



PENGEMBANGAN METODE DETEKSI DAN MENGHITUNG  
JUMLAH POHON KELAPA SAWIT DARI SENTINEL 2  
IMAGERY MENGGUNAKAN METODE *OBJECT-BASED*  
*IMAGE ANALYSIS (OBIA)*

DISERTASI

**GUNTUR EKA SAPUTRA**

99219009

PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI

UNIVERSITAS GUNADARMA

2023



**Pengembangan Metode Deteksi Dan Menghitung Jumlah Pohon  
Kelapa Sawit Dari Sentinel 2 Imagery Menggunakan Metode  
*OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA)***

**DISERTASI**

Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Meraih Gelar Doktor Teknologi  
Informasi di bawah Pimpinan Rektor Universitas Gunadarma  
Profesor Doktor E.S. Margianti, SE, MM

Laporan Rapat Komisi Pembimbing Dipertahankan dalam Sidang Terbuka  
Senat Universitas Gunadarma  
Pada Hari Rabu, 10 Mei 2023

**GUNTUR EKA SAPUTRA**

**99219009**

**PROGRAM DOKTOR TEKNOLOGI INFORMASI**

**UNIVERSITAS GUNADARMA**

**2023**

PENGEMBANGAN METODE DETEKSI DAN MENGHITUNG  
JUMLAH POHON KELAPA SAWIT DARI SENTINEL 2  
IMAGERY MENGGUNAKAN METODE *OBJECT-BASED*  
*IMAGE ANALYSIS (OBIA)*

DISERTASI

GUNTUR EKA SAPUTRA

Telah disetujui oleh:

Profesor Doktor Insinyur Kudang Boro Seminar, M.Sc.  
Promotor

Profesor Doktor Sarifuddin Madenda, S.Si., DEA.  
Ko-Promotor

Jakarta, 10 Mei 2023

Judul Disertasi : **PENGEMBANGAN METODE DETEKSI DAN MENGHITUNG JUMLAH POHON KELAPA SAWIT DARI SENTINEL 2 IMAGERY MENGGUNAKAN METODE *OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS* (OBIA)**

Nama Mahasiswa : Guntur Eka Saputra  
NIM : 99219009

Komite Pembimbing

Promotor : Profesor Doktor Insinyur Kudang Boro Seminar, M.Sc.  
Ko-Promotor : Profesor Doktor Sarifuddin Madenda, S.Si., DEA.

Komite Penguji

Ketua : Profesor Doktor Insinyur Kudang Boro Seminar, M.Sc.

Anggota : Profesor Doktor Insinyur Sudrajat, M.Sc.  
Profesor Doktor E. S. Margianti, S.E., M.M.  
Profesor Suryadi Harmanto, S.Si., M.M.S.I.  
Profesor Doktor Insinyur Bambang Suryawan, M.T.  
Profesor Insinyur Busono Soerowirdjo, M.Sc., Ph.D.  
Profesor Doktor Eri Prasetyo Wibowo, S.Si., M.M.S.I.  
Doktor rer. nat. I Made Wiryan, S.Si., S.Kom.,  
M.App.Sc.  
Doktor Detty Purnamasari, S.Kom., M.M.S.I.,  
M.I.Kom.  
Profesor Doktor Sarifuddin Madenda, S.Si., D.E.A.

## **PERNYATAAN ORIGINALITAS DAN PUBLIKASI**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Guntur Eka Saputra

NIM : 99219009

Judul Disertasi : PENGEMBANGAN METODE DETEKSI DAN  
MENGHITUNG JUMLAH POHON KELAPA SAWIT  
DARI SENTINEL 2 IMAGERY MENGGUNAKAN  
METODE *OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS*  
(OBIA)

Tanggal Sidang : 10 Mei 2023

Tanggal Lulus :

Menyatakan bahwa tulisan ini adalah merupakan hasil karya saya sendiri dan dapat dipublikasikan sepenuhnya oleh Universitas Gunadarma. Segala kutipan dalam bentuk apapun telah mengikuti kaidah dan etika yang berlaku. Mengenai sisi dan tulisan adalah merupakan tanggung jawab Penulis, bukan Universitas Gunadarma.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenarnya dan dengan penuh kesadaran.

Jakarta, 10 Mei 2023

(Guntur Eka Saputra)

## ABSTRAK

Penerapan teknologi informasi dan komunikasi sangat dibutuhkan, khususnya di bidang pertanian. Kelapa sawit merupakan produk pertanian yang terbesar di Indonesia dan produksi kelapa sawit sangat penting bagi perekonomian. Dalam menghasilkan produksi kelapa sawit yang baik dibutuhkan pengelolaan perkebunan kelapa sawit yang baik. Permasalahan utama dalam pengelolaan ini, yaitu luas area dalam skala besar (perusahaan perkebunan kelapa sawit memiliki luas minimum sebesar 6.000 hektar yang harus dikelola), wilayah perkebunan berada di *remote area*, akses infrastruktur yang terbatas, dan pemupukan presisi mengalami kesulitan untuk mendapatkan data secara akurat berdasarkan jumlah tegakkan pohon kelapa sawit pada suatu area lahan. Hal ini menyebabkan deteksi dan menghitung pohon kelapa sawit sangat dibutuhkan. Selama ini, penghitungan tradisional didasarkan pada catatan awal penanaman pohon kelapa sawit atau penghitungan teoritis berdasarkan jarak tanam antara pohon kelapa sawit dalam satu hektar atau blok. Metode tradisional ini lambat dan tidak akurat, serta tidak diketahui status pohon kelapa sawit yang rusak atau mati. Penggunaan teknologi dibutuhkan untuk dapat secara otomatis dan *real-time* dalam memonitoring data pohon kelapa sawit dan memperkirakan produktivitasnya. Penggunaan ini dibutuhkan dalam deteksi objek berupa citra.

Penggunaan citra untuk deteksi objek dibutuhkan dalam persiapan data, seperti menganalisa, memberikan anotasi atau kelas dari objek tersebut. Metode dalam melakukan anotasi dataset selama ini dilakukan secara manual, satu per satu dengan memberikan kotak batas. Persiapan data ini menghabiskan lebih dari 70% waktu dalam siklus hidup *deep learning* untuk menjadi dataset yang dapat digunakan sebagai data pelatihan, validasi, dan pengujian. Hal inilah yang menjadi tantangan bagi *stakeholders*.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan pengembangan metode *object-based image analysis* (OBIA) untuk membuat dataset secara otomatis dengan memberikan label suatu kelas pada data citra. Metode yang dikembangkan menggunakan algoritma klasifikasi *template matching*. Algoritma ini sebagai template awal citra pohon kelapa sawit yang memiliki kunci nilai ambang batas dalam menentukan kelas dari objek di dalam citra. Algoritma BIRCH digunakan untuk mengurangi objek yang bukan terdeteksi ke dalam kelas pohon kelapa sawit. Hasil evaluasi performance pelatihan menunjukkan bahwa model dengan algoritma YOLOv7 lebih baik dengan akurasi best MAP sebesar 0,993 dan pada pengujian sebesar 0,997. Berdasarkan waktu pemrosesan DGX-A-100 Universitas Gunadarma lebih baik, pada pelatihan sebesar 2948 detik dibandingkan dengan Google Colab Pro sebesar 4847 detik.

