

DOKUMEN CD-1



**SISTEM PERINGATAN DINI GEMPA BUMI PADA
BANGUNAN**

Oleh :

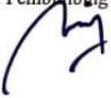
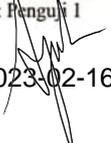
**Rio Junior/1102194083
I Gede Krisna Pradnya Wenanda/1102194112
Novaldi Putra/1102174073**

**PRODI S1 TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK ELEKTRO
UNIVERSITAS TELKOM
BANDUNG
2023**

Dokumentasi Produk Capstone Design

Lembar Pengesahan Dokumen

Judul Capstone Design : SISTEM PERINGATAN DINI GEMPA BUMI PADA BANGUNAN
 Jenis Dokumen : Usulan Gagasan dan Pemilihan Topik
 Nomor Dokumen : FTE-CD-1
 Nomor Revisi : 6
 Tanggal Pengesahan : 16 Februari 2023
 Fakultas : Fakultas Teknik Elektro
 Program Studi : S1 Teknik Elektro
 Jumlah Halaman : 19

Data Pemeriksaan dan Persetujuan			
Ditulis Oleh	Nama : Rio Junior NIM : 1102194083	Jabatan : Mahasiswa Tanda Tangan	
	Nama : I Gede Krisna Pradnya Wenanda NIM : 1102194112	Jabatan : Mahasiswa Tanda Tangan	
	Nama : Novaldi Putra NIM : 1102174073	Jabatan : Mahasiswa Tanda Tangan	
Diperiksa Oleh	Nama : Dr. Muhammad Ary Murti, S.T., M.T. Tanggal : 16 Februari 2023	Jabatan : Pembimbing 1 Tanda Tangan	
	Nama : Dien Rahmawati, S.Si., M.T. Tanggal : 16 Februari 2023	Jabatan : Pembimbing 2 Tanda Tangan	
Disetujui Oleh	Nama : Dr. Eng. Willy Anugrah Cahyadi, S.T., M.T. Tanggal : 16 Februari 2023	Jabatan : Penguji 1 Tanda Tangan	 2023-02-16
	Nama : Novi Prihatiningrum, S.T., M.T. Tanggal : 16 Februari 2023	Jabatan : Penguji 2 Tanda Tangan	

Timeline Revisi Dokumen

Versi, Tanggal	Revisi	Perbaikan yang dilakukan	Halaman Revisi
8 September 2022	Latar belakang diperjelas akar masalah	Ditambahkan akar utama dari permasalahan	2,3
	Analisis Manufakturabilitas harusnya terkait fabrikasi sistem	Mengubah kalimat menjadi terkhusus pada fabrikasi sistem	4,5
	Tujuan disesuaikan dengan akar permasalahan	Ditambahkan tujuan yang menyelesaikan akar permasalahan	5
16 September 2022	Latar belakang terkait komunikasi belum ada	Ditambahkan permasalahan terkait komunikasi	2,3
	Kebutuhan yang harus dipenuhi disesuaikan dengan permasalahan pada latar belakang	Menambahkan permasalahan yang belum disebutkan untuk memenuhi kebutuhan Menambahkan kebutuhan yang belum disebutkan sesuai dengan permasalahan	2,3,6
	Skenario penggunaan ditujukan untuk pengguna	Memberikan <i>list</i> skenario penggunaan untuk pengguna	7
29 September 2022	Latar belakang terkait permasalahan yang ada pada BMKG belum ada	Menambahkan informasi permasalahan yang ada pada BMKG	2,3,4
	Dibandingkan dengan produk dari UI	Menambahkan informasi terkait produk dari UI pada latar belakang	4
	Membuat tabel terkait perbandingan produk pada informasi pendukung	Membuat tabel perbandingan antara produk UI dan BMKG	5
	Tambahkan getaran lain apa yang bisa diklasifikasikan sebagai gempa	Menambahkan informasi terkait jenis getaran apa saja yang dapat diklasifikasikan sebagai gempa	3,4
	Diberikan penjelasan lebih detail terkait instalasi di lingkungan masyarakat	Diberikan detail kejelasan letak instalasi sistem	4
23 Desember 2022	Menambahkan kebutuhan yang harus dipenuhi sesuai dengan template terbaru	Diberikan beberapa poin penting untuk memastikan kebutuhan yang dituliskan merupakan kebutuhan yang diinginkan konsumen dan diurutkan sesuai dengan prioritas	10, 11

26 Januari 2023	Format penulisan, caption tabel disesuaikan	Menyesuaikan format penulisan kalimat dan format penulisan caption pada tabel dan gambar.	3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12
06 Februari 2023	Diperjelas sistem dapat beroperasi 24 jam ketika apa	Sudah ditambahkan kondisi dapat beroperasi ketika pemadaman listrik pada bangunan	12
	Lebih dijelaskan secara spesifik gelombang gempa apa yang dideteksi lebih dulu	Memberikan penjelasan tambahan bahwa gelombang P sebagai karakteristik awal munculnya gempa yang dideteksi lebih awal	12
	Tambahkan gambar lempeng-lempeng tektonik yang ada di Indonesia pada latar belakang	Memberikan gambar lempeng tektonik Indonesia pada latar belakang	4
	Tambahkan pada informasi pendukung perbandingan dengan produk Earthquake Early Warnings (EEWs) Jepang	Sudah menambahkan keunggulan produk EEWs Jepang untuk dibandingkan dengan produk yang sudah ada di Indonesia	10

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	iv
1. Pengantar.....	1
1.1 Ringkasan Isi Dokumen	1
1.2 Tujuan Penulisan Dokumen	1
1.3 Referensi	1
1.4 Daftar Singkatan.....	3
2. Masalah.....	4
2.1. Latar Belakang Masalah	4
2.2. Informasi pendukung	6
2.3. Constraint	10
2.4. Kebutuhan yang harus dipenuhi.....	11
2.5. Tujuan.....	13
3. Kesimpulan dan Ringkasan	13
4. Lampiran	14

1. Pengantar

1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini berisi tentang latar belakang dan informasi terkait fakta yang mendukung dari permasalahan yang diangkat dalam dokumen ini. Selain itu terdapat *constraint* yang terdiri dari berbagai aspek, serta kebutuhan yang diperlukan oleh sistem hasil perencanaan dan wawancara dengan *user*. Pada bagian akhir berisi tentang tujuan serta kesimpulan dan ringkasan dari keseluruhan dokumen.

1.2 Tujuan Penulisan Dokumen

Tujuan dari penulisan dokumen ini adalah untuk menganalisis permasalahan dari berbagai aspek yang ada, baik dari permasalahan umum hingga permasalahan khusus secara mendetail dan menyeluruh. Dengan adanya dokumen ini diharapkan pengembangan sistem peringatan dini gempa bumi pada bangunan dapat lebih terarah dan terfokuskan.

