

TESIS

PERANCANGAN DAN ANALISIS TRANSMISI DAYA DAN POTENSI TRANSMISI DATA NIRKABEL SECARA SIMULTAN PADA FREKUENSI 2.4 GHZ

*Design and Analysis of Power Transmission and Potential of
Simultaneous Wireless Data Transmission at 2.4 GHz Frequency*

**MUTHIA DWIWULANDARI
D032202001**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

PENGAJUAN TESIS

PERANCANGAN DAN ANALISIS TRANSMISI DAYA DAN POTENSI TRANSMISI DATA NIRKABEL SECARA SIMULTAN PADA FREKUENSI 2.4 GHZ

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister
Program Studi Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

MUTHIA DWIWULANDARI

D032202001

Kepada

**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

TESIS**PERANCANGAN DAN ANALISIS TRANSMISI DAYA DAN
DATA NIRKABEL SECARA SIMULTAN PADA FREKUENSI
2.4 GHZ****MUTHIA DWIWULANDARI
D032202001**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 30 Oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Elyas Palantei, ST., M.Eng., Ph.D
NIP. 19690201 199412 1 001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT
NIP. 19750203200012 2 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM., ASEAN Eng.
NIP. 19730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, ST., M.Eng
NIP. 19720828 199903 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Muthia Dwiwulandari
Nomor mahasiswa : D032202001
Program studi : Magister Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “Perancangan dan Analisis Transmisi Daya dan Potensi Transmisi Data Nirkabel Secara Simultan Pada Frekuensi 2.4 GHz” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Elyas Palantei, ST., M.Eng., Ph.D. NIP. 19690201 199412 1 001 dan Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni ST., MT. NIP. 19750203 200012 2 002). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding *Photonics and Electromagnetics Research Symposium (PIERS)* 2024, sebagai artikel dengan judul “A 2.45 GHz Wireless Power Transmission: Design and Testing”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 30 Oktober 2024
Yang menyatakan



Muthia Dwiwulandari

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Elektro. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Prof. Dr. Ir. Budimawan, DEA dan Hafsah Tahir, serta saudara, Fadly Anggriawan, S.Kel., M.Si, dan A. Tenry Dilza Thania, SE, serta segenap keluarga yang dengan ikhlas memberikan doa dan dukungan selama proses penyelesaian tesis ini.
2. Bapak Elyas Palantei., ST., M.Eng., Ph.D, selaku pembimbing I dan Ibu Prof. Dr. Eng. Intan Sari Areni, ST., MT selaku pembimbing II, terima kasih banyak atas ilmu, bimbingan, dan waktu yang telah diberikan sehingga penyusunan tesis ini dapat terselesaikan.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Andani, M.T., IPU, Bapak Prof. Dr. Ir. Syafruddin Syarif, ST., MT, dan Bapak Dr. Eng. Ir. Wardi, ST. M.Eng., selaku dewan penguji sekaligus Ketua Program Studi Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, terima kasih atas masukan dan arahnya dalam penyelesaian tesis ini.
4. Segenap Dosen Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan ilmu pengetahuan dan bimbingan selama penulis menuntut ilmu di Universitas Hasanuddin serta segenap Pegawai Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang senantiasa membantu dalam pengurusan administrasi.
5. Teman-teman Magister Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin serta adik-adik di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Pendek, terima kasih atas sambutan hangatnya. Semoga kita bisa menyelesaikan studi dengan baik.

6. Teman-teman DPK, yang terdiri dari Waode Yulistiawaty Mega Saputri, Alicia Salsabilah, Ulfa Sujana, Dhea Ramadhani, Ronaldi, Isratillah, dan Jumriani, terima kasih telah menjadi motivasi sekaligus semangat bagi penulis dalam menyelesaikan tesis ini. Semoga kita semua bisa menggapai hal-hal baik bersama.
7. Park Chaeyoung, Kim Jisoo, Kim Jennie, Lalisa Manoban, Nurul Triana, Una, dan Thiti Purnama. Terima kasih telah menemani, memberikan semangat, dan memberikan dukungan selama masa penulisan ini. Semoga semua hal yang kita rencanakan dan harapkan akan terealisasi segera.
8. Kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu semoga senyum terbaik, doa yang tulus, motivasi, dan saran yang telah diberikan bernilai pahala.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam tesis ini. Oleh karena itu, saran dan kritik dari semua pihak diharapkan untuk kesempurnaan tesis ini. Penulis berharap semoga tesis ini dapat diterima sebagai kontribusi pikiran peneliti yang mendatangkan manfaat baik bagi penulis maupun pembacanya.

Akhir kata, tiada kata yang patut penulis ucapkan selain rasa syukur dan doa, jazakumullah khairan katsiran semoga Allah Azza wa Jalla memberikan balasan dengan sebaik-baik balasan dan mengumpulkan kita kelak di sebaik-baik tempat kembali.