Penelitian ini dihasilkan purwarupa sistem yang menggunakan model algoritma dari YOLOv7 untuk dapat mendeteksi dan menghitung pohon kelapa sawit pada area tertentu dari citra satelit yang terintegrasi dengan Google Maps API. Berdasarkan hasil pengujian 4 blok pada Kebun Pendidikan dan Pendidikan Kelapa Sawit IPB-Cargil bahwa hasil presentasi berhasil dideteksi

sebesar 97,67%, dan diketahui setiap pohon kelapa sawit yang terdeteksi diketahui letak titik koordinat untuk dapat dilakukan pemantauan, pengelolaan, dan estimasi produktivitas pohon kelapa sawit.

Kata kunci : OBIA, *Deep Learning*, YOLOv7, Kelapa Sawit.

## ABSTRACT

The application of information and communication technology is needed, especially in agriculture. Palm oil is the largest agricultural product in Indonesia and palm oil production is very important for the economy. In producing good oil palm production, good oil palm plantation management is needed. The main problems in this management, namely large-scale areas (oil palm plantation companies have a minimum area of 6,000 hectares that must be managed), plantation areas in remote areas, limited infrastructure access, and precision fertilization have difficulty obtaining accurate data based on the number of standing oil palm trees in a land area. This makes detecting and counting oil palm trees necessary. So far, traditional counting has been based on early records of oil palm tree planting or theoretical counting based on the spacing between oil palm trees within a hectare or block. These traditional methods are slow and inaccurate, and the status of damaged or dead oil palm trees is unknown. The use of technology is needed to be able to automatically and real-time monitor palm oil tree data and estimate its productivity. This use is needed in object detection in the form of images.

The use of images for object detection is needed in data preparation, such as analyzing, annotating or classifying the object. The method of annotating datasets has been done manually, one by one by providing boundary boxes. This data preparation consumes more than 70% of the time in the deep learning lifecycle to become a dataset that can be used as training, validation, and testing data. This is the challenge for stakeholders.

This research aims to produce the development of object-based image analysis (OBIA) method to create datasets automatically by labeling a class on image data. The developed method uses a template matching classification algorithm. This algorithm as an initial template of palm tree image that has a key threshold value in determining the class of objects in the image. The BIRCH algorithm is used to reduce objects that are not detected into the palm tree class. The results of the training performance evaluation show that the model with the YOLOv7 algorithm is better with a best MAP accuracy of 0.993 and on testing of 0.997. Based on processing time, Gunadarma University's DGX-A-100 is better, at 2948 seconds of training compared to Google Colab Pro at 4847 seconds.

This research produced a prototype system that uses the algorithm model from YOLOv7 to be able to detect and count oil palm trees in a certain area from satellite images integrated with the Google Maps API. Based on the results of testing 4 blocks in the IPB-Cargil Oil Palm Education and Education Plantation that the presentation results were successfully detected by 97.67%, and it is known that each detected oil palm tree is known to the location of the coordinate point to be able to monitor, manage, and estimate the productivity of oil palm trees.

Key words: OBIA, Deep Learning, YOLOv7, Oil Palm.

## KATA PENGANTAR

*Bismillahhirrohmaanirrohim*

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

*Alhamdulillah robil'aalamin*

Segala Puji, Kebesaran, Kemulian, dan apa yang dilangit dan di bumi milik Allah SWT. Puji Syukur saya panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat serta nikmat-Nya yang telah memberikan kemudahan serta kelancaran kepada Saya dalam penyelesaian Disertasi yang berjudul "Pengembangan Metode Deteksi Dan Menghitung Jumlah Pohon Kelapa Sawit Dari Sentinel 2 Imagery Menggunakan Metode *OBJECT-BASED IMAGE ANALYSIS (OBIA)*". Disertasi ini merupakan syarat untuk memperoleh gelar Doktor dalam bidang Teknologi Informasi pada Program Doktor Teknologi Informasi, Program Pascasarjana, Universitas Gunadarma, dimana penulis telah menyelesaikan seluruh rangkaian proses studi Program Doktor sejak tahun 2019. Sepanjang proses penyusunan Disertasi ini, banyak pihak yang turut membantu baik secara moril maupun materil kepada saya. Untuk itu dengan segala kerendahan dan ketulusan hati, perkenankan saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Profesor Doktor E. S. Margianti, S.E., MM., selaku Rektor Universitas Gunadarma.
2. Bapak Profesor Doktor Insinyur Bambang Suryawan, MT., selaku Koordinator Program Pascasarjana Universitas Gunadarma.
3. Bapak Profesor Insinyur Busono Soerowirdjo, MSc., Ph.D., selaku Direktur Program Doktor Universitas Gunadarma.
4. Profesor Doktor Sarifuddin Madenda, selaku Ketua Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma sekaligus Ko-Promotor dis-

elasela kesibukannya dengan sabar membimbing, mengarahkan, memberi masukan dan memotivasi dalam menyelesaikan disertasi

5. Bapak Profesor Doktor Eri Prasetyo Wibowo, selaku Sekretaris Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma.
6. Bapak Profesor Doktor Insinyur Kudang Boro Seminar, M.Sc. selaku Promotor yang dengan sabar memberikan membimbing, memotivasi, melakukan koreksi, memberi masukkan dan saran dalam menyelesaikan disertasi ini.
7. Bapak Profesor Doktor Insinyur Sudrajat, M.Sc., selaku Penguji Luar terima kasih atas waktu, kesediaan, dan masukkan, serta saran disertasinya bagi saya.
8. Bapak Profesor Suryadi Harmanto, SSi., MMSI, Bapak Doktor rer. nat. I Made Wiriana dan Ibu Doktor Detty Purnamasari selaku penguji dalam yang telah memberi banyak masukan dan saran perbaikan, sehingga disertasi ini semakin berkualitas.
9. Bapak Doktor Irwan Bastian yang telah memberikan dukungan kepada saya dapat melaksanakan kuliah Program Doktor Teknologi Informasi di Universitas Gunadarma.
10. Ayahanda tercinta Baikusnendro dan Ibunda tercinta Mennik Trihastuti, yang selalu memberikan doa yang terbaik dan motivasi, serta kedua adik saya Finsa Dwi Hestu Fikriansya, dan Hilmi Hestu Saputra yang selalu mendukung secara moril.
11. Rekan-rekan angkatan 25 Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma yang selalu memberikan semangat, dan Mas Bonang Waspadadi Ligar, serta Sumaiyah Fitriandini yang berjuang bersama, serta diskusi.

12. Ibu-ibu di Sekretariat Program Doktor Teknologi Informasi Universitas Gunadarma Ibu Doktor Diny Wahyuni, Ibu Doktor Reni Diah Kusumawati, Ibu Doktor Aini Suri Talita, dan Ibu Doktor Dety Purnamasari yang sangat membantu dalam administrasi penyelesaian disertasi ini.
13. Teman-teman Bidang Kemahasiswaan Universitas Gunadarma, komunitas GDSC UG, Gunadarma IO, UGTV, Tim Teknis UG dan sahabat saya Muhammad Rifqi Al Furqon, Manfred Michael, dan Evan Sakti Endi yang telah membantu dalam penyelesaian disertasi ini.

Semoga Allah SWT memberikan limpahan kebaikan dan pahala atas semua perhatian dan dukungan yang Bapak, Ibu, Saudara sekalian berikan kepada saya. Harapan saya agar Disertasi ini memberikan manfaat nyata bagi semua pihak yang berkepentingan. Saya mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan pada masa yang akan datang.

*Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Jakarta, 10 Mei 2023

(Guntur Eka Saputra)

## DAFTAR ISTILAH

### **Akronim**

|             |   |
|-------------|---|
| <b>ASIC</b> | Application Specific Integrated Circuit |
| <b>CAD</b>  | Computer Aided Design                   |
| <b>EDA</b>  | Electronic Design Automation            |

### **Singkatan**

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| <b>AMS</b>                      | Austria Micro System                         |
| <b>CMOS</b>                     | Complementary Metal Oxide Silicon            |
| <b>FPGA</b>                     | Field Programmable Gate Array                |
| <b>GDSII</b>                    | Graphics Data Station Information Interchang |
| <b>HDL</b>                      | Hardware Description Language                |
| <b>IP</b>                       | Intellectual Property                        |
| <b>IC</b>                       | Integrated Circuit                           |
| <b><math>\mu\text{m}</math></b> | Mikrometer, $1 \times 10^{-6}$               |
| <b>RTL</b>                      | Register Transfer Level                      |
| <b>SOC</b>                      | System On CHIP                               |
| <b>VHDL</b>                     | VHSIC Hardware Description Language          |
| <b>VHSIC</b>                    | Very High Speed Interated Circuit            |
| <b>VLSI</b>                     | Very Large Scale Integration                 |

### **Simbol**

|              |  |
|--------------|--|
| <b>AMS</b>   | Austria Micro System                         |
| <b>CMOS</b>  | Complementary Metal Oxide Silicon            |
| <b>FPGA</b>  | Field Programmable Gate Array                |
| <b>GDSII</b> | Graphics Data Station Information Interchang |

|                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| <b>HDL</b>                      | Hardware Description Language       |
| <b>IP</b>                       | Intellectual Property               |
| <b>IC</b>                       | Integrated Circuit                  |
| <b><math>\mu\text{m}</math></b> | Mikrometer, $1 \times 10^{-6}$      |
| <b>RTL</b>                      | Register Transfer Level             |
| <b>SOC</b>                      | System On CHIP                      |
| <b>VHDL</b>                     | VHSIC Hardware Description Language |
| <b>VHSIC</b>                    | Very High Speed Interated Circuit   |
| <b>VLSI</b>                     | Very Large Scale Integration        |

# **DAFTAR ISI**

|  |      |
|--|------|
| <b>COVER</b>                                 | i    |
| <b>HALAMAN JUDUL</b>                         | ii   |
| <b>LEMBAR PERSETUJUAN</b>                    | iii  |
| <b>LEMBAR PENGUJI</b>                        | iv   |
| <b>PERNYATAAN ORIGINALITAS DAN PUBLIKASI</b> | v    |
| <b>ABSTRAK</b>                               | vi   |
| <b>ABSTRACT</b>                              | viii |
| <b>KATA PENGANTAR</b>                        | x    |
| <b>DAFTAR ISTILAH</b>                        | xiii |
| <b>DAFTAR ISI</b>                            | xv   |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                          | xix  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                         | xxii |
| <b>DAFTAR ALGORITMA</b>                      | xxii |
| <b>I PENDAHULUAN</b>                         | 1    |
| 1.1 Latar Belakang . . . . .                 | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah . . . . .                | 6    |

|            |  |           |
|------------|--|-----------|
| 1.3        | Batasan Masalah . . . . .                                  | 7         |
| 1.4        | Tujuan Penelitian . . . . .                                | 8         |
| 1.5        | Kontribusi dan Manfaat Penelitian . . . . .                | 8         |
| <b>II</b>  | <b>TELAAH PUSTAKA</b>                                      | <b>10</b> |
| 2.1        | Teknologi Informasi . . . . .                              | 10        |
| 2.2        | Teknik Televisi Digital . . . . .                          | 11        |
| 2.3        | Digital Video Broadcasting Terestrial 2 (DVB-T2) . . . . . | 14        |
| 2.4        | Jenis Kompresi Transmisi Video Digital . . . . .           | 18        |
| 2.4.1      | Video H.222 MPEG-TS . . . . .                              | 18        |
| 2.4.2      | Video H.264 MPEG-4 . . . . .                               | 20        |
| 2.5        | <i>Signal to Noise Ratio</i> (SNR) . . . . .               | 21        |
| 2.6        | <i>Signal Strength</i> . . . . .                           | 22        |
| 2.7        | Metrik Kualitas Gambar . . . . .                           | 24        |
| 2.7.1      | Penilaian Kualitas Gambar Referensi Penuh . . . . .        | 26        |
| 2.7.2      | Penilaian Kualitas Gambar Tanpa Referensi . . . . .        | 27        |
| 2.7.2.1    | Metrik NR-Bloking . . . . .                                | 27        |
| 2.7.2.2    | Metrik NR-Blur . . . . .                                   | 28        |
| 2.7.2.3    | Metrik NR-Temporal . . . . .                               | 29        |
| 2.7.3      | <i>Artificial Neural Network</i> (ANN) . . . . .           | 30        |
| 2.8        | Perangkat Lunak <i>tvheadend</i> . . . . .                 | 36        |
| 2.9        | <i>Subjective Assessment</i> . . . . .                     | 37        |
| 2.9.1      | Raspberry Pi + TV Hat . . . . .                            | 40        |
| 2.9.2      | DVB-T2 TV Tunner . . . . .                                 | 40        |
| 2.9.3      | <i>Confusion Matrix</i> . . . . .                          | 40        |
| <b>III</b> | <b>METODE PENELITIAN</b>                                   | <b>43</b> |
| 3.1        | Tahapan Penelitian . . . . .                               | 43        |
| 3.2        | Area Studi . . . . .                                       | 45        |

|                                |   |           |
|--------------------------------|---|-----------|
| 3.2.1                          | Obyek Penelitian . . . . .                            | 45        |
| 3.2.2                          | Pemilihan Perangkat Keras . . . . .                   | 46        |
| 3.3                            | Pembentukan <i>Dataset</i> . . . . .                  | 49        |
| 3.3.1                          | Akuisisi <i>Dataset</i> Video . . . . .               | 50        |
| 3.3.2                          | Metrik Obyektif Pengukuran Kualitas Gambar . . . . .  | 50        |
| 3.3.2.1                        | Metrik Bloking . . . . .                              | 51        |
| 3.3.2.2                        | Metrik Blur . . . . .                                 | 54        |
| 3.3.2.3                        | Metrik Temporal . . . . .                             | 58        |
| 3.3.3                          | Pengukuran Subyektif Kualitas Gambar . . . . .        | 60        |
| 3.3.3.1                        | Single Stimulus Standar ITU-R 500-14 . . . . .        | 60        |
| 3.3.3.2                        | Tahap 1 - Pemilihan materi dan luaran . . . . .       | 63        |
| 3.3.3.3                        | Tahap 2 - Sesi tes . . . . .                          | 65        |
| 3.3.3.4                        | Tahap 3 - Pengukuran hasil tes . . . . .              | 66        |
| 3.3.3.5                        | Desain Aplikasi Subyektif <i>Assessment</i> . . . . . | 68        |
| 3.4                            | Pembuatan Model NN . . . . .                          | 69        |
| 3.5                            | Hasil dan Perhitungan Model . . . . .                 | 72        |
| 3.5.1                          | <i>Confusion</i> matriks . . . . .                    | 73        |
| 3.5.2                          | Pengukuran Korelasi . . . . .                         | 76        |
| 3.6                            | Sistem Pengukuran Waktu Nyata . . . . .               | 78        |
| 3.6.1                          | Tahapan pembuatan <i>website</i> pemantauan . . . . . | 80        |
| 3.6.2                          | Arsitektur <i>Website Monitoring</i> . . . . .        | 82        |
| <b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b> |   | <b>84</b> |
| 4.1                            | Material yang digunakan . . . . .                     | 84        |
| 4.1.1                          | Proses akuisi material video . . . . .                | 84        |
| 4.1.2                          | Koleksi data . . . . .                                | 90        |
| 4.1.3                          | Perangkat pengolahan data . . . . .                   | 91        |
| 4.2                            | Pengujian metrik obyektif . . . . .                   | 92        |
| 4.2.1                          | Pengujian metrik <i>blocking</i> . . . . .            | 92        |

|                             |   |            |
|-----------------------------|---|------------|
| 4.2.2                       | Pengujian metrik <i>blur</i>                        | 95         |
| 4.2.3                       | Pengujian metrik <i>temporal</i>                    | 99         |
| 4.2.4                       | Pengukuran obyektif pada keseluruhan <i>dataset</i> | 104        |
| 4.3                         | Hasil pengambilan data pengukuran subyektif         | 105        |
| 4.3.1                       | Material pengukuran subyektif                       | 105        |
| 4.3.2                       | Perangkat yang digunakan                            | 106        |
| 4.3.3                       | Proses pengukuran subyektif                         | 106        |
| 4.3.4                       | Hasil pengukuran subyektif                          | 108        |
| 4.4                         | Pengujian dan hasil pada NN                         | 112        |
| 4.4.1                       | Data masukan dan luaran model                       | 113        |
| 4.4.2                       | Pengujian arsitektur NN                             | 116        |
| 4.4.2.1                     | Hasil regresi multivariabel                         | 116        |
| 4.4.2.2                     | Hasil ANN tanpa klasifikasi                         | 118        |
| 4.4.2.3                     | Hasil ANN dengan klasifikasi                        | 118        |
| 4.5                         | Aplikasi pemantauan kualitas gambar siaran DVB-T2   | 118        |
| 4.5.1                       | Arsitektur aplikasi                                 | 118        |
| 4.5.2                       | Pengujian dan implementasi aplikasi                 | 119        |
| <b>V</b>                    | <b>PENUTUP</b>                                      | <b>120</b> |
| 5.1                         | Kesimpulan  | 120        |
| 5.2                         | Saran   | 121        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>       |   | <b>122</b> |
| <b>DAFTAR RIWAYAT HIDUP</b> |   | <b>136</b> |

## DAFTAR TABEL

|   |     |
|---|-----|
| 2.1 Status DTV membandingkan sistem penyiaran digital di seluruh dunia ATSC, DTMB, DVB-T/DVB-T2, dan ISDB-T (DTVs-tatus 2017) . . . . . | 14  |
| 2.2 Fitur DVB-S2, DVB-C2 dan DVB-T2 (SANDY 4.) . . . . .  | 16  |
| 2.3 Spesifikasi DVB-T dan DVB-T2 (Ya'acob et al. 2019) . . . . .  | 18  |
| 3.1 Versi bahasa pemrograman python dan librariya . . . . .   | 48  |
| 3.2 Standar pengujian SS dengan <i>home-environment</i> . . . . .   | 63  |
| 3.3 Skala ITU-R Quality dan Impairment . . . . .  | 64  |
| 4.1 Pengambilan <i>dataset</i> dari layanan siaran DVB-T2 pada area studi   | 89  |
| 4.2 Perangkat pengolahan data yang digunakan . . . . .  | 91  |
| 4.3 Waktu yang dibutuhkan untuk memproses satu video dalam satuan detik . . . . .   | 102 |
| 4.4 Pengukuran metrik obyektif terhadap dataset . . . . .   | 104 |
| 4.5 Hasil pengukuran subyektif terhadap dataset . . . . .   | 109 |
| 4.6 Batasan masing-masing kelas berdasarkan pengukuran subyektif  | 112 |
| 4.7 Hasil pengukuran subyektif terhadap dataset . . . . .   | 113 |
| 4.8 Hasil pengujian terhadap percobaan regresi multivariabel . . . .  | 116 |
| 5.1 A sample long table. . . . .  | 130 |

## DAFTAR GAMBAR

|      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | dasar telekomunikasi (El-Saba 2018) . . . . .  | 10 |
| 2.2  | Sistem penyiaran digital untuk televisi terestrial (DTVstatus 2017) . . . . .  | 13 |
| 2.3  | Sistem pemancar DVB-T2 (Hou 2010) . . . . .  | 17 |
| 2.4  | H.264/AVC Struktur GOP (Apple-Inc. 2012) . . . . .   | 20 |
| 2.5  | Contoh gambar dari Basis Data Penilaian Kualitas Gambar LIVE, yang menunjukkan ambiguitas metrik kualitas objektif (dalam hal ini, PSNR)(Sheikh et al. 2006) . . . . . | 26 |
| 2.6  | Contoh gambar asli Lena dan versi terdistorsinya dengan artefak pemblokiran (Kusuma 2005) . . . . .  | 28 |
| 2.7  | Contoh video yang terganggu oleh pembekuan frame temporal. Setiap huruf yang berbeda mewakili frame yang unik. (Huynh-Thu & Gha 2009) . . . . .                        | 30 |
| 2.8  | Struktur otak manusia dengan kemampuan operasional (SANDY 24) . . . . .  | 32 |
| 2.9  | Fungsi Sigmoid . . . . .   | 34 |
| 2.10 | Langkah training ANN (SANDY 25) . . . . .  | 35 |
| 2.11 | Antarmuka <i>website</i> perangkat lunak <i>tvheadend</i> . . . . .  | 37 |
| 3.1  | Tahapan penelitian yang dilakukan . . . . .  | 44 |
| 3.2  | Contoh Gambar FHD dari layanan TVRI World . . . . .  | 46 |
| 3.3  | Fokus Penelitian . . . . .   | 48 |
| 3.4  | Rancangan Sistem Pengukuran Kualitas Gambar Siaran DVB-T2  | 49 |

|      |   |    |
|------|---|----|
| 3.5  | Perbandingan gambar normal dan <i>blocking</i> . . . . .  | 51 |
| 3.6  | Perbandingan Gambar Blur dan tidak, dari kiri ke kanan: Tumbling Es, Lena, Street View (Xu et al. 2021) . . . . . | 55 |
| 3.7  | Hasil Transformasi ke bentuk deteksi tepi menggunakan sobel pada gambar Lenna . . . . .                           | 56 |
| 3.8  | Diagram alur algoritma pengukuran blur pada gambar (Marziliano et al. 2002) . . . . .                             | 57 |
| 3.9  | Struktur presentasi dari subyektif tes . . . . .  | 65 |
| 3.10 | Interval antara <i>midgrey</i> dan materi uji . . . . .   | 66 |
| 3.11 | Rancangan tampilan aplikasi web subyektif <i>assessment</i> . . . . .   | 69 |
| 3.12 | Diagram parameter I/O untuk membangun model NN . . . . .  | 70 |
| 3.13 | Tahapan pembuatan arsitektur dan model NN . . . . .   | 72 |
| 3.14 | <i>Multiple Class Confusion Matrix</i> (Markoulidakis et al. 2021) . .  | 74 |
| 3.15 | Diagram alur program python pada pengukuran kualitas gambar siaran DVB-T2 waktu nyata . . . . .                   | 79 |
| 3.16 | Tahapan pembuatan <i>website monitoring real-time</i> kualitas gambar DVB-T2 . . . . .                            | 81 |
| 3.17 | Diagram arsitektur <i>website</i> pemantauan kualitas gambar siaran DVB-T2 . . . . .                              | 82 |
| 4.1  | Perangkat keras yang digunakan untuk akuisisi video siaran DVB-T2 . . . . .                                       | 85 |
| 4.2  | Pengukuran kekuatan sinyal menggunakan <i>signal analyzer</i> , <i>TinySA</i> .                                   | 86 |
| 4.3  | Penempatan antena outdoor PX HDA-5000 . . . . .   | 86 |
| 4.4  | Fitur melakukan perekaman video siaran DVB-T2 menggunakan <i>tvheadend</i> . . . . .                              | 87 |
| 4.5  | Jarak stasiun pemancar terhadap lokasi pengambilan data siaran DVB-T2 . . . . .                                   | 89 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 4.6  | Citra/frame video dengan resolusi FHD $1920 \times 1080$ piksel hasil rekaman dari siaran DVB-T2 . . . . .                                 | 90  |
| 4.7  | Pengukuran metrik obyektif blok pada citra normal dan <i>blocking artifact</i> . . . . .   | 93  |
| 4.8  | Contoh pengukuran metrik obyektif blok pada beberapa citra siaran televisi DVB-T2 . . . . .  | 94  |
| 4.9  | Pengukuran metrik obyektif blur pada citra normal dan blur . . . . .   | 96  |
| 4.10 | Contoh pengukuran metrik obyektif blur pada beberapa citra siaran televisi DVB-T2 . . . . .  | 97  |
| 4.11 | Pengukuran metrik temporal <i>freeze</i> dengan MSE skor . . . . .   | 99  |
| 4.12 | Contoh pengukuran metrik obyektif temporal pada video <i>dataset</i> no.84 siaran televisi DVB-T, temporal skor : 90 . . . . .             | 101 |
| 4.13 | Contoh pengukuran metrik obyektif temporal pada video <i>dataset</i> no.15 siaran televisi DVB-T, temporal skor : 65 . . . . .             | 103 |
| 4.14 | Tampilan aplikasi pengukuran subyektif kualitas citra video siaran DVB-T2 . . . . .  | 107 |
| 4.15 | Tampilan dashboard aplikasi pengukuran subyektif dari sisi administrator . . . . .   | 108 |
| 4.16 | Sebaran MOS pengukuran tes subyektif dari dataset video . . . . .  | 110 |
| 4.17 | Pembagian kelas MOS pengukuran subyektif dataset . . . . .   | 110 |
| 4.18 | Varian pengukuran subyektif dataset dengan skor terurut . . . . .  | 111 |
| 4.19 | Diagram scatter pengukuran metrik spatial terhadap MOS pada pengukuran subyektif (a) metrik blok, (b) metrik blur. . . . .                 | 114 |
| 4.20 | Diagram scatter pengukuran metrik temporal terhadap MOS pada pengukuran subyektif (a) metrik freeze, (b) metrik variansi gradien . . . . . | 115 |
| 4.21 | Diagram hasil prediksi terhadap MOS . . . . .  | 117 |
| 4.22 | Diagram Scater hasil prediksi terhadap MOS . . . . .   | 118 |

## **DAFTAR ALGORITMA**

|     |                                  |     |
|-----|----------------------------------|-----|
| 4.1 | Metrik pengukuran blok . . . . . | 92  |
| 4.2 | Metrik pengukuran blur . . . . . | 96  |
| 4.3 | Metrik pengukuran blur . . . . . | 98  |
| 4.4 | Metrik pengukuran blur . . . . . | 100 |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Televisi merupakan suatu media telekomunikasi satu arah yang menyampaikan informasi dalam bentuk gambar bergerak dan suara. Penerima siaran televisi harus memiliki tv set atau tv receiver, biasa tv set terdiri dari monitor, tuner, speaker, dan antena. Saat ini siaran televisi digital dapat ditransmisikan menggunakan media transmisi radio frekuensi yang biasa kita sebut tv terrestrial, ada juga yang menggunakan kabel, dan juga satelit. Perkembangan teknologi pada bidang penyiaran televisi digital telah menghasilkan beberapa standar diantaranya seperti *Digital Video Broadcasting (DVB)*, *Digital Multimedia Broadcasting (DMB)*, *Integrated Service Digital Broadcasting (IS-DB)*, dan *Advanced Television Systems Committee (ATSC)*. Salah satu standar yang paling banyak digunakan di dunia menurut data dtvstatus adalah DVB (DTVstatus 2017). DVB merupakan standar teknologi untuk pemancar dan penerima siaran televisi digital. DVB digunakan secara luas di seluruh dunia untuk menyiarkan siaran televisi digital melalui saluran udara, kabel, satelit, dan internet. Ada beberapa varian dari standar DVB, termasuk DVB-T untuk siaran udara, DVB-C untuk siaran melalui kabel, DVB-S untuk siaran melalui satelit, dan DVB-I untuk siaran melalui internet (Reimers 2006)(Chochliouros 2009).

Pada akhir 2012, Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 5/PER/M.KOMINFO/2/2012 tentang standar siaran

television digital terestrial penerimaan tetap tidak berbayar (*Free To Air*), infrastruktur TV digital menggunakan sistem DVB-T telah dimulai dan dioperasikan oleh penyedia layanan swasta di Jawa dan Kepulauan Riau. Pada periode transisi, sinyal analog dan digital secara bersamaan dipancarkan, yang dikenal sebagai periode *simulcast*. Tujuan periode transisi adalah agar orang-orang mulai membuat transisi ke penyiaran digital dan melihat perbedaan dalam kualitas siaran analog dan digital (Suryanto 2021).

Analog switch off (ASO) adalah proses transisi dari siaran televisi analog ke siaran televisi digital. Di Indonesia, ASO pertama kali dilakukan pada tahun 2018 di wilayah Jakarta, Bandung, dan Surabaya. Proses ASO di Indonesia dilakukan dengan menggunakan teknologi DVB-T2 (Digital Video Broadcasting - Second Generation Terrestrial), yang merupakan versi terbaru dari standar DVB untuk siaran udara. ASO di Indonesia juga dilakukan secara bertahap di beberapa daerah hingga puncaknya tanggal 2 November 2022 (Kominfo 2022). Setelah ASO, siaran televisi analog di Indonesia tidak lagi tersedia dan hanya tersedia siaran televisi digital melalui antena atau parabola satelit. Penggunaan televisi digital diharapkan dapat memberikan kualitas siaran yang lebih baik, serta menambah jumlah saluran yang tersedia. Selain itu, penggunaan teknologi digital juga diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan frekuensi radio dan mengurangi interferensi sinyal (Gultom 2018). Kelebihan lain dari siaran televisi digital dibanding analog adalah dapat mengurangi dampak dari interferensi sinyal dikarenakan memiliki kemampuan forward error correction (FEC) untuk memperbaiki data yang rusak (Dai et al. 2012).

Hingga saat ini siaran televisi baik analog maupun digital merupakan komunikasi satu arah yang memberikan informasi ke pengguna dalam bentuk gambar dan juga suara. Kekurangan dari sistem komunikasi ini adalah pengguna hanya dapat menerima bagaimanapun kualitas dari gambar dan suara

yang diterima, tanpa memungkinkan penerima untuk memberikan tanggapan atau berinteraksi dengan pengirim. Seringnya terjadi gangguan pada saluran televisi terutama di daerah-daerah yang jauh dari jangkauan pemancar dapat menimbulkan kerusakan gambar/suara, tidak lengkapnya informasi dan ketidakpuasan pengguna. Hal-hal seperti itu terkadang tidak diketahui oleh penyedia layanan atau stasiun pemancar televisi. Komunikasi satu arah tersebut merupakan karakteristik utama dari televisi, yang membedakannya dengan media komunikasi lain seperti telepon atau internet yang memungkinkan komunikasi dua arah. Namun demikian, beberapa layanan televisi juga dapat menyediakan fitur-fitur interaktif seperti telepon atau pesan teks untuk memungkinkan penerima berinteraksi dengan siaran yang sedang disajikan (Nguyen & Shwedyk 2009). Dikarenakan komunikasi satu arah tersebut, maka kualitas dari siaran dari televisi sering menjadi permasalahan di pengguna yang tidak tersampaikan. Kualitas dari suatu layanan televisi dapat diukur dengan beberapa parameter konvensional seperti tingkat kekuatan sinyal di suatu wilayah, distorsi sinyal dan perbandingan sinyal dengan gangguan (noise ratio). Pengukuran kualitas sinyal, biasanya digunakan alat ukur seperti spectrum analyzer, atau signal level meter. Alat-alat itu dapat membantu mengukur parameter-parameter tersebut secara akurat dan membantu dalam menentukan keandalan sistem komunikasi. Pengukuran kualitas sinyal sangat penting untuk memastikan bahwa sistem komunikasi dapat berfungsi dengan baik dan memberikan performa yang optimal (Kennedy & Davis 2009).

Parameter pengukuran sinyal sangat penting untuk menentukan kualitas gambar pada siaran televisi digital. Namun, parameter pengukuran sinyal tersebut tidak cukup untuk dapat menggambarkan kualitas dari suatu siaran. Beberapa kasus pada siaran TV digital sering terjadi kerusakan gambar meskipun kekuatan sinyal yang diterima baik. Hal tersebut dikarekan televisi digital menggunakan teknologi kompresi, dan apabila terjadi kerusakan di bagian da-

ta yang fatal, maka kerusakan akan lebih parah dibanding pada bagian data lain (Fischer 2010). Pada televisi digital terdapat beberapa jenis kerusakan yang biasa terjadi. Pertama adalah blockiness yaitu dimana gambar yang ditampilkan pada televisi terlihat seperti terdiri dari beberapa blok-blok kecil yang tidak teratur. Kedua yaitu blur dimana gambar yang ditampilkan terlihat kabur atau tidak jelas. Ketiga yaitu spatial dimana gambar yang ditampilkan tidak teratur atau berhenti. Ketiga parameter kerusakan pada gambar tersebut bisa dijadikan suatu ukuran untuk menentukan kualitas gambar pada siaran televisi digital (Robin & Poulin 2000).

Berdasarkan latar belakang masalah yang ada pada siaran televisi digital terrestrial, diperlukan suatu metode untuk dapat melakukan pengukuran kualitas sinyal dan juga kualitas gambar dari sisi penerima. Hasil pengukuran tersebut nantinya dapat menunjukkan seberapa bagus kualitas dari gambar yang diterima dari siaran televisi digital dalam periode tertentu dan juga menggambarkan kepuasan pengguna terhadap siaran yang diterima. Terdapat beberapa jenis pengukuran yang dapat dilakukan untuk mengukur kualitas siaran televisi digital yang pertama yaitu mengukur kualitas sinyal yang diterima dengan menggunakan signal strength meter atau signal quality meter.

Kedua menggunakan metode digital objective measurement, metode ini menggunakan pengukuran yang dapat memperoleh data kualitas gambar secara objektif, seperti mengukur tingkat kontras, saturasi, kecerahan, resolusi gambar (Wang 2003). Pengukuran kualitas gambar objektif juga dilakukan dengan menggunakan metrik kualitas gambar. Metrik kualitas gambar terdiri dari full-reference (FR), reduced-reference (RR), dan no-reference (NR) (Kusuma 2005). Metrik pengukuran kualitas gambar FR dan RR membutuhkan referensi dari gambar asli untuk melakukan pengukuran. Pada siaran televisi digital metrik FR dan RR tidak dapat digunakan pada pengukuran kualitas gambar tv digital dikarenakan tidak adanya referensi gambar asli yang

dapat dibandingan dengan gambar yang diterima dari siaran televisi. Metrik yang dapat digunakan pada pengukuran langsung siaran televisi digital adalah NR metrik seperti no-reference image quality assessment (NR-IQA).

Pengukuran ketiga menggunakan metode subjective measurement, metode ini menggunakan tes subjektif yang dilakukan oleh responden atau penonton untuk menilai kualitas gambar yang diterima. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur kualitas gambar dari sudut pandang penonton. Pengukuran subyektif dapat memakan waktu dan sumber daya yang banyak serta memiliki variasi yang besar dalam hasilnya, tapi dianggap sebagai cara paling akurat untuk mengukur kualitas gambar yang dirasakan. Pengukuran ini juga digunakan sebagai acuan untuk membandingkan pengukuran kualitas obyektif dengan melihat seberapa dekat pengukuran obyektif dapat memprediksi kualitas yang dirasakan oleh manusia. Salah satu metode yang paling sering digunakan adalah Mean Opinion Score (MOS) Metode ini menanyakan pengamat untuk memberikan skor kualitas pada skala 1 sampai 5, dengan skor 5 merupakan kualitas tertinggi dan skor 1 merupakan kualitas terendah. Skor rata-rata dari seluruh pengamat yang memberikan skor digunakan sebagai hasil pengukuran. Terdapat juga beberapa metode lain seperti Single Stimulus (SS) (Pauliks et al. 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu sistem spengukuran secara real-time terhadap kualitas sinyal dan gambar pada siaran televisi digital terrestrial DVB-T2 yang ada di Indonesia. Pengukuran terbagi menjadi dua bagian yang pertama adalah pengukuran sinyal dilakukan menggunakan hardware yang data hasil pengukurannya dapat diakuisisi ke dalam sistem. Kedua pengukuran pada kualitas gambar dilakukan dengan menggabungkan hasil subjective measurement dan objective measurement dalam artifial neural network (ANN). Pengukuran pada penelitian ini difokuskan pada kualitas gambar dari video hasil transmisi DVB-T2, dikarenakan televisi lebih mengutamakan

gambar dibanding dengan audio. Evaluasi kualitas video dilakukan untuk menggambarkan kualitas sekumpulan rangkaian video secara real time dalam satuan nominal yang objektif.

Perangkat yang digunakan adalah microcomputer raspberry-pi dengan tambahan modul perangkat keras untuk memperoleh siaran DVB-T2. Perangkat tersebut digunakan dengan adanya alasan khusus yaitu dari segi ekonomis, dinamis, spesifikasi, dan juga mudah untuk menamakan program. Data hasil pengukuran dengan menggunakan perangkat tersebut nantinya akan dikirimkan menggunakan jaringan internet dengan protocol internet of things (IoT). Hasil dari sistem ini adalah suatu aplikasi website yang menunjukkan grafik pengukuran sinyal dan juga grafik pengukuran kualitas gambar menggunakan algoritma ANN yang disesuaikan dengan standar pengukuran ITU-R BT.500-14 yang dirilis tahun 2019. Penelitian mengenai sistem pengukuran kualitas gambar pada siaran televisi digital menggunakan machine learning masih sangat jarang ditemukan sehingga menjadi suatu peluang penelitian dan pengembangan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada topik penelitian yang telah uraikan pada latar belakang di atas, maka diperoleh beberapa rumusan masalah yang menjadi fokus pada penelitian, yaitu:

1. Bagaimana cara melakukan akuisisi data pengukuran kualitas siaran televisi digital menggunakan perangkat komputer?
2. Bagaimana menerapkan algoritma pengukuran NR-IQA yang ada pada perangkat computer untuk melakukan pengukuran objektif kualitas gambar ?

3. Bagaimana cara untuk melakukan pengukuran subjektif terhadap gambar/video dari siaran televisi digital terrestrial?
4. Bagaimana menerapkan model ANN berdasarkan pengukuran objektif dan subjektif pada pengukuran kualitas gambar siaran televisi digital terrestrial secara real-time?

### **1.3 Batasan Masalah**

Penelitian ini berusaha mengembangkan teknik dan mengatasi kendala yang telah ada dalam bentuk pembuatan sistem untuk melakukan pengukuran kualitas sinyal dan kualitas gambar dari siaran televisi digital terrestrial secara real-time sehingga Batasan pada penelitian ini yaitu:

1. Menggunakan perangkat mikrokomputer raspberry-pi dan modul tv hat untuk mendapatkan siaran televisi digital terrestrial (DVB-T2) dan juga pengukuran kualitas sinyal yang dapat diakuisisi pada perangkat komputer. Perangkat ini memiliki kekurangan dari sisi spesifikasi prosesor dan juga GPU yang tidak terlalu tinggi.
2. Menggunakan beberapa pengukuran no-reference image quality metrics (NR-IQA) yang sudah ada untuk mendapatkan tingkat kerusakan pada gambar secara objektif yang nantinya digunakan sebagai variable masukan pada sistem artificial neural network (ANN).
3. Melakukan pengukuran secara subjektif pada gambar/video menggunakan standar terbaru yang ditetapkan International Telecommunication Union (ITU). Hasil pengukuran ini nantinya digunakan sebagai parameter supervised learning pada sistem ANN.
4. Melakukan implementasi model dari ANN ke sistem untuk melakukan pengukuran secara realtime pada mikrokomputer. Hasil pengukuran

dikirim menggunakan protocol IoT yang nantinya ditampilkan pada aplikasi web.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah penelitian yang telah diuraikan sebelumnya, maka tujuan utama dari penelitian ini adalah membuat suatu sistem pengukuran kualitas sinyal dan kualitas gambar pada siaran televisi digital terestrislal. Dalam prosesnya dibutuhkan beberapa tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menghasilkan metode untuk memperoleh data kualitas sinyal televisi digital terestrislal secara realtime menggunakan perangkat mikrokomputer.
2. Menghasilkan suatu model ANN dengan variable masukan berupa pengukuran objektif kualitas gambar yang disupervised menggunakan pengukuran subjektif.
3. Membuat suatu aplikasi untuk melakukan pengukuran gambar/video dari siaran televisi digital secara subjektif, yang nantinya digunakan sebagai dataset pada ANN.
4. Menghasilkan suatu metode untuk melakukan pengukuran kualitas gambar/video secara realtime dari siaran televisi digital menggunakan model ANN yang sudah dibentuk, dan menampilkannya pada dashboard web aplikasi menggunakan protocol IoT.

## 1.5 Kontribusi dan Manfaat Penelitian

Dari segi keilmuan, penelitian ini menghasilkan suatu metode untuk melakukan pengukuran kualitas gambar/video menggunakan algoritma ANN supervised learning berdasarkan penilaian subjektif assessment dan juga metrik

pengukuran objektif. Dari sisi pengembangan teknologi, penelitian ini menghasilkan suatu sistem pengukuran kualitas gambar/video pada siaran televisi digital terrestrial secara realtime. Sistem ini dapat digunakan secara umum untuk mengetahui kualitas siaran televisi pada suatu wilayah.

Manfaat dari penelitian ini yaitu sistem yang dihasilkan dapat diterapkan dan digunakan oleh penyedia siaran (services), pengguna jasa siaran, dan juga pengguna akhir. Sistem dapat menampilkan secara realtime dengan pengukuran yang sesuai untuk dapat memberikan bukti secara nyata kualitas gambar yang diterima di suatu wilayah.

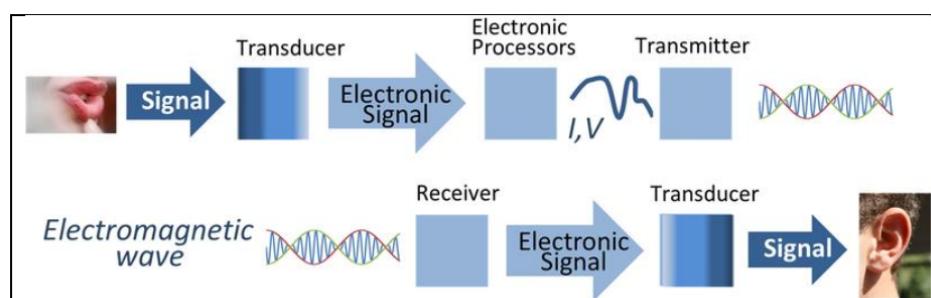
## BAB II

### TELAAH PUSTAKA

#### 2.1 Teknologi Informasi

Informasi adalah proses transmisi dan transfer pengetahuan: bentuk, data, dan konsep, studi dengan tujuan membuatnya dapat diakses oleh orang lain, lembaga atau masyarakat. Kualitas proses ini akan menentukan diterima atau tidaknya perubahan perilaku dan sikap individu tersebut. Teknologi informasi berupa perangkat apapun yang memiliki kapasitas untuk mengolah data dan atau informasi, baik secara sistematis maupun dinamis. Teknologi informasi juga dapat diterapkan pada produk maupun dalam suatu proses (Victoria 2020).

Telekomunikasi adalah sistem komunikasi jarak jauh dengan teknologi, terutama melalui sinyal listrik atau gelombang elektromagnetik. sistem komunikasi juga merupakan bagian dari perangkat keras (seperti TV, ponsel) atau algoritma yang membaca informasi data masukan, memprosesnya dan mengirimkan data keluaran melalui saluran tertentu. gambar 2.1 merupakan gambaran umum dasar telekomunikasi.



Gambar 2.1: dasar telekomunikasi (El-Saba 2018)

*Digital Television* (DTV) merupakan transmisi sinyal audiovisual televisi menggunakan pengkodean digital, berbeda dengan teknologi televisi analog sebelumnya yang menggunakan sinyal analog. Perkembangan ini dianggap sebagai kemajuan inovatif dan merupakan evolusi signifikan pertama dalam teknologi televisi sejak televisi berwarna pada 1950-an. DTV dapat berupa *High Definition Television* (HDTV) atau transmisi simultan dari berbagai program *Standar Definition Television* (SDTV), yang merupakan kualitas gambar yang lebih rendah daripada HDTV tetapi jauh lebih baik daripada televisi analog (Kruger & Guerrero 2002).

## 2.2 Teknik Televisi Digital

Layanan DTV mempunyai tiga komponen utama yang harus ada agar konsumen dapat menikmati pengalaman menonton televisi "definisi tinggi" yang sepenuhnya terwujud.

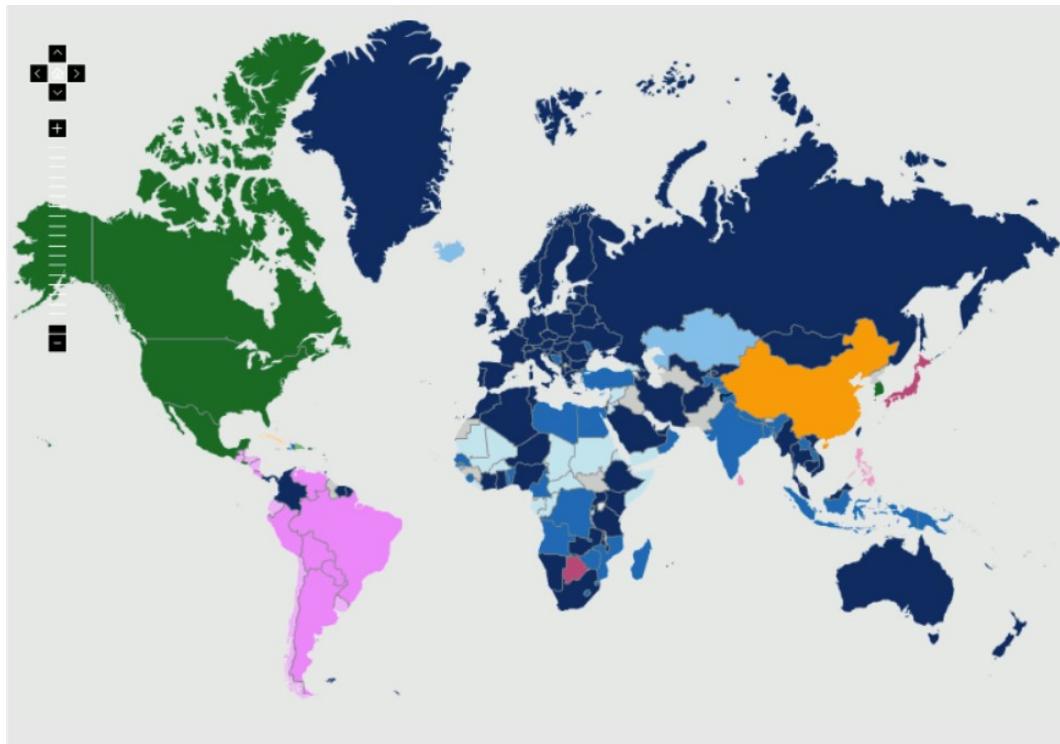
1. pemrograman digital harus tersedia. Pemrograman digital adalah konten yang diproduksi dengan kamera digital dan peralatan produksi digital lainnya. Peralatan tersebut berbeda dari apa yang saat ini digunakan untuk menghasilkan pemrograman analog konvensional.
2. pemrograman digital harus dikirimkan kepada konsumen melalui sinyal digital. Sinyal digital dapat disiarkan melalui gelombang udara (membutuhkan menara transmisi baru atau antena DTV di menara yang ada). Sinyal digital ditransmisikan oleh teknologi televisi kabel atau satelit, atau disampaikan oleh sumber yang direkam sebelumnya seperti *disk video digital* (DVD)
3. konsumen harus memiliki produk televisi digital yang mampu menerima sinyal siaran digital, konsumen dapat membeli monitor digital disertai

dengan *set-top converter box*. televisi digital juga dapat terintegrasi dengan kemampuan pengaturan digital yang sudah dibuat oleh produsen (Kruger & Guerrero 2002)

Standar penyiaran televisi digital yang berbeda telah diadopsi di berbagai belahan dunia diantaranya *Digital Video Broadcasting* (DVB) menggunakan modulasi *Orthogonal frequency-division multiplexing* (OFDM) dan mendukung transmisi hierarkis. Standar ini telah diadopsi di Eropa, Afrika, Asia, dan Australia, dengan total sekitar 60 negara. *Advanced Television Systems Committee* (ATSC) menggunakan modulasi *8-level vestigial sideband modulation* (8VSB) untuk penyiaran terestrial. Standar ini telah diadopsi oleh 6 negara: Amerika Serikat, Kanada, Meksiko, Korea Selatan, Republik Dominika dan Honduras (DTVstatus 2017). *Integrated Services Digital Broadcasting* (ISDB) adalah sistem yang dirancang untuk menyediