaikan dengan kecepatan mahasiswa dalam memahami isi dari setiap bab.

Penghargaan

Materi dalam buku ini lahir dari proses perkuliahan di Jurusan Teknik Elektro, Universitas Surabaya pada mata kuliah *Signal Processing* (61A262) mulai tahun ajaran 2008/2009 sampai tahun ajaran 2017/2018 ketika telah berubah nama menjadi mata kuliah *Pemrosesan Sinyal Digital* (1601A042). Kesempurnaan buku ini hanya bisa terjadi karena peran yang sangat aktif dari semua mahasiswa untuk menggunakan, mencoba, dan memberi kritik serta ide perbaikan. Saya sangat bangga dan berterima kasih atas semua mahasiswa saya yang telah menempuh mata kuliah ini dan atas prestasi yang telah mereka capai.

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Djuwari, Ph.D. yang dengan tidak letih-letihnya terlibat dalam berbagai diskusi yang mendalam dengan penulis untuk memahami berbagai konsep dan prosedur dari pemrosesan sinyal digital. Tanpa diskusi-diskusi ini, banyak konsep yang belum dapat dipahami secara tuntas oleh penulis. Beliau juga sangat teliti dan kritis membaca, mencoba dan memberikan berbagai masukan serta ide pengembangan buku ini.

Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan pada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia yang telah memberikan Hibah Penerbitan Buku Ajar 2018 kepada penulis untuk menerbitkan buku ini.

Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. yang telah memberikan dorongan dan bimbingan dalam penulisan dan penerbitan buku ini.

Akhirnya, saya berterima kasih kepada istri, Vivi, dan kedua anak yang tercinta, Heidi dan Daniel atas dorongan dan waktu yang terus menerus diberikan agar dapat menulis buku ini sampai selesai.

Nemuel Daniel Pah
Surabaya, Oktober 2018

Daftar Isi

Prakata	v
Daftar Isi	xiii
Bab 1 Pengantar Pemrosesan Sinyal	1
1.1 Sinyal	1
1.2 Pemrosesan	3
1.3 Sistem Pemrosesan Sinyal	4
1.4 Aplikasi Pemrosesan Sinyal	6
1.5 Software Pemrosesan Sinyal	6
1.6 Pemrosesan Sinyal dengan Matlab	7
Bab 2 Domain Waktu dan Domain Frekuensi	19
2.1 Sinyal Sinusoidal	19
2.2 Analisis Fourier	21
2.3 Domain Waktu dan Domain Frekuensi	24
2.4 Transformasi Fourier	29
Bab 3 Sinyal Diskrit	35
3.1 Definisi Sinyal Diskrit	36
3.2 Frekuensi Sampling	39
3.3 Proses DAC	42
3.4 Sinyal-sinyal Diskrit	43

Bab 4	Discrete Fourier Transform	49
4.1	Informasi Amplitudo dalam DFT	54
4.2	Menghitung Spektrum Frekuensi dengan DFT	56
4.3	Fast Fourier Transform (FFT)	58
4.4	Inverse FFT (IFFT)	63
Bab 5	Spektrum Frekuensi	67
5.1	Spektrum Amplitudo dan Spektrum Daya	67
5.2	Panjang Sinyal	70
5.3	Zero Padding	73
Bab 6	Spektrogram	77
6.1	Sinyal Stasioner dan Non-stasioner	77
6.2	Penggambaran Spektrogram	81
6.3	Lebar Window	83
Bab 7	Analisis Sinyal Suara	85
7.1	Sinyal Suara	86
7.2	Proses Pembangkitan Suara	88
7.3	Voiced dan Unvoiced Speech	89
7.4	Frekuensi dari Voiced Speech	90
7.5	Praktikum Identifikasi Pitch	91
7.6	Praktikum Identifikasi Formants, f_1 , f_2 , dan f_3	94
Bab 8	Sistem Diskrit	95
8.1	Sistem Diskrit dengan Impulse Response	97
8.2	Sistem Diskrit dengan Transfer Function	98
Bab 9	Transformasi Z	105
9.1	Transformasi Z	108
9.2	Menemukan Impulse Response	111
9.3	Menemukan Transfer Function	113

Bab 10	Konsep Filter	117
10.1	Jenis Filter	119
10.2	Parameter Filter	121
10.3	Orde dari Filter	125
10.4	Filter Analog	126
10.5	Pergeseran Fase pada Filter	130
10.6	Group Delay	132
Bab 11	Filter Digital	139
11.1	Kelebihan Filter Digital	140
11.2	Kelemahan Filter Digital	141
11.3	Parameter Filter Digital	142
11.4	Menemukan Respon Frekuensi dari Filter	145
11.5	Tipe dari Filter Digital	147
11.6	Implementasi Filter FIR	148
11.7	Implementasi Filter IIR	150
11.8	Perbandingan antara FIR dan IIR	152
Bab 12	Desain Filter FIR dengan Metode Sampling Frekuensi	157
12.1	Metode Sampling Frekuensi	158
12.2	Metode Sampling Frekuensi dengan Matlab	163
Bab 13	Desain Filter FIR dengan Metode Window	167
13.1	Proses Desain dengan Metode Window	168
13.2	Metode Window pada Matlab	177
Bab 14	Desain Filter FIR dengan Metode Optimal	179
Bab 15	Desain Filter IIR dengan Metode Pole-Zero Placement	185
15.1	Metode Pole-Zero Placement	186
15.2	Contoh Proses Desain	189