Penulis

Muthia Dwiwulandari

ABSTRAK

MUTHIA DWIWULANDARI. *Perancangan dan Analisis Transmisi Daya dan Potensi Transmisi Data Nirkabel Secara Simultan Pada Frekuensi 2.4 GHz* (dibimbing oleh **Elyas Palantei, Intan Sari Areni**)

Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT) merupakan teknologi inovatif yang memungkinkan transmisi daya dan data secara bersamaan melalui saluran komunikasi nirkabel. Penelitian ini mengembangkan sistem SWIPT pada frekuensi 2,4 GHz menggunakan satu antenna horn sebagai pengirim dan lima antenna penerima yang dirancang untuk meningkatkan efisiensi pengiriman daya serta kecepatan pengiriman data. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh spesifikasi antenna terhadap daya dan data yang diterima, mengetahui karakteristik SWIPT terhadap besarnya nilai daya dan kecepatan data yang diterima, dan mengetahui spesifikasi yang perlu diutamakan dalam perancangan antenna. Dalam penelitian ini dilakukan perhitungan kapasitas kanal yang ditentukan dari besarnya transfer daya yang didapatkan dari hasil pengukuran. Jarak standar antara antenna pengirim dan antenna penerima adalah 170 cm kemudian antenna penerima akan bergerak dari jarak standar hingga jarak akhir yaitu 250 cm. Setiap 10 cm perpindahan, arus dan tegangan pada seluruh antenna penerima akan diukur. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa antenna dengan nilai S_{11} yang lebih rendah dapat menyerap daya yang lebih baik sehingga data yang dapat dikirim juga semakin besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai S_{11} berpengaruh pada antenna penerima. Rata-rata nilai kapasitas kanal pada keseluruhan antenna penerima cenderung menurun dikarenakan pengaruh antenna dalam menerima daya. Rata-rata data yang dapat dikirim yaitu pada antenna penerima I sebesar 58,47 Mbps, antenna penerima II sebesar 46,52 Mbps, antenna penerima III sebesar 40,15 Mbps, antenna penerima IV sebesar 37,79 Mbps, dan pada antenna penerima V sebesar 24,41 Mbps.

Kata kunci: SWIPT, Antena, Transfer Daya, Kapasitas Kanal, S_{11}

ABSTRACT

MUTHIA DWIWULANDARI. *Design and Analysis of Power Transmission and Potential of Simultaneous Wireless Data Transmission at 2.4 GHz Frequency* (supervised by **Elyas Palantei, Intan Sari Areni**)

Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT) is an innovative technology that allows simultaneous transmission of power and data over wireless communications channels. This research develops a SWIPT system at the 2.4 GHz frequency using one horn antenna as a transmitter and five receiver antennas which are designed to increase power transmission efficiency and data transmission speed. The aim of this research is to determine the effect of antenna specifications on the power and data received, determine the characteristics of SWIPT on the value of power and data speed received, and find out the specifications that need to be prioritized in antenna design. In this research, channel capacity was calculated which was determined from the amount of power transfer obtained from the measurement results. The standard distance between the sending antenna and the receiver antenna is 170 cm, then the receiver antenna will move from the standard distance to the final distance, namely 250 cm. Every 10 cm of displacement, the current and voltage on all receiver antennas will be measured. Based on the research carried out, the results were obtained that an antenna with a lower S11 value can absorb better power so that the data that can be sent is also greater. So it can be concluded that the S11 value has an effect on the receiver antenna. The average of channel capacity for all receiver antennas tends to decrease due to the influence of the antenna in receiving power. The average data that can be sent is 58.47 Mbps on receiver antenna I, 46.52 Mbps on receiver antenna II, 40.15 Mbps on receiver antenna III, 37.79 Mbps on receiver antenna IV, and 24.41 Mbps on receiver antenna V.

Keywords: SWIPT, Antenna, Power Transfer, Channel Capacity, S11

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS.....	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Permasalahan.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Landasan Teori.....	4
2.2 Teorema Shannon-Hartley	11
2.3 Penelitian Terkait	12
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Jenis Penelitian	15
3.2 Tahapan Penelitian.....	15
3.3 Perancangan Perangkat.....	15
3.3.1 Perancangan Alat Ukur	15
3.3.2 Perancangan Magnetron.....	17
3.3.3 Perancangan RF <i>Rectifier</i>	18
3.3.4 Perancangan Antena.....	20
3.4 Waktu dan Tempat Penelitian	29

3.4.1 Alat dan Bahan	29
3.5 Tahapan Pengambilan Data.....	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Hasil Pengukuran SWIPT	33
4.1.1 Hasil Pengukuran Level Tegangan SWIPT Dengan Beban	33
4.1.2 Perhitungan Daya.....	39
4.1.3 Perhitungan Data.....	43
4.2 Analisa Hasil Perhitungan SWIPT Pada Antena Penerima	51
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	53
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	54
LAMPIRAN.....	56