1.3 Referensi

- [1] A. M. Nur. "Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya". *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 2010. doi: 10.15294/jg.v7i1.92
- [2] S. Husein, "Bencana Gempa Bumi". in *DRR Action Plan Workshop: Strengthened Indonesian Resilience: Reducing Risk from Disasters*, 2016. doi: 10.13140/RG.2.1.1112.6808.
- [3] CNN, "Aktivitas Gempa di Indonesia Meningkat Sepanjang 2021". <https://www.cnnindonesia.com/teknologi/20211230134505-199-740553/aktivitas-gempa-di-indonesia-meningkat-sepanjang-2021>
- [4] N. I. Fadlilah dan A. Arifudin. "Pembuatan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Accelerometer Berbasis Arduino". *Evolusi: Jurnal Sains Dan Manajemen*, 2018.
- [5] A. Ghifari, M. A. Murti, dan R. Nugrah, "Perancangan Alat Pendeteksi Gempa Menggunakan Sensor Getar." *eProceedings of Engineering*, 2018.
- [6] A. Fajri, M. Murti, dan R. Priramadhi, "Design of Earthquake Early Warning System based Omron D7S Vibrate Sensor," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 1098, hlm. 042099, Mar 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1098/4/042099.
- [7] BBC NEWS, "False Earthquake Warning Panics Japan". <https://www.bbc.com/news/world-asia-42582113>
- [8] TEMPO.CO, "SMS Peringatan Gempa Berpotensi Tsunami Beredar, BMKG: Ada Kesalahan Sistem". <https://nasional.tempo.co/read/1466240/sms-peringatan-gempa-berpotensi-tsunami-beredar-bmkg-ada-kesalahan-sistem>
- [9] F. Fahlia, E. Irawan, and R. Tasmin, "Analisis Dampak Perubahan Perilaku Sosial Ekonomi Masyarakat Desa Mapin Rea Pasca Bencana Gempa Bumi", *JEBI*, vol. 4, no. 1, Jun. 2019.
- [10] H. Santoso, W. Quszaini, D. Aris, dan H. Andriawan, "Alat Pendeteksi Gempa Bumi Menggunakan Sensor Accelerometer MPU 6050 dan Solar Cell Sebagai Sumber Energi Listrik."

- [11] detikNews, “BMKG Kekurangan 695 Alat Deteksi Dini Gempa dan Tsunami”. <https://news.detik.com/berita/d-3842996/bmkg-kekurangan-695-alat-deteksi-dini-gempa-dan-tsunami>
- [12] Beritasatu, “Rendah, Kesiapsiagaan Indonesia Hadapi Bencana”. <https://www.beritasatu.com/news/88812/rendah-kesiapsiagaan-indonesia-hadapi-bencana>
- [13] Departemen Geosains FMIPA Universitas Indonesia, “Earthquake Warning Alert System (EWAS)”. <https://geosciences.ui.ac.id/earthquake-warning-alert-system-ewas/>
- [14] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, “Tugas dan Fungsi”. <https://www.bmkg.go.id/profil/?p=tugas-fungsi>
- [15] TEMPO.CO, “Dikritik Terlalu Lambat Infokan Gempa, BMKG: Kami Punya SOP”. <https://tekno.tempo.co/read/1401894/dikritik-terlalu-lambat-infokan-gempa-bmkg-kami-punya-sop>
- [16] R. Duggal *dkk.*, “Building Structural Analysis based Internet of Things Network Assisted Earthquake Detection,” *Internet of Things*, vol. 19, hlm. 100561, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100561>.
- [17] N. Narvekar, “Distinguishing Earthquakes and Noise Using Random Forest Algorithm,” 2018.
- [18] W. Li, N. Narvekar, N. Nakshatra, N. Raut, B. Sirkeci and J. Gao, "Seismic Data Classification Using Machine Learning," *2018 IEEE Fourth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService)*, 2018, pp. 56-63, doi: 10.1109/BigDataService.2018.00017.
- [19] BBC News Indonesia, “Earthquake, Tsunami and Liquefaction: A series of disasters in Palu that you need to know about,” Oct. 12, 2018. <https://www.bbc.com/indonesia/indonesia-45832237>
- [20] A. W. Reza, K. Dimiyati, K. Noordin, M. Islam, M. Sarker, dan H. Ramiah, “A New Technique of Removing Blind Spots to Optimize Wireless Coverage in Indoor Area,” *Int J Antennas Propag*, vol. 2013, Jan 2013, doi: 10.1155/2013/509878.
- [21] A. Yanziah, S. Soim, and M. M. Rose, “Analysis of LoRa Range Distances With RSSI Parameters And Packet Loss In Urban Areas”, *Technoscientia*, vol. 13, no. 1, pp. 59–67, Aug. 2020.
- [22] I. A. Ansyari, “Performance Analysis of Long-Range Communication System (Lora) Performance in the Juara Laut Area of Tarakan City,” *Perpustakaan UBT: Universitas Borneo Tarakan*, 2022.
- [23] P. H. Prahatama, D. Darlis, M. A. Murti. “Single Load Ammeter Based on LoRa”, Open Library Telkom University, 2022

- [24] A. D. Haq, I. Santoso, and A. A. Z. Macrina, " Estimation of Signal To Noise Ratio (SNR) Using Correlation Method," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 1, no. 4, pp. 326-332, Dec. 2012. <https://doi.org/10.14710/transient.v1i4.326-332>
- [25] M. G Salsabila, M. A. Murti, A. Z. Fuadi, "Design and Build 3-Phase Kwh Meter Communication Based on the Internet of Things (IoT) Using LoRa," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 9, no. 5, 2022.
- [26] F. Muhammad, A. Bhawiyuga, dan D. P. Kartikasari, "Performance Analysis of the LoRaWAN Protocol for Data Transmission in Urban Area Scenarios," in *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 9, p. 9054-9060, nov. 2019
- [27] British Geological Survey, "How We Measure Them," Mar 2008. https://earthquakes.bgs.ac.uk/education/eq_guide/eq_booklet_how_we_measure.htm
- [28] Gov.UK, "Hard-wired for sound", Jan 2012. <https://www.gov.uk/government/news/hard-wired-for-sound-love-to-hate-your-smoke-alarm--2#:~:text=An%20average%20smoke%20alarm%20is,could%20result%20in%20hearing%20loss.>
- [29] iNewsBali, "Memahami Penyebab Gempa Bumi dan 3 Lempeng Tektonik Aktif di Indonesia," Des 2022. [https://bali.inews.id/berita/memahami-penyebab-gempa-bumi-dan-3-lempeng-tektonik-aktif-di-indonesia?_ga=2.30557881.726501005.1675837339-548724929.1675837334.](https://bali.inews.id/berita/memahami-penyebab-gempa-bumi-dan-3-lempeng-tektonik-aktif-di-indonesia?_ga=2.30557881.726501005.1675837339-548724929.1675837334)
- [30] Japan Meteorological Agency, "Seismic Intensity of The 2016 Kumamoto Earthquake", Apr 16. <https://www.jma.go.jp/>