Bab 16	Desain Filter IIR dengan Metode Transformasi Bilinier	193
16.1	Desain Filter IIR Butterworth	196
16.2	Contoh Desain Filter IIR Butterworth	200
16.3	Desain Filter IIR Butterworth dengan Matlab	204
16.4	Desain Filter IIR Chebyshev Tipe 1	205
16.5	Contoh Desain Filter IIR Chebyshev Tipe 1	208
16.6	Desain Filter IIR Chebyshev Tipe I dengan Matlab	212
16.7	Desain Filter IIR Chebyshev Tipe II	213
16.8	Desain Filter IIR Chebyshev Tipe II dengan Matlab	215
16.9	Desain Filter IIR Elliptic	216
16.10	Menentukan Orde Filter Elliptic	218
16.11	Desain Filter IIR Elliptic dengan Matlab	219
Bab 17	Desain Filter IIR dengan Metode Impulse Invariant	223
17.1	Langkah Desain IIR dengan Impulse Invariant	225
17.2	Contoh Desain Filter IIR dengan Impulse Invariant	229
17.3	Desain Filter IIR dengan Impulse Invariant pada Matlab	233
	Daftar Pustaka	237

Daftar Pustaka

John G. Proakis, Dimitris G. Manolakis, 'Digital Signal Processing: Principles, Algorithms, and Applications', Prentice-Hall International, 2006

Li Tan, 'Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications', Academic Press, 2008

B. Preetham Kumar, 'Digital Signal Processing Laboratory', Taylor & Francis, 2005

Lawrence R. Rabiner, Ronald W. Schafer, 'Theory and Applications of Digital Speech Processing', Prentice Hall, 2011

Nemuel D. Pah, 'Measuring Similarity between Wavelet Function and Transient in a Signal with Symmetric Distance Coefficient', The Int. Conf. on Industrial and Appl. Math., Bandung-Indonesia 2010

Mata kuliah pemrosesan sinyal digital selalu dianggap sebagai mata kuliah yang sulit baik bagi mahasiswa maupun dosen. Ada sangat banyak buku teks tentang pemrosesan sinyal digital yang membahas topik ini dengan sangat lengkap dan detail. Kelengkapan dan kedalaman dari buku-buku tersebut justru membuat kesulitan dalam mempersiapkan kuliah. Terlalu banyak bahan yang harus diajarkan, terlalu banyak rumus yang harus diturunkan dan dibuktikan, terlalu banyak konsep yang harus dipahami, terlalu banyak asumsi yang harus diterima, terlalu banyak simbol yang harus dihafal. Kondisi inilah yang membuat pemrosesan sinyal digital terlihat sangat menyeramkan.

Buku ini ditulis untuk menghadirkan suatu bahan ajar mata kuliah pemrosesan sinyal digital pada jenjang sarjana yang sederhana, padat, ringkas, dan aplikatif. Buku ini ditulis agar rekan-rekan dosen dapat dengan cepat mempersiapkan bahan ajar untuk mata kuliah ini. Buku ini juga ditujukan kepada mahasiswa yang ingin belajar dan memahami materi pemrosesan sinyal digital dengan cepat dan lengkap tanpa perlu terjebak dalam proses pembuktian rumus yang rumit. Buku ini lahir dari suatu pengalaman panjang penulis dalam mengajarkan materi ini di Jurusan Teknik Elektro Universitas Surabaya. Kiranya buku ini dapat membantu dosen dan mahasiswa memahami pemrosesan sinyal digital.

PEMROSESAN SINYAL DIGITAL



Nemuel Daniel Pah adalah dosen pada Jurusan Teknik Elektro, Universitas Surabaya. Sebagai seorang dosen dan peneliti, penulis telah membuat banyak modul kuliah dan terlibat dalam banyak penelitian di bidang pemrosesan sinyal digital, pemrosesan citra digital, dan robotika. Penulis merupakan lulusan dari Teknik Elektro ITS pada tahun 1994 dan mendapat gelar Master of Engineering (M.Eng) dan Doctor of Philosophy (Ph.D) dari RMIT University, Australia pada tahun 1999 dan 2003 dalam bidang biomedical signal processing.

 **GRAHA ILMU**

ISBN: 978-602-262-789-0



9 786022 627890