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1 Penelitian Terkait	12
Tabel 2 Daftar Komponen Alat Ukur.....	17
Tabel 3 Daftar Komponen Magnetron	18
Tabel 4 Daftar Komponen RF Rectifier	20
Tabel 5 Spesifikasi Antena Pemancar	21
Tabel 6 Spesifikasi Antena Penerima I	22
Tabel 7 Spesifikasi Antena Penerima II	24
Tabel 8 Spesifikasi Antena Penerima III.....	26
Tabel 9 Spesifikasi Antena Penerima IV	27
Tabel 10 Spesifikasi Antena Penerima V	28
Tabel 11 Peralatan Penelitian.....	29
Tabel 12 Bahan Penelitian.....	29
Tabel 13 Hasil Pengukuran Antena Penerima I	33
Tabel 14 Hasil Pengukuran Antena Penerima II	34
Tabel 15 Hasil Pengukuran Antena Penerima III.....	36
Tabel 16 Hasil Pengukuran Antena Penerima IV	37
Tabel 17 Hasil Pengukuran Dengan Beban Antena Penerima V	38
Tabel 18 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Antena Penerima I	44
Tabel 19 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Antena Penerima II.....	45
Tabel 20 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Antena Penerima III	47
Tabel 21 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Antena Penerima IV	48
Tabel 22 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal Antena Penerima V	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Penerima Terpisah Untuk SWIPT	5
Gambar 2 Penerima Time Switching Untuk SWIPT	5
Gambar 3 Penerima Power Splitting Untuk SWIPT	6
Gambar 4 Penerima Antenna Switching Untuk SWIPT	6
Gambar 5 Tahapan Penelitian	15
Gambar 6 Skematik Alat Ukur	16
Gambar 7 Tampilan 3D Alat Ukur	16
Gambar 8 Skematik Magnetron	18
Gambar 9 Skematik RF Rectifier	19
Gambar 10 Tampilan 3D RF Rectifier	19
Gambar 11 Pola Radiasi Antena Pemancar	20
Gambar 12 Tampak Depan Model Antena Penerima I	21
Gambar 13 Tampak Belakang Model Antena Penerima I	22
Gambar 14 Pola Radiasi Antena Penerima I	22
Gambar 15 Tampak Depan Model Antena Penerima II	23
Gambar 16 Tampak Belakang Model Antena Penerima II	23
Gambar 17 Pola Radiasi Antena Penerima II	24
Gambar 18 Tampak Depan Model Antena Penerima III	25
Gambar 19 Tampak Belakang Model Antena Penerima III	25
Gambar 20 Pola Radiasi Antena Penerima III	26
Gambar 21 Model Antena Penerima IV	26
Gambar 22 Pola Radiasi Antena Penerima IV	27
Gambar 23 Model Antena Penerima V	28
Gambar 24 Pola Radiasi Antena Penerima V	28
Gambar 25 Ilustrasi Pengambilan Data	31
Gambar 26 GUI APP Untuk Pengambilan Data	32
Gambar 27 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Antena Penerima I	34
Gambar 28 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Antena Penerima II	35
Gambar 29 Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Antena Penerima III	37

Gambar 30	Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Antena Penerima IV ...	38
Gambar 31	Hasil Pengukuran Tegangan Dengan Beban Antena Penerima V	39
Gambar 32	Hasil Perhitungan Nilai Daya Antena Penerima I	40
Gambar 33	Hasil Perhitungan Nilai Daya Antena Penerima II	41
Gambar 34	Hasil Perhitungan Nilai Daya Antena Penerima III	41
Gambar 35	Hasil Perhitungan Nilai Daya Antena Penerima IV	42
Gambar 36	Hasil Perhitungan Nilai Daya Antena Penerima V	43
Gambar 37	Grafik Kapasitas Kanal Antena Penerima	50
Gambar 38	Grafik Rata-rata Kapasitas Kanal Antena Penerima	51

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1 Hasil Fabrikasi Perangkat	56
Lampiran 2 <i>Source Code</i> GUI APP	57

DAFTAR ISTILAH, SINGKATAN DAN SIMBOL

Istilah/Singkatan/Symbol	Arti/Penjelasan
RF	= Radio Frequency
SWIPT	= Simultaneous Wireless Information and Power Transfer
GHz	= Giga Hertz
IEEE	= Institute of Electrical and Electronics Engineers
DC	= Direct Current
AC	= Alternate Current
IoT	= Internet of Things
PCB	= Printed Circuit Board
GUI	= Graphical User Interface
MOS	= Metal Oxide Semiconductor
CW	= Continuous Wave
VSWR	= Voltage Standing Wave Ratio
SNR	= Signal to Noise ratio
W	= Watt
dB	= Desibel
dB _i	= Desibel Isotropik
nm	= Nanometer
B	= Bandwidth
V	= Volt
kV	= Kilovolt
cm	= Centimeter
mm	= Millimeter
C	= Channel
P _r	= Power Received
MHz	= Mega Hertz
bps	= Bit per second
Mbps	= Megabit per second

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejalan dengan pertumbuhan teknologi yang terus berkembang saat ini, perkembangan jaringan juga mengalami pergeseran dari jaringan berkabel ke jaringan nirkabel (*wireless*). Perkembangan ini merupakan tuntutan dari meningkatnya kebutuhan masyarakat akan akses informasi dan data secara cepat kapan saja dan dimana saja untuk memenuhi berbagai keperluan dalam bidang transportasi, kesehatan, maupun system pemantauan dan pengontrolan. Segala hal yang menyangkut nirkabel pasti bersifat *mobile*, sehingga terkadang timbul permasalahan dalam terbatasnya penyimpanan energi serta keandalan dari pengiriman informasi. Berdasarkan hal tersebut, maka dilakukan penelitian yang memungkinkan suatu teknologi komunikasi nirkabel selain dapat menerima informasi juga dapat menerima daya secara nirkabel. Dengan kemajuan teknologi yang pesat, *transceiver* dan sensor nirkabel menjadi lebih hemat daya serta ukuran yang lebih minimalis. Dilihat dari segi futuristik, sinyal RF bukan hanya menjadi sumber daya untuk perangkat fungsional dalam jaringan, tetapi aspek daya dan transmisi informasinya juga akan digabungkan. *Simultaneous Wireless Information and Power Transfer* (SWIPT) dapat menjadi jalan keluar untuk melayani perangkat komunikasi yang memiliki kendala dalam penyimpanan energi yang terbatas dan pengiriman informasi yang kurang andal. Adapun pengembangan dari SWIPT ini nantinya dapat diimplementasikan dengan metode lain seperti pengisian daya optik *Light Fidelity* (Li-Fi), dan di bidang lain, seperti di bidang kesehatan dalam hal monitoring kesehatan, dan di bidang transportasi yaitu mobil tanpa awak.

SWIPT merupakan teknik yang digunakan untuk mentransfer informasi dan daya di udara menggunakan sinyal *Radio Frequency* (Kwan, et al. 2019). Akan tetapi, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pengisian daya melalui SWIPT, seperti jarak transmisi antara pemancar dan penerima, efisiensi antena, frekuensi operasi serta kebutuhan daya perangkat (Lu, Wang and Niyato 2015). SWIPT telah menarik perhatian yang signifikan dalam jaringan komunikasi nirkabel. Di era komunikasi 5G, teknologi SWIPT dapat menjadi sangat penting

untuk transmisi energi dan informasi dalam berbagai jenis jaringan komunikasi modern. SWIPT dapat menghasilkan keuntungan penting dalam hal konsumsi daya, efisiensi spektrum, manajemen interferensi, dan penundaan transmisi dengan memungkinkan transmisi daya dan informasi secara simultan (Perera, Jayakody and Sharma 2017)

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

- 1) Bagaimana mendesain antenna yang dapat diimplementasikan pada teknologi SWIPT
- 2) Bagaimana pengaruh jarak terhadap nilai daya dan data pada antenna penerima
- 3) Bagaimana pengaruh spesifikasi antenna dan jarak terhadap daya dan data yang diterima

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian adalah:

- 1) Mengetahui spesifikasi antenna yang dapat diimplementasikan pada teknologi SWIPT
- 2) Mengetahui pengaruh jarak terhadap nilai daya dan data pada antenna penerima
- 3) Mengetahui pengaruh spesifikasi antenna dan jarak terhadap daya dan data yang diterima

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

- 1) Mengetahui unjuk kerja dari sistem SWIPT yang telah dibuat
- 2) Bagi industri, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teknologi menuju revolusi industri 4.0
- 3) Bagi peneliti, pengaplikasian dari sejumlah konsep dan pengetahuan akan berguna untuk menambah pengetahuan dan kemampuan mengenai proses

transfer daya dan data secara simultan

- 4) Bagi Institusi Pendidikan Magister Teknik Elektro bidan Telekomunikasi, dapat digunakan sebagai referensi ilmiah dalam penelitian untuk pengembangan SWIPT

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian ini, maka perlu diberi batasan-batasan sebagai berikut:

- 1) Pemancar gelombang radio untuk transfer daya dan data adalah menggunakan frekuensi 2,4 GHz
- 2) Gelombang radio yang dipancarkan menggunakan magnetron
- 3) Antena pemancar yang digunakan berbahan dasar *polyactic acid* yang kemudian dilakukan proses *copper plating* dengan model antenna horn
- 4) Antena penerima yang digunakan terdiri dari 5 antena yang berbeda
- 5) Parameter unjuk kerja yang akan dinilai berupa jarak dengan perpindahan per 10 cm hingga jarak maksimal 250 cm
- 6) Uji coba dilakukan dengan skenario *indoor*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 *Simultaneous Wireless Information and Power Transfer*

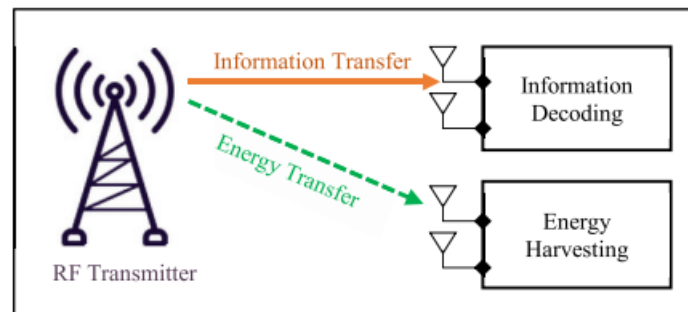
Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT) merupakan teknik dalam transmisi yang bertujuan mentransmisikan energi dan informasi melalui bentuk gelombang yang sama, dan mengakibatkan peningkatan drastis dalam efisiensi spektrum jaringan. Hal ini dapat terjadi mengingat fakta bahwa sinyal informasi juga membawa energi yang dapat dipanen oleh penerima energi. Pada transmisi ini, daya dan data yang ditransfer akhir harus dimaksimalkan agar daya dan data yang diterima memenuhi kebutuhan daya pada bagian receiver. Ada beberapa desain yang berbeda untuk SWIPT, diantaranya adalah: pengalihan waktu, pemisahan daya, penerima yang terintegrasi, serta pengalihan antena (Piovesan, et al. 2018).

Tingkat sensitivitas dari penerima menjadi sebuah masalah sekaligus aspek yang mendasar yang perlu dipertimbangkan dalam analisis skema SWIPT. SWIPT dapat membantu meningkatkan permintaan jaringan untuk generasi berikutnya dengan menyediakan kecepatan data yang lebih tinggi, jangkauan yang lebih pendek, serta konektivitas yang luas dari sejumlah perangkat dengan efisiensi energi (Piovesan, et al. 2018).

Teknologi SWIPT pada dasarnya berupaya menghemat spektrum dengan mentransmisikan daya dan data secara bersamaan. Namun skema SWIPT yang efisien memerlukan *trade-off* dalam desain pemancar dan penerima untuk menyeimbangkan *Information Decoding* dan *Energy Harvesting* (Bi, Ho and Zhang 2015). Spektrum yang efisien untuk pemanenan energi dapat memasok energi sekaligus bertukar informasi dengan berbagai perangkat berdaya rendah. Terdapat 2 (dua) teknik utama yang digunakan dalam implementasi SWIPT secara praktis (Ashraf, et al. 2021):

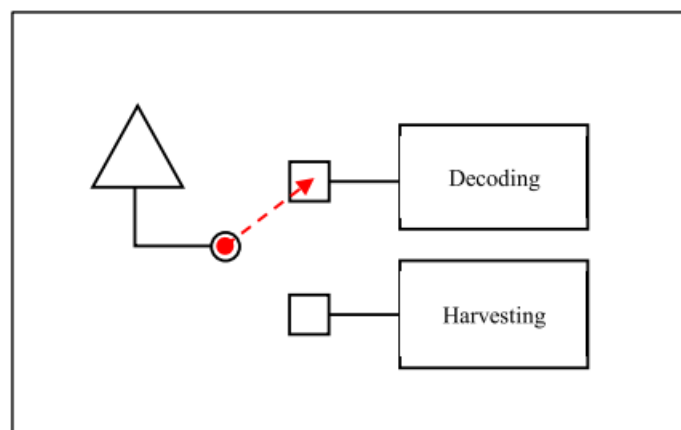
- 1) Penerima terpisah, yaitu terdapat antena penerima terpisah untuk *Energy Harvesting* dan *Information Decoding*. Dengan bantuan arsitektur ini,

Energy harvesting dan *Information Decoding* dapat dilakukan bersamaan dan mandiri. Untuk mencapai *trade-off* antara tingkat transmisi dan pemanenan energi, *Channel State Information* dan umpan balik dari penerima dapat digunakan untuk hasil yang optimal, seperti ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1 Penerima Terpisah Untuk SWIPT

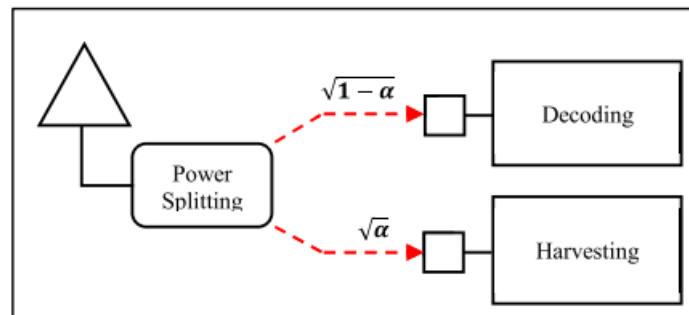
- 2) Penerima terintegrasi, yaitu tidak ada antenna terpisah untuk *Energy Harvesting* dan *Information Decoding*. Arsitektur ini terdiri dari 3 (tiga) jenis, yaitu: *Time Switching*, *Power Splitting*, dan *Antenna Switching*. Pada *time switching* digunakan sebuah saklar pada penerima untuk beralih antara *Energy Harvesting* dan *Information Decoding* secara berkala. Penerima *time switching* ini membutuhkan informasi yang tepat dan penjadwalan energi serta sinkronisasi waktu dengan keunggulan dari perangkat keras. Penerima *time switching* dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Penerima *Time Switching* Untuk SWIPT

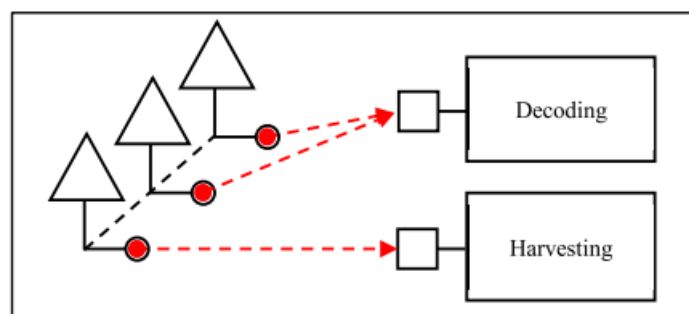
Pada *Power Splitting*, sinyal yang diterima akan dipecah menggunakan

power splitter dengan satu bagian sinyal untuk *energy harvesting* dan bagian lainnya untuk *information decoding*. Keduanya dilakukan secara bersamaan dengan optimasi rasio *power splitting*. Namun perangkat keras menjadi lebih rumit karena pembagi daya sebagai bagian dari rangkaian penerima. Penerima *power splitting* dapat dilihat pada **Gambar 3**.



Gambar 3 Penerima *Power Splitting* Untuk SWIPT

Pada *Antenna Switching*, digunakan antenna yang berbeda yaitu satu kelompok melakukan *energy harvesting* sedangkan yang lainnya mengidentifikasi information decoding. Penerima *antenna switching* dapat dilihat pada **Gambar 4**.



Gambar 4 Penerima *Antenna Switching* Untuk SWIPT

2.1.2 Antena

Webster's Dictionary mendefinisikan antena sebagai perangkat logam atau kawat untuk menerima gelombang radio. Adapun definisi standar IEEE untuk antena adalah sebagai sarana untuk memancarkan atau menerima gelombang radio. Antena mempunyai struktur transisi antara ruang bebas dan perangkat pemandu. Perangkat pemandu atau saluran transmisi dapat berbentuk saluran koaksial atau pipa pemancar ke antena, atau dari antena ke penerima.

Antena dalam sistem nirkabel canggih diperlukan untuk mengoptimalkan energi radiasi di beberapa arah yang menekannya di arah lain, Dapat dikatakan bahwa antena juga berfungsi sebagai pengarah selain probing. Kinerja sistem secara keseluruhan dapat meningkat dengan desain antena yang baik (Balanis 2016). Antena memiliki beberapa bentuk dari berbagai jenis antena, diantaranya:

- 1) *Antena Wire*, yaitu antena yang terbuat dari kabel penghantar dan umumnya tidak diperlukan biaya yang tinggi dalam pembuatannya. Contoh antena jenis ini termasuk dipol, monopole, loop, heliks, yagi uda, dan antena log periodik (Huang and Boyle 2008).
- 2) *Antena Aperture*, yaitu antena yang digunakan untuk aplikasi pesawat terbang dan pesawat ruang angkasa dikarenakan antena ini dapat dipasang dengan sangat nyaman pada kulit pesawat. Antena ini juga dapat ditutup dengan bahan dielektrik yang berfungsi melindungi dari kondisi lingkungan yang berbahaya (Balanis 2016).
- 3) *Antena Mikrostrip*, yaitu antena yang populer pada tahun 1970an karena digunakan untuk pemerintah dan komersial. Antena ini terdiri dari tambahan logam pada substrak pada bidang tanah (Balanis 2016). Ukuran antena mikrostrip yang kecil membatasi kontrol polanya, sehingga harus digunakan susunan *patch*. Bentuk paling umum dari antena ini adalah persegi panjang dan lingkaran serta memancarkan pola yang serupa (Milligan 2005).
- 4) *Antena Array*, yaitu antena yang mempunyai lebih dari satu elemen dan sangat strategis ditempatkan di ruang angkasa. Hal ini bertujuan agar antena yang terbentuk sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, dan dicapai dengan memvariasikan amplitudo dan fase, serta posisi relatif dari setiap elemen pemancar. Medan total yang terpancar ditentukan oleh penjumlahan vektor dari medan yang diradiasikan oleh masing masing elemen (Huang and Boyle 2008)
- 5) *Antena Reflector*, yaitu antena yang berdiameter lebih dari 305 meter. Hal ini dikarenakan perlunya dimensi yang lebih besar untuk mencapai

penguatan tinggi untuk mengirim atau menerima sinyal setelah jutaan mil perjalanan (Balanis 2016).

2.1.3 RF Rectifier

Beberapa aplikasi *energy harvesting* menggunakan manfaat dari karakteristik penyearah RF-ke-DC. Contohnya n-IMD, membutuhkan integrasi *on-chip* yang lebih tinggi untuk menjaga ukuran perangkat tetap kecil dengan biaya yang lebih rendah, penurunan invasif, dan umur yang lebih lama. Selama ukuran perangkat *energy harvesting* yang digabungkan dengan impedansi yang sesuai dapat dikurangi, frekuensi paling efektif dapat ditingkatkan hingga puluhan GHz (Xu, et al. 2022).

Ketika antenna dan penyearah *matching*, sebagian daya yang disalurkan oleh antenna ke penyearah akan dipantulkan. Akibatnya, daya efektif yang disalurkan ke penyearah (pin) hanya sebagian kecil dari daya nominal yang disalurkan oleh antenna (Garcia 2022).

Proses nonlinier dengan karakteristik yang membatasi efisiensinya terutama bila beroperasi pada frekuensi tinggi disebut juga proses rektifikasi (Garcia 2022). Dalam pengumpulan energi RF, digunakan sirkuit penyearah untuk memperbaiki arus AC yang diinduksi di antenna oleh gelombang mikro. Dioda, dalam hal ini sebagai komponen nonlinier dari rangkaian penyearah akan menghasilkan harmonisasi frekuensi dasar. Oleh karena itu, komponen lain perlu ditambahkan seperti *filter lowpass impedance matching* di antara dioda dan antenna untuk meningkatkan kinerja sistem dan mencegah terjadinya interferensi harmonis (Said, et al. 2014).

Matching Impedance digunakan untuk memastikan bahwa gelombang input tidak dipantulkan pada frekuensi operasi. Namun, sistem RF tidak bekerja pada semua frekuensi, dan komponen harmonik yang berbeda dari gelombang yang cocok akan dipantulkan, terutama ketika $S_{11} \leq -3$ dB. Batas untuk penyearah setengah gelombang dan penyearah gelombang penuh yaitu masing-masing 67% dan 64% dalam sistem yang cocok yang bekerja pada frekuensi dasar (Garcia 2022).

Untuk mendapatkan kinerja jaringan yang sesuai dan ideal, teknik *matching impedance* yang paling umum digunakan adalah *short circuit* atau *single open circuit* pada panjang saluran transmisi. Kedua parameter saluran transmisi, lebar dan panjang harus dihitung dengan benar (Said, et al. 2014).

Topologi *full bridge rectifier* yang terdiri dari empat dioda dan kapasitor sangat populer. Perangkat n-MOS dan atau p-MOS hanya dapat digunakan untuk membentuk struktur penyearah MOS. Transistor VTH MOS akan mengurangi efisiensi penyearah. Dikarenakan kondisi pengoperasian yang serupa terjadi seketika satu set dioda berkonduksi dalam fasa positif dan set lainnya mengalami kebocoran, rangkaian ini akan memiliki perilaku yang mirip dengan penyearah setengah gelombang pada tegangan keluaran tanpa beban (Xu, et al. 2022).

Memaksimalkan efisiensi adalah tujuan utama desain dalam kondisi keluaran berbeban. Dalam penyearah gelombang penuh, arus keluaran meningkat tetapi juga rugi-rugi *switching* dan konduksi yang terkait. Oleh karena itu, optimalisasi efisiensi membutuhkan ukuran perangkat yang tepat untuk kondisi pengoperasian tertentu. Selain mengurangi ukuran perangkat, ide umum lain untuk meningkatkan efisiensi adalah dengan meningkatkan kualitas dioda melalui pendekatan desain sirkuit (Xu, et al. 2022).

Tidak mungkin untuk mendesain penyearah dengan efisiensi maksimum tanpa melibatkan *matching impedance*. Hal ini dikarenakan ketergantungan resistansi masukan penyearah terhadap parameter desain, tegangan masukan penyearah tidak hanya bergantung pada desain *matching impedance* untuk transfer daya maksimum bergantung pada parameter penyearah yang merupakan fungsi dari tingkat daya masukan itu sendiri (Karami and Moez 2019).

Tingkat tegangan masukan penyearah dalam aplikasi *harvesting energy* di dunia nyata bukanlah masukan desain yang diketahui karena bergantung pada daya masukan yang tersedia, desain jaringan yang tepat, dan parameter penyearah. Daya input yang tersedia dari antena dapat dihitung dengan persamaan Friis, yang mempertimbangkan tingkat daya yang ditransmisikan, jarak sumber daya, dan faktor lainnya (Karami and Moez 2019).

2.1.4 Magnetron

Sejak ditemukan pada Perang Dunia II, magnetron yang merupakan gelombang mikro dengan daya dan efisiensi yang tinggi, dan berbiaya rendah telah digunakan dalam berbagai aplikasi industri, ilmiah, dan medis. Meskipun magnetron dianggap sebagai osilator, tabung vakum magnetron yang dikontrol jaringan dapat berfungsi sebagai osilator sekaligus penguat. Oleh karena itu, maka fase awal setiap pulsa akan acak dari pulsa ke pulsa (Skolnik 2008).

Magnetron memiliki 2 mode operasi, yaitu mode *pulsed* dan *atau continous wave* (CW). Magnetron CW tersedia secara komersial dalam rentang frekuensi dari 890 MHz hingga 5,8 GHz dengan daya CW yang sesuai berkisar antara 100 dan 1 kW dan memiliki efisiensi berkisar 90% hingga 60%. Kebisingan akan timbul diakibatkan oleh gelombang mikro keluar magnetron di bawah kendali fase atau yang lebih dikenal sebagai penguncian injeksi (Skolnik 2008).

Magnetron terdiri dari katoda silinder dan anoda koaksial yang masing-masing memiliki beberapa rongga resonansi individu, serta sistem kopling keluaran yang digunakan untuk mengekstraksi daya keluaran magnet. Anoda tipe lubang dan slot, baling-baling, dan matahari terbit adalah struktur gelombang lambat yang digunakan dalam magnetron untuk mengurangi kecepatan fase gelombang RF. Pilihan struktur anoda tergantung frekuensi, efisiensi, daya, dan stabilitas frekuensi magnetron. Anoda biasanya memiliki rongga, atau resonator yang genap. Dalam magnetron, berbagai jenis katoda digunakan yaitu katoda termionik (dipanaskan langsung), dan katoda dingin (dipanaskan secara tidak langsung), dispenser, skandat, dan emitor medan. Jenis katoda yang berbeda dipilih berdasarkan arus anoda yang diperlukan, masa pakai magnetron, durasi pulsa, dan amplitudo medan listrik yang berada di dekat permukaan katoda (Vyas, et al. 2015).

2.1.5 Mikrokontroller ESP32

Mikrokontroller ESP32 merupakan mikrokontroler yang dipadu dengan wi-fi 802.11b/g/n dan *Bluetooth* versi 4.2 yang terintegrasi sehingga cocok untuk diaplikasikan di berbagai proyek IoT. (Nizam, Yuana and Zunita 2022). Modul ini dirancang untuk mencapai kinerja daya dan frekuensi radio terbaik, menunjukkan

kekokohan serbaguna, keandalan dalam berbagai aplikasi, dan skenario daya. (ESP 32 Series Datasheet 2021). Terdapat 2 (dua) fitur dari ESP 32, yaitu:

- 1) *Ultra-low-power Solution*. ESP32 dirancang untuk aplikasi seluler, elektronik, dan IoT yang menampilkan semua karakteristik canggih dari chip berdaya rendah. ESP 32 dibangun secara berkala hanya ketika kondisi tertentu terdeteksi. Output dari *power amplifier* juga dapat disesuaikan, sehingga berkontribusi pada *trade-off* yang optimal antara jangkauan komunikasi, kecepatan data, dan konsumsi daya (ESP 32 Series Datasheet 2021).
- 2) *Complete Integration Solution*. ESP32 mengintegrasikan saklar antena, power amplifier, filter, dan modul manajemen daya. ESP32 menggunakan CMOS untuk radio dan pita dasar terintegrasi penuh chip tunggal, sementara juga mengintegrasikan sirkuit kalibrasi canggih serta menyesuaikan dengan perubahan kondisi eksternal (ESP 32 Series Datasheet 2021).

Pada ESP32 daya minimum yang dapat ditransmisikan pada metode SWIPT bergantung pada desain rangkaian penerima (rectifier) dan lingkungan transmisi. Implementasi praktis SWIPT untuk ESP32 mungkin memerlukan daya transmisi antara 0,1 hingga 1 watt untuk memastikan pengisian daya yang memadai sambil menjaga performa komunikasi data. Namun, daya yang lebih rendah seperti di bawah 100 mW mungkin masih dapat digunakan, tetapi dengan jarak yang sangat terbatas (Huang, Xing and Wang 2017).

2.2 Teorema Shannon-Hartley

Teorema Shannon, juga dikenal sebagai teorema Shannon-Hartley dikembangkan oleh Claude Shannon pada tahun 1948, merupakan prinsip dasar dalam teori informasi yang menentukan kecepatan laju data maksimum atau kapasitas kanal yang dapat ditransmisikan melalui saluran komunikasi dengan bandwidth tertentu dengan adanya *noise*. Teorema ini memberikan dasar matematis untuk sistem komunikasi yang optimal. Konsep utama dari teorema Shannon terdiri dari kapasitas kanal yang merupakan laju data maksimum yang dapat ditransmisikan, *bandwidth*, serta rasio sinyal terhadap kebisingan (Shannon 1948).

