



**INTEGRASI DIGITAL MODULATOR DAN POWER  
AMPLIFIER MENGGUNAKAN KONVERTER DAYA  
RESONAN UNTUK MEMPERBAIKI EFISIENSI ENERGI  
DALAM SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL**

**TESIS**

**Oleh**

**Dodi Garinto**

**NIM 55418120006**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**PROGRAM FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA**

**Juli 2021**



**INTEGRASI DIGITAL MODULATOR DAN POWER  
AMPLIFIER MENGGUNAKAN KONVERTER DAYA  
RESONAN UNTUK MEMPERBAIKI EFISIENSI ENERGI  
DALAM SISTEM KOMUNIKASI DIGITAL**

**TESIS**

**Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk Menyelesaikan  
Program Fakultas Teknik Program Magister Teknik Elektro**

**Oleh**

**Dodi Garinto**

**55418120006**

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO**

**PROGRAM FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MERCU BUANA**

## *ABSTRACT*

In this thesis, the integration of digital modulation technique and power amplifier using resonant power converter is presented. The new concept can be referred to as Digital Power Modulator. The aim is to improve the energy efficiency in modern digital communication systems. The converter specifications are 48 V input voltage, 50 ohm output load, 30 W output power, 500MHz switching frequency. The voltage stresses on semiconductor devices and capacitors will be analyzed in this thesis. In addition, the behavior of current and voltage waveforms will be simulated and analyzed with PSPICE software. The combination analysis of the converter in DCM operation to modulate current and voltage at 50 ohm load in a resonant mode based on One Cycle On-Off Keying digital modulation technique is also provided. The analysis of Fourier spectrum based on a PSPICE simulation regarding the modulated signal by the proposed converter is also discussed. Furthermore, Class E power amplifier as a comparison to support the proposed concept is given. Based on PSPICE, the proposed converter efficiency is 95.3 %.

*Keywords—Digital modulation techniques, OOK (On Off Keying), Power Amplifier, switching power converter, resonant converter, digital communications, wireless communications*

## ABSTRAK

Dalam tesis ini, integrasi teknik modulator digital dan *power amplifier* menggunakan konverter daya resonan disajikan. Konsep baru ini dapat disebut sebagai Modulator Daya Digital. Tujuannya adalah untuk memperbaiki efisiensi energi dalam sistem komunikasi digital *modern*. Spesifikasi konverter yang diusulkan adalah 48 V tegangan input, 50 Ohm beban output, 30 W daya output, dan bandwidth 500 MHz. Stres tegangan pada piranti semikonduktor dan kapasitor akan dianalisa dalam penelitian tesis ini. Juga, perilaku bentuk gelombang arus dan tegangan akan disimulasikan dan dianalisa dengan software PSPICE. Kombinasi analisis dari konverter dalam operasi DCM untuk memodulasi arus dan tegangan pada beban 50 Ohm dalam mode resonan berdasarkan teknik modulasi digital *One-Cycle On-Off Keying* juga diberikan. Analisa spektrum Fourier berdasarkan pada simulasi PSPICE mengenai sinyal yang dimodulasi oleh konverter yang diusulkan juga didiskusikan. Lebih jauh lagi, *Class E power amplifier* sebagai perbandingan untuk mendukung konsep konverter yang diusulkan juga diberikan. Menurut hasil simulasi PSPICE, efisiensi konverter yang diusulkan adalah sebesar 95.3%.

Kata kunci: teknik modulasi digital, OOK (*On-Off Keying*), *Power Amplifier*, konverter daya resonan, komunikasi digital, komunikasi nirkabel.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi penulis kekuatan dan kemampuan sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas tesis ini sebagai salah satu syarat menyelesaikan program Magister Teknk Elektro di Universitas Mercu Buana – Menteng Jakarta. Dari sudut pandang penulis, alangkah indahnya dan memberikan kedamaian yang tiada tara mengakui dan percaya bahwa Tuhan turut bekerja dalam segala sesuatu untuk mendatangkan kebaikan bagi mereka yang percaya, yaitu bagi mereka yang terpanggil sesuai dengan rencana-Nya.

