

DAFTAR ISTILAH

<i>Ultra-Wideband</i>	Suatu sistem radar yang mempunyai resolusi jangkauan yang tinggi dan penetrasi yang baik.
<i>Tapered Slot Antena</i>	Slot yang meruncing pada antena.
<i>Exponentialy Tapered Slot Antena</i>	Slot yang meruncing secara eksponensial pada antena.
<i>Vector Network Analyzer</i>	Alat ukur yang digunakan untuk mengukur parameter <i>scattering</i> dari suatu jaringan atau sistem kutub N.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kondisi tektonik Indonesia yang terletak pada pertemuan lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil membuat Indonesia dijuluki sebagai Negara Cincin Api. Lempeng Eurasia, Lempeng Indo-Australia, Lempeng Laut Filipina, dan Lempeng Pasifik merupakan empat lempeng besar yang mengelilingi Indonesia. Interaksi antara lempeng aktif di Indonesia membuat hampir seluruh wilayah Indonesia rawan akan bencana alam, salah satunya adalah gempa bumi [1]. Peristiwa gempa bumi terbesar yang tercatat oleh *National Geographic* sebagai bencana alam terburuk urutan nomor 2 sepanjang masa terjadi di Aceh pada tahun 2004 dengan nilai magnitudo mencapai 9,2 Skala Richter. Gempa bumi ini diakibatkan oleh proses penunjaman Lempeng Indo-Australia ke dalam Lempeng Eurasia. Peristiwa tersebut berdampak pada 14 negara dan menyebabkan kematian lebih dari 220.000 jiwa [1]. Sebagian besar korban jiwa diakibatkan karena tertimpa reruntuhan bangunan, sehingga sulit untuk ditemukan dan dievakuasi.

Penanganan evakuasi korban yang tertimpa reruntuhan masih menjadi permasalahan utama di Indonesia bahkan di dunia. Kurangnya teknologi untuk menemukan lokasi yang akurat dimana korban berada membuat evakuasi korban terhambat, sehingga banyak korban yang tidak terselamatkan. Hal ini membuat para ilmuwan terus berusaha untuk membuat teknologi yang dapat mendeteksi keberadaan manusia di balik dinding dengan menggunakan sistem radar.

Radar tembus dinding atau yang biasa disebut dengan *Through-Wall Radar* (TWR) merupakan salah satu pengaplikasian radar yang memancarkan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus dinding dan menerima pantulan dari objek tertentu di balik dinding [2]. Sistem TWR mempunyai kemampuan untuk mendeteksi jarak dan sudut dari objek yang dideteksi [3]. TWR digunakan untuk menghasilkan penetrasi dinding yang baik dengan bekerja pada *bandwidth* yang sangat lebar atau yang biasa disebut *Ultra-Wideband* (UWB). Sistem radar UWB

berpotensi untuk mendeteksi pergeseran kecil [4], sehingga dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan korban yang tertimpa reruntuhan dengan cara mendeteksi pernapasan yang ditunjukkan oleh pergerakan dinding dada secara kontinyu.

Pada penelitian sebelumnya [5], telah dilakukan percobaan menggunakan *Performance Network Analyzer* (PNA) dan Doppler Radar dengan antena jenis horn pada frekuensi 10 GHz. Selain itu, pada penelitian [6] telah dilakukan percobaan menggunakan SIMO Radar pada frekuensi tengah 800 MHz. Dari penelitian tersebut didapatkan hasil yang menunjukkan radar dapat mendeteksi tanda vital pernapasan di balik dinding. Namun, pada penelitian sebelumnya tidak secara spesifik membahas seberapa signifikan pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan eksperimen menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) dan BladeRF sebagai pemodelan dari sistem radar tembus dinding. Pengukuran menggunakan VNA ditujukan untuk mengetahui pengaruh-pengaruh yang disebabkan oleh dinding penghalang melalui nilai total atenuasi dan *delay* pada pendeteksian menggunakan dinding penghalang. Pengukuran menggunakan VNA tidak dapat mendeteksi pola pernapasan secara *real time*, sehingga deteksi pola pernapasan dilakukan dengan BladeRF sebagai sistem radar. Pengukuran menggunakan BladeRF ditujukan untuk mengidentifikasi bagaimana pengaruh penghalang yang sudah diketahui nilai *delay* dan total atenuasinya pada deteksi tanda vital pernapasan di balik dinding. Antena yang digunakan adalah antena mikrostrip jenis Vivaldi yang sudah dirancang pada penelitian [4] karena sudah teruji dapat mendeteksi pernapasan pada manusia. Selain itu, antena untuk sistem TWR memiliki beberapa persyaratan khusus diantaranya, memiliki pola radiasi *directional*, *gain* yang tinggi, dan *bandwidth* yang sangat lebar. Salah satu antena yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena Vivaldi [7]. Antena Vivaldi pertama kali diciptakan oleh Gipson pada tahun 1979 [8]. Antena Vivaldi merupakan salah satu jenis antena yang banyak diaplikasikan dalam sistem radar tembus dinding