Teorema Shannon menunjukkan bahwa dengan meningkatkan bandwidth atau meningkatkan SNR, kapasitas kanal dapat ditingkatkan. Prinsip ini mendasari desain sis. Implementasi teorema ini dapat ditemukan pada komunikasi digital, seperti dalam menentukan laju data maksimum untuk modem, wi-fi, dan jaringan seluler, mengoptimalkan tem komunikasi modern, mempengaruhi skema modulasi, serta alokasi bandwidth transmisi sinyal jarak jauh pada penyiaran satelit dan radio, serta mengkodekan informasi secara efisien agar sesuai dengan kapasitas kanal pada kompresi data (Shannon, Claude 1998).

2.3 Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini, penulis menggali beberapa informasi dari penelitian-penelitian sebelumnya sebagai bahan referensi dan perbandingan dengan melihat kelebihan dan kekurangan yang ada, Selain itu, peneliti juga menggali informasi dari beberapa buku dan tesis lainnya untuk mendapatkan lebih banyak informasi yang ada sebelumnya tentang teori yang berkaitan dengan SWIPT dan komponen lainnya yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh landasan teori ilmiah.

Tabel 1 Penelitian Terkait

Referensi	Judul	Metode	Hasil Penelitian
(Perera, Jayakody, & Sharma, 2017)	<i>Simultaneous Wireless Information and Power Transfer (SWIPT): Recent Advances and Future Challenges</i>	- Meninjau artikel terkait dengan SWIPT dan WPT yang menunjang pembaruan dari survey - Menunjang pembaruan dari hasil survey	- Survey inklusif RF <i>Energy Harvesting</i> WPT dan SWIPT - Deskripsi komprehensif SWIPT dengan sistem <i>multi-carrier</i> dan aspek keamanannya
(Pang, 2018)	<i>Simultaneous Wireless Information and Power Transfer for IoT Devices</i>	- Merancang algoritma alokasi sumber daya agar terjaminnya kesamarataan antara <i>Energy Harvester</i> dan keamanan untuk <i>Information Receiver</i> serta membandingkan hasil yang signifikan	- Merumuskan desain <i>beamforming</i> untuk sistem SWIPT - Menampilkan solusi optimal dari algoritma <i>Energy Harvesting</i> minimum maksimum diperbesar
(Huang, Liu, & Liu,	<i>Energy-Efficient SWIPT in IoT Distributed Antenna</i>	- Menyajikan efisiensi energi dalam sistem antena terdistribusi	- Menunjukkan skema yang diusungkan secara substansial unggul dari

Referensi	Judul	Metode	Hasil Penelitian
2018)	<i>Systems</i>		skema <i>benchmark</i> lainnya dalam kasus perangkat IoT tunggal dan beberapa perangkat IoT lainnya
(Feng, et al, 2020)	<i>UAV-Enabled SWIPT in IoT Networks for Emergency Communications</i>	- Membuat kerangka komunikasi darurat SWIPT berkemampuan UAV untuk jaringan IoT	- Meningkatkan sistem efisiensi energi di skema perencanaan jalur dinamis dengan mekanisme prediksi cerdas
(Ashraf, Sheikh, Khan, Shaye, & Jalal, 2021)	<i>Simultaneous Wireless Information and Power Transfer with Cooperative Relaying for Next-generation Wireless Network: A Review</i>	- Membuat analisis teoritis terhadap berbagai konfigurasi SWIPT <i>Cooperative Relaying</i> termasuk sistem multi <i>relay</i> , sistem multi antena, serta tantangannya - Membahas aplikasi potensial dari SWIPT <i>Cooperative Relaying</i> dalam teknologi dan frekuensi baru	- SWIPT <i>Cooperative Relaying</i> dapat meningkatkan efisiensi spektrum untuk perangkat IoT dalam sistem 5G - Teridentifikasinya tantangan utama dalam penerapan penelitian ini, yaitu keterbatasan perangkat keras, informasi saluran yang tidak sempurna, serta kompleksitas sistem dalam menghadapi perangkat dengan keterbatasan energi
(Liu, Zhang, & Chua, 2013)	<i>Wireless Information and Power Transfer: A Dynamic Power Splitting Approach</i>	- Menganalisis pengembangan dari pembagi daya dinamis pada sistem SWIPT - Memperhitungkan batasan-batasan praktis seperti efisiensi energi pada perangkat penerima	- Skema pembagian daya dinamis yang diusulkan secara signifikan meningkatkan kinerja sistem SWIPT dibanding skema pembagian daya tetap - Sistem dapat mencapai <i>trade-off</i> yang optimal antara kapasitas informasi dan efisiensi pemanen energi dengan menyesuaikan proporsi sinyal yang digunakan
(Bi, Ho, & Zhang, 2015)	<i>Wireless Powered Communication: Opportunities and Challenges</i>	- Menganalisis pendekatan <i>power-splitting</i> untuk mengelola keseimbangan antara <i>Energy Harvesting</i> dan <i>Information Decoding</i>	- Hasil simulasi menunjukkan keseimbangan antara <i>Energy Harvesting</i> dan <i>Information Decoding</i> - Rasio <i>power-splitting</i> optimal bervariasi tergantung pada kondisi saluran efisiensi dan <i>Energy Harvesting</i>

Referensi	Judul	Metode	Hasil Penelitian
(Rui, Deng, Cheng, Li, & Zhang, 2013)	<i>MIMO Broadcasting for Simultaneous Wireless Information and Power Transfer</i>	- Mengembangkan pemahaman tentang <i>trade-off</i> antara transfer informasi dan energi di sistem MIMO nirkabel dan memberikan dasar bagi desain SWIPT lainnya	- Strategi transmisi optimal menghasilkan berbagai <i>trade-off</i> antara laju informasi dan transfer energi.