

T E S I S

**JARINGAN *SURVEILLANCE* KAMPUS CERDAS DENGAN TEKNIK
TRACKING SENSOR NODE SECARA SEKUENSIAL**

Disusun dan diajukan oleh

PRISKA WINA

D032191013



**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**JARINGAN SURVEILLANCE KAMPUS CERDAS DENGAN TEKNIK
TRACKING SENSOR NODE SECARA SEKUENSIAL**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar Magister

**Program studi
Teknik Elektro**

Disusun dan diajukan oleh :

PRISKA WINA

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

JARINGAN SURVEILLANCE KAMPUS CERDAS DENGAN TEKNIK TRACKING SENSOR NODE SECARA SEKUENSIAL

Disusun dan diajukan oleh


PRISKA WINA
D032191013

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi
Program Magister Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 5 Februari 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Elyas Palantei, S.T., M.Eng
NIP. 19690201 199412 1 001


Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T
NIP. 19750203 200012 2 002

Ketua Program Studi S2
Teknik Elektro,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Prof. Dr. Eng. Syafaruddin, S.T., M.Eng
NIP. 19740530 199903 1 003


Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.
NIP. 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Priska Wina
NIM : D032191013
Program Studi : Teknik Elektro
Jenjang : S2

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul :

JARINGAN *SURVEILLANCE* KAMPUS CERDAS DENGAN TEKNIK *TRACKING SENSOR NODE* SECARA SEKUENSIAL

Adalah karya tulisan saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain dan bahwa tesis yang saya tulis ini benar – benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2021

Yang menyatakan



Priska Wina

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur senantiasa penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Kuasa atas berkat, rahmat, hikmat dan pertolongan-Nya yang telah diberikan sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tesis yang berjudul **“Jaringan Surveillance Kampus Cerdas Dengan Teknik Tracking Sensor Secara Sekuensial”**.

Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan untuk memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Pascasarjana Departemen Teknik Elektro Universitas Hasanuddin Makassar. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Kedua orang tua yang selalu mendukung dan mendoakan hingga penulis mampu menyelesaikan tesis ini.
2. Bapak Dr. Elyas Palantei, S.T., M.Eng dan Ibu Dr. Eng. Intan Sari Areni, S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya kepada penulis untuk membimbing, memberikan masukan, motivasi dan berkonsultasi tentang materi dalam tesis ini.
3. Bapak Dr.Eng. Wardi, S.T., M.Eng, Ibu Dr.Eng. Ir. Dewiani, M.T. dan Bapak Prof. Dr. Syafruddin Syarif, M.T. yang telah memberikan masukan dan saran selama proses penelitian berlangsung.
4. Rekan – rekan S2 Teknik Elektro angkatan 2018 dan 2019.
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis masih jauh dari sempurna, dan di dalam penyelesaiannya masih menemui kesulitan dan hambatan, sehingga diperlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat bermanfaat.

Akhir kata, penulis tetap mengharapkan saran dan kritik dengan harapan semoga tulisan ini bisa memberikan manfaat kepada seluruh pihak.

Makassar, Maret 2021

Penulis

ABSTRAK

Priska Wina. Jaringan *Surveillance* Kampus Cerdas Dengan Teknik *Tracking Sensor Node* Secara sekuensial (dibimbing oleh Elyas Palantei dan Intan Sari Areni)

Konektivitas jaringan sensor nirkabel adalah merupakan faktor penting dalam penyebaran IoT, terutama dalam pengembangan kampus cerdas. Untuk itu sistem komunikasi IoT ini perlu didukung oleh sistem antena cerdas sebagai infrastruktur jaringannya. Antena cerdas *switched parasitic array* (SPA) 915 MHz telah dioptimasi dan difabrikasi untuk mendukung infrastruktur jaringan *surveillance* di lingkungan Kampus dalam mendeteksi bencana banjir dan kebakaran. Antena ini diintegrasikan pada stasiun *server/gateway* untuk melacak sensor *node* yang aktif dan menjaga koneksi dan transfer data antara *gateway* dan sensor *node*. Antena *switched parasitic array* yang dirancang terdiri dari 6 elemen parasitik dan 1 elemen aktif yang beroperasi pada frekuensi LoRa 915 MHz, dapat menyediakan 6 arah *beam* yang pengaturannya dilakukan secara elektronik oleh dioda PIN, sehingga meningkatkan *directivity* antena, dan dapat dengan mudah untuk diintegrasikan dengan *gateway* jaringan IoT mengingat titik – titik penempatan sensor *node* yang tersebar tanpa perlu mengatur ulang instalasi antena. Pengujian performa transmisi komunikasi jaringan *surveillance* ini menunjukkan area kampus dapat ter-*cover* oleh jaringan dengan jarak maksimal yang dapat dicapai adalah 1,4 Km pada sensitivitas -121 dBm dan *packet loss* yang terjadi mencapai 52,17%.

Kata kunci—*LoRa*, *switched parasitic array*, *beamforming*, jaringan IoT, monitoring lingkungan, RF *switching*, *packet loss*.

ABSTRACT

Priska Wina. Smart Campus Surveillance Network with Sequential Sensor Node Tracking Techniques (supervised by Elyas Palantei and Intan Sari Areni)

Wireless sensor network connectivity is an important factor in IoT deployments, especially in the development of smart campuses. For this reason, this IoT communication system needs to be supported by a smart antenna system as the network infrastructure. The 915 MHz switched parasitic array (SPA) smart antenna has been optimized and fabricated to support surveillance network infrastructure in the campus environment in detecting flood and fire disasters. This antenna is integrated at the server/gateway station will continuously detect the sensor nodes and maintain the connection and data transfer between the gateway and sensor nodes. A designed switched parasitic array antenna that consists of 6 parasitic elements and 1 active element operating at LoRa frequency of 915 MHz, can provide 6 beam directions which are arranged electronically by a PIN diode, thereby increasing the directivity of the antenna, and can easily be integrated with gateway IoT networks according to the points where sensor nodes are located without manually resetting the antenna installation. Testing the performance of the surveillance network communication transmission shows that the campus area can be covered by the network with the maximum distance that can be reached is 1.4 km at a sensitivity of -121 dBm and packet loss that occurs reaches 52.17%.

Keywords—*LoRa, switched parasitic array, beamforming, IoT network, environmental monitoring, RF switching, packet loss.*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. LATAR BELAKANG.....	1
B. RUMUSAN MASALAH.....	7
C. TUJUAN PENELITIAN	7
D. MANFAAT PENELITIAN.....	8
E. BATASAN MASALAH	8
F. SISTEMATIKA PENULISAN	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	11
A. LANDASAN TEORI	11
1. Monitoring Lingkungan.....	11
2. Jaringan Sensor Nirkabel	12
3. LoRa	19
4. Antena Cerdas	20
6. Parameter Antena.....	27
8. Dioda PIN.....	35
9. Arduino	37
10. CST <i>Microwave Studio</i>	40
B. PENELITIAN TERKAIT	40

C. STATE OF THE ART.....	43
D. KERANGKA PIKIR.....	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	47
A. JENIS PENELITIAN.....	47
B. WAKTU DAN LOKASI PENELITIAN	47
C. INSTRUMEN PENELITIAN	47
D. RANCANGAN PENELITIAN	48
E. DESAIN SISTEM JARINGAN <i>SURVEILLANCE</i> KAMPUS.....	50
F. PERANCANGAN DAN PENGUKURAN ANTENA <i>SWITCHED PARASITIC ARRAY</i>	53
G. PERANCANGAN PROTOTIPE SENSOR <i>NODE</i> DAN <i>GATEWAY</i>	64
H. PENGUJIAN DAN VALIDASI DATA PEMBACAAN SENSOR.....	68
I. PENGUJIAN KOMUNIKASI JARINGAN <i>SURVEILLANCE</i> LINGKUNGAN KAMPUS DAN PENGAMBILAN DATA DARI SENSOR <i>NODE</i>	71
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	74
A. ANALISA HASIL SIMULASI DAN PROTOTIPE ANTENA.....	74
B. HASIL PERANCANGAN PROTOTIPE SENSOR <i>NODE</i>	95
C. HASIL PENGUJIAN DAN VALIDASI DATA PEMBACAAN SENSOR	97
D. ANALISA HASIL PENGUJIAN KOMUNIKASI JARINGAN <i>SURVEILLANCE</i> LINGKUNGAN KAMPUS.....	100
BAB V PENUTUP.....	108
A. KESIMPULAN	108
B. SARAN	110
DAFTAR PUSTAKA.....	111

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Karakteristik sensor DHT11	16
Tabel 2.2 State of The Art.....	44
Tabel 3.1 Dimensi Antena <i>Switched Parasitic Array</i>	55
Tabel 3.2 Konfigurasi RF <i>Switching</i>	57
Tabel 3.3 Daftar <i>Port</i> dan Fungsinya	60
Tabel 4.1 Perbandingan nilai return loss (S_{11}) dan bandwidth hasil simulasi dan fabrikasi antena <i>switched parasitic array</i>	81
Tabel 4.2 Perbandingan nilai VSWR hasil simulasi dan fabrikasi antena <i>switched parasitic array</i>	85
Tabel 4.3 Hasil pengujian sensor suhu DHT11	98
Tabel 4.4 Hasil pengukuran jarak menggunakan sensor HC-SR04.....	99

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arsitektur jaringan sensor nirkabel	13
Gambar 2.2 Sensor api.....	14
Gambar 2.3 Sensor api 5 channel	14
Gambar 2.4 Sensor asap MQ-2	15
Gambar 2.5 Sensor suhu dan kelembaban DHT11	16
Gambar 2.6 Sensor Ultrasonic HC-SR04	18
Gambar 2.7 Prinsip kerja sensor HC-SR04	18
Gambar 2.8 Prinsip kerja sistem antena cerdas.....	21
Gambar 2.9 Pola radiasi switched beam system	23
Gambar 2.10 Pola radiasi adaptive array system	25
Gambar 2.11 Pola radiasi antena.....	28
Gambar 2.12 Daerah bidang antena.....	30
Gambar 2.13 Struktur dioda PIN	35
Gambar 2.14 Rangkaian ekuivalen dioda PIN	36
Gambar 2.15 Layout Arduino Uno R3.....	38
Gambar 2.16 Tampilan depan software CST Microwave Studio.....	40
Gambar 2.17 Kerangka pikir	46
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian	49
Gambar 3.2 konfigurasi jaringan monitoring kampus.....	50
Gambar 3.3 Diagram blok jaringan <i>surveillance</i> lingkungan kampus.....	51
Gambar 3.4 Desain antena <i>switched parasitic array</i> (a) dengan penutup pelindung, (b) tampak depan	55

Gambar 3.5 Tampak bawah antenna SPA dengan rangkaian RF <i>switching</i>	57
Gambar 3.6 Arah <i>beam</i> antenna terhadap perubahan konfigurasi RF <i>switching</i>	58
Gambar 3.7 Rangkaian RF <i>switching</i> antenna SPA	59
Gambar 3.8 Alat ukur <i>Cable and Antenna Analyzer</i>	60
Gambar 3.9 Calibration Kit Type N 85032F	61
Gambar 3.10 Pengukuran parameter antenna dengan alat ukur NA	62
Gambar 3.11 <i>Anechoic Chamber</i> Laboratorium Antena dan Propagasi	63
Gambar 3.12 Pemasangan antenna dalam <i>Anechoic Chamber</i> (a) <i>Co-polarization</i> , (b) <i>Cross-polarization</i>	64
Gambar 3.13 Diagram skematik sensor node deteksi kebakaran	66
Gambar 3.14 Diagram skematik sensor node monitoring udara	66
Gambar 3.15 Diagram skematik sensor node deteksi banjir	67
Gambar 3.16 Diagram blok <i>gateway</i>	68
Gambar 3.17 Pengukuran kemampuan deteksi api	70
Gambar 3.18 Pengujian sensor suhu dengan termometer	70
Gambar 3.19 Pengukuran pembacaan jarak sensor HC-SR04	70
Gambar 3.20 Skenario pengujian indoor 1 sensor node di lantai 3	71
Gambar 3.21 Skenario pengujian indoor 1 sensor node di lantai 1	72
Gambar 3.22 Skenario pengujian indoor 1 sensor node di lantai dasar	72
Gambar 3.23 Skenario pengujian 2	73

Gambar 4.1 Hasil fabrikasi antena SPA dengan penutup berbahan <i>polycarbonate</i>	75
Gambar 4.2 Tampak bawah hasil fabrikasi antena SPA (a) PCB <i>grounding</i> , (b) Rangkaian RF <i>switching</i>	75
Gambar 4.3 Grafik nilai <i>return loss</i> (S_{11}) antena SPA pada semua konfigurasi saklar	76
Gambar 4.4 Grafik hasil pengukuran koefisien refleksi S_{11} antena SPA..	77
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai <i>return loss</i> (S_{11}) hasil simulasi dan hasil fabrikasi antena SPA (a) S3-S4-S5 ON, (b) S4-S5-S6 ON, (c) S5-S6-S1 ON, (d) S6-S1-S2 ON, (e) S3-S2-S2 ON, (f) S4-S3-S2 ON.....	78
Gambar 4.6 Grafik nilai VSWR	81
Gambar 4.7 Grafik hasil pengukuran VSWR antena SPA	82
Gambar 4.8 Grafik perbandingan nilai VSWR hasil simulasi dan hasil fabrikasi antena SPA (a) S3-S4-S5 ON, (b) S4-S5-S6 ON, (c) S5-S6-S1 ON, (d) S6-S1-S2 ON, (e) S3-S2-S2 ON, (f) S4-S3-S2 ON	83
Gambar 4.9 Gambar pola radiasi bentuk 3D (a) S3-S4-S5 ON, (b) S4-S5-S6 ON, (c) S5-S6-S1 ON, (d) S6-S1-S2 ON, (e) S3-S2-S2 ON, (f) S4-S3-S2 ON	86
Gambar 4.10 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S3-S4-S5 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	88

Gambar 4.11 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S4-S5-S6 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	89
Gambar 4.12 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S5-S6-S1 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	90
Gambar 4.13 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S6-S1-S2 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	91
Gambar 4.14 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S3-S2-S1 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	92
Gambar 4.15 Grafik perbandingan pola radiasi hasil simulasi dan pengukuran konfigurasi S4-S3-S2 ON (a) theta ($\phi=0$), (b) theta ($\phi=90$), (c) phi (theta=90)	93
Gambar 4.16 Sensor node (a) sensor api dan asap, (b) sensor suhu, dan (c) sensor deteksi banjir.....	96
Gambar 4.17 hasil pengujian sensor api.....	97
Gambar 4.18 Pembacaan data sensor di lantai 3	100
Gambar 4.19 Pembacaan data sensor di lantai 1	100
Gambar 4.20 Pembacaan data sensor lantai dasar	101
Gambar 4.21 Level <i>receive power</i> hasil <i>tracking sensor node</i>	102
Gambar 4.22 Level <i>receive power</i> pada 6 arah <i>beam</i> antenna	104

Gambar 4.23 Pembacaan data sensor pada pengukuran <i>outdoor</i>	105
Gambar 4.24 Pengukuran jangkauan maksimal LoRa.....	107
Gambar 4.25 Tingkat <i>packet loss</i> yang terjadi berdasarkan jarak	107

BAB I

PENDAHULUAN

A. LATAR BELAKANG

Dengan pesatnya perkembangan teknologi komputasi dan komunikasi nirkabel saat ini, semakin memudahkan untuk mengurangi penggunaan kabel yang dipakai sebagai media penghubung suatu alat maupun komponen elektronika untuk dapat terhubung satu dengan yang lainnya. Konvergensi dari teknologi komputasi dan komunikasi nirkabel serta perkembangan jaringan internet ini melahirkan suatu paradigma dari *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan aplikasi dan atau perangkat saling terhubung satu sama lain dalam skala besar (Mudjanarko, 2017) (Sankar, 2016). Teknologi ini berpengaruh dalam berbagai macam industri seperti manufaktur, logistik, kesehatan, tata kota, rumah, pertanian, bahkan industri otomotif (Rauf, 2018).

Internet of Things (IoT) adalah salah satu teknologi utama yang mendukung pengembangan aplikasi kota pintar maupun kampus universitas pintar (Sastra, 2016), karena menyediakan akses yang murah, terpadu dan sederhana ke elemen fisik dalam infrastrukturnya (Zanella, 2014). Menjadi pintar, artinya mereka menerapkan teknologi tersebut untuk bertukar data dengan tujuan untuk menyederhanakan proses administrasi, mengelola kontrol akses secara *real-time*, memantau lingkungan, dan sebagainya.

Dalam sistem monitoring lingkungan berbasis IoT sangat mengandalkan instalasi jaringan sensor nirkabel dalam melakukan *sensing* dan mentransfer informasi (Lazarescu, 2013). IoT dipandang sebagai jaringan sensor nirkabel yang bertujuan untuk mengumpulkan data dari semua sensor dan mengirimkannya ke jaringan internet melalui *gateway* (Fantacci, 2014), sehingga data dari hasil pembacaan sensor – sensor tersebut dapat dipantau.

Dalam penyebarannya jaringan sensor IoT ini tentu membutuhkan sistem komunikasi agar dapat saling terhubung. Teknologi LoRa sangat mungkin diaplikasikan untuk komunikasi IoT karena jangkauan komunikasinya yang jauh dan konsumsi daya yang kecil yang akan memperpanjang masa pakai baterai di sisi *end-node*. Salah satu ciri LoRa adalah penggunaan *data rate* yang kecil sehingga mengharuskan sensitivitas tinggi pada perangkat penerima agar dapat mengolah sinyal informasi yang diterima ketika level sinyalnya sangat rendah (Sanchez-Iborra, 2018). Dalam penelitiannya, Wang, *et al*, menginvestigasi kinerja transmisi LoRa dari perangkat sensor *node* ke *gateway*, yang diaplikasikan pada monitoring kondisi lingkungan kampus menggunakan sensor kualitas udara PM2.5. Dari hasil pengujian menunjukkan tingkat *error* data karena *packet loss* lebih dari 60% dipengaruhi oleh jarak, *packet loss* juga dipengaruhi oleh daya pancar dan sudut antena (Wang, 2017). Sedangkan, Hudhajanto, *et al*, dalam penelitiannya merancang sistem monitoring lingkungan untuk memantau kondisi udara secara *real time* menggunakan

sensor suhu LM35, sensor kelembaban udara DHT11 dan sensor karbondioksida MQ-2 dengan komunikasi menggunakan protokol Zigbee IEEE 802.15.4, dengan hasil pengujian menunjukkan tingkat data yang *error* menjadi 57,8% seiring dengan bertambahnya jarak (Hudhajanto, 2018). Adnan, *et al*, dalam penelitiannya merancang sistem pendeteksi kebakaran di hutan yang menggunakan perangkat LoRa Dragino dengan topologi *Mesh*, menggunakan sensor suhu DHT11 dan sensor asap MQ-2, yang menghasilkan bahwa sensor *node* hanya dapat mengirimkan data paling jauh 500 meter (Adnan, 2018). Dalam studi yang dilakukan Murdyantoro, *et al*, juga menguji performansi jarak jangkauan LoRa *gateway* Dragino OLG01, yang menghasilkan jarak maksimal dalam kondisi LOS antara sensor *node* dan *gateway* adalah 400 meter sedangkan dalam kondisi NLOS jarak maksimal yang dihasilkan hanya sampai 300 meter (Murdyantoro, 2019). Sehingga masalah konektivitas jaringan sensor ini menjadi salah satu faktor paling penting yang membatasi jumlah penyebaran IoT (Sotres, 2017), yang berdampak pada keakuratan data monitoring.

Masalah terutama dalam konektivitas jaringan sensor dan *gateway* adalah penempatan sensor yang tidak seragam. Seperti pada sistem aplikasi *smart parking* dan *smart building*, dimana *gateway* dan sensor IoT harus ditempatkan di plafon, di jalan, atau bahkan dikubur di bawah aspal (Zanella, 2014) (Alam, 2017) (Sotres, 2017). Meskipun standar protokol IEEE 802.15.4 yang menetapkan kontrol akses media (MAC) dan lapisan

fisik (PHY) untuk jaringan sensor nirkabel ini sudah dianggap sangat praktis, tetapi masalah konektivitas tetap muncul seperti dalam aplikasi *smart parking* ketika sistem beroperasi dalam kondisi cuaca dan lalu lintas yang sebenarnya (Sotres, 2017).

Mengacu dari beberapa penelitian tersebut, karena penempatan sensor-sensor berada pada area yang tersebar di dalam lingkungan kampus universitas, menjadi tantangan yang dapat dilakukan dalam pengembangan sistem antena cerdas yang diintegrasikan pada *gateway* dengan metode *beam steering*, yaitu sistem antena yang *beam*-nya dapat berputar 360° secara sekuensial. Kenapa perpindahan *beam* dilakukan secara sekuensial, karena dalam karakteristiknya LoRa adalah berdaya pancar dan *bandwidth* yang kecil sehingga diperlukan pembatasan panjang paket yang dikirim dikarenakan *data rate* yang rendah (Sanchez-Iborra, 2018). Dengan cara sekuensial ini maka beberapa sensor *node* akan bergantian terkoneksi dengan *beam* antena *gateway*, sensor *node* yang tidak terkoneksi dengan *gateway* akan dalam posisi *idle* sehingga akan menghemat energi pada sensor *node*.

Pengaturan *beam* antena cerdas ini dapat dilakukan secara mekanik (*mechanically beam steering*) dan secara elektronik (*electronically beam steering*). Tetapi, dalam perkembangannya lebih banyak menggunakan pengaturan *beam* secara elektronik daripada secara mekanik, karena tidak melibatkan komponen yang bergerak yang rentan terhadap keausan, serta lebih akurat dalam melacak sumber sinyal yang datang (Kausar, 2016).

Beberapa metode dalam pengaturan *beam* antenna cerdas ini adalah menggunakan *optical switch*, Dioda PIN, FETs, RF-MEMS *switch*, dan dioda varaktor. Secara umum, cara paling sederhana yaitu dengan menggunakan dioda PIN. Dioda PIN ini mampu melakukan *beam switch* dengan mudah dalam konfigurasi status ON-OFF (Palantei, 2005).

