



Modul Crosstalk Untuk Mata Kuliah Praktikum EMC Dengan 3 Variasi Antar Track Source-Victim

Noptin Harpawi¹, M Yanuar Hariyawan² dan M Susantok³

¹Politeknik Caltex Riau, D4 Teknik Elektronika, email: noptin@pcr.ac.id

²Politeknik Caltex Riau, D4 Teknik Elektronika, email: yanuar@pcr.ac.id

³Politeknik Caltex Riau, D4 Teknik Elektronika, email: santok@pcr.ac.id

Abstrak

Ketika suatu track membawa sinyal informasi dengan frekuensi tinggi yang selanjutnya disebut dengan track EMI source, maka sinyal di track tersebut akan mempengaruhi sinyal di track lain yang disebut dengan fenomena crosstalk. Akibat dari peristiwa ini adalah rusaknya sinyal pada track lain tersebut. Sehingga load pada track itu akan menerima bentuk sinyal yang berbeda dari bentuk sinyal yang semestinya. Program Studi D4 Teknik Elektronika Politeknik Caltex Riau telah memiliki satu modul crosstalk untuk mata kuliah praktikum EMC. Namun modul ini hanya dapat menunjukkan fenomena crosstalk tanpa ada fitur dalam merubah beberapa parameter yang dapat mempengaruhi tinggi rendahnya efek crosstalk. Untuk melihat fenomena ini maka dibuatlah suatu modul yang terdiri dari berbagai konfigurasi antara track emi source dengan track victim. Konfigurasi ini dibedakan berdasarkan jarak antar track emi source dengan track victim, lebar track keduanya, dan panjang papasan paralel antar kedua track. Berdasarkan skenario pengujian yang telah direncanakan, maka hasil dari penelitian ini didapatkan nilai emisi tertinggi pada victim terjadi saat jarak antar track 1 mm, lebar track 10 mm, dan panjang papasan antar track adalah 95 mm. Saat track source diberikan sinyal persegi dengan amplitudo 2.84 V, frekuensi 2.5 MHz, maka diperoleh emisi di track victim dengan nilai tegangan sebesar 156 mV (Near End) dan tegangan sebesar 146 mV (Far End).

Kata kunci: Crosstalk, EMC, Victim

Abstract

When a track carries a high frequency signal (EMI source track), then the signal on that track will affect signals on other tracks, which is called the crosstalk phenomenon. The result of this phenomenon is the damage to the signal on the victim track. So that the load on the victim track will receive a different signal form compared to the signal form from the source. D4 Electronics Engineering at Polytechnic Caltex Riau already has one crosstalk module for EMC course. However, this module can only show the crosstalk phenomenon without any features in changing some parameters which can affect the high or low crosstalk effect. To see this phenomenon, a module is made which consists of various configurations between the emi source track and the victim track. This configuration is distinguished by the distance between the emi source track and the victim tract, the width of the two tracks, and the length of the parallel path between the two

tracks. Based on the test scenario that has been planned, the results of this study show that the highest emission value on the victim occurs when the distance between the tracks is 1 mm, the track width is 10 mm, and the length of the parallel path between the tracks is 95 mm. When the source track is given a square signal with an amplitude of 2.84 V, a frequency of 2.5 MHz, emission is obtained on the victim track is 156 mV (Near End) and 146 mV (Far End).

Keywords: Crosstalk, EMC, Victim

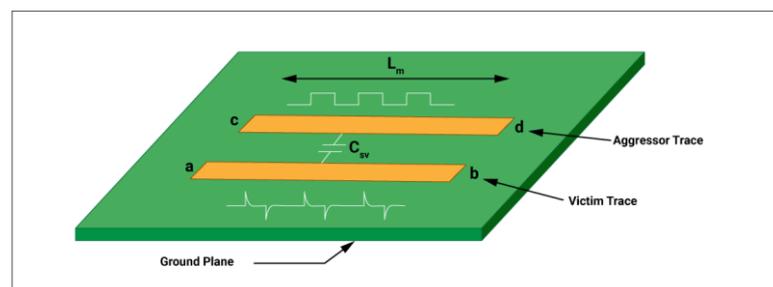
1. Pendahuluan

Merupakan suatu keharusan bahwa untuk mendapatkan ukuran perangkat elektronik yang kecil, sudah barang tentu disertai PCB yang kecil pula. Sebagai konsekuensinya jalur tembaga (*Track*) pada papan PCB tersebut menjadi harus berdampingan dengan jarak yang sangat dekat [1]. Keadaan ini akan menimbulkan suatu fenomena yang disebut *crosstalk*. *Crosstalk* adalah suatu keadaan dimana sinyal yang merambat pada suatu *track* menginduksikan sinyal ke *track* yang berada di sebelahnya. Induksi ini dapat bersifat kapasitif (Medan Listrik) dan/atau bersifat induktif (Medan Magnet) [2]. Efek dari *crosstalk* adalah menurunnya integritas sinyal. Hal ini dapat dilihat dari tingginya *Bit Error Rate (BER)* di sisi penerima pada jalur *victim* [3]. Efek lain yang ditimbulkan adalah terjadinya *delay* di *victim*, *overshooting* atau *undershooting*, dan meningkatnya *noise margin* di sisi penerima pada *track* vicim [4].

Pada mata kuliah praktikum EMC di Politeknik Caltex Riau sudah terdapat suatu modul untuk melihat fenomena *crosstalk* ini. Hanya saja pada modul yang ada saat ini, pengujian parameter penyebab terjadinya *crosstalk* masih terbatas [5]. Hal ini mengakibatkan terbatasnya pula teknik-teknik yang dapat didemokan kepada mahasiswa untuk mitigasi *crosstalk*. Pada penelitian yang diusulkan ini, akan dibuat suatu modul yang pada modul itu dapat dilakukan pengambilan data terhadap tiga parameter. Pertama adalah variasi jarak antara *track* penyebab *crosstalk* (*track emi source*) dengan *track victim*. Kedua, akan dibuat lebar *track emi source* dan *track victim* yang bervariasi. Ketiga adalah akan dibuat variasi panjang papasan paralel antara kedua *track* tersebut. Dengan bertambahnya parameter-parameter *crosstalk* yang dapat diamati oleh mahasiswa, diharapkan dapat berkembang pula ide mahasiswa dalam hal mitigasi *crosstalk*.

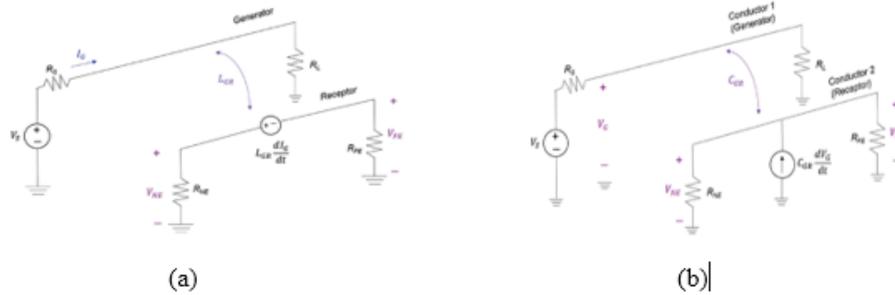
2. Tinjauan Pustaka

Pada penelitian sebelumnya yang dirujuk, merupakan suatu keharusan bahwa untuk mendapatkan ukuran perangkat elektronik yang kecil, sudah barang tentu disertai PCB yang kecil pula. Sebagai konsekuensinya jalur tembaga (*Track*) pada papan PCB tersebut menjadi harus berdampingan dengan jarak yang sangat dekat [1]. Keadaan ini akan menimbulkan suatu fenomena yang disebut *crosstalk*. *Crosstalk* adalah suatu keadaan dimana sinyal yang merambat pada suatu *track* menginduksikan sinyal ke *track* yang berada di sebelahnya. Induksi ini dapat bersifat kapasitif (Medan Listrik) dan/atau bersifat induktif (Medan Magnet) [2].