karena memiliki struktur yang relatif sederhana, ringan, dimensi yang kecil, *bandwidth* yang lebar, efisiensi tinggi, dan karakteristik penguatan tinggi [4].

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada Tugas Akhir ini diantaranya:

1. Pengaruh rugi-rugi yang ditimbulkan oleh dinding penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan di balik dinding.
2. Perbandingan jarak objek dengan radar pada deteksi tanda vital pernapasan tanpa menggunakan dinding penghalang dan menggunakan dinding penghalang.

1.3 Tujuan dan Manfaat

Penelitian ini memiliki tujuan untuk menganalisis pengaruh dinding sebagai penghalang serta pengaruh jarak pada deteksi tanda vital pernapasan tanpa menggunakan penghalang dan menggunakan penghalangan menggunakan sistem radar tembus dinding.

Manfaat dari penelitian ini adalah menambah informasi mengenai pengaruh penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan sehingga membuat deteksi lebih akurat dan diharapkan dapat berkontribusi dalam membantu mengevakuasi korban yang tertimpa reruntuhan agar lebih banyak korban yang terselamatkan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penghalang yang digunakan berupa dinding yang terbuat dari bata hebel dan kayu dengan parameter yang tersedia pada penelitian sebelumnya.
2. Objek yang dideteksi pernapasannya hanya manusia dengan posisi objek berdiri dan sejajar dengan dinding menghadap radar.

3. Menggunakan rentang frekuensi 300 KHz – 8 GHz pada *Vector Network Analyzer* yang tersedia di laboratorium.
4. Menggunakan sistem radar pada GNU Radio yang sudah ada dengan frekuensi kerja 2 GHz.

1.5 Metode Penelitian

Metode dalam melakukan penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur

Hal yang dilakukan adalah mencari informasi dan pendalaman materi-materi mengenai sistem radar tembus dinding, *Ultra-Wideband*, pergerakan sistem pernapasan pada dinding dada, antena Vivaldi, dan *Vector Network Analyzer* melalui studi literatur dan referensi yang tersedia di berbagai sumber.

2. Perancangan Simulasi

Perancangan simulasi dilakukan dengan menentukan konstanta dielektrik dari dinding penghalang yang digunakan dalam proses perhitungan α dan β , menentukan parameter-parameter yang digunakan pada eksperimen menggunakan VNA seperti jumlah *points* dan mode pada data yang diambil, menentukan jarak antara radar – penghalang – objek, dan menentukan durasi untuk pengambilan sampel data pernapasan pada saat eksperimen menggunakan BladeRF.

3. Eksperimen Laboratorium

Eksperimen laboratorium dilakukan dengan pengukuran menggunakan objek berupa pelat logam pada pengukuran menggunakan *Vector Network Analyzer* dan peristiwa pernapasan pada pengukuran menggunakan BladeRF serta dinding penghalang pada kedua pengukuran.

4. Pengolahan Data

Pengolahan data eksperimen dilakukan dengan bantuan *software* MATLAB2018a untuk mengubah domain frekuensi menjadi domain waktu menggunakan IFFT serta memetakan hasil data pada grafik.

5. Analisis

Analisis dilakukan dengan membandingkan eksperimen tanpa penghalang dengan eksperimen menggunakan penghalang untuk mengetahui pengaruh dinding penghalang pada deteksi tanda vital pernapasan menggunakan sistem radar.

6. Pembuatan Laporan

Tahap akhir dari penelitian ini adalah pembuatan laporan Tugas Akhir dan sidang Tugas Akhir.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika dalam penulisan tugas akhir ini dibagi menjadi lima bab, yaitu:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat, batasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II KONSEP DASAR

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung dan berkaitan dengan Tugas Akhir ini, yang terdiri dari sembilan (9) subbab bahasan dasar teori.

BAB III MODEL SISTEM DAN PERANCANGAN

Bab ini menjelaskan alur eksperimen dan desain sistem pengukuran yang digunakan pada Tugas Akhir ini.

BAB IV HASIL DAN ANALISIS

Bab ini membahas mengenai hasil dari pengukuran dan analisis terhadap hasil tersebut.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas kesimpulan dari hasil pengukuran eksperimen yang dilakukan pada Tugas Akhir ini dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

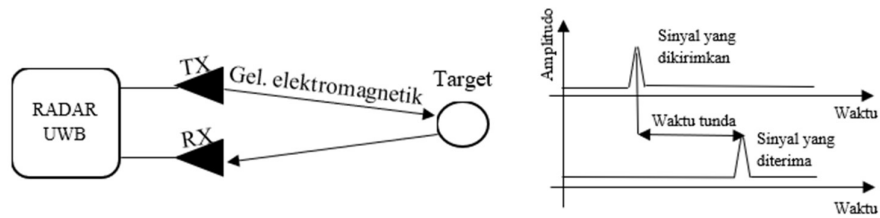
KONSEP DASAR

2.1 *Ultra-Wideband*

Radar *Ultra-Wideband* merupakan sebuah sistem yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi dan mengukur jarak suatu objek. Radar beroperasi dengan memancarkan gelombang elektromagnetik yang kemudian mengenai suatu objek dan menerima kembali gelombang pantulan dari objek yang dideteksi. Sinyal pantulan dari objek memberikan informasi mengenai kisaran atau jarak target. Jarak target dapat diketahui dari waktu yang dibutuhkan gelombang elektromagnetik mengenai target dan kembali diterima oleh radar [9]. Radar dapat mendeteksi perpindahan kecil pada tubuh seperti mendeteksi pernapasan melalui pergerakan dinding dada pada saat menghirup dan menghembuskan napas. Untuk mendeteksi perpindah kecil, radar membutuhkan resolusi yang tinggi yang mana sistem radar harus memiliki *bandwidth* yang lebar [4]. Sistem UWB telah banyak diimplementasikan diberbagai bidang medis dan militer. Pada bidang medis, radar UWB digunakan untuk mendeteksi kanker payudara dan mendeteksi tanda vital pernapasan, dan detak jantung pada manusia [10].

UWB merupakan sistem komunikasi jarak pendek dengan *bandwidth* yang sangat lebar. Komisi Internasional *Federal Communication Commision* (FCC) menetapkan bahwa penggunaan UWB harus memiliki *bandwidth* lebih dari 500 MHz atau memiliki *bandwidth* minimal 20% dari frekuensi tengah [11]. UWB memancarkan RF (*Radio Frequency*) dengan jumlah yang banyak dan radiasinya terpancar secara *wide band* melalui banyak frekuensi. Hal tersebut membuat UWB memiliki kecepatan transfer data yang sangat tinggi. Prinsip dasar cara kerja UWB ditunjukkan pada Gambar 2.1. Radar UWB akan menghasilkan sinyal pendek dalam bentuk gelombang elektromagnetik dan mengirimkannya melalui antenna TX. Ketika sinyal yang dikirimkan mengenai objek, sinyal tersebut akan dipantulkan kembali oleh objek ke antenna RX dan diterima oleh radar UWB. *Delay* atau waktu

tunda antara sinyal pengirim dan penerima merupakan jarak antara TX – Objek – RX.

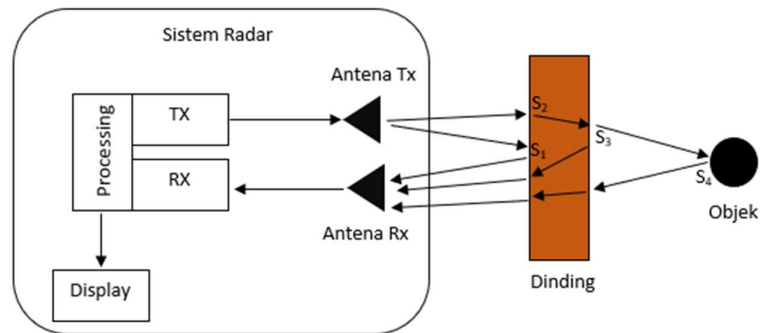


Gambar 2.1 Prinsip Dasar UWB.

UWB memiliki beberapa keunggulan diantaranya adalah dapat menembus penghalang, penetrasi dinding yang baik, tidak memerlukan kontak langsung dengan objek, daya yang rendah, *portable*, dan biaya yang rendah [12], [13].

2.2 Sistem Radar Tembus Dinding

Radar tembus dinding atau yang biasa disebut dengan *Through-Wall Radar* (TWR) merupakan salah satu pengaplikasian radar yang memancarkan gelombang elektromagnetik yang dapat menembus dinding dan menerima pantulan dari objek tertentu dibalik dinding [2]. Sistem TWR mempunyai kemampuan untuk mendeteksi jarak dan sudut dari objek yang dideteksi [3]. TWR digunakan untuk menghasilkan penetrasi dinding yang baik dengan bekerja pada *bandwidth* yang sangat lebar atau yang biasa disebut *Ultra-Wideband* (UWB).



Gambar 2.2 Sistem Kerja TWR.

Berdasarkan Gambar 2.2 sistem kerja TWR dimulai dari bagian sistem radar yang terdiri dari *Processing*, *Transmitter*, *Receiver*, *Antena* dan *Display*.

Processing digunakan untuk sebagai pengolahan dan pengaturan sinyal sebelum dikirim ke *Transmitter* dan sesudah diterima oleh *Receiver*. *Transmitter* berfungsi sebagai pengolahan sebelum dipancarkan oleh antena TX. *Receiver* berfungsi sebagai pengolah sesudah diterima oleh antena. Pada bagian Antena terdapat dua jenis antena yaitu antena penerima/Rx dan antena pengirim/Tx. *Display* berfungsi sebagai antarmuka untuk manusia sehingga bentuk sinyal dapat dilihat oleh manusia [14].

Setelah sistem radar bekerja, selanjutnya gelombang elektromagnetik atau sinyal yang dipancarkan oleh antena Tx mengenai permukaan dinding. Sinyal yang melewati dua medium mempunyai dua kemungkinan yaitu dipantulkan atau diteruskan. S_1 merupakan sinyal yang dipantulkan oleh permukaan dinding dan langsung diterima oleh antena Rx. S_2 merupakan sinyal yang mengenai permukaan dinding dan diteruskan merambat pada medium dinding. S_3 memiliki dua kemungkinan yaitu sinyal dipantulkan oleh permukaan dinding atau diteruskan melewati permukaan dinding. S_4 merupakan sinyal yang mengenai objek kemudian dipantulkan oleh objek dan diterima oleh antena Rx. Sehingga sinyal yang diterima oleh antena Rx dapat dituliskan pada persamaan (2.1).

$$Rx = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 \quad (2.1)$$

Saat gelombang elektromagnetik merambat melalui suatu medium, gelombang tersebut memiliki konstanta propagasi. Persamaan konstanta propagasi dapat dituliskan pada persamaan (2.2)

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (2.2)$$

Berdasarkan persamaan 2.2 konstanta propagasi terdiri dari nilai *real* (α) dan nilai imajiner (β). Nilai α dan β bergantung pada jenis medium yang dirambat oleh gelombang.

2.3 Perambatan Gelombang Melalui Dinding

Gelombang yang merambat pada medium dielektrik sempurna memiliki nilai $\alpha = 0$. Sehingga nilai untuk konstanta propagasinya hanya nilai β . Sedangkan

untuk gelombang yang merambat melalui medium dielektrik tidak sempurna akan memiliki nilai α . Dimana nilai α dan β dapat dituliskan pada persamaan (2.3) dan (2.4)

$$\alpha (real) = (2\pi f) \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2}} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.3)$$

$$\beta (imaginer) = (2\pi f) \sqrt{\frac{\mu \epsilon'}{2}} \left(\sqrt{1 + \left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)^2} + 1 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Dengan f adalah frekuensi gelombang yang dirambatkan. ϵ' adalah permitivitas *real* medium sedangkan ϵ'' adalah permitivitas imajiner medium. μ adalah permeabilitas medium.

Gelombang yang merambat melalui medium yang berbeda memiliki impedansi intrinsik sebagai batas dua medium. Persamaan impedansi intrinsik (η) dapat ditulis pada persamaan (2.5)

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon' - j\epsilon''}} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon'}} \frac{1}{\sqrt{1 - j\left(\frac{\epsilon''}{\epsilon'}\right)}} \quad (2.5)$$

Gelombang yang merambat melauai lintas medium memiliki dua kemungkinan, yaitu gelombang akan dipantulkan dan diteruskan. Sehingga gelombang memiliki koefisien pantul (Γ) dan koefisien transmisi (T). yang dituliskan pada persamaan (2.6) dan (2.7)

$$\Gamma = \frac{\eta_2 - \eta_1}{\eta_2 + \eta_1} \quad (2.6)$$

$$T = \frac{2\eta_2}{\eta_1 + \eta_2} \quad (2.7)$$

Dengan η_1 dan η_2 adalah medium pertama dan kedua yang dirambati gelombang.

Jenis dinding yang diuji pada eksperimen ini terdapat dua jenis dinding yang berbeda yaitu, dinding bata hebel dan kayu.

1. Dinding Bata Hebel

Dinding bata hebel merupakan jenis dinding yang banyak digunakan pada bangunan baik gedung maupun perumahan. Berdasarkan [15] dinding bata hebel memiliki konstanta dielektrik $\epsilon' = 2,85$ dan $\epsilon'' = 0,285$.

2. Dinding Kayu

Dinding kayu saat ini banyak digunakan untuk pembatas ruangan pada bangunan. Berdasarkan [15] kayu mempunyai konstanta dielektrik $\epsilon' = 1,99$ dan $\epsilon'' = 0,159$.

Akibat adanya dinding penghalang pada pendeteksian menggunakan sistem radar, maka akan ada atenuasi dan *delay* pada hasil deteksi. Atenuasi adalah melemahnya suatu sinyal yang disebabkan oleh pengaruh penghalang dan jarak yang ditempuh oleh gelombang saat perambatan menuju objek dan kembali ke radar. *Delay* adalah tunda waktu yang disebabkan oleh adanya penghalang pada saat pendeteksian sehingga menyebabkan pergeseran posisi pada puncak sinyal pantul yang diterima oleh radar. Untuk mengetahui total atenuasi, *delay*, dan pergeseran posisi dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Total Atenuasi} = 2 \times \text{tebal penghalang (m)} \times \alpha \quad (2.8)$$

$$v = \frac{2\pi f}{\beta} \quad (2.9)$$

$$\Delta t = \frac{s}{v} \quad (2.10)$$

$$\Delta S = \frac{V \times \Delta t}{2} \quad (2.11)$$

Dengan total atenuasi dalam satuan dB, v adalah cepat rambat gelombang pada medium penghalang, Δt adalah *delay* yaitu selisih waktu pada saat gelombang merambat menggunakan medium dan tanpa medium, dan ΔS adalah pergeseran posisi yang diakibatkan oleh gelombang yang merambat melalui dinding penghalang dengan V yaitu cepat rambat gelombang di udara yaitu sebesar 3×10^8 .

2.4 Antena Vivaldi

Antena merupakan sebuah alat yang berfungsi untuk mengirim dan menerima gelombang elektromagnetik. Dalam mengaplikasikan sistem radar tembus dinding, dibutuhkan antena dengan desain yang kompak dan ringan agar mudah dipindahkan [10]. Antena untuk sistem radar tembus dinding memiliki beberapa persyaratan khusus diantaranya, memiliki pola radiasi *directional*, *gain* yang tinggi, dan *bandwidth* yang sangat lebar. Salah satu antena yang memenuhi persyaratan tersebut adalah antena Vivaldi [7]. Antena Vivaldi pertama kali diciptakan oleh Gipson pada tahun 1979 [8]. Berdasarkan [4], antena Vivaldi merupakan antena khusus dari *Tapered Slot Antenna* (TSA) dalam bentuk eksponensial atau biasa dikenal dengan istilah *Exponentially Tapered Slot Antenna* (ETSA). *Bandwidth* yang sempit pada antena mikrostrip dapat diatasi dengan menggunakan antena mikrostrip Vivaldi yang memiliki *bandwidth* yang lebar [16]. Mekanisme utama pada antena Vivaldi adalah gelombang elektromagnetik yang merambat pada ujung kelengkungan eksponensial lengan Vivaldi, sehingga antena dapat beroperasi pada rentang frekuensi yang luas [16], [17].

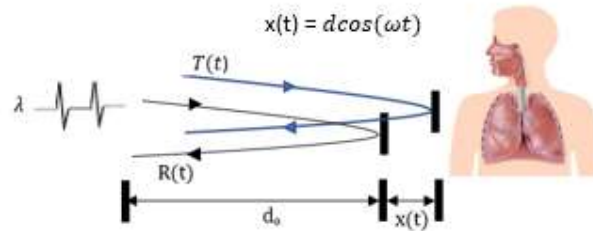


Gambar 2.3 Antena Vivaldi.

2.5 Pergerakan Dinding Dada Pada Sistem Pernapasan

Sistem pernapasan merupakan salah satu tanda vital pada manusia. Pernapasan manusia pada umumnya merupakan gerakan periodik yang dapat dilihat dari pergerakan dinding dada atau perut. Pada saat menghirup udara, dinding dada akan maju. Hal ini disebabkan karena udara memasuki paru-paru sehingga volume paru-paru bertambah. Sedangkan pada saat menghembuskan udara, dinding paru-paru akan kembali mundur karena volume paru-paru berkurang sehingga udara

keluar. Hubungan antara pernapasan dan gerakan dinding dada dapat diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Pergerakan Dinding Dada Secara Periodik.

Dengan $T(t)$ merupakan gelombang yang dikirim dari antena pengirim, $R(t)$ sinyal yang dipantulkan oleh objek dan $d_0 + x(t)$ adalah jarak manusia dengan radar. Jika pergerakan dinding dada dimodelkan dalam fungsi yang memvariasikan waktu $x(t)$, maka jarak rambat gelombang sebagai waktu yang bervariasi juga [18]. Pergerakan kecil pada aktivitas pernapasan ini merupakan salah satu karakteristik yang dapat membedakan manusia dengan benda mati pada saat dideteksi menggunakan sistem radar. Pergerakan dinding dada dan perambatan gelombang dibuat dalam domain waktu sehingga dapat dianalisis perubahannya dengan melihat amplitudo saat menghirup dan menghembuskan udara.

Sinyal yang dikirimkan oleh antena Tx dapat dilihat pada persamaan (2.12)

$$T(t) = A_T \cos(2\pi f t) \quad (2.12)$$

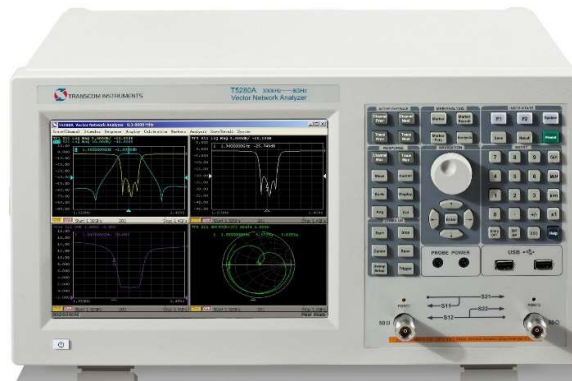
Dengan A_T dan f merupakan amplitudo dan frekuensi sinyal yang dikirimkan antena Tx. Sinyal yang diterima dari pantulan dinding dada akan berupa sinyal sinusoidal dan dapat dilihat pada persamaan (2.13)

$$R(t) = A_R \cos\left(2\pi f t + \frac{4\pi}{\lambda} d\right) \quad (2.13)$$

Dimana d adalah jarak antara radar dengan objek dan λ adalah panjang gelombang yang ditransmisikan. Gelombang yang diterima oleh antena Rx akan berupa gelombang sinusoidal dalam domain waktu. Gelombang sinusoidal ini berasal dari pantulan saat dinding dada bergerak karena aktivitas pernapasan.

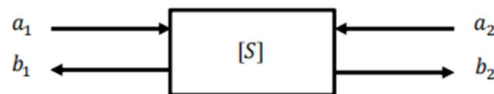
2.6 Vector Network Analyzer

Vector Network Analyzer (VNA) merupakan alat ukur yang digunakan pada dunia telekomunikasi untuk mengukur parameter *scattering* dari suatu sistem. Parameter yang dapat diukur VNA adalah parameter medan jauh yang terdiri dari *gain*, *directivitas*, polarisasi, dan polaradiasi antena dan medan dekat yang terdiri dari *return loss*, VSWR, impedansi, dan *bandwidth* antena [19].



Gambar 2.5 *Vector Network Analyzer.*

VNA memiliki banyak pengaturan untuk membantu pengukuran komponen telekomunikasi khususnya pada eksperimen seperti tambahan daya dan jumlah point yang berfungsi untuk memperjelas nilai pada data informasi [20].



Gambar 2.6 *Two Port Network.*

Pada Gambar 2.5 S-parameter menggambarkan hubungan *input-output* antar port suatu sistem. Pada VNA, S_{12} mewakili daya yang ditransfer dari port 2 ke port 1, dengan koefisien transmisi *reverse* yang dituliskan pada persamaan (2.14)

$$S_{12} = \left. \frac{b_1}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.14)$$

Sedangkan S_{21} mewakili daya yang ditransfer dari port 1 ke port 2, dengan koefisien transmisi *forward* yang dituliskan pada persamaan (2.15)

$$S_{21} = \left. \frac{b_2}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.15)$$

Kemudian pada parameter S_{11} menggambarkan sinyal refleksi pada port 1 hasil refleksi dari sinyal yang terjadi pada port 1, dengan koefisien refleksi yang dituliskan pada persamaan (2.16)

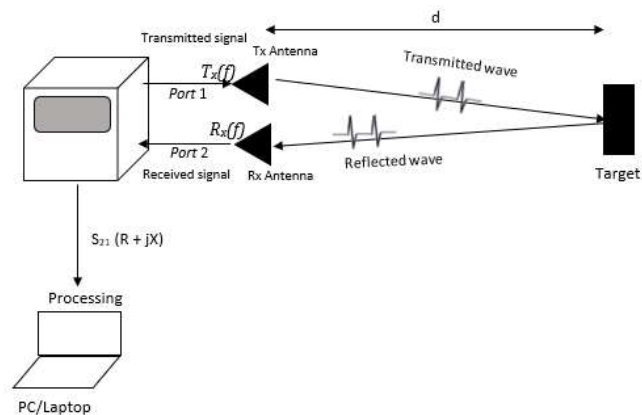
$$S_{11} = \left. \frac{b_1}{a_1} \right|_{a_2=0} \quad (2.16)$$

Sedangkan parameter S_{22} menggambarkan bahwa sinyal refleksi pada port 2 hasil dari sinyal yang terjadi pada port 2 [21], dengan koefisien refleksi yang dituliskan pada persamaan (2.17).

$$S_{22} = \left. \frac{b_2}{a_2} \right|_{a_1=0} \quad (2.17)$$

2.7 Pemodelan Sistem Radar Pada *Vector Network Analyzer*

Pemodelan sistem radar menggunakan *Vector Network Analyzer* (VNA) yang mempunyai 2 port sebagai *transmitter* dan *receiver*.



Gambar 2.7 Pemodelan Sistem Radar pada VNA.

Gambar 2.7 merupakan gambar sistem radar menggunakan VNA. Port 1 pada VNA sebagai pemancar (Tx) dan port 2 sebagai penerima (Rx). Hasil pengukuran S_{21} menunjukkan fungsi transfer yang menggambarkan hubungan antara sinyal yang ditransmisikan dan sinyal yang diterima. Data yang diambil pada