Di luar rencana, tesis ini adalah hasil dari sintesis antara dua disiplin ilmu, yaitu minat, pengalaman dan kompetensi penulis di bidang power electronics selama lebih dari 15 tahun, dan bidang komunikasi, lebih tepatnya sistem komunikasi digital, yang penulis pelajari selama menjadi *student* di program magister teknik elektro Universitas Mercu Buana. Sungguh memberikan kepuasan tersendiri ketika penulis menemukan interest yang baru, sekaligus menemukan dosen pembimbing tesis yang sabar, tenang, dan ahli di bidang *wireless communication*, yaitu Prof. Dr. Ing. Mudrik Alaydrus. Lebih jauh lagi, adalah suatu kehormatan bagi penulis bahwa kami telah bekerjasama menulis grant proposal dan paper untuk memecahkan masalah yang sangat penting dan urgen terkait efisiensi energi dalam sistem komunikasi digital dewasa ini, khususnya terkait digital modulator dan power amplifier yang terdapat pada BTS (Base Transceiver System) di seluruh dunia.

Terakhir, yang tidak kalah pentingnya, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah ikut berkontribusi dalam pencapaian tugas tesis ini:

1. Ibuku tercinta, Sri Kustati, yang telah melahirkan penulis dan telah mendukung penulis dalam perjalanan hidup yang berbatu dan berlobang untuk menjadi orang yang mencapai tujuan hidup yang mulia.
2. Istriku tercinta, Ratri Wulansari, yang dengan setia telah menemani penulis dalam suka dan duka selama 19 tahun ini, bahkan yang telah mendorong penulis untuk terus melanjutkan studi ke S2 sampai S3.

Tesis ini tidak akan pernah ada tanpa peran sertanya. Dia mengatakan bahwa penulis lebih cocok untuk menjadi ilmuwan atau engineer dari pada entrepreneur. Dia mengatakan; “Menjadi ilmuwan adalah kekuatanmu Papa”

3. Prof. Dr. Ing Mudrik Alaydrus, dosen pembimbing tesis saya yang sabar, tenang, dan ahli di bidang *wireless communication*. “Prof, saya merekam dan sudah mendengarkan lebih dari 5 kali diskusi kita sewaktu Prof membimbing framework tesis saya, sungguh saya tidak bosan mendengarkannya”.
4. Anakku tercinta, Theodora Valerie, anak generasi Z berusia 19 tahun yang sudah semester 6 di UGM jurusan teknik elektro, yang dengan percaya diri telah membantu penulis menurunkan persamaan rumus matematis untuk rangkaian konverter daya yang original dari penulis untuk bahan tesis ini.”V, papa tahu kamu jenius”.
5. Pihak-pihak lainnya, yang penulis kenal maupun tidak, yang ikut berkontribusi sehingga tugas tesis ini tercapai.

Penulis melihat bahwa penelitian yang terkandung dalam tesis ini masih jauh dari sempurna. Penulis melihat bahwa topik riset dalam tesis ini adalah suatu research domain yang baru dan sangat menarik untuk diteliti lebih lanjut. Semoga tesis ini bermanfaat bagi semua orang, dan semoga misi penulis tercapai, yaitu membantu menciptakan planet kita suatu tempat yang lebih baik.

Jakarta, 27 Juli 2021



(Dodi Garinto)

**MERCU BUANA**  
**PENGESAHAN TESIS**

Judul : Integrasi Digital Modulator Dan Power Amplifier  
Menggunakan Konverter Daya Resonan Untuk  
Memperbaiki Efisiensi Energi Dalam Sistem Komunikasi  
Digital  
Nama : Dodi Garinto  
NIM : 55418120006  
Program : Magister Teknik Elektro  
Konsentrasi : Manajemen Telekomunikasi  
Tanggal : 3 Agustus 2021

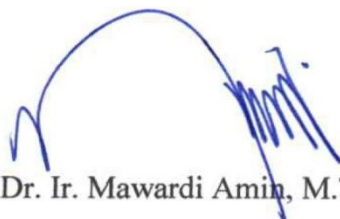
Pembimbing:



Prof. Dr. Ing. Mudrik Alaydrus

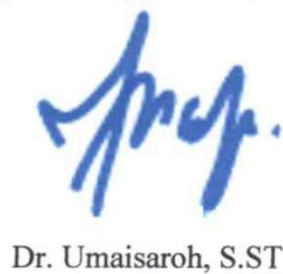
Mengesahkan:

Dekan Fakultas Teknik



Dr. Ir. Mawardi Amin, M.T.