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait dengan sistem antenna *beam steering*, seperti Ahmed Kausar, *et al*, mengusulkan desain antenna *switch parasitic array* untuk sistem IoT dengan struktur bahan kawat tembaga terdiri dari satu elemen aktif dan enam elemen parasitik dan beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz. Pengaturan arah *beam* dikontrol oleh 2 set 4:1 Analog Devices Multiplier Switch ADG 904 yang terpasang substrate FR-4 (Kausar, 2016). Sedangkan, Kranti Kumar Katare, *et al*, mengusulkan desain antenna yang sama yang terbuat dari strip logam yang terpasang pada *ground plane* berbahan dielektrik substrate FR-4 dengan tebal 2 mm. Setiap 6 elemen parasitik terhubung dengan 6 saklar (ON/OFF) yang terpasang pada dielektrik yang berfungsi untuk mengatur arah *beam* antenna, antenna beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz (Katare, 2017). Dengan struktur material yang sama juga diusulkan oleh Roktim Konch, *et al*, yang terdiri dari 1 elemen antenna *patch* aktif berbentuk segi delapan yang dikelilingi oleh 7 *patch* persegi panjang sebagai elemen parasitiknya. Pengontrolan *beam* dilakukan oleh 7 saklar dioda PIN ke elemen aktif. Tiga elemen parasitik dengan arah yang sama dapat dihubungkan ke elemen aktif secara bersamaan dan menghasilkan *beam* yang lebar dan *beam null*

pada arah yang berlawanannya (Konch, 2018). Pada penelitian lainnya, Luca Santamaria, *et al*, mendesain antena pola adaptif untuk *gateway* IoT yang beroperasi pada frekuensi 2,44 GHz. Antena berbentuk silinder tembaga tertutup bagian atas dan bawah, terdapat masing-masing 3 slot pada 2 tingkat dinding silinder. Antena *monopole* diletakkan di dasar silinder sebagai pengganti *ground plane*. *Monopole* berfungsi sebagai *exciter* slot meradiasi keluar silinder. Hasil simulasi antena ini menunjukkan perpindahan arah *beam* setiap 60° tetapi terjadi perubahan *gain* dan HPBW pada konfigurasi arah *beam* yang berbeda (Santamaria, 2018). Penelitian untuk *beam steering* lainnya dilakukan oleh Noshewan Shoaib, *et al*, mendesain antena *substrate* aktif yang terdiri dari AIS-PRS untuk WLAN pada band frekuensi 5,25 GHz. Pengarahan *beam* antena dicapai karena susunan *patch* gradasi grid yang dikontrol menggunakan delapan dioda PIN sehingga menghasilkan *beam* pada sudut kemiringan yang berbeda (Shoaib, 2019).

Dari beberapa paparan di atas, merujuk pada tujuan desain antena cerdas dan untuk pengaplikasiannya dalam mengatasi masalah konektivitas sistem monitoring lingkungan kampus berbasis IoT untuk mendeteksi potensi bencana banjir dan kebakaran, maka diusulkan suatu sistem antena *switched parasitic array* yang memungkinkan untuk estimasi sudut *Direction of Arrival* (DoA) dengan mengatur pola radiasinya dilakukan secara elektronik, dan mengintegrasikan pada *gateway* sehingga mampu melacak *sensor node* secara sekuensial. Pengaturan

switching beam antena ini dilakukan melalui pengontrolan oleh mikrokontroler. Antena *switched parasitic array* ini diharapkan mampu menjadi solusi alternatif yang hemat biaya dan energi untuk meningkatkan konektivitas dan jangkauan jaringan IoT.

B. RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang di atas dapat ditemukenali beberapa permasalahan yang akan dijawab melalui penelitian ini, yaitu :

1. Bagaimana membuat konfigurasi sensor *node* dan *gateway* pada jaringan *surveillance* di lingkungan kampus ?
2. Bagaimana mendesain antena *switched parasitic array* yang diintegrasikan pada *gateway* jaringan *surveillance* di lingkungan kampus ?
3. Bagaimana kinerja konektivitas antara sensor *node* dan *gateway* yang menggunakan antena *switched parasitic array* ?

C. TUJUAN PENELITIAN

Berdasarkan permasalahan di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan desain konfigurasi sensor *node* dan *gateway* untuk jaringan *surveillance* di lingkungan kampus.

2. Untuk mendesain antena *switched parasitic array* yang diintegrasikan pada *gateway* untuk melacak sensor *node* secara sekuensial pada jaringan *surveillance* di lingkungan kampus.
3. Untuk menginvestigasi kinerja konektivitas antara sensor *node* dan *gateway* yang menggunakan antena *switched parasitic array*.

D. MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Bagi Industri, penelitian yang diusulkan memberikan kontribusi teknologi menuju revolusi Industri 4.0 pada sistem IoT.
2. Bagi peneliti, berguna untuk menambah pengetahuan dan kemampuan/*skill* untuk mendesain antena *switched parasitic array*.
3. Bagi institusi pendidikan Magister Departemen Teknik Elektro bidang telekomunikasi, dapat digunakan sebagai referensi ilmiah dalam penelitian untuk pengembangan sistem antena untuk perangkat IoT.

E. BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Membuat konfigurasi jaringan *surveillance* di lingkungan kampus dengan tiga sensor *node*.
2. Perancangan antena menggunakan *software CST Microwave Studio*.

3. Parameter yang menjadi fokus penelitian pada metode antena *switched parasitic array* adalah peningkatan *gain*, *bandwidth* dan penurunan nilai *return loss*, serta pola radiasi.
4. *Switch beam* antena menggunakan dioda PIN HSMP 3824.
5. Frekuensi kerja jaringan surveillence lingkungan kampus pada 915 MHz.

F. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah :

Bab I Pendahuluan

Bab I berisi penjelasan tentang latar belakang penelitian mengenai *tracking* sensor secara sekuensial menggunakan antena *switched parasitic array* (SPA). Selain itu, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan dipaparkan pada bab ini.

Bab II Tinjauan Pustaka

Bab II berisi penjelasan tentang tinjauan pustaka yang merupakan penjelasan tentang hasil-hasil penelitian lainnya yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan tentang sumber acuan terbaru dari pustaka primer seperti buku, artikel, jurnal, dan tulisan asli lainnya untuk mengetahui penelitian relevan dengan usulan penulis terkait sistem *beam steering* antena *switched parasitic array*. Dalam bab ini juga diuraikan tentang

kerangka pikir yang merupakan penjelasan tentang kerangka berpikir untuk memecahkan masalah yang sedang diteliti.

Bab III Metodologi Penelitian

Bab III ini merupakan penjelasan tentang tahapan penelitian dimulai dari konfigurasi jaringan *surveillance* di lingkungan kampus, perancangan desain antena *switched parasitic* yang sesuai untuk tujuan sistem, fabrikasi desain sistem, dan pengukuran output keseluruhan sistem yang kemudian dilakukan analisis sesuai rumusan masalah yang ada secara terperinci.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Pada bab IV ini menjelaskan tentang hasil dan pembahasan penelitian serta implikasi dari penelitian yang dilakukan. Simulasi antena dilakukan menggunakan software CST *Microwave Studio* 2018. Hasil yang diperoleh merupakan parameter-parameter antena yang dijadikan unjuk kerja dari antena yang telah didesain dan dioptimalisasi. Pengukuran antena hasil fabrikasi serta pengujian kinerja antena pada jaringan *surveillance* di lingkungan kampus sesuai dengan rumusan masalah yang diberikan.

Bab V Kesimpulan dan Saran

Pada bab V ini berisi ringkasan temuan, rangkuman kesimpulan dan saran. Kesimpulan merupakan pernyataan secara general atau spesifik yang berisi hal-hal penting dan menjadi temuan penelitian yang bersumber pada hasil dan pembahasan. Saran merupakan pernyataan atau rekomendasi peneliti yang berisi hal-hal penting sebagaimana yang telah disampaikan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. LANDASAN TEORI

1. Monitoring Lingkungan

Monitoring lingkungan adalah menggambarkan suatu proses dan kegiatan yang perlu dilakukan untuk mengkarakterisasi dan memantau kualitas lingkungan. Ini digunakan dalam penilaian resiko apa pun yang dapat ditimbulkan terhadap manusia dan lingkungan. Dengan perkembangan *Internet of Things* (IoT), sebagian besar sistem pemantauan lingkungan menggunakan kerangka kerja terdistribusi berdasarkan jaringan sensor nirkabel. Aplikasi pemantauan lingkungan ini dapat berupa pemantauan suhu, pendeteksi kebakaran, pendeteksi banjir, memantau kualitas udara, air, tanah dan sebagainya. Melalui *Internet of Things* (IoT), semua objek dapat terhubung ke internet, sehingga hasil pemantauan dapat diakses kapan saja secara *real time*.

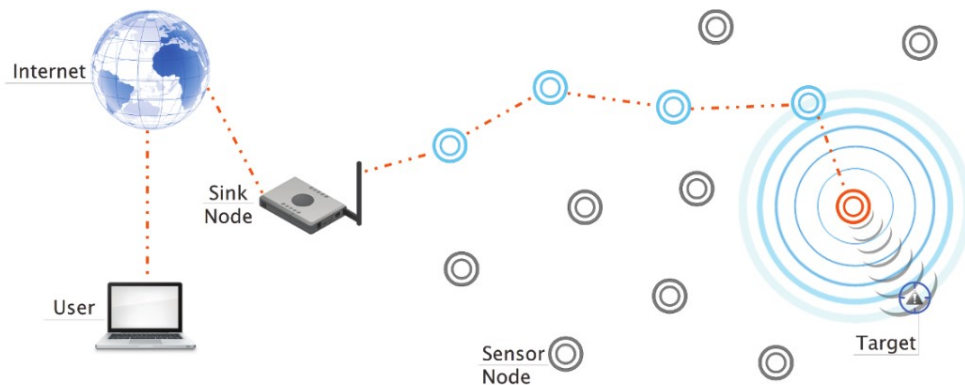
Sensor – sensor berbasis IoT merupakan bagian yang sangat penting dalam keberhasilan setiap proses monitoring lingkungan. Sensor berbasis IoT yang dipasang ini perlu dihubungkan, dipelihara, dan dikelola untuk mengekstrak informasi yang relevan darinya. Sensor dalam sistem monitoring lingkungan ini dapat berupa sensor asap, dimana sensor ini dapat mendeteksi konsentrasi gas yang mudah terbakar dan asap, serta sensor suhu api, yang mana hasil dari pembacaan sensor ini dijadikan sebagai parameter terjadinya kebakaran. Pada pendeteksian potensi banjir

menggunakan sensor ultrasonik untuk mengukur ketinggian level air. Selain itu juga untuk memantau kualitas udara dapat menggunakan sensor suhu dan kelembaban udara.

2. Jaringan Sensor Nirkabel

Sensor adalah suatu perangkat yang merespon kondisi fisik lingkungan seperti panas dan mengubahnya menjadi sinyal listrik untuk memungkinkan interpretasi dan pemrosesan otomatis. Sedangkan, sensor *node* adalah perangkat kompak yang otonom yang tidak hanya mengintegrasikan sensor tetapi juga mencakup unit lain untuk memproses dan mengirimkan data sensorik. sensor *node* terdiri dari unit-unit antara lain seperti sensor, perangkat komunikasi, mikrokontroler, memori dan catu daya.

Jaringan sensor nirkabel (WSN) terdiri dari sensor yang didistribusikan secara spasial, terdiri satu atau lebih *sink node* (juga disebut *base station/gateway*). Sensor memonitor secara *real-time* kondisi fisik, seperti suhu, getaran, atau gerakan, dan menghasilkan data sensorik. Sensor *node* dapat bertindak sebagai pencetus data dan *router* data. *Sink node*, di sisi lain, mengumpulkan data dari sensor. *Sink node* dapat berkomunikasi dengan pengguna akhir melalui koneksi langsung, internet, satelit, atau semua jenis tautan nirkabel (Senouci, 2016). Gambar 2.1 menunjukkan tipikal arsitektur WSN. Perangkat sensor nirkabel dapat juga dilengkapi dengan aktuator untuk “bertindak” pada kondisi tertentu.