1.4 Daftar Singkatan

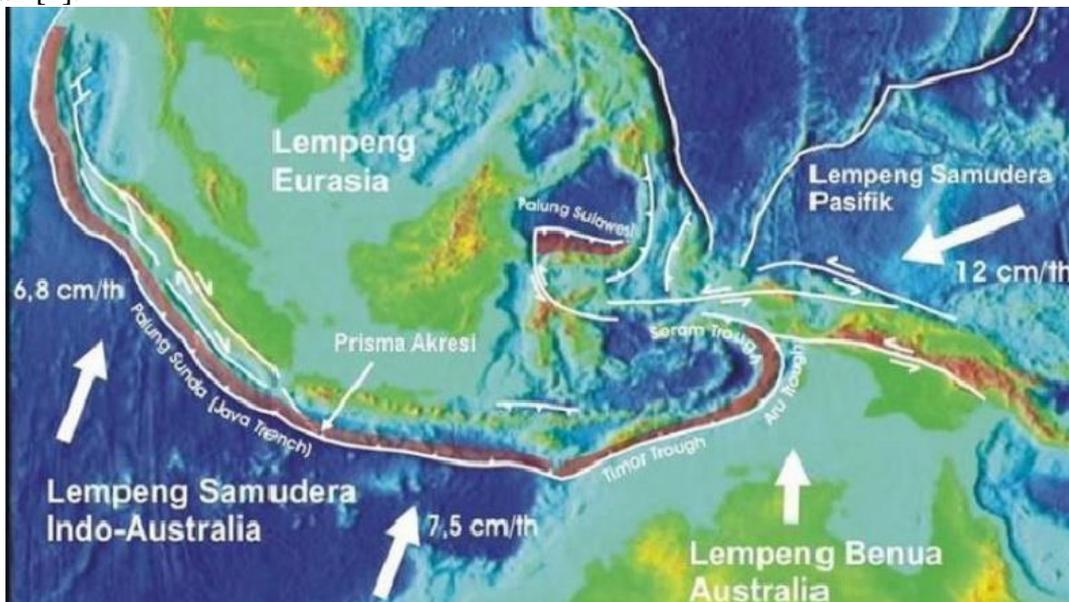
Singkatan	Arti
BNPB	Badan Nasional Penanggulangan Bencana
PC	<i>Personal Computer</i>
UART	<i>Universal Asynchronous Receiver/Transmitter</i>
PGA	<i>Peak Ground Acceleration</i>
MMI	<i>Modified Mercalli Intensity</i>
BMKG	Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
SOP	<i>Standard Operating Procedure</i>
LPND	Lembaga Pemerintah Non Departemen
EWAS	<i>Earthquake Warning Alert System</i>
RSSI	<i>Received Signal Strength Indicator</i>
SNR	<i>Signal to Noise Ratio</i>
EEWs	<i>Earthquake Early Warnings</i>

2. Masalah

Masalah yang akan diselesaikan pada tugas akhir ini adalah kurangnya ketersediaan sebuah sistem peringatan dini gempa bumi yang dapat membedakan gempa, bukan gempa (getaran yang diakibatkan barang besar yang jatuh, dan getaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia lainnya), serta dapat mendeteksi kekuatan level gempa dan juga memberikan peringatan dalam bentuk fisik yang tepat dalam lingkungan masyarakat (rumah, gedung, dsb) sesuai dengan kekuatan gempa yang terdeteksi.

2.1. Latar Belakang Masalah

Gempa bumi adalah getaran asli dari dalam bumi, bersumber di dalam bumi yang kemudian merambat ke permukaan bumi akibat rekahan bumi pecah dan bergeser dengan keras. **Gempa bumi termasuk ke dalam salah satu bencana alam yang datangnya secara tiba – tiba dalam waktu yang relatif singkat (mendadak) dan dalam beberapa kasus dapat merusak segala sesuatu yang ada pada muka bumi termasuk manusia.** Gempa bumi dapat disebabkan oleh pergerakan lempeng tektonik, aktivitas gunung api, jatuhnya meteor, longsor (di bawah muka air laut), dan ledakan bom nuklir di permukaan tanah [1].



Gambar 2.1 Peta persebaran lempeng tektonik di Indonesia

Sumber: [29]

Indonesia adalah negara rawan gempa. Hal ini disebabkan karena posisi geologis Indonesia berada pada pertemuan 3 lempeng litosferik besar yaitu lempeng Eurasia, lempeng Pasifik, dan lempeng Indo Australia sehingga gaya interaksi antar-lempeng tersebut senantiasa menekan dan menggeser berbagai patahan yang tersebar di seluruh bagian Indonesia, baik di daratan maupun di dasar lautan [2]. Selain itu, hingga saat ini masih **kurang ketersediaan alat peringatan dini deteksi getaran gempa yang terpasang di lingkungan masyarakat** khususnya pada bangunan (rumah, gedung, dsb). Menurut Kajian Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) menunjukkan bahwa **kesiapsiagaan masyarakat** dan pemerintah daerah dalam menghadapi bencana di 33 kabupaten / kota masih **sangat rendah** [11][12]. Fakta tersebut membuat Indonesia tidak terlepas dari dampak kerusakan yang diakibatkan oleh gempa, baik itu dalam bentuk material maupun korban jiwa sehingga **kebutuhan alat pendeteksi gempa sangat diperlukan.**

Saat ini, Indonesia memiliki sebuah Lembaga Pemerintah Non Departemen (LPND) yang dikenal dengan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG). BMKG memiliki tugas dan kewajiban yang diantaranya adalah pelayanan data dan informasi di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika dan juga penyampaian informasi dan peringatan dini kepada instansi dan pihak terkait serta masyarakat berkenaan dengan bencana karena faktor meteorologi, klimatologi, dan geofisika [14]. Namun dalam melakukan penyampaian informasi dan peringatan dini kepada masyarakat, BMKG dikritik karena dinilai terlalu lambat dalam menyampaikan informasi. Menurut Kepala Pusat Gempa Bumi dan Tsunami Rahmat Triyono, BMKG memiliki SOP (*Standard Operating Procedure*) untuk menginformasikan kejadian gempa. Hanya gempa yang bermagnitudo >5 yang diinformasikan kepada masyarakat dan harus di infokan kurang dari 5 menit setelah kejadian gempa [15]. Berdasarkan hal tersebut, **informasi yang diberikan oleh BMKG terlalu lama** sehingga masyarakat tidak dapat melakukan antisipasi lebih awal ketika terjadi gempa bumi.