Kaprodi Magister Teknik Elektro



Dr. Umaisaroh, S.ST

## PERNYATAAN

Saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan yang sebenar-benarnya bahwa seluruh tulisan dan pernyataan dalam Tesis ini:

Judul : Integrasi Digital Modulator Dan Power Amplifier Menggunakan  
Konverter Daya Resonan Untuk Memperbaiki Efisiensi Energi  
Dalam Sistem Komunikasi Digital  
Nama : Dodi Garinto  
NIM : 55418120006  
Program : Magister Teknik Elektro  
Konsentrasi : Manajemen Telekomunikasi

Merupakan hasil studi pustaka, penelitian lapangan, dan karya saya sendiri dengan bimbingan dari Pembimbing. Tesis ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar Magister pada program sejenis di perguruan tinggi lain. Semua informasi, data, dan hasil pengolahan yang digunakan, telah dinyatakan secara jelas sumbernya dan dapat diperiksa kebenarannya.

Jakarta, 3 Agustus 2021



DODI GARINTO



## PERNYATAAN *SIMILARITY CHECK*

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan, bahwa karya ilmiah yang ditulis oleh

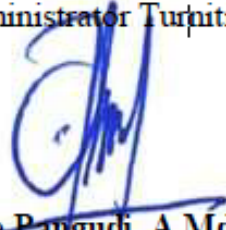
Nama : Dodi Garinto  
NIM : 55418120006  
Program Studi : Magister Teknik Elektro

dengan judul

*"Integration of Digital Modulation and Power Amplifier Using Switching Power Converter"*, telah dilakukan pengecekan *similarity* dengan sistem Turnitin pada tanggal 03/Agustus/2021, didapatkan nilai persentase sebesar 16 %.