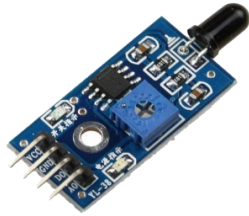


Gambar 2.1. Arsitektur jaringan sensor nirkabel (Senouci, 2016)

2.1. Sensor Api

Sensor api atau *flame sensor* merupakan sensor yang mempunyai fungsi sebagai pendeteksi nyala api yang dimana api tersebut memiliki panjang gelombang antara 760 nm – 1100 nm. Cara kerja sensor ini yaitu dengan mengidentifikasi atau mendeteksi nyala api dengan menggunakan metode optik. Pada sensor ini menggunakan transduser yang berupa *photodiode* infrared (IR) sebagai *sensing* sensor. Berdasarkan *datasheet*, suhu pembacaan normal sensor ini yaitu pada 25 – 85°C dengan besar sudut pembacaan pada 60° dengan jarak pembacaan api adalah 20 cm (4.8V) ~ 100 cm (1V). Sensor beroperasi pada tegangan 3,3 – 5 VDC. Terdapat 2 *output* untuk *output* digital dan *output* analog, serta potensiometer untuk mengatur *range* deteksi. Untuk memperluas area pembacaan sensor dapat menggunakan *flame sensor 5 channel* yang terdiri atas 5 buah transduser infrared (IR) seperti ditunjukkan Gambar 2.3.

pada saat ini kedua jenis sensor inilah yang banyak beredar di pasaran yang diaplikasi untuk *sensing* deteksi kebakaran.



Gambar 2.2. Sensor Api (*Datasheet*)



Gambar 2.3. Sensor Api 5 *channel* (*Datasheet*)

2.2. Sensor Asap MQ-2

Sensor MQ-2 ini mendeteksi konsentrasi gas yang mudah terbakar di udara dan asap, dan output yang terbaca sebagai tegangan analog. Sensor MQ-2 tersebut terbuat dari bahan yang peka gas yaitu SnO₂ dengan konduktivitas rendah pada udara bersih. Jika terdapat kebocoran gas konduktivitas sensor menjadi lebih tinggi, setiap kenaikan konsentrasi gas maka konduktivitas sensor juga naik. Berdasarkan *datasheet*, sensor MQ-2 sensitif terhadap kebocoran gas seperti LPG, Propana, Hidrogen, Karbon Monoksida (CO), alkohol dan Metana, serta sensitivitas yang baik terhadap gas mudah terbakar di udara pada area yang luas, dengan *range* konsentrasi 200 sampai dengan 10.000 ppm, apabila dibandingkan dengan

tipe sensor MQ lainnya yang hanya dapat mengukur satu jenis konsentrasi gas tertentu saja. Sensor ini dirancang untuk penggunaan *indoor* pada suhu kamar. Biasanya diaplikasikan pada peralatan pendeteksi kebocoran gas yang mudah terbakar di rumah, gedung, gudang atau pabrik industri.



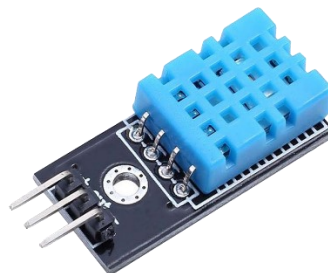
Gambar 2.4. Sensor Asap MQ-2 (*Datasheet*)

Sensor ini mendapat dua masukan yaitu tegangan V_H untuk pemanas (*Heater*) internal dan V_C tegangan sumber. Catu daya yang dibutuhkan pada sensor MQ-2 adalah $V_C < 24$ VDC dan $V_H = 5V \pm 0.2V$ tegangan AC atau DC, beroperasi pada suhu dari -20 sampai 50 °C.

2.3. Sensor Suhu DHT11

DHT11 adalah sensor yang dapat mengukur dua parameter lingkungan sekaligus, yakni suhu dan kelembaban udara (*humidity*), jika dibandingkan dengan sensor LM35 yang hanya dapat mengukur parameter suhu saja. Kelembaban udara ini sangat berpengaruh terhadap peralatan – peralatan elektronik, karena akan mudah berkarat dan berjamur jika kelembaban udaranya tinggi. Sehingga sensor ini cocok untuk diaplikasikan pada sistem monitoring lingkungan.

DHT11 ini termasuk dalam sensor yang memiliki kualitas terbaik dan lebih stabil, dinilai dari respon, pembacaan data yang cepat, dan kemampuan *anti-interference*. Dalam sensor ini terdapat sebuah resistor tipe NTC (*Negative Temperature Coefficient*) untuk mengukur suhu, resistor jenis ini memiliki karakteristik dimana nilai resistansinya berbanding terbalik dengan kenaikan suhu. Artinya, semakin tinggi suhu ruangan maka nilai resistansi NTC akan semakin kecil. Sebaliknya nilai resistansi akan meningkat ketika suhu disekitar sensor menurun. Selain itu, didalamnya terdapat sebuah sensor kelembaban dengan karakteristik resistif terhadap perubahan kadar air di udara. Data dari kedua sensor ini diolah didalam IC kontroller 8-bit yang mengolah data kedua sensor tersebut dan mengirim hasilnya ke pin *output* dengan format *single-wire bi-directional* (kabel tunggal dua arah).



Gambar 2.5. Sensor Suhu dan kelembaban DHT11 (*Datasheet*)

Tabel 2.1. Karakteristik sensor DHT11

Model	DHT11
Power supply	3-5.5 VDC
Sinyal Output	<i>Digital signal via single-bus Measuring</i>
Range	Kelembaban 20-90% RH \pm 5% RH

	Suhu 0-50 °C <i>error of ± 2 °C</i>
Akurasi	Kelembaban ±4% RH (Max ±5%RH); Suhu ±2.0 °Celsius
Sensitivitas	Kelembaban 1% RH; Suhu 0.1 °Celsius
Repeatability	Kelembaban ±1% RH; Suhu ±1 °Celsius
Histeresis	±1% RH
Long-term Stability	±0.5% RH/ tahun
Periode Sampling	<i>Average: 2s</i>
Interchangeability	<i>Fully interchangeable</i>

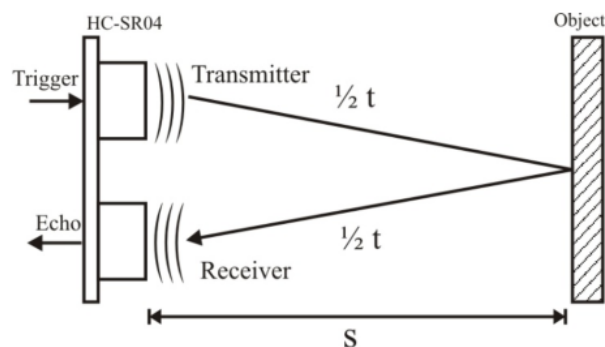
2.4. Sensor Ultrasonic HC-SR04

Sensor ultrasonik adalah merupakan sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis suara menjadi besaran listrik yang kemudian dikonversi menjadi jarak. Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya, frekuensi kerjanya pada daerah di atas gelombang suara dari 40 KHz hingga 400 KHz. Bunyi ultrasonik bisa merambat melalui zat padat, cair dan gas. Reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat padat hampir sama dengan reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat cair. Karena bekerja berdasarkan prinsip pantulan gelombang suara, maka sensor ini cocok digunakan untuk mengukur ketinggian level air dari sensor tanpa kontak langsung dengan air dibandingkan dengan menggunakan sensor *water level*.



Gambar 2.6. Sensor Ultrasonik HC-SR04 (*Datasheet*)

Sensor ultrasonik HC-SR04 memiliki 2 komponen utama sebagai penyusunnya yaitu *ultrasonic transmitter* dan *ultrasonic receiver*. Fungsi dari *ultrasonic transmitter* adalah memancarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 KHz kemudian *ultrasonic receiver* menangkap hasil pantulan gelombang ultrasonik yang mengenai suatu objek. Waktu tempuh gelombang ultrasonik dari pemancar hingga sampai ke penerima sebanding dengan 2 kali jarak antara sensor dan bidang pantul seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.7. Spesifikasi sensor ini adalah memerlukan catu daya sebesar 5 VDC, arus 15 mA, sedangkan sudut deteksi efektifnya $<15^\circ$, dan jarak jangkauan pembacaan adalah 2 cm - 400 cm.



Gambar 2.7. Prinsip kerja Sensor HC-SR04 (*Datasheet*)

3. LoRa

LoRa adalah teknologi telekomunikasi terbaru yang memungkinkan komunikasi jarak jauh lebih dari 10 Km dengan konsumsi daya yang kecil sehingga masa pakai baterai bisa bertahan sampai 10 tahun (Sanchez-Iborra & Cano, 2016). Teknik-teknik yang dipergunakan LoRa adalah dengan : (i) mengurangi *bit rate* transmisi, (ii) menggunakan pita frekuensi rendah (pita sub-GHz), dan (iii) membatasi kapabilitas *end-device*. Pada poin pertama LoRa menggunakan *data rate* kecil beberapa kilo bit per detik (kbps) sehingga mengharuskan sensitivitas tinggi pada perangkat penerima, dengan demikian perangkat penerima mampu men-*decode* sinyal informasi yang diterima ketika level sinyalnya sangat rendah. Ketangguhan transmisi ini dimungkinkan oleh karakteristik modulasi LoRa yang dikembangkan oleh Semtech berdasarkan teknik modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Konsep modulasi *spread spektrum* yaitu dengan mengubah informasi *single* bit ke seri bit lain dan menyebarkannya ke seluruh spektrum. Selain itu, jenis modulasi ini beroperasi di bawah level *noise* dengan sensitivitas -120 dBm yang membuatnya lebih kuat terhadap interferensi dan *jamming*. Dengan kata lain, sinyal atau informasinya menyebar di sepanjang *wideband*-nya. Penggunaan pita frekuensi rendah (433 MHz untuk Asia, 868 MHz dan 915 MHz untuk Eropa dan Amerika) meningkatkan jangkauan transmisi dan penetrasi dibandingkan pita frekuensi tinggi lainnya seperti 2,4 GHz (Di Serio, 2018). Keuntungannya juga LoRa beroperasi pada pita frekuensi *Industrial, Scientific, and Medical*

(ISM) yang tidak berlisensi sehingga siapapun dapat menggunakannya. Terakhir, untuk menghemat energi komunikasi dalam LoRa dilakukan dalam dua cara yang berbeda, yaitu pembatasan jumlah pesan yang dikirim setiap *node* per hari untuk menghindari over kapasitas pada kanal frekuensi dan membatasi panjang paket masing-masing pesan karena *data rate* yang rendah.

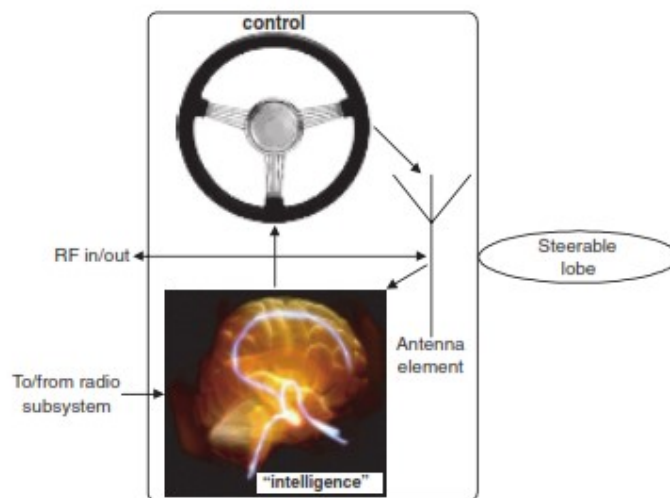
Salah satu karakteristik LoRa yang paling penting adalah kemampuannya beradaptasi dengan beberapa jenis transmisi yang berbeda. Untuk tujuan ini, LoRa menyajikan tiga parameter konfigurasi yang berbeda, yaitu *Spreading Factor* (SF), *Coding Rate* (CR) dan *Bandwidth* (BW). SF menunjukkan tingkat penyebaran sinyal yang ditransmisikan terhadap sinyal aslinya – panjang sebaran dan ketahanan transmisinya, tetapi dengan dengan kecepatan *data rate* yang rendah. CR menentukan jumlah informasi redundansi dalam paket yang dikirim. Informasi redundansi ini digunakan untuk merekonstruksi data yang diterima jika paket yang terkirim *corrupt* sebagian. Terakhir, LoRa mengizinkan penggunaan *bandwidth* yang berbeda yaitu 125 KHz, 250 KHz dan 500 KHz, namun yang paling banyak digunakan adalah 125 KHz.