Dengan begitu pesatnya perkembangan teknologi di jaman sekarang, membuat sebuah sistem yang mampu melakukan deteksi getaran gempa bukanlah hal yang tidak mungkin. Banyak penelitian yang telah berusaha untuk membuat sebuah teknologi baik itu *software* maupun *hardware* yang dapat mendeteksi getaran gempa untuk mengurangi dampak kerusakan akibat gempa. Salah satu contohnya adalah penelitian Nuzul Imam Fadlillah dan Ahmad Arifudin [4], yang membuat sebuah sistem pendeteksi gempa menggunakan sensor akselerometer yang dipadukan dengan arduino. Sensor akselerometer akan melakukan pembacaan dan mengirimkan data percepatan ke PC (*Personal Computer*) melalui jalur UART (*Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*) untuk diolah. *Output* dari sistem ini berupa *buzzer* yang akan berbunyi seperti layaknya alarm peringatan apabila nilai percepatan yang terekam oleh sensor melebihi nilai dari *set point*. Selain itu terdapat penelitian Alif Ghifari, dkk [5], yang mengajukan penggunaan sensor getar untuk sistem pendeteksian gempa. Namun menurut A H Fajri, dkk [6], penggunaan sensor getar memiliki kekurangan yaitu sensor getar tidak berkorelasi langsung dengan intensitas gempa sehingga penelitiannya mengajukan untuk penggunaan sensor omron D7S yang dapat merekam nilai *Peak Ground Acceleration* (PGA) yang nilainya dapat dikonversi menjadi besaran intensitas gempa dengan bantuan *Modified Mercalli Intensity* (MMI). Ketiga penelitian tersebut mampu melakukan deteksi dan juga memberikan peringatan ketika terjadi gempa[4]-[6], namun semua sistem tersebut juga dapat memberikan **kesalahan dalam peringatan yang diakibatkan oleh getaran - getaran lain bukan gempa** seperti getaran akibat kendaraan besar melintas, getaran akibat ledakan, erupsi gunung berapi, getaran lift, aktivitas manusia (getaran akibat konstruksi, penggalian terowongan, lompatan), dsb [16][17].

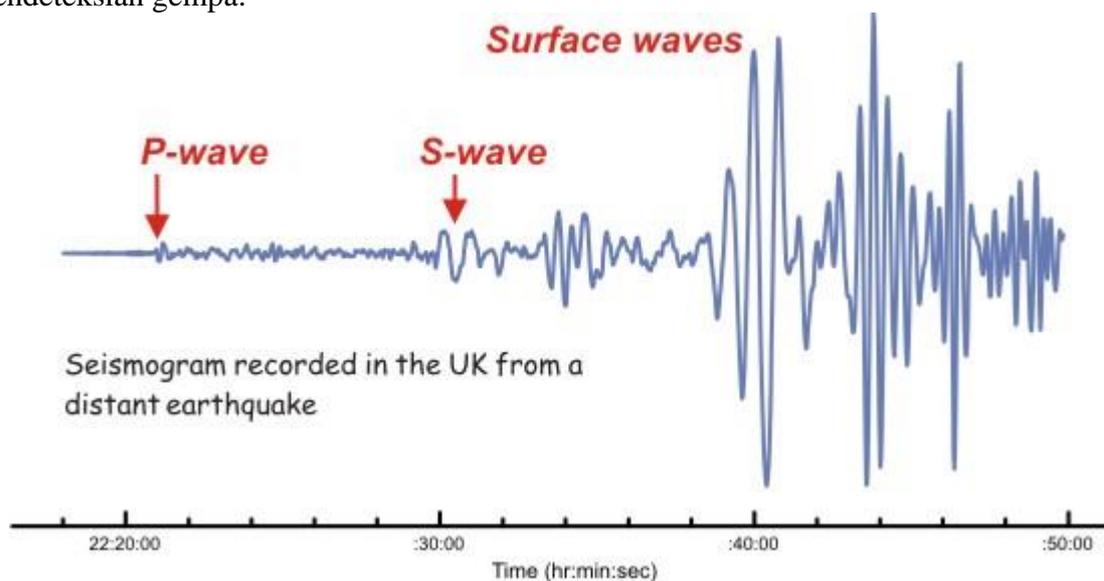
Adapun juga inovasi yang telah diciptakan oleh Universitas Indonesia (UI) bernama *Earthquake Warning Alert System* (EWAS) yaitu sebuah sistem yang dapat memberikan tanda peringatan gempa bumi kepada masyarakat secara otomatis. EWAS dapat memberikan peringatan gempa bumi berupa sirene yang keras kepada masyarakat tepat ketika guncangan gempa terjadi dan sistem dapat mendeteksi dan memberikan peringatan selama kurang dari 5 detik, akan tetapi EWAS yang diciptakan oleh Universitas Indonesia **tidak membaca besaran magnitudo gempa bumi dan hanya dirancang untuk memastikan kehadiran gempa bumi di suatu wilayah** [13]. Sehingga masyarakat tidak bisa mengetahui **seberapa besar** gempa bumi tersebut terjadi.

Oleh karena itu, **kebutuhan sistem peringatan dini gempa bumi yang dapat diletakan di lingkungan masyarakat seperti pada bangunan (rumah, gedung, dsb)**. dimana dapat **membedakan gempa dan bukan gempa** (getaran yang diakibatkan barang besar yang jatuh, dan getaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia lainnya) serta dapat **mendeteksi kekuatan level gempa** dan juga memberikan **peringatan** dalam bentuk fisik

yang tepat dalam lingkungan masyarakat (rumah, gedung, dsb) sesuai dengan jenis getaran yang terdeteksi sangat diperlukan sebagai bentuk upaya mengurangi dampak bencana alam gempa bumi. Selain itu, sistem peringatan dini gempa bumi ini juga akan dibangun untuk dapat **berkomunikasi** dengan berbagai jenis perangkat untuk dapat mengirimkan informasi secara *real time*. Hal ini dilakukan untuk dapat **memonitoring** output dari sistem dan juga sebagai bentuk upaya **pencegahan permasalahan teknis** dari sistem seperti kegagalan sistem dalam melakukan pendeteksian, memantau keaktifan sistem, dsb.