Jakarta, 03 Agustus 2020

Administrator Turnitin



Arie Pangudi, A.Md

## DAFTAR ISI

|                                          |             |
|------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>               | <b>i</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                    | <b>ii</b>   |
| <b>ABSTRAK .....</b>                     | <b>iii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>              | <b>v</b>    |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>           | <b>vii</b>  |
| <b>LEMBAR PERNYATAAN .....</b>           | <b>viii</b> |
| <b>PERNYATAAN SIMILARITY CHECK .....</b> | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                  | <b>x</b>    |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>               | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>                | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR SINGKATAN .....</b>            | <b>xvi</b>  |
| <b>BAB I. PENDAHULUAN .....</b>          | <b>1</b>    |
| A. Latar Belakang Penelitian .....       | 1           |
| B. Rumusan Masalah .....                 | 5           |
| C. Tujuan Penelitian .....               | 7           |
| D. Batasan Masalah .....                 | 7           |
| E. Manfaat Penelitian .....              | 9           |
| <b>BAB II. REVIEW LITERATUR .....</b>    | <b>11</b>   |
| A. Sistem Komunikasi Digital .....       | 11          |
| A.1. Amplitude Shift Keying (ASK) .....  | 12          |
| A.2. Frequency Shift Keying (FSK) .....  | 13          |
| A.3. Phase Shift Keying (PSK) .....      | 13          |
| B. RF Power Amplifier .....              | 14          |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| B.1. Class A Power Amplifier.....                                       | 15        |
| B.2. Class B Power Amplifier.....                                       | 17        |
| B.3. Class AB Power Amplifier.....                                      | 19        |
| B.4. Class C Power Amplifier.....                                       | 21        |
| B.5. Class D Power Amplifier.....                                       | 22        |
| B.6. Class E Power Amplifier.....                                       | 23        |
| B.7. Kanal Komunikasi.....                                              | 24        |
| B.8. Antena .....                                                       | 25        |
| <b>BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....</b>                             | <b>26</b> |
| A. Diagram Alir Penelitian .....                                        | 26        |
| B. Sistem Komunikasi Digital yang Diusulkan .....                       | 28        |
| C. Topologi Komverter Daya Yang Diusulkan .....                         | 29        |
| <b>BAB IV. HASIL-HASIL SIMULASI DAN KOMPARASI .....</b>                 | <b>40</b> |
| A. Rangkaian Digital Power Modulator.....                               | 40        |
| B. Interface Untuk Sinyal Input Digital .....                           | 41        |
| C. Parameter Rangkaian Digital Power Modulator.....                     | 42        |
| D. Analisis Stress Arus dan Stress Tegangan .....                       | 46        |
| E. Analisis Fourier Spectrum .....                                      | 47        |
| F. Perbandingan Class E Amplifier dan Digital Power Modulator.....      | 48        |
| G. Hasil Simulasi Efisiensi Digital Power Modulator yang diusulkan..... | 49        |
| <b>BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>                                | <b>52</b> |
| A. Kesimpulan.....                                                      | 52        |
| B. Kontribusi Dan Saran Untuk Penelitian Di Masa Depan.....             | 53        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                             | <b>54</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                    | <b>56</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 1.1. Diagram blok sistem komunikasi digital yang konvensional .....                                            | 2  |
| Gambar 1.2. Konsumsi daya dari sistem komunikasi nirkabel.....                                                        | 3  |
| Gambar 1.3. Breakdown konsumsi daya dari suatu BTS.....                                                               | 3  |
| Gambar 1.4. Tren konsumsi daya Base Station selama 2,5 dekade ini.....                                                | 4  |
| Gambar 1.5. Diagram sistem komunikasi digital pada transmitter dengan teknik modulasi OOK .....                       | 5  |
| Gambar 1.6. Digital Power Modulator diusulkan untuk memperbaiki efisiensi energi dalam sistem komunikasi digital..... | 8  |
| Gambar 2.1. Blok diagram sistem komunikasi digital dengan mempertimbangkan noise pada kanal komunikasi. ....          | 11 |
| Gambar 2.2. Teknik-teknik dasar modulasi digital.....                                                                 | 12 |
| Gambar 2.3. Bentuk gelombang Amplitude Shift Keying (ASK) .....                                                       | 12 |
| Gambar 2.4. Bentuk gelombang Frequency Shift Keying (FSK) .....                                                       | 13 |
| Gambar 2.5. Bentuk gelombang Phase Shift Keying (PSK).....                                                            | 13 |
| Gambar 2.6. Diagram konstelasi binary PSK .....                                                                       | 14 |
| Gambar 2.7. Diagram sudut konduksi 360° dari class A power amplifier .....                                            | 16 |
| Gambar 2.8. Topologi rangkaian class A RF power amplifier .....                                                       | 16 |
| Gambar 2.9. Class A amplifier.....                                                                                    | 17 |
| Gambar 2.10. Class B dengan konfigurasi push-pull amplifier.....                                                      | 18 |
| Gambar 2.11. Diagram sudut konduksi class B RF power amplifier.....                                                   | 18 |
| Gambar 2.12. Karakteristik Class B Power Amplifier.....                                                               | 19 |
| Gambar 2.13. Diagram sudut konduksi Class AB Amplifier.....                                                           | 20 |
| Gambar 2.14. Karakteristik Class AB Amplifier .....                                                                   | 20 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.15. Topologi rangkaian dan sudut konduksi class C RF amplifier. ....                                                                      | 21 |
| Gambar 2.16. Perilaku arus dan tegangan pada transistor class C amplifier .....                                                                    | 22 |
| Gambar 2.17. Topologi rangkain dan bentuk gelombang arus dan tegangan pada Class D Power Amplifier .....                                           | 23 |
| Gambar 2.18. Karakteristik rangkaian & bentuk gelombang Class E Amplifier...                                                                       | 24 |
| Gambar 3.1. Diagram alir penelitian integrasi digital modulator dan power amplifier menggunakan konverter daya resonan .....                       | 27 |
| Gambar 3.2. Diagram blok sistem komunikasi digital yang diusulkan .....                                                                            | 28 |
| Gambar 3.3. Diagram blok elemen-elemen dalam Digital Power Modulator .....                                                                         | 29 |
| Gambar 3.4. Konverter daya switching yang diusulkan sebagai batu bangunan untuk Digital Power Modulator (DPM) .....                                | 29 |
| Gambar 3.5. (a) Prinsip kerja ketika S1 ON. (b) Prinsip kerja ketika S1 OFF .....                                                                  | 31 |
| Gambar 3.6. Bentuk gelombang operasi dari konverter daya switching yang diusulkan berdasarkan Gambar 9 (b) .....                                   | 32 |
| Gambar 3.7. Penyederhanaan loop I menjadi rangkaian RLC seri .....                                                                                 | 32 |
| Gambar 3.8. Loop II merupakan rangkaian induktor dan sumber tegangan.....                                                                          | 35 |
| Gambar 3.9. Tanggapan natural arus menunjukkan sifat damped sinusoid.....                                                                          | 38 |
| Gambar 3.10. Tanggapan natural tegangan menunjukkan sifat damped sinusoid.                                                                         | 39 |
| Gambar 4.1. Konverter daya switching yang diusulkan untuk Digital Power Modulator dengan fungsi OOK.....                                           | 41 |
| Gambar 4.2. Bentuk gelombang operasi dari rangkaian pada Gambar 11.....                                                                            | 41 |
| Gambar 4.3. Interface elektronika digital dengan tabel kebenaran dan diagram waktu sebagai strategi kontrol untuk Digital Power Modulator OOK..... | 42 |
| Gambar 4.4. Prinsip kerja rangkaian Digital Power Modulator OOK.....                                                                               | 44 |
| Gambar 4.5. Prinsip pengisian dan pengosongan energi pada kapasitor C1 dan C2 dalam rangkaian RLC seri untuk membentuk teknik modulasi OOK .....   | 46 |

|                                                                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.6. Analisis stress tegangan pada switch semikonduktor dari konverter daya resonan untuk Digital Power Modulator OOK gelombang penuh ..... | 47 |
| Gambar 4.7. Spektrum Fourier dari Digital Power Modulator OOK gelombang penuh yang diusulkan berdasarkan hasil simulasi PSPICE .....               | 48 |
| Gambar 4.8. Class E Power Amplifier dan gelombang operasinya.....                                                                                  | 48 |
| Gambar 4.9. Daya rata-rata pada V1 berdasarkan simulasi PSPICE.....                                                                                | 49 |
| Gambar 4.10. Daya rata-rata pada V2 berdasarkan simulasi PSPICE.....                                                                               | 50 |
| Gambar 4.11. Daya rata-rata pada beban RL berdasarkan simulasi PSPICE.....                                                                         | 50 |
| Gambar 4.12. Bentuk gelombang arus, tegangan dan daya pada antena RL.....                                                                          | 50 |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3.1. Parameters untuk konverter daya switching dari Gambar 8 (b).....                                             | 30 |
| Tabel 3.2. Variasi nilai L dan C untuk menghasilkan 2 ns, dan 2,5 ns.....                                               | 38 |
| Tabel 4.1. Parameters untuk rangkaian Digital Power Modulator OOK .....                                                 | 43 |
| Tabel 4.2. Parameters rangkaian konverter resonan yang diusulkan .....                                                  | 49 |
| Tabel 4.3. Komparasi estimasi efisiensi power amplifier konvensional dan<br>konverter daya resonan yang diusulkan ..... | 51 |

## DAFTAR SINGKATAN

|        |                                                              |
|--------|--------------------------------------------------------------|
| OOK    | On Off Keying                                                |
| DPM    | Digital Power Modulator                                      |
| PSPICE | Personal Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis |
| BTS    | Base Transceiver Station                                     |
| TKT    | Tingkat Kesiapan Teknologi                                   |
| AM     | Amplitude Modulation                                         |
| FM     | Frequency Modulation                                         |
| RFI    | radio frequency interference                                 |
| FSK    | Frequency Shift Keying                                       |
| PSK    | Phase Shift Keying                                           |
| ASK    | Amplitudo Shift Keying                                       |
| RF     | Radio Frequency                                              |
| TWh/yr | Tera Watt Hours per year                                     |
| BS     | Base Station                                                 |
| PA     | Power Amplifier                                              |
| 4G     | Four Generation                                              |
| Mbps   | Mega bit per second                                          |
| SIC    | Silicon Carbide                                              |
| GaN    | Galium Nitride                                               |
| MOSFET | Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor            |
| 5G     | Fifth Generation                                             |
| TKDN   | Tingkat Kandungan Dalam Negeri                               |
| Hz     | Hertz                                                        |
| SNR    | Signal to Noise Ration                                       |
| GHz    | Giga Hertz                                                   |
| IEEE   | Institute of Electrical Electronics Engineering              |
| DC     | Direct Current                                               |
| V      | Volt                                                         |
| MHz    | Mega Hertz                                                   |



|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| c   | Kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$ m/s) |
| m   | Meter                                   |
| f   | Frekuensi                               |
| RLC | Resistor Induktor Kapasitor             |
| dc  | direct current                          |
| RL  | Resistor beban                          |
| DCM | Discontinuous Conduction Mode           |
| KVL | Kirchoff Voltage Law                    |
| T   | Periode                                 |
| ns  | Nano second                             |