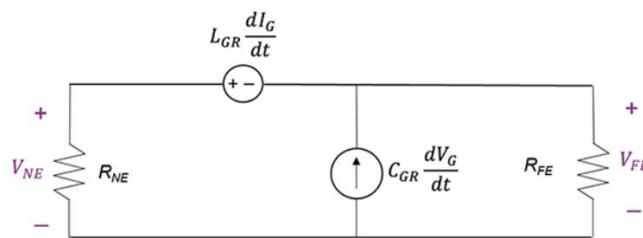
Gambar 1. Crosstalk pada PCB [6]

Crosstalk merupakan suatu gangguan yang disebabkan kopling energi elektromagnetik dari *track* sumber (*track emi source*) ke *track* di sampingnya (*track victim*). Kopling medan magnet akan mengakibatkan *mutual inductance* dan kopling medan listrik akan mengakibatkan *mutual capacitance*. *Mutual inductance* akan mengakibatkan timbulnya sumber tegangan *noise* di *track victim*. Sedangkan *mutual capacitance* akan mengakibatkan timbulnya sumber arus *noise* di *track victim*.



Gambar 2. Mutual inductance (a), mutual capacitance (b) [7]

Jika kedua gambar di atas dibuat suatu rangkaian ekuivalen, maka akan menjadi seperti berikut:



Gambar 3. Superposisi mutual inductance dan mutual capacitance

Dari gambar di atas diperoleh tegangan *near end* dan *far end* pada *track victim* sebagai berikut:

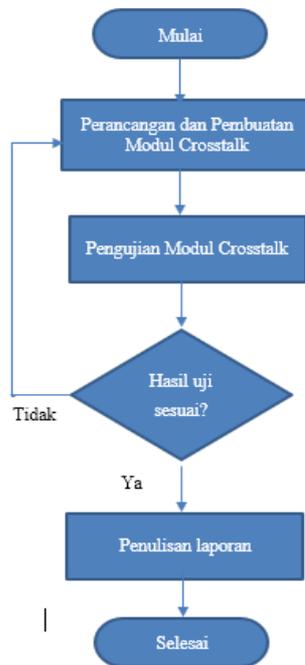
$$V_{NE}(t) = \left[\underbrace{\frac{R_{NE}}{R_{NE} + R_{FE}} L_{GR} \frac{1}{R_S + R_L}}_{\text{Inductive Coupling}} + \underbrace{\frac{R_{NE} R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} C_{GR} \frac{R_L}{R_S + R_L}}_{\text{Capacitive Coupling}} \right] \frac{dV_S(t)}{dt} \tag{1}$$

$$V_{FE}(t) = \left[\underbrace{-\frac{R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} L_{GR} \frac{1}{R_S + R_L}}_{\text{Inductive Coupling}} + \underbrace{\frac{R_{NE} R_{FE}}{R_{NE} + R_{FE}} C_{GR} \frac{R_L}{R_S + R_L}}_{\text{Capacitive Coupling}} \right] \frac{dV_S(t)}{dt} \tag{2}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa untuk mengurangi *crosstalk* dilakukan dengan mengurangi variasi tegangan *track emi source*, mengurangi *mutual inductance*, dan mengurangi *mutual capacitance*.

3. Perancangan Sistem

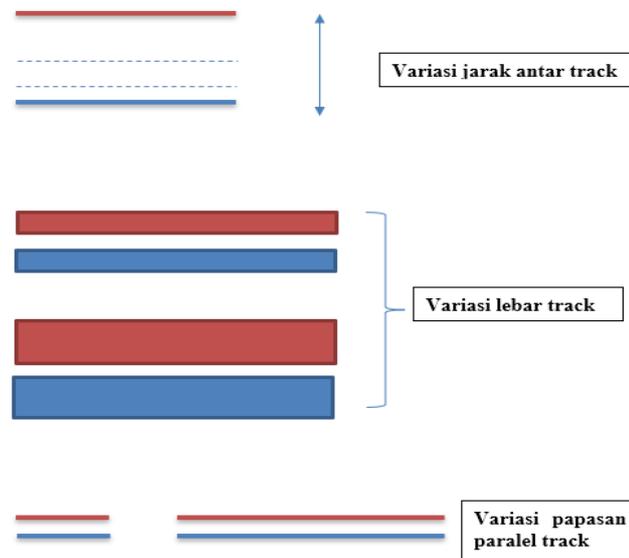
Diagram alir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alir Penelitian

Modul yang akan direalisasikan adalah terdiri dari *track emi source* dan *track victim* yang berdampingan dengan variasi jarak berdampingan, variasi lebar kedua *track*, dan variasi panjang papasan paralel kedua *track*. Pada saat ini modul untuk pengujian *crosstalk* sederhana sudah ada di laboratorium Prodi Teknik Elektronika Telekomunikasi. Pada modul ini jarak antar *track*, lebar

track yang berdampingan, dan panjang papasan paralel antar *track* berdampingan tidak bisa dibuat bervariasi.



Gambar 5. Tiga variasi *track emi-victim* pada modul

4. Pengujian dan Hasil

Pengujian terbagi menjadi tiga kategori, yaitu pengujian terhadap variasi jarak antar *track*, variasi lebar *track*, dan variasi panjang papasan paralel antar *track*. Skenario pengujian seperti terlihat pada Gambar 5.

Pada pengujian variasi jarak antar *track* akan dibuat tiga kombinasi jarak yaitu jarak 2 mm, 4mm, dan 6 mm. Dari setiap variasi itu akan dilihat amplitudo sinyal yang terbangkit pada *track victim* ketika *track emi source* dilewati sinyal dengan frekuensi dan amplitudo tertentu. Fenomena yang ingin diketahui pada pengujian ini adalah efek dari kopling kapasitansi.

Pada pengujian variasi lebar *track* akan dibuat juga tiga kombinasi lebar *track* yang berdampingan yaitu 2 mm, 3 mm, dan 4 mm. Dari setiap variasi itu akan dilihat amplitudo sinyal yang terbangkit pada *track victim* ketika *track emi source* dilewati sinyal dengan frekuensi dan amplitudo tertentu. Fenomena yang ingin diketahui pada pengujian jenis ini adalah pengaruh lebar *track* yang menyebarkan/menangkap induksi elektromagnetik.

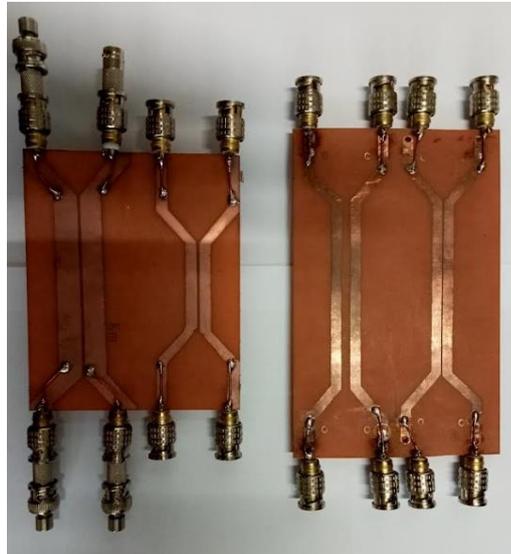
Pada pengujian variasi panjang papasan paralel antar *track* akan dibuat juga tiga kombinasi panjang papasan paralel yaitu jarak 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Dari setiap variasi itu akan dilihat amplitudo sinyal yang terbangkit pada *track victim* ketika *track emi source* dilewati sinyal dengan frekuensi dan amplitudo tertentu. Fenomena yang ingin diketahui pada pengujian ini adalah efek dari kopling Induktansi.

4.1 Hasil Pembuatan Modul

Modul *crosstalk* yang telah dihasilkan mengakomodir 6 skenario pengujian. Enam skenario itu dapat dipraktikkan melalui empat pasang *track source-track victim* pada modul. Enam skenario itu adalah:

- Pengujian pengaruh jarak antar *track* source dan *victim* (2 skenario)
- Pengaruh lebar *track* source dan *victim* (2 skenario)
- Pengaruh panjang papasan *track* source-*victim* (2 skenario)

Bentuk modul yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar berikut.



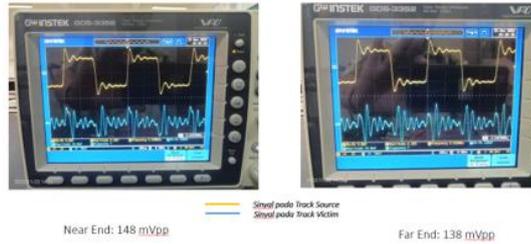
Gambar 6. Modul *Crosstalk*

4.2 Pengujian Modul *Crosstalk*

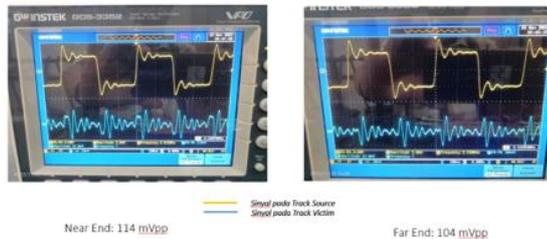
Pengujian *crosstalk* dilakukan melalui enam skenario. Enam skenario itu akan menghasilkan data yang menunjukkan bahwa *crosstalk* dipengaruhi oleh jarak *track* source-*victim*, lebar *track* source-*victim*, dan panjang papasan *track* source-*victim*.

Dua skenario pertama adalah melihat pengaruh jarak antar *track* source-*victim*. Pengujian dilakukan dengan melewati sinyal persegi frekuensi 2.5 MHz bertegangan 2.84 V pada *track* source. Kemudian diamati tegangan emisi pada *track* *victim* baik di sisi *near end* (dekat dengan sumber sinyal *track* source) maupun pada sisi *far end* (dekat dengan beban). Beban yang diterapkan pada skenario ini adalah dummy load BNC 50 Ohm. Ada dua variasi jarak yang diamati yaitu jarak 1 mm dan jarak 4 mm. Sementara untuk lebar *track* dibuat tetap yaitu 5 mm dan panjang papasan *track* juga tetap yaitu 95 mm. Berikut adalah hasil pengujian dua skenario pertama tersebut:

Jarak track 1 mm, Lebar 5 mm, Panjang 95 mm



Jarak track 4 mm, Lebar 5 mm, Panjang 95 mm



Gambar 7. Hasil pengujian pengaruh jarak

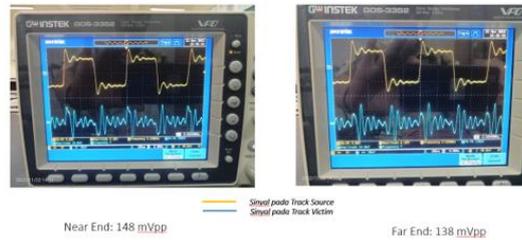
Dari hasil pengujian terlihat bahwa jarak *track source-victim* 1 mm menghasilkan tegangan emisi yang lebih tinggi di sisi *victim*. Selisihnya mencapai 34 mVp-p baik di sisi *near end* maupun *far end*. Hal ini sesuai dengan persamaan tegangan di *victim* (1) dan (2). Dari persamaan (1) dan (2) itu terlihat bahwa tegangan di sisi *victim* dipengaruhi oleh Kapasitansi. Jika ditinjau dari rumus kapasitansi dimana:

$$C = \epsilon \frac{A}{d} \quad (3)$$

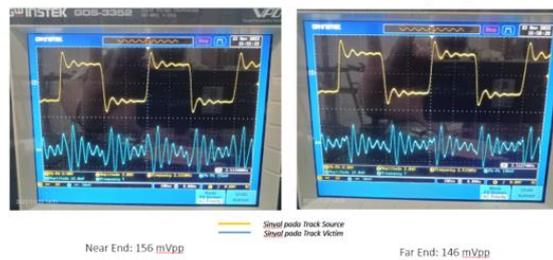
Maka terlihat bahwa semakin kecil jarak (d) antar *track* maka nilai kapasitansi akan semakin tinggi. Jika kapasitansi semakin tinggi maka tegangan di sisi *victim* juga semakin tinggi. Di sisi lain terlihat bahwa tegangan pada sisi *Near End victim* lebih tinggi dari sisi *Far End*. Hal ini disebabkan nilai tegangan dari *track source* yang mengalami atenuasi ketika merambat menuju *far end*.

Dua skenario kedua adalah melihat pengaruh lebar *track source-victim*. Pengujian dilakukan dengan melewati sinyal persegi frekuensi 2.5 MHz bertegangan 2.84 V pada *track source*. Kemudian diamati tegangan emisi pada *track victim* baik di sisi *near end* (dekat dengan sumber sinyal *track source*) maupun pada sisi *far end* (dekat dengan beban). Beban yang diterapkan pada skenario ini adalah *dummy load BNC 50 Ohm*. Ada dua variasi lebar *track* yang diamati yaitu lebar *track* 5 mm dan lebar *track* 10 mm. Sementara untuk jarak antar *track* dibuat tetap yaitu 1 mm dan panjang papasan *track* juga tetap yaitu 95 mm. Berikut adalah hasil pengujian dua skenario kedua tersebut:

Jarak track 1 mm, Lebar 5 mm, Panjang 95 mm



Jarak track 1 mm, Lebar 10 mm, Panjang 95 mm



Gambar 8. Hasil pengujian pengaruh lebar track

Dari hasil pengujian terlihat bahwa lebar *track source-victim* 10 mm menghasilkan tegangan emisi yang lebih tinggi di sisi *victim*. Selisihnya mencapai 8 mVp-p baik di sisi *near end* maupun *far end*. Hal ini disebabkan semakin besar lebar *track* maka nilai tangkapan induksi elektromagnetik semakin di *victim* semakin tinggi. Berdasarkan persamaan tegangan di *victim* (1) dan (2) bahwa salah satu parameter yang mempengaruhi nilai tegangan adalah induktansi (L_{GR}). Sementara persamaan induktansi adalah:

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (4)$$

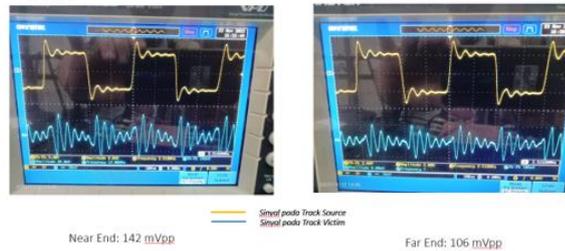
Maka terlihat bahwa nilai L akan semakin tinggi jika luasan area (A) yang terkena induksi semakin luas. Jika induktansi semakin tinggi maka tegangan di sisi *victim* juga semakin tinggi.

Dua skenario ketiga adalah melihat pengaruh panjang papasan *track source-victim*. Pengujian dilakukan dengan melewati sinyal persegi frekuensi 2.5 MHz bertegangan 2.84 V pada *track source*. Kemudian diamati tegangan emisi pada *track victim* baik di sisi *near end* (dekat dengan sumber sinyal *track source*) maupun pada sisi *far end* (dekat dengan beban). Beban yang diterapkan pada skenario ini adalah *dummy load BNC 50 Ohm*. Ada dua variasi panjang papasan *track* yang diamati yaitu panjang papasan *track* 95 mm dan panjang papasan *track* 47.5 mm. Sementara untuk jarak antar *track* dibuat tetap yaitu 1 mm dan lebar *track* juga tetap yaitu 5 mm. Berikut adalah hasil pengujian dua skenario ketiga tersebut:

Jarak track 1 mm, Lebar 5 mm, Panjang 95 mm



Jarak track 1 mm, Lebar 5 mm, Panjang 47,5 mm



Gambar 9. Hasil pengujian pengaruh panjang papasan track

Dari hasil pengujian terlihat bahwa panjang papasan *track source-victim* 95 mm menghasilkan tegangan emisi yang lebih tinggi di sisi *victim*. Selisihnya mencapai 6 mVp-p di sisi *near end* dan 32 mVp-p di sisi *far end*. Hal ini disebabkan semakin panjang papasan *track* maka nilai induktansi dan kapasitansi semakin tinggi. Berdasarkan persamaan tegangan di *victim* (1) dan (2) bahwa salah satu parameter yang mempengaruhi nilai tegangan adalah induktansi (L_{GR}) dan kapasitansi (C_{GR}). Persamaan induktansi yang digunakan pada kasus ini adalah:

$$L = 2l \left(\ln \left(\frac{l}{t+w} \right) + \frac{1}{2} \right) nH \quad (5)$$

Maka terlihat bahwa nilai L akan semakin tinggi jika panjang *track* (l) yang berpapasan semakin panjang. Sementara persamaan kapasitansi yang digunakan sama seperti persamaan kapasitansi sebelumnya.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada modul *crosstalk* yang telah dibuat, maka dapat ditarik kesimpulan:

- a. Modul yang dihasilkan dapat menunjukkan 3 cara untuk mitigasi *crosstalk*. Ini lebih unggul dari modul existing yang hanya bisa menunjukkan fenomena *crosstalk* tanpa bisa menunjukkan cara mitigasi.
- b. Pada kondisi jarak antara *track source* dan *track victim* sebesar 1 mm, maka Tegangan emisi di sisi *victim* lebih tinggi dari jarak 4 mm.
- c. Pada kondisi lebar *track victim* sebesar 5 mm, maka tegangan emisi di sisi *victim* lebih tinggi dari lebar 10 mm.
- d. Pada kondisi panjang papasan paralel *track source-victim* sebesar 47.5 mm, maka tegangan emisi di sisi *victim* lebih tinggi dari panjang papasan 95 mm.
- e. Tegangan emisi *near end* selalu lebih besar dari *far end* untuk semua skenario.

Daftar Pustaka

- [1] D. Norte, "Researchgate," 2015. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/284284690_Fundamentals_Of_Electrical_Crosstalk_On_Printed_Circuit_Boards. [Accessed 2022].
- [2] B. A. a. J. Teune, "InCompliance," 2017. [Online]. Available: <https://incompliancemag.com/article/crosstalk-reduction-between-pcb-traces/>. [Accessed April 2022].
- [3] A. B. M. A. K. A. G. Yury Kuznetsov, "Cyclostationary Crosstalk Cancellation in High-Speed Transmission Lines," *MDPI*, vol. 11, no. 17, 2021.
- [4] R. A. M. R. e. al, "Mitigation techniques for crosstalk in ICs," in *The Electronic Packaging Interconnect Technology Symposium 2019*, 2019.
- [5] A. Electronics, *EMI EMC Training System*, New Delhi: Amitec Electronics.
- [6] T. S. C. Team, July 2021. [Online]. Available: <https://www.protoexpress.com/blog/crosstalk-high-speed-pcb-design/>. [Accessed April 2022].
- [7] H. W. Ott, in *Electromagnetic Compatibility*, Canada, John Wiley & Sons, Inc, 2009.