2.2. Informasi pendukung

Gempa memancarkan 2 tipe gelombang yaitu *body waves* dan *surface waves*. *Body waves* terdiri dari 2 gelombang yaitu gelombang P dan gelombang S. Bentuk gelombang gempa dapat dilihat pada gambar 2.2. Gelombang P dikenal sebagai gelombang primer dan gelombang S merupakan gelombang sekunder. Gelombang P merambat lebih cepat dibandingkan gelombang S sehingga gelombang P terdeteksi lebih dulu oleh sensor. Gelombang P memiliki tingkat kerusakan yang lebih rendah, dan juga memiliki amplitudo yang lebih kecil dibandingkan gelombang S [17]. Pergerakan dari gelombang P adalah horizontal sedangkan gelombang S bergerak secara vertikal. Selain itu, durasi terjadinya gelombang P lebih cepat dibandingkan gelombang S [18]. Berdasarkan hal tersebut, gelombang P dan S dapat digunakan sebagai suatu fitur / karakteristik untuk melakukan pendeteksian gempa.



Gambar 2.2 Gelombang gempa

Sumber : [27]

Sistem pendeteksi gempa perlu untuk dapat mengirim informasi yang baik maka diperlukannya kualitas sinyal pengiriman informasi yang baik. Titik buta jaringan (*blind spot*) menjadi permasalahan umum dalam lingkungan yang dimana jaringan tidak dapat dijangkau karena jaringan terlalu lemah akibat wilayah cakupan *access point* yang sangat minim [19]. Mengacu pada pengalaman tsunami serta gempa bumi yang sempat terjadi di Palu pada tahun 2018, proses informasi mitigasi bencana sempat terkendala karena listrik padam dan jaringan komunikasi yang rusak akibat dari bencana alam tersebut [20]. Berdasarkan dari kejadian tersebut, maka diperlukan suatu komunikasi dengan *access point* yang dapat menyampaikan informasi dengan wilayah cakupan yang luas dan dengan daya yang rendah. Berkaitan dengan hal tersebut adapun parameter yang diperlukan untuk menentukan kualitas sinyal dalam pengiriman informasi sebagai berikut:

1. *Received Signal Strength Indicator (RSSI)*

Received Signal Strength Indication (RSSI) merupakan parameter transmisi yang menyatakan nilai kekuatan suatu sinyal yang diterima oleh suatu perangkat radio dengan modul komunikasi. Jarak ukur RSSI dimulai dari 0 dbm hingga -120 dbm dan semakin dekat nilai dengan nol, maka kualitas akan semakin baik. RSSI juga menggunakan desibel (dBm) sebagai satuan ukur yang digunakan [21]. Satuan dBm atau desibel per milliwatt merupakan pengukuran konkret dari suatu tingkat daya. Di bawah ini merupakan tabel yang ukuran kekuatan dari parameter RSSI [22].

Tabel 1 Kekuatan sinyal pada RSSI

Level RSSI	Grade
-30 to -60	Sangat kuat, Jarak pemancar dan penerima sangat dekat
-60 to -90	Sangat baik, Cakupan dekat
-90 to -105	Baik, Terdapat beberapa data yang tidak diterima
-105 to -115	Buruk, Buruk saat menerima tetapi sering drop-out
-115 to -120	Sangat Buruk, Sinyal Lemat dan data sering hilang

2. *Signal to Noise Ratio (SNR)*

Signal to Noise Ratio (SNR) yaitu suatu parameter yang menentukan kualitas dari transmisi. Jarak ukur SNR dimulai dari 0 dB hingga 120 dB dan semakin dekat angka SNR dengan 120 dB, maka kualitas jadi lebih baik. Jika nilai ukur SNR yang didapat memiliki nilai ≤ 0 , maka nilai kekuatan *noise* saat transmisi paket data lebih besar dibandingkan kekuatan sinyal [23]. SNR menggunakan desibel (dB) sebagai satuan ukur yang digunakan. Dapat dilihat di bawah ini merupakan persamaan dari SNR.

$$SNR (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{\rho}{1 - \rho} \right) dB \quad (1)$$

Dimana ρ merupakan koefisien kolerasi antara sinyal informasi dan *noise* Koefisien kolerasi bernilai $-1 \leq r \leq 1$, ini merupakan perbandingan antara daya sinyal dengan *noise*. Selanjutnya, dapat dilihat pada Tabel dibawah ini yang memperlihatkan syarat minimal SNR dalam melakukan komunikasi [24].

Tabel 2 Rincian nilai SNR

Nilai SNR (dB)	Keterangan
5 - 10 dB	Di bawah level minimum untuk membuat koneksi, karena level noise hampir tidak dapat dibedakan dari sinyal yang diinginkan (informasi berguna).
10 - 15 dB	Merupakan minimum yang diterima untuk membangun koneksi yang tidak dapat diandalkan.
15 - 25 dB	Biasanya dianggap sebagai tingkat minimal yang dapat diterima untuk membangun konektivitas yang buruk.
25 - 40 dB	Dianggap baik.
> 41 dB	Dianggap sangat baik.

3. *Delay*

Delay yaitu selisih waktu antara waktu pada saat paket data diterima dengan waktu saat paket data dikirimkan. Dengan ini akan didapatkan besaran waktu *delay* yang terjadi selama transmisi data. *Delay* dapat dipengaruhi oleh beberapa hal seperti jarak dan media fisik [25]. Rumus untuk menentukan *Delay* yaitu:

$$Delay = \text{Waktu paket diterima} - \text{Waktu paket dikirim} \quad (2)$$

4. *Packet Loss*

Packet Loss merupakan banyaknya paket yang gagal mencapai tempat tujuan saat pengiriman paket selama transmisi dari *node* sensor ke gateway loRa [21]. *Packet loss* tidak hanya dipengaruhi jarak dan *obstacles* tetapi juga *interval* waktu pengiriman data [26]. dan untuk perhitungan *Packet Loss* yaitu:

$$Packet Loss = \frac{\text{Paket dikirim} - \text{Paket diterima}}{\text{Paket dikirim}} \times 100\% \quad (3)$$

Berdasarkan data yang ada pada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia telah mengalami peristiwa gempa tektonik sebanyak 8.246 pada tahun 2020 dan 10.570 pada tahun 2021 yang diantaranya terdapat 11 peristiwa pada tahun 2020 dan 23 peristiwa pada tahun 2021 yang mengakibatkan kerusakan [3]. Selain itu, pada tanggal 19 Agustus 2018 gempa bumi dengan magnitudo 7 mengguncang Kabupaten Sumbawa. Sebanyak 15 kecamatan di Kabupaten Sumbawa yang merasakan gempa, 3 diantaranya yakni Kecamatan Buer, Alas, dan Alas Barat mengalami dampak kerusakan terparah [9].