4. Antena Cerdas

Antena cerdas merupakan susunan dari beberapa elemen antena yang menggunakan pengolahan sinyal digital untuk mengoptimasi radiasi atau pola penerimaan secara adaptif dan otomatis. Sistem seperti ini

memungkinkan antena dapat mengubah pola radiasi atau penerimaan sesuai dengan tujuan sehingga meningkatkan kinerja sistem komunikasi nirkabel. Istilah antena cerdas umumnya mengacu kepada *antenna array* yang dikombinasikan dengan pengolahan sinyal yang canggih, yang mana desain fisiknya dapat dimodifikasi dengan menambahkan beberapa elemen. Tujuan utama penggunaan teknologi pengolahan sinyal digital pada sistem antena cerdas adalah untuk menentukan arah kedatangan sinyal serta besar *weight* untuk mengarahkan radiasi antena ke arah *signal of interest* (SOI) dan *null* ke arah *signal not interest* (SNOI) (Balanis, 2007).

Ide utama dari pengembangan antena cerdas adalah memaksimumkan *gain* antena ke arah yang diinginkan dan pada saat yang sama membuat pola radiasi minimum ke arah sinyal yang tidak diinginkan (Balanis, 2007). Dengan demikian teknik *beamforming* digunakan sebagai metode untuk meningkatkan *Quality of Service* (QoS) dari sebuah jaringan nirkabel (Abdelaziz, 2006).



Gambar 2.8. Prinsip kerja sistem antena cerdas (Balanis, 2007)

Prinsip kerja antena cerdas seperti ditunjukkan pada Gambar 2.8 sama dengan prinsip kerja tubuh manusia. Susunan elemen antena berfungsi seperti telinga, kulit dan hidung, yaitu mampu menerima kedatangan sinyal berupa sudut fasa sinyal datang. Algoritma pemrosesan sinyal berfungsi seperti otak, yaitu mampu mengkorelasikan semua sinyal datang yang dideteksi dan mengestimasi sehingga dapat ditentukan lokasi sinyal datang tersebut serta mampu membedakan sinyal yang diinginkan dengan sinyal yang tidak diinginkan. *Beamforming* berfungsi seperti mulut, yaitu mampu memberikan informasi kepada *user* yang dideteksi dengan cara mengirimkan kembali sinyal tersebut pada arah yang sama saat kedatangan sinyal tersebut.

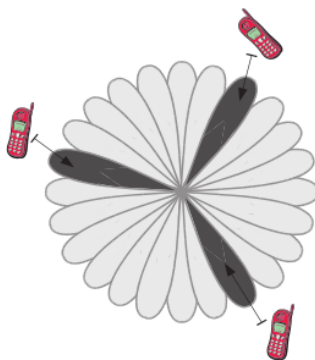
Secara umum, sistem antena cerdas dibagi menjadi dua yaitu *switched beam system* dan *adaptive array system*. Pada dasarnya, kedua jenis sistem antena cerdas ini menggunakan prinsip yang sama dalam meningkatkan kualitas dan kinerja dari sistem yaitu dengan meningkatkan *gain* sampai level maksimum ke arah dimana posisi pengguna berbeda sehingga meningkatkan level daya sinyal terhadap interferensi. Berikut uraian beberapa jenis antena cerdas (Balanis, 2007).

4.1. Sistem Switched Beam

Sistem *switched beam* merupakan sistem yang menggunakan teknik yang paling sederhana dimana sistem ini hanya menggunakan fungsi dasar penyambungan antara beberapa antena direksional atau beberapa pola sorotan yang dihasilkan *antena array*. Sistem ini akan menyeleksi atau

memilih salah satu *beam* atau pancaran yang memiliki daya keluaran yang paling besar (Balanis, 2007). Daripada membentuk pola radiasi yang direksional, *switched beam system* menggabungkan output dari beberapa antenna dengan tujuan untuk membentuk lebar sorotan yang sempit (direksional).

Sistem *switched beam* terdiri dari beberapa pancaran tetap dengan arah yang belum ditentukan, dimana pancaran yang akan dipilih adalah yang menerima sinyal dengan kualitas yang paling baik dari pengguna. Sistem ini dilengkapi dengan penggeser fasa yang berfungsi membentuk *beam-beam* dengan arah tertentu dan RF *switch* yang berfungsi untuk mengaktifkan *beam* yang dipilih sesuai arah yang diinginkan. Keputusan pemilihan *beam* yang tepat ini dikontrol oleh algoritma tertentu. Pancaran yang dihasilkan mempunyai lebar *main lobe* yang sempit dan *side lobe* yang kecil sehingga sinyal yang datang dari arah selain dari arah yang diinginkan akan diredam. Penggunaan lebar *main lobe* yang sempit akan mereduksi jumlah sumber interferensi yang tertangkap oleh pola radiasi antenna. Pola radiasi sistem *switched beam* ditunjukkan oleh Gambar 2.9 (Balanis, 2007).



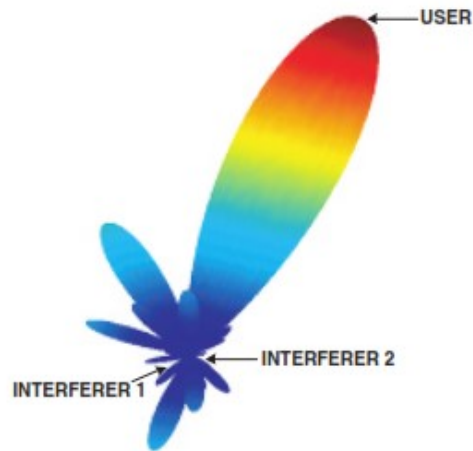
Gambar 2.9. Pola radiasi *switched beam system* (Balanis, 2007)

Switched beam memiliki beberapa kelebihan dibanding dengan *adaptive array* diantaranya lebih sederhana, bisa meningkatkan cakupan dan kapasitas sistem, lebih murah, lebih mudah diterapkan pada sistem yang telah ada sebelumnya, tetapi juga memiliki kekurangan diantaranya hanya cocok digunakan pada sistem yang tingkat interferensinya rendah.

4.2. Sistem Adaptive Array

Teknologi sistem *adaptive array* menggunakan berbagai algoritma pengolahan sinyal untuk membedakan sinyal pengguna dengan sinyal interferensi berdasarkan arah kedatangan dari sinyal-sinyal tersebut. Sistem ini akan secara adaptif beradaptasi dengan lingkungan dimana sinyal berada. Berbeda dengan sistem *switched beam*, sistem *adaptive array* akan menghasilkan pola pancaran yang tidak tetap dimana pancaran yang dihasilkan dapat diarahkan sesuai dengan arah yang diinginkan (Balanis, 2007).

Dengan menggunakan algoritma pengolahan sinyal digital (*digital signal processing*), sistem *adaptive array* mampu secara efektif menemukan dan melacak berbagai jenis sinyal secara cepat untuk mengurangi interferensi dan memaksimalkan penerimaan sinyal. Pola radiasi dari sistem *adaptive array* ditunjukkan oleh Gambar 2.10 (Balanis, 2007).



Gambar 2.10. Pola radiasi *adaptive array system* (Balanis, 2007)

Sistem *adaptive array* lebih rumit jika dibandingkan dengan sistem *switched beam* karena sistem ini menggunakan algoritma *adaptive beamforming* yang kompleks untuk menentukan arah kedatangan sinyal dengan cepat. Akan tetapi sistem ini membutuhkan lebih banyak biaya dibandingkan dengan sistem *switched beam* (Balanis, 2007).

5. Antena *Reconfigurable*

Antena *reconfigurable* (AR) datang dalam berbagai bentuk dan wujud yang berbeda. Operasinya dapat dianalisa melalui prinsip perancangan yang ada. Dengan menggunakan antena yang bagus sebagai desain dasar dan beberapa titik referensi untuk operasi yang diinginkan. Dengan mempertimbangkan karakteristik dari desain awal, AR dapat diklasifikasikan berdasarkan tiga kategori yang mendeskripsikan penggunaannya: rekonfigurasi parameter antena yang diinginkan,

kedekatan rekonfigurasi, dan kontinuitas dari rekonfigurasi. Antena *reconfigurable* sangat dideskripsikan oleh kategori di atas, termasuk rekonfigurasi radiasi (pola dan polarisasi) dan rekonfigurasi impedansi (frekuensi dan bandwidth). Kedekatan rekonfigurasi menjelaskan sifat fisik yang melekat pada desain antena dasar, baik secara langsung atau parasitik. Kontinuitas dari rekonfigurasi dijelaskan oleh sifat dan kapabilitas dari mekanisme rekonfigurasi, baik secara diskrit (kondisi rekonfigurasi yang terbatas), atau kontinyu (rekonfigurasi dalam rentang kondisi) (Balanis, 2008).

Antena *reconfigurable* telah menunjukkan sesuatu yang menarik dan menjanjikan untuk teknologi sistem komunikasi nirkabel saat ini. Jenis antena ini mengizinkan untuk mengkonfigurasi tidak hanya *bandwidth*, namun juga pola radiasi dan polarisasi dengan menggunakan ketangkasan frekuensi, *software defined*, dan radio kognitif untuk mengatasi dengan *multi-service*, *multi-standard*, dan operasi *multiband*, sekaligus dengan penggunaan daya dan spektrum yang efisien (Costa, et al., 2017).

Terdapat beberapa jenis rekonfigurasi antena, antara lain (Sokol, 2013):

- Rekonfigurasi dengan cara mekanik

Mensimulasikan perubahan mekanik cukup mudah, struktur harus dibuat sedemikian rupa sehingga dapat mengganti satu atau beberapa parameter yang akan memberikan geometri antena yang diinginkan.

- Rekonfigurasi dengan cara mengganti karakteristik material

Cara lain untuk merekonfigurasi tingkah laku dari sebuah antena adalah dengan menggunakan material yang karakteristiknya berubah di bawah aplikasi dari medan luar.

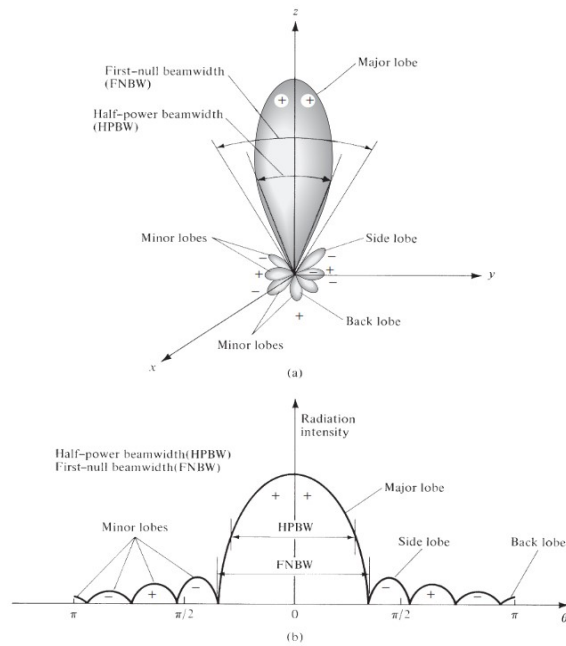
- Rekonfigurasi menggunakan saklar

Saklar merupakan mekanisme yang paling sering digunakan untuk mencapai rekonfigurasi antena. Saklar dapat digunakan untuk melepas bagian dari struktur antena satu sama lain atau untuk menciptakan jalur yang berbeda untuk arus mengalir ke antena. Komponen elektronika yang berbeda-beda seperti dioda PIN, FET, dan MEMS digunakan untuk membuat sebuah saklar RF yang digunakan untuk frekuensi antena *reconfigurable*.

6. Parameter Antena

6.1. Pola Radiasi

Pola radiasi merupakan pola pancaran antena didefinisikan sebagai fungsi matematika atau representasi grafis dari sifat radiasi antena sebagai fungsi ruang koordinasi atau fungsi koordinat arah. Pola radiasi dapat disebut *field pattern* apabila yang digambarkan adalah kuat medan dan disebut *power pattern* apabila yang digambarkan adalah *pointing vector* (Balanis, 2005).



Gambar 2.11. (a) Radiasi *lobe* dan *beamwidth* antenna (b) Plot linear dari *power pattern* antenna (Balanis, 2005).

Gambar 2.11 memperlihatkan pola atau sifat radiasi antenna. *Main beam* atau *main lobe* adalah pancaran utama dari pola radiasi suatu antenna. *Minor lobe* adalah pancaran-pancaran kecil selain pancaran utama dari pola radiasi antenna. *Side lobe* adalah pancaran-pancaran kecil yang dekat dengan pancaran utama dari pola radiasi antenna. *Back lobe* adalah pancaran yang letaknya berlawanan dengan pancaran utama dari pola radiasi antenna. Titik setengah daya adalah suatu titik pada pancaran utama yang mempunyai nilai daya separuh dari harga maksimumnya. *Half Power Beam Width* (HPBW) adalah lebar sudut yang memisahkan dua titik setengah daya pada pancaran utama dari pola radiasi. HPBW dapat

dihitung dengan mencari titik -3 dB dari nilai maksimum pola radiasi tersebut.

Front To Back Ratio (FTBR) adalah perbandingan antara daya maksimum yang dipancarkan pada main lobe dan daya pada *back lobe*. Nilai *front to back ratio* (FTBR) dapat diketahui dengan membandingkan daya antenna pada saat level penerimaan daya maksimum (pada posisi 0° pada *main lobe*) dan pada arah yang berlawanan (pada posisi 180° pada *back lobe*). Berdasarkan pola radiasi yang diperoleh, nilai front to back ratio dapat dihitung dengan :

$$F/B \text{ ratio (dB)} = P(0^\circ) \text{ dBm} - P(180^\circ) \text{ dBm} \dots\dots\dots (1)$$

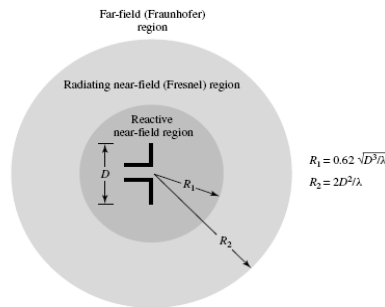
Nilai *front to back ratio* dalam bentuk dB dapat dikonversi ke dalam satuan Watt (W) dengan rumus :

$$\text{dB} = 10 \log P \text{ (Watt)} \dots\dots\dots (2)$$

Selain dalam bentuk Watt dan satuan dB, dapat pula dikonversi ke dalam satuan Volt (V) dengan rumus :

$$\text{dB} = 20 \log V \text{ (volt)} \dots\dots\dots (3)$$

Ruang antara sebuah antenna biasanya dibagi menjadi 3 (tiga) daerah yaitu *reactive near-field*, *radiating near-field (Fresnel)*, dan *far-field (Fraunhofer)*. Daerah ini didesain untuk mengidentifikasi setiap struktur bidang.



Gambar 2.12. Daerah bidang antena (Balanis, 2005).

Daerah *reactive near-field* adalah daerah dimana benda-benda saling mempengaruhi dengan antena. Daerah *radiating near-field (Fresnel)* adalah daerah dimana gelombang elektromagnetik belum transversal secara penuh. Daerah *far-field (Fraunhofer)* atau sering juga disebut daerah medan jauh yaitu daerah di mana benda-benda tidak lagi mempengaruhi antena (merupakan medan elektromagnetik transversal). Secara matematis, daerah medan jauh dapat diketahui sebagai berikut :

$$d = \frac{D^2}{\lambda} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

d = jari- jari pancaran (daerah medan jauh)

D = panjang antena

λ = panjang gelombang operasi

6.2. Gain

Gain antena didefinisikan sebagai perbandingan intensitas radiasi maksimum suatu antena yang diukur terhadap intensitas radiasi maksimum

antena isotropic sebagai referensi jika kedua antenna tersebut diberi daya yang sama. *Gain* antenna berhubungan erat dengan *directivity* dan faktor efisiensi. Untuk menghitung besarnya *gain* suatu antenna (G_t) yang dibandingkan dengan antenna standar (G_s), dapat dinyatakan secara numerik yaitu berupa perbandingan daya antenna yang diukur (P_t) dengan daya antenna isotropik (P_s) seperti berikut:

$$G_t = \frac{P_t}{P_s} \times G_s \dots\dots\dots (5)$$

dan dapat pula dinyatakan dengan dB sebagai berikut:

$$G_t \text{ (dB)} = P_t \text{ (dBm)} - P_s \text{ (dBm)} + G_s \text{ (dB)} \dots\dots\dots (6)$$

6.3. Return Loss (S₁₁)

Return loss merupakan perbandingan antara amplitudo dari gelombang yang direfleksikan terhadap amplitudo gelombang yang dikirimkan. *Return loss* juga menjadi salah satu acuan untuk melihat apakah suatu antenna sudah dapat bekerja pada frekuensi yang diharapkan. Antena yang baik memiliki nilai *return loss* ≤ -10 dB dimana nilai gelombang yang direfleksikan lebih kecil dibandingkan dengan gelombang yang dikirimkan saluran transmisi, sehingga saluran transmisi telah matching dengan antenna. *Return loss* terjadi karena *missmatch* antara saluran transmisi dengan impedansi masukan antenna, besarnya *return loss* bervariasi bergantung pada frekuensi yang digunakan dan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Return Loss (dB)} = -20 \log |\Gamma| \dots\dots\dots (7)$$

dimana Γ adalah koefisien refleksi.

6.4. Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)

Ketika suatu saluran transmisi diakhiri dengan impedansi yang tidak sesuai dengan karakteristik saluran transmisi, maka tidak semua daya diserap di ujung antena. Sebagian daya direfleksikan kembali ke saluran transmisi. Sinyal yang masuk bercampur dengan sinyal yang dipantulkan yang menyebabkan suatu gelombang tegak tegangan mempola di saluran transmisi. Perbandingan tegangan maksimum terhadap tegangan minimum disebut *Voltage Standing Wave Ratio (VSWR)*.

Kondisi yang paling baik adalah ketika *VSWR* bernilai 1 ($S=1$) yang berarti tidak ada refleksi ketika saluran dalam keadaan *matching* sempurna. Namun kondisi ini pada praktiknya sulit untuk didapatkan. Oleh karena itu nilai standar *VSWR* yang diijinkan untuk fabrikasi antena adalah $VSWR \leq 2$. Tingginya *VSWR* tidak hanya berarti daya terbuang, tetapi juga daya yang dipantulkan akan menyebabkan kabel panas.

Untuk dapat beroperasi efisien, pada antena perpindahan maksimum daya harus berlangsung antara pemancar dan antena. Daya maksimum yang ditransferkan dicapai ketika impedansi input antena Z_{in} cocok dengan impedansi antena pemancar Z_s , sebagaimana persamaan berikut :

$$Z_{in} = Z_s^* \dots\dots\dots (8)$$

Jika kondisi ini tidak terjadi, maka akan menyebabkan suatu gelombang berdiri atau *VSWR*. *VSWR* pada dasarnya adalah ukuran tidak

sepadannya impedansi antara pemancar dan antena. *VSWR* yang besar berarti besar pula ketidaksepadanannya. Secara matematis *VSWR* dinyatakan sebagai:

$$VSWR = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \dots\dots\dots (9)$$

Perbandingan antara tegangan yang direfleksikan dengan tegangan yang dikirimkan disebut sebagai koefisien refleksi tegangan (Γ):

$$\Gamma = \frac{V_0}{V_{in}} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \dots\dots\dots (10)$$

dimana:

Γ = koefisien refleksi

V_0 = amplituda gelombang yang dipantulkan

V_{in} = amplituda gelombang masuk

Z_L = impedansi beban

Z_0 = impedansi karakteristik

Semakin besar nilai *VSWR* menunjukkan daya yang dipantulkan juga semakin besar dan semakin tidak *match*.

6.5. *Bandwidth*

Bandwidth antena merupakan lebar pita atau rentang frekuensi kerja suatu antena yang membuat antena dapat memiliki spesifikasi sesuai dengan yang ditetapkan. Spesifikasi ini meliputi impedansi masukan, polarisasi, *beamwidth*, polarisasi, gain, efisiensi, *VSWR*, dan *return loss*. Sehingga suatu antena yang memiliki spesifikasi tertentu hanya akan memenuhi spesifikasi tersebut dalam rentang frekuensi kerja sesuai nilai

bandwidth yang diberikan. Bandwidth suatu antenna memiliki beberapa jenis yaitu sebagai berikut:

- a. *Impedance bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana antenna berada pada keadaan *matching* dengan saluran transmisi. Hal ini terjadi karena impedansi dari elemen antenna bervariasi nilainya tergantung dari nilai frekuensi. Nilai *matching* ini dapat dilihat dari *return loss* dan VSWR dimana nilai *return loss* dianggap baik ≤ -10 dB.
- b. *Pattern bandwidth*, yaitu rentang frekuensi di mana bandwidth, *side lobe* atau gain yang bervariasi menurut frekuensi dan memenuhi nilai tertentu. Nilai tersebut harus ditentukan pada awal perancangan antenna agar nilai bandwidth dapat dicari.
- c. *Polarization* atau *axial ratio bandwidth* adalah rentang frekuensi di mana polarisasi masih terjadi.

Bandwidth suatu antenna dengan frekuensi yang lebar dapat dirumuskan dengan persamaan berikut ini:

$$BW = f_{max} - f_{min} \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

$BW = \text{bandwidth}$

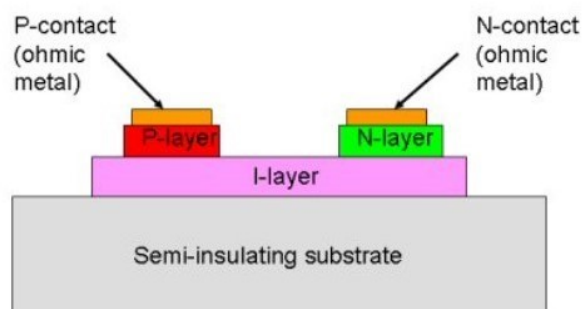
$f_{min} = \text{frekuensi terendah}$

$f_{max} = \text{frekuensi tertinggi}$

8. Dioda PIN

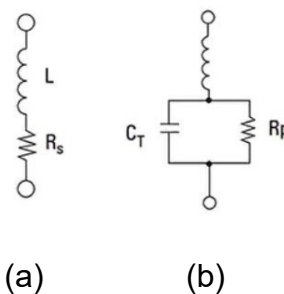
Banyak aplikasi RF yang membutuhkan pensaklaran sinyal RF dan menghubungkannya ke antena berbeda, filter berbeda, maupun melalui penguat sinyal. Salah satu saklar yang umum dipakai adalah *relay* namun karena menggunakan prinsip mekanis, seiring dengan waktu dapat mengalami keausan. Sebagai alternatif dari *relay*, diperlukan saklar elektronik, salah satu saklar elektronik yang umum dipakai untuk sinyal RF adalah dioda PIN.

Dioda PIN layaknya dioda pada umumnya dapat diberi tegangan positif (*forward bias*) untuk menyalakan dioda, dan tegangan negatif (*reverse bias*) atau tanpa tegangan (*no bias*) untuk mematikan dioda. Struktur PIN berbeda dengan dioda pada umumnya yang terdiri dari struktur PN *junction*. Penambahan lapisan semikonduktor intrinsik antara PN *junction* membuat adanya penyimpanan muatan di lapisan intrinsik tersebut. Selain itu pada tegangan negatif (*reverse bias*), efek lapisan intrinsik memperbesar tegangan *breakdown*.



Gambar 2.13. Struktur dioda PIN (Microsemi-Watertown, 1998)

Karakteristik PIN dioda menyebabkan PIN dioda dapat berfungsi sebagai resistor variabel pada saat *forward bias* dan sebagai kapasitor bernilai rendah pada saat *reverse bias* untuk sinyal RF. Sinyal RF dan sinyal DC diberikan pada dioda pada saat bersamaan, sehingga saat sinyal RF dapat mengubah kondisi bias DC dari *reverse bias* ke *forward bias* dan sebaliknya, lapisan semikonduktor intrinsik sebagai penyimpan muatan dapat mempersulit sinyal RF untuk mematikan/menyalakan dioda.



Gambar 2.14. Rangkaian ekuivalen dioda PIN (a) *forward bias*, (b) *reverse bias* (Microsemi-Watertown, 1998)

Resistansi seri pada rangkaian ekuivalen *forward bias* dioda PIN tergantung oleh besarnya nilai arus DC yang mengalir pada dioda PIN tersebut, umumnya jika nilai arus maksimum dicapai, maka nilai resistansi minimum juga tercapai. Kapasitansi total pada rangkaian ekuivalen *reverse bias* dioda PIN tergantung oleh kapasitansi *junction* dan kapasitansi parasitik dari kemasan dioda. Nilai kapasitansi ini yang menunjukkan seberapa baik dioda PIN dapat menahan sinyal RF (*isolation*) pada kondisi mati.

Parameter dasar yang menentukan performansi saklar dioda PIN adalah *insertion loss* (IL) dan *isolation* (ISO). *Insertion loss* adalah *loss* yang terjadi pada saluran struktur fisik dioda pada kondisi dioda ON, sedangkan *isolation loss* (ISO) adalah karakteristik yang menunjukkan seberapa efektif saklar dioda PIN pada kondisi OFF.

$$ISO (dB) = 10 \log \left[1 + \left(\frac{1}{2\pi f C_T Z_0} \right)^2 \right] \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

f = frekuensi (Hz)

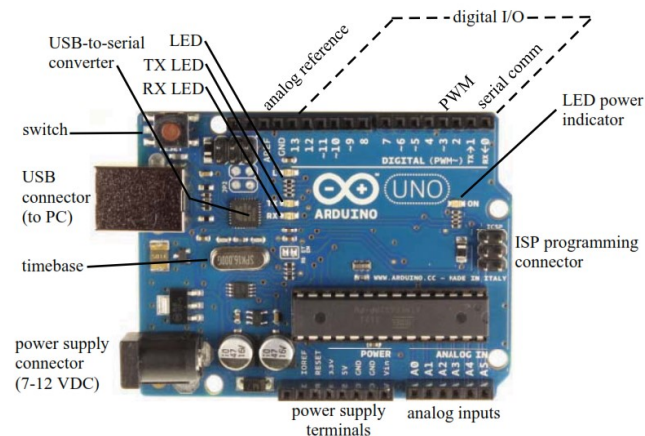
C_T = kapasitansi dioda pada kondisi OFF (Farad)

Z_0 = impedansi beban (ohm)

9. Arduino

Arduinio adalah perangkat keras dan lunak yang mudah digunakan berdasarkan platform *open source*. Konsep *open source* Arduino ini dikembangkan oleh tim visioner Arduino Massimo Banzi, David Cuartilles, Tom Igoe, Gianluca Martino, dan David Mellis di Ivrea, Italia. Awalnya, Arduino diciptakan sebagai alat untuk *prototyping* cepat, yang ditujukan untuk siswa tanpa latar belakang di bidang elektronik dan pemrograman (Barrett, 2013). Belakangan, *board* Arduino mulai berubah beradaptasi dengan dengan kebutuhan dan tantangan baru. Semua *board* Arduino (dan perangkat lunak) sepenuhnya *open source*. Ada berbagai macam versi Arduino yang beredar di pasaran saat ini (UNO, MEGA, NANO dan lain-lain), tetapi hanya Arduino Uno R3 yang dibahas karena lebih sederhana.

Board mikrokontroler Arduino Uno R3 diilustrasikan dalam Gambar 2.15. Bekerja searah jarum jam dari kiri, *board* dilengkapi dengan konektor USB untuk memungkinkan pemrograman prosesor dari PC *host*. Konektor pemrograman ISP 6-pin berada di sisi yang berlawanan dari konektor dari konektor USB.



Gambar 2.15. *Layout* Arduino Uno R3 (Barrett, 2013)

Board ini dilengkapi dengan konverter *USB-to-serial* untuk memungkinkan kompatibilitas antara PC *host* dan sistem komunikasi serial, *board* prosesor ATmega 328. Uno R3 juga dilengkapi dengan beberapa LED SMD kecil untuk menunjukkan transmisi serial (Tx) dan penerimaan (Rx) dan LED tambahan untuk penggunaan proyek. *Strip header* di bagian atas *board* menyediakan akses untuk sinyal analog, sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM), *input/output* (I/O) digital, dan komunikasi serial. Bagian bawah *board* menyediakan *input* analog untuk sistem analog-ke-digital (ADC) dan terminal catu daya. Akhirnya, konektor catu daya eksternal disediakan di sudut kiri bawah papan.

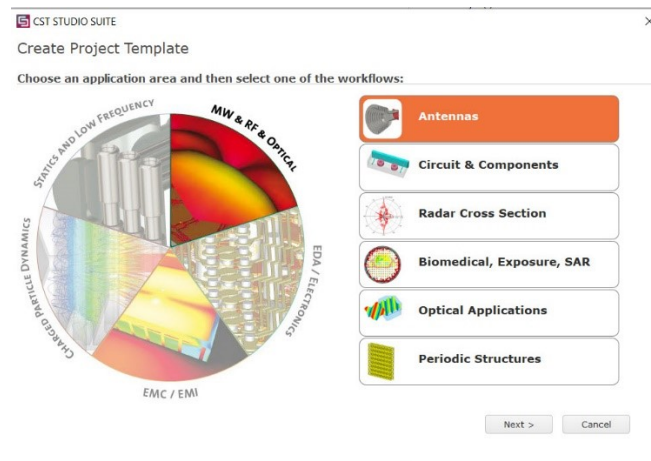
Arduino Uno R3 ini ditenagai dengan prosesor Atmel Atmega328. *Board* ini memiliki memori flash 32 KB (0.5 KB digunakan untuk *bootloader*), EEPROM 1 KB, dan SRAM 2 KB. Ada 14 pin untuk *input/output* digital, 6 pin untuk PWM, 6 pin untuk input analog, dan juga tersedia serial USART. Ini juga memiliki osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik ICSP *header*, dan tombol reset.

Mikrokontroler Arduino mendapat daya dari port USB dari komputer. Namun, sangat disarankan menggunakan catu daya eksternal. Ini akan memungkinkan pengembangan diluar kemampuan port USB yang terbatas saat ini. Arduino merekomendasikan catu daya dari 7–12 VDC dengan colokan positif tengah 2,1 mm.

Lingkungan Arduino bersifat *open-source* dan mudah digunakan. *Coding* yang digunakan ditulis dalam JAVA dan berbasis *open source software*. Arduino ini berjalan pada berbagai platform seperti Windows, Mac OS X, dan Linux. Ini dirancang untuk memperkenalkan pemrograman bagi orang yang tidak terbiasa dengan pengembangan *software*. Ini termasuk editor kode dengan fitur seperti *syntax highlighting*, *brace matching*, dan *automatic indentation*, dan juga mampu mengkompilasi dan mengunggah program ke board dengan satu klik. Sebuah program atau kode yang ditulis untuk Arduino disebut "*sketch*". Sketsa Arduino ditulis dalam C atau C ++. Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) dilengkapi dengan *software library* bernama *wiring* dari *original wiring project*, yang membuat banyak operasi input/output jauh lebih mudah.

10. CST *Microwave Studio*

CST *Microwave studio* adalah *software* yang dapat digunakan untuk membuat desain dan menganalisis dari semua jenis sistem antenna. *Tools* ini sangat membantu seorang desainer antenna melakukan analisa parameter antenna, perhitungan SAR, perhitungan fasa, *directivity* atau mengkaji antenna tunggal atau *array* dalam 3D, polar dan koordinat cartesius. Fitur yang disajikan pada perangkat lunak ini memudahkan dalam analisis elektromagnetik.



Gambar 2.16 Tampilan depan software CST *Microwave Studio*

B. PENELITIAN TERKAIT

Beberapa penelitian yang terkait yang membahas metode *beam steering* antenna dan beberapa jenis model antenanya yang diusulkan antara lain sebagai berikut :

1. Penelitian oleh Ahmed Kausar, *et al*, desain antenna yang diusulkan adalah antenna *Switched Parasitic Array* (SPA) dengan struktur bahan

kawat tembaga pada bagian monopole dan beroperasi pada frekuensi 2,45 GHz. Susunan antenna terdiri dari 1 elemen pusat aktif sebagai *feed element* yang disolder dengan pin konektor SMA dan dikelilingi oleh 6 elemen parasitik. Aluminium digunakan sebagai *ground plane*. Adapun dimensi antenna panjang monopole $\lambda/4$ dan diameter *ground plane* $\lambda/2$ dengan tebal 3 mm. Perpindahan *beam* dilakukan oleh 2 set 4:1 *Analog Devices Multiplier Switch* ADG 904 yang terpasang substrate FR-4. Hasil yang didapat antenna menghasilkan gain 8 dB dan *beam* berputar 360° dalam step masing-masing 60° (Kausar, 2016).

2. Kranti Kumar Katare, *et al*, mengusulkan desain antenna *gain* tinggi dengan pola yang dapat dikonfigurasi ulang. Susunan antenna terdiri dari 1 monopole aktif di tengahnya dan dikelilingi oleh 6 elemen parasitik yang terbuat dari strip logam yang terpasang pada *ground plane* berbahan dielektrik substrate FR-4 dengan tebal 2 mm. Sedangkan bahan substrate elemen parasitiknya adalah *low loss material* Rogers RT-5880. Setiap 6 elemen parasitik terhubung dengan 6 saklar (ON/OFF) yang terpasang pada dielektrik yang berfungsi untuk mengatur arah *beam* antenna. Dimensi antenna yang diusulkan adalah ukuran *ground plane* $206 \times 206 \text{ mm}^2$, ukuran elemen $\lambda/4$, dengan frekuensi kerja 2,45 GHz yang disimulasikan menggunakan aplikasi CST Studio. Hasil yang didapat dari simulasi adalah *beam* antenna dapat berpindah setiap step 60° dan *gain* antenna hampir 8 dB setiap perpindahan sudut arahnya (Katare, 2017).

3. Roktim Konch, *et al*, mengusulkan desain antenna *Switched Parasitic Array* (SPA) yang terdiri dari 1 elemen antenna *patch* aktif berbentuk segi delapan yang dikelilingi oleh 7 *patch* persegi panjang sebagai elemen parasitiknya. 7 elemen parasitik ini terhubung melalui 7 saklar dioda PIN ke elemen aktif. Antena berbentuk patch ini bekerja pada frekuensi 5 GHz dengan ukuran 66 x 55 mm dan menggunakan *substrate* FR-4 dengan tebal 1,5 mm. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *Software tools* HFSS. Ketika dioda PIN dibias maju, saklar ON kemudian menghubungkan elemen parasitik dengan elemen *center* aktif. Dengan menghidupkan dan mematikan saklar berbeda yang terhubung ke elemen aktif, maka pola radiasi antenna dapat diubah. 3 elemen parasitik dengan arah yang sama dapat dihubungkan ke elemen aktif secara bersamaan dan menghasilkan *beam* yang lebar dan *beam null* pada arah yang berlawanannya (Konch, 2018).
4. Luca Santamaria, *et al*, melakukan desain dan simulasi antenna pola adaptif untuk *gateway* IoT yang beroperasi pada frekuensi 2,44 GHz. Antena berbentuk silinder tembaga tertutup bagian atas dan bawah, terdapat masing-masing 3 slot pada 2 tingkat dinding silinder. Antena monopole diletakkan di dasar silinder sebagai pengganti *ground plane*. *Monopole* berfungsi sebagai *exciter* slot meradiasi keluar silinder. Dimensi antenna adalah tinggi silinder 45 mm, tinggi monopole 27 mm, dan diameter silinder 72 mm, bekerja pada frekuensi 2,44 GHz. Hasil simulasi antenna ini menunjukkan perpindahan arah *beam* setiap 60°

tetapi terjadi perubahan *gain* dan HPBW pada konfigurasi arah *beam* yang berbeda (Santamaria, 2018).

5. Noshewan Shoaib, *et al*, melakukan penelitian desain antena *beam steering* yang diaplikasikan untuk WLAN yang bekerja pada frekuensi 5,25 GHz. Struktur antena terbuat dari *substrate* Rogers RT/Duroid 5880 dan Rogers RO4003 dengan tebal 1,57 mm dan 1,524 mm, berbentuk *patch* metalik pada satu sisi dan *patch* gradasi grid di sisi lainnya. Susunan gradasi grid ini menghasilkan penundaan fasa pada bidang yang diradiasikan. Pengaturan *beam* antena dilakukan dengan 8 dioda PIN menghasilkan kemiringan arah sudut *beam* -41° dan *gain* meningkat dari 5,3 dB menjadi 8,3 dB (Shoaib, 2019).

C. STATE OF THE ART

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan performansi jaringan sensor dalam aplikasi monitoring berbasis IoT dan juga perbandingan sistem antena cerdas dengan menggunakan metode *beam steering* yang digunakan untuk jaringan sensor IoT.

Tabel 2.2. *State of The Art*

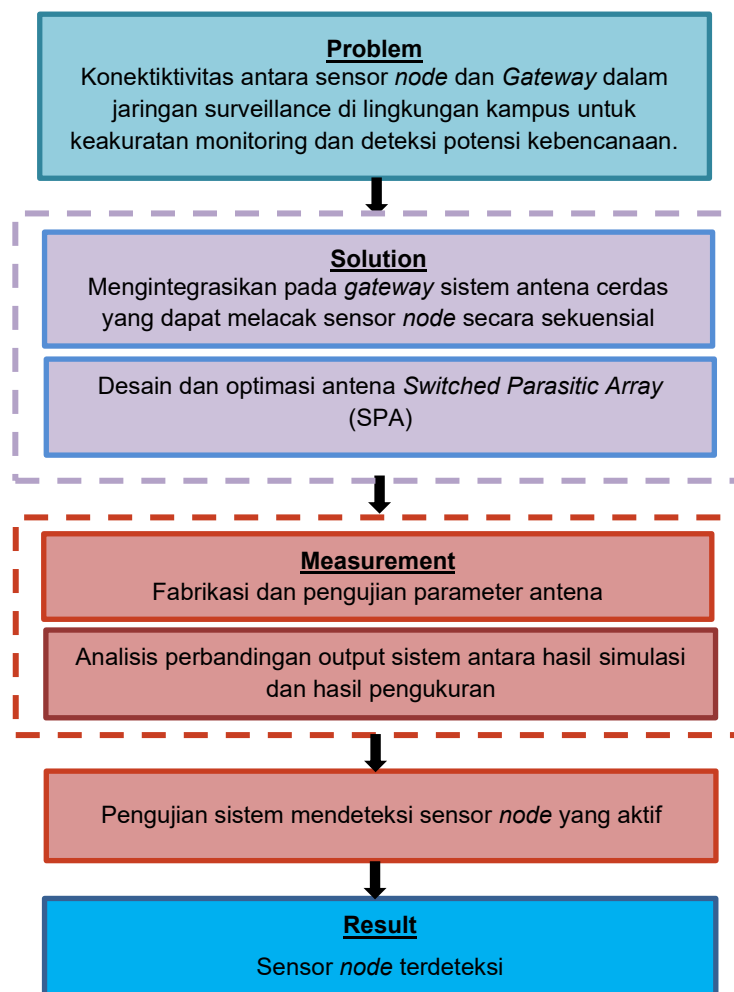
No.	Penulis	Judul / Tahun	Penerbit	Metode	Jenis Antena / Frekuensi	Hasil
1	Nyoman Putra Sastra ; Dewa Made Wiharta	<i>Environmental Monitoring As An IoT Application in Building Smart Campus of Universitas Udayana</i> 2016	2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)	Sensor Humidity DHT11, ESP8266	Frekuensi WiFi 2,4 GHz	Data dikirim sensor ke web server oleh ESP8266 melalui WiFi, dan untuk area yang tidak terjangkau WiFi komunikasi menggunakan Xbee 802.15.4
2	Shie-Yuan Wang, Yo-Ru Chen, Tzu-Yang Chen, Chia-Hung Chang, Yu-Hsiang Cheng, Chun-Chia Hsu, and Yi-Bing Lin	<i>Performance of LoRa-based IoT Applications on Campus</i> 2017	2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall)	Monitoring kualitas udara dengan Sensor PM2.5	LoRa 915 MHz, antena Gemtek	Pada indoor paket loss sekitar 60-90 % pada jarak 1,2 km, pada outdoor daya pancar 20 dBm dan jarak 1,1 km paket loss hampir 0%, paket loss sebesar 50% dengan sudut antena 0% pada jarak 1,1 km
3	Rizky Pratama Hudhajanto ; Nurul Fahmi ; Eko Prayitno ; Rosmida	<i>Real-Time Monitoring for Environmental Through Wireless Sensor Network Technology</i> 2018	2018 International Conference on Applied Engineering (ICAIE)	Sensor Temperature LM35, Humidity DHT11, Carbon dioxide (CO2) MQ3, Xbee Pro S1 802.15.4	Zigbee 802.15.4 / dengan antena standar modul Zigbee	Dari hasil pengujian komunikasi sensor dan gateway, tingkat data yang error pada jarak 90-100 m 57,8%, jarak 10-20 m error 0%.
4	Adnan ; A. Ejah Umraeni Salam ; Arham Arifin ; Muhammad Rizal	<i>Forest Fire Detection using LoRa Wireless Mesh Topology</i> 2018	The 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT) 2018	Sensor temperature LM35, Humidity DHT11	Lora shield 915 MHz	Dalam NLOS jarak yang tercover hanya mampu 500 m, menambah 4 modul LoRa untuk mengcover area yang luas
5	Ahmed Kausar ; Hani Mehrpouyan ; Mathini Sellathurai ; Rongrong Qian ; Shafaq Kausar	<i>Energy Efficient Switched Parasitic Array Antenna for 5G Networks and IoT</i> 2016	2016 Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)	4:1 Analog Device Multiplier ADG 904 RF Switch	Switched Parasitic Array (SPA) 6 elemen parasitic 1 elemen center (feed element) 2,45 GHz	Beam steering antena berputar 360° setiap step perpindahan 60°, gain antena 8 dB

No.	Penulis	Judul / Tahun	Penerbit	Metode	Jenis Antena / Frekuensi	Hasil
6	Kranti Kumar Katare ; Animesh Biswas ; Karu P. Esselle	<i>Directive Array Based Pattern Reconfigurable Antenna</i> 2017	2017 11th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP)	6 saklar ON/OFF yang terhubung ke elemen parasitic	Parasitic Array berbahan strip logam 1 elemen monopole 6 elemen parasitic 2,45 GHz	Antena dapat berpindah beam setiap step 360 ^o , gain antena ~8 dB setiap perpindahan sudut arah
7	Roktim Konch ; Angana Sarma ; Sivaranjan Goswami ; Kumaresh Sarmah	<i>Design of a Pattern Reconfigurable Switched Parasitic Array for Null Steering Application</i> 2018	2018 2nd International Conference on Electronics, Materials Engineering & Nano-Technology (IEMENTech)	7 PIN Dioda yang terhubung dengan elemen parasitic	Patch dengan substrate FR4 1 elemen driven aktif 7 patch parasitic 5 GHz	3 elemen parasitic dengan arah yang sama terhubung ke elemen aktif menghasilkan beam yang lebar, dan beam <i>null</i> di arah yg berlawanan
8	Luca Santamaria ; Fabien Ferrero ; Leonardo Lizzi	<i>Radiation Pattern Agile Antenna for Smart IoT Gateways</i> 2018	2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting	6 saklar ON/OFF	Silinder tembaga tertutup atas dan bawah, terpasang 6 slot persegi di 2 level 1 monopole terpasang di dasar silinder sebagai ground plane 2,44 GHz	Perpindahan arah setiap 60 ^o , gain dan HPBW berubah pada konfigurasi pattern yang beda
9	Nosherwan Shoaib ; Sana Ilyas ; Aimen Raza ; Tayyab Hassan	<i>Beam Steering Using Active Superstrate Antenna for WLAN Applications</i> 2019	2019 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting	8 PIN Diode	Aktif substrate berbentuk patch metalik dan patch gradasi grid metalik 5,25 GHz	Penggabungan AIS-PSR menghasilkan sudut kemiringan perpindahan -41 ^o dan gain meningkat dari 5,3 dB menjadi 8,3 dB.

D. KERANGKA PIKIR

Permasalahan yang menjadi fokus penelitian adalah konektivitas antara jaringan sensor *node* IoT dengan *gateway*, untuk meminimalisir *error packet loss* pada data yang terkirim sehingga menghasilkan keakuratan monitoring dan deteksi potensi kebencanaan. Dimana, sistem komunikasi LoRa yang diaplikasikan untuk IoT mempunyai daya pancar dan *bandwidth*

yang kecil yang mengharuskan sensitivitas tinggi pada *gateway* untuk dapat mendeteksi sensor *node*, terlebih sensor *node* ditempatkan pada lokasi yang tersebar dengan arah yang berbeda-beda. Berdasarkan beberapa penelitian terkait, salah satu solusi dalam masalah ini adalah dengan mengintegrasikan sistem antena cerdas berpenguatan tinggi pada *gateway*. Sistem antena yang diusulkan adalah antena *Switched Parasitic Array* (SPA). Antena ini terdiri dari susunan antena *circular* yang dapat mengarahkan *beam* 360° secara sekuensial berdasarkan pola perpindahan elemen parasitiknya secara elektronik.



Gambar 2.17. Kerangka Pikir