Tabel 3 Data verifikasi kerusakan rumah korban bencana gempa bumi

Kecamatan	Kriteria Kerusakan			Jumlah
	Berat	Sedang	Ringan	
Buer	86	1	69	159
Alas	66	161	599	826
Alas Barat	22	447	419	2.288
Total				3.273

Berdasarkan tabel 3, Kecamatan Alas Barat merupakan kecamatan yang mengalami kerusakan terparah yang mencapai 2.288 unit rumah penduduk. Selain itu beberapa fasilitas umum seperti sekolah, bangunan-bangunan pemerintahan dan fasilitas lainnya juga mengalami kerusakan. Sebagian besar kerusakan tersebut dialami oleh

penduduk Desa Mapin Rea. Dampak kerusakan menyebabkan penduduk harus mengungsi selama berbulan - bulan di tenda pengungsian sehingga melumpuhkan aktivitas perekonomian penduduk Desa Mapin Rea. Selain itu, dampak gempa bumi juga mempengaruhi kehidupan sosial penduduk Desa Mapin Rea dimana ketenangan penduduk menjadi terganggu dan hubungan antar penduduk menjadi renggang karena masing - masing individu sibuk untuk memenuhi kebutuhan keluarganya masing - masing [9].

Berdasarkan *BBC News* [7], kesalahan peringatan gempa bumi pernah terjadi di Jepang pada 5 Januari 2018. Kesalahan peringatan tersebut tersebar melalui *smartphone* yang membuat jutaan masyarakat panik dan mengganggu jalannya transportasi di Tokyo. Kesalahan peringatan tersebut mengidentifikasi sebuah gempa dengan magnitudo 6.4 yang terjadi di pantai Ibaraki, bagian timur laut Jepang yang ternyata merupakan gempa dengan magnitudo 4.4 dan 3.2 yang terjadi di lepas pantai dan bahkan tidak terasa di daratan. Selain itu di Indonesia juga pernah terjadi kesalahan peringatan gempa dengan magnitudo 8.5 yang tersebar melalui SMS pada 27 Mei 2021 [8].



Gambar 2.3 SMS kesalahan peringatan gempa bumi
Sumber : [8]

Menurut Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Dwikorita Karnawati mengatakan BMKG kekurangan 695 alat pendeteksi gempa dan tsunami. Dwi mengungkapkan data peringatan dini gempa dan tsunami di Indonesia akan terekam lima menit pertama pada sensor gempa. Kemudian, BMKG membutuhkan waktu maksimal lima menit untuk menginformasikan ke masyarakat. Lima menit ini dirasa belum maksimal untuk menginformasikan kepada masyarakat [11]. Selain itu, Kepala Pusat Gempa Bumi dan Tsunami Rahmat Triyono mengatakan BMKG memiliki SOP untuk menginformasikan kejadian gempa. Hanya gempa yang bermagnitudo >5 yang diinformasikan kepada masyarakat dan harus di infokan kurang dari 5 menit setelah kejadian gempa [15].

Saat ini juga sudah terdapat produk dari jepang yang mampu memberikan peringatan tepat setelah gelombang primer terjadi dalam beberapa puluh detik saja yang bernama *Earthquake Early Warnigs* (EEWs). EEWs dapat digunakan dalam berbagai situasi untuk mitigasi kerusakan terkait gempa bumi. EEWs sendiri dapat memberikan informasi peringatan melalui TV, Radio, maupun *smartphone* [30].

Perbandingan produk antara EWAS yaitu produk dari UI, EEWs dari Jepang, dan BMKG dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan produk antara EWAS, BMKG, dan EEWs

Spesifikasi	EWAS	BMKG	EEWs
Informasi Peringatan	Sirene langsung di tempat	Melalui media sosial	TV, Radio, <i>smartphone</i>
Waktu informasi peringatan	Kurang dari 5 detik ketika guncangan terjadi	5 menit setelah kejadian gempa	Memberikan pemberitahuan tepat setelah gelombang primer terjadi
Kemampuan deteksi	Tidak dapat membaca magnitudo gempa	Dapat mengukur magnitudo gempa dan juga mengetahui pusat lokasi gempa	Dapat mengukur magnitudo gempa dan juga mengetahui pusat lokasi gempa

2.3. Constraint

2.3.1. Aspek Manufakturabilitas (*manufacturability*)

Sistem peringatan dini gempa bumi akan diproduksi dengan menggunakan komponen - komponen yang terjual secara umum dipasaran sehingga komponen dapat didapatkan dengan mudah dan sistem dapat diproduksi dalam skala besar. Sistem juga akan didesain untuk mampu diletakan pada tempat yang strategis sehingga sistem dapat beroperasi dan mengakuisisi data dengan baik. Selain itu, sistem akan dirancang *plug and play* sehingga pengguna tidak akan mengalami kesulitan dalam melakukan instalasi sistem.

2.3.2. Aspek Sosial

Ketersediaan Sistem peringatan dini gempa bumi pada bangunan sebagai sarana masyarakat memberikan pengaruh yang besar bagi masyarakat terutama sebagai bentuk mengurangi dampak dari bencana gempa bumi. Sistem ini berfungsi untuk memberikan peringatan dini ketika terjadi gempa bumi sehingga masyarakat bisa melakukan langkah antisipasi lebih awal dan keterlambatan informasi terkait mitigasi bencana tidak terulang kembali.

2.3.3. Aspek Keberlanjutan

Indonesia merupakan salah satu negara yang rawan terhadap gempa bumi, hal itu dapat dilihat berdasarkan data Badan Meteorologi Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Indonesia telah mengalami gempa bumi sebanyak 8.246 pada tahun 2020 dan 10.570 pada tahun 2021 yang diantaranya terdapat 11 peristiwa pada tahun 2020 dan 23 peristiwa pada tahun 2021 yang mengakibatkan kerusakan [3]. Oleh karena itu, Indonesia akan selalu membutuhkan sistem peringatan dini gempa bumi sebagai bentuk pencegahan terhadap bencana alam gempa bumi untuk jangka panjang. Selain itu, sistem peringatan dini gempa bumi dirancang menggunakan catu daya eksternal sebagai bentuk ketahanan sistem sehingga apabila terjadinya korsleting listrik, komponen pada sistem peringatan dini gempa bumi tidak mudah rusak akibat dari loncatan listrik.

2.4. Kebutuhan yang harus dipenuhi

a. Mission Statement

Sistem Peringatan Dini Gempa Bumi pada Bangunan	
Deskripsi Produk	Suatu sistem yang dapat melakukan pendeteksian dini gempa disertai dengan pemberian alarm peringatan kepada masyarakat sebagai bentuk upaya mitigasi bencana pada suatu bangunan
Kelebihan	<ul style="list-style-type: none"> - Dapat membedakan getaran gempa dan bukan gempa - Dapat dimonitoring dari kejauhan melalui aplikasi - Sistem di desain <i>plug and play</i> - Memiliki ukuran yang ringkas sehingga dapat di letakan di tempat – tempat strategis - Dapat menyalakan peringatan secara paksa berdasarkan informasi dari <i>detector</i> lain apabila sistem mengalami kegagalan dalam melakukan pendeteksian
Tujuan Bisnis Utama	<ul style="list-style-type: none"> - Sebagai syarat pemenuhan mata kuliah Tugas Akhir - Salah satu inovasi riset
Pasar Utama	<ul style="list-style-type: none"> - Perhotelan - Kantor Perusahaan - Gedung – gedung bertingkat
Pasar Sekunder	<ul style="list-style-type: none"> - Rumah - rumah
Pemangku Kepentingan	Dr. Muhammad Ary Murti, S.T., M.T.

b. Interpretasi kebutuhan berdasarkan hasil wawancara dengan *user*

Pertanyaan	Pernyataan <i>user</i>	Interpretasi kebutuhan
Kegunaan primer	Dapat mendeteksi getaran gempa dan bukan gempa beserta level kekuatan gempa	Sistem dapat melakukan klasifikasi getaran, baik getaran gempa maupun getaran bukan gempa. Sistem juga dapat mengukur level kekuatan gempa berdasarkan PGA (<i>Peak Ground Acceleration</i>)
	Dapat memberikan alarm peringatan sesuai dengan level gempa	Sistem dapat memberikan peringatan yang berbeda – beda sesuai dengan level kekuatan gempa yang terdeteksi
Kegunaan sekunder	Peringatan harus keras	Peringatan dapat membangunkan orang yang sedang tertidur (minimal 75 dB) [28].
	Dapat mengirimkan informasi hasil deteksi dan kekuatan level gempa ke <i>database</i>	Sistem dapat melakukan komunikasi untuk mengirimkan informasi data dari sistem ke database
	Dapat memaksa alarm peringatan sistem apabila 3 dari 5 sistem mengalami kegagalan dalam pendeteksian	Sistem dapat menyalakan alarm peringatan sistem lain secara otomatis apabila 3 dari 5 sistem mendeteksi adanya gempa
Hal yang disukai	Monitoring sistem dibuat <i>user-friendly</i>	Membuat aplikasi yang mudah di gunakan oleh <i>user</i> untuk monitoring

	Sistem terlihat <i>aesthetic</i> dan mudah di aplikasikan	Sistem di desain ringkas sehingga dapat diletakan pada tempat – tempat strategis pada bangunan serta sistem dapat di aplikasikan dengan metode <i>plug and play</i>
	Sistem bisa diandalkan karena sifat gempa yang tiba – tiba	Sistem dapat beroperasi selama \pm 24 jam penuh, ketika terjadi pemadaman listrik pada rumah, gedung perkantoran, hotel dll ketika terjadi gempa sehingga sistem masih tetap bekerja dan memberikan informasi dalam bentuk fisik kepada masyarakat
	Alarm peringatan sistem dapat di kendalikan melalui <i>smartphone</i>	Membuat tombol pada aplikasi untuk menyala dan mematikan alarm peringatan

c. Pengelompokan kebutuhan

Pengelompokan kebutuhan dibagi dalam beberapa skala peringkat sebagai berikut:

*** Fitur utama
** Fitur yang bagus
* Fitur pendukung

- *** Dapat mendeteksi getaran gempa berdasarkan kedatangan gelombang P dan getaran tergolong bukan gempa yaitu getaran akibat dari aktivitas manusia (memaku, barang berat jatuh, melompat dll) serta dapat mengetahui level kekuatan dari getaran gempa.
- *** Dapat memberikan peringatan yang berbeda – beda sesuai dengan level kekuatan getaran ketika mendeteksi terjadinya gempa.
- ** Dapat memberikan hasil deteksi serta level kekuatan getaran gempa yang terjadi ke aplikasi *smarphone* sehingga dapat dipantau secara *real-time*
- * Memiliki ukuran yang ringkas.
- * Dapat beroperasi selama \pm 24 jam ketika terjadi pemadaman listrik pada bangunan (rumah, gedung perkantoran, hotel dll) saat gempa berlangsung.
- * Dapat diaplikasikan dengan mudah.
- * Dapat menyalakan alarm peringatan dengan tombol pada aplikasi.

d. Penyusunan prioritas kebutuhan

1. Sistem dapat membedakan getaran gempa (berdasarkan gelombang P) level kekuatannya dan juga getaran lain yang tergolong bukan gempa (getaran akibat aktivitas manusia).
2. Sistem dapat memberikan peringatan yang berbeda – beda sesuai dengan kekuatan level gempa yang terdeteksi.
3. Sistem megirimkan data hasil deteksi serta level kekuatan getaran gempa yang dapat dipantau melalui aplikasi *smartphone*.
4. Sistem memiliki ukuran yang ringkas dan dapat diaplikasikan di lingkungan masyarakat seperti pada rumah, gedung perkantoran, hotel, dan atau gedung bertingkat lainnya.
5. Sistem dapat beroperasi selama \pm 24 jam penuh ketika terjadi pemadaman listrik pada bangunan (rumah, gedung perkantoran, hotel dll) saat gempa berlangsung.
6. Sistem dapat di aplikasikan dengan mudah (*plug and play*).

7. Alarm peringatan dari sistem dapat dikontrol dengan menggunakan tombol pada aplikasi.

2.5. Tujuan

Penelitian tugas akhir ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem peringatan dini gempa bumi yang dapat membedakan gempa dan bukan gempa (getaran yang diakibatkan barang besar yang jatuh, dan getaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia lainnya) serta dapat mendeteksi kekuatan level gempa dan juga memberikan peringatan dalam bentuk fisik yang tepat dalam lingkungan masyarakat (rumah, hotel, kantor perusahaan, gedung bertingkat, dsb) sesuai dengan jenis getaran yang terdeteksi.

3. Kesimpulan dan Ringkasan

Ketersediaan sebuah sistem peringatan dini gempa bumi pada bangunan yang dapat membedakan gempa, bukan gempa (getaran yang diakibatkan kendaraan besar melaju, barang besar yang jatuh, dan getaran yang diakibatkan oleh aktivitas manusia lainnya), dan mendeteksi kekuatan level gempa serta memberikan peringatan kepada masyarakat sesuai dengan jenis getaran yang terdeteksi sebagai upaya untuk mengurangi dampak bencana alam gempa bumi masih sedikit. Maka dari itu dengan mempertimbangkan *constraint* akan beberapa aspek seperti aspek manufakturabilitas, aspek sosial, dan aspek keberlanjutan serta melakukan perencanaan *mission statement* dan juga wawancara dengan calon *user* didapatkan kebutuhan – kebutuhan yang harus dipenuhi oleh sistem untuk dapat menyelesaikan permasalahan. Hal ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah sistem peringatan dini gempa bumi pada bangunan sebagai upaya agar masyarakat dapat melakukan mitigasi bencana dengan cepat dan mengurangi dampak yang diakibatkan oleh bencana alam gempa bumi.

4. Lampiran

Curriculum Vitae 1

PERSONAL INFORMATION

Full Name : Rio Junior
 Gender : Male
 Birth Place and Date : Bekasi, 1 Mei 2000
 Nationality : Indonesia
 Religion : Christian
 Phone Number : 082246481891
 Email : riojunior4@gmail.com



ACADEMIC STATUS

University: Telkom University
 Major : Electrical Engineering
 Semester : 7

EDUCATION

Institutions	City and Province	Year
SMA Pangudi Luhur Bernardus	Cikarang, Kab. Bekasi	July 2015 – May 2018
Universitas Telkom	Bandung, West Java	August 2019 - present

SUPPORTING ACTIVITIES AND TRAININGS

Activities and Trainings	Period	Place
IT Support Certification	May 2022 - present	Google Coursera

ORGANIZATIONAL EXPERIENCE

Organizations	Title	Period	Descriptions
OSIS SMA Pangudi Luhur	Member of Social Division	2015 - 2016	Accommodate students activities
OSIS SMA Pangudi Luhur	Coordinator of Discipline Division	2016 - 2017	Provide direction and leadership for member of discipline division
Daskom Laboratory	Member of Maintenance and Logistic Committee	2020 - 2021	Provide Laboratory Needs
Daskom Laboratory	Senior of Maintenance and Logistic Committee	2021 - 2022	Provide direction and leadership for member of maintenance and logistic committee

WORKING EXPERIENCE

Work	Year	Description
Assistant in Daskom Laboratory Teknik Elektro	2020 - 2022	Assistant of Dasar Komputer Laboratory

SKILLS AND HOBBIES

Language Skills : Indonesian (Native), English (Advanced)

Computer Skills : IT, C, Python.

Hobbies and interests : Listening to Music, Play Games, Play Basketball, Learn about Tech, AI and Machine Learning

Others : Interested in doing AI / Machine Learning project or research

Curriculum Vitae 2

PERSONAL INFORMATION

Full Name : I Gede Krisna Pradnya Wenanda
 Gender : Male
 Birth Place and Date : Denpasar, 25 Juli 2001
 Nationality : Indonesia
 Religion : Hindu
 Phone Number : 081338511030
 Email : krisnapradnya39@gmail.com

**ACADEMIC STATUS**

University: Telkom University
 Major : Electrical Engineering
 Semester : 7

EDUCATION

Institutions	City and Province	Year
SMA Negeri 2 Tabanan	Tabanan, Kab. Tabanan	July 2016 – Juli 2019
Universitas Telkom	Bandung, West Java	August 2019 - Present

PERSONAL ACHIEVEMENTS

Awards	Year	Description
Finalist Bali Provincial High School Physics Olympiad Activities	2018	Physics Olympiad Activities by Pendidikan Ganesha University (UNDIKSHA)
Partial Founded of Pertukaran Pemuda Asia (PPA) At Nanyang Technological University (NTU) Singapore	2019	Exchange culture to carry out Indonesian education culture at Nanyang Technological University NTU singapore

ORGANIZATIONAL EXPERIENCE

Organizations	Title	Period	Descriptions
Electronics and Industrial Automation (ELITIA) Research Laboratory Telkom University	Recruitment Coordinator	2020 - 2021	Provide Direction to Each Division in The Recruitment Committee
Society Of Renewable Energy (SRE) Telkom University	Head of Public Relation	2021 - 2022	Provide Direction to member of Public Relation Division Society of Renewable Energy (SRE) Tel-U

WORKING EXPERIENCE

Work	Year	Description
Electronics and Industrial Automation (ELITIA) Research Laboratory Telkom University	2020	Assistant of Automation Industrial Electronics and Industrial Automation (ELITIA) Research Laboratory Telkom University

SKILLS AND HOBBIES

Language Skills : Indonesian (Fluent), English (Practice)

Computer Skills : HTML,CSS, C#, Microsoft Office
Hobbies and interests : Basketball, Play Games, Fitness, Interested with Android
Developers
Others : -

Curriculum Vitae 3

PERSONAL INFORMATION

Full Name : Novaldi Putra
 Gender : Male
 Birth Place and Date : Jakarta, 24 November 1998
 Nationality : Indonesia
 Religion : Islam
 Phone Number : 081287329135
 Email : 1smnoval@gmail.com

**ACADEMIC STATUS**

University: Telkom University
 Major : Electrical Engineering
 Semester : 11

EDUCATION

Institutions	City and Province	Year
SMA Diponegoro 1	Jakarta, DKI Jakarta	July 2014– Juli 2017
Universitas Telkom	Bandung, West Java	September 2017 - Present

SUPPORTING ACTIVITIES AND TRAININGS

Activities and Trainings	Period	Place
Automation Engineering Electrical Bootcamp	2022	ZAADA

ORGANIZATIONAL EXPERIENCE

Organizations	Title	Period	Descriptions
BPH KMTE	Student Resource Development	2020-2021	List of electrical engineering undergraduate students, recording and developing student interests and talents, collecting interest and talent data, develop a talent show
ELITIA	Laboratory Assistant	2018-2021	Research around IoT and PLC, teach IoT and PLC to younger level, ocumenting laboratory activities and publishing them on social media

WORKING EXPERIENCE

Work	Year	Description
Operational Team Member Intern at PT United Tractors Tbk	2022	Increasing Operational Effectiveness of PT United Tractors Tbk
IT Support Intern at Suteki Technology Bandung	2020	Build an IoT-based timesheet that is connected to the cloud, which can simplify office attendance

Home Service, Data Management, DSW, Area Network Intern at Telkom Witel Central Jakarta	2019	Marketing indihome products to potential consumers, registering Indihome customers who have not used fiber optics, at least 150 customers, create events for wifi.id, maintain ODC quality (Optical Distribution Cabinet)
-----------------------------------------------------------------------------------------	------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

SKILLS AND HOBBIES

Language Skills : Indonesian (Native), English (Intermediate)

Computer Skills : CX Programmer, C++, Microsoft Office

Hobbies and interests : Basketball, Play Games, Reading Novels/Comics, Listening to Podcast

Others : Interested in heavy equipment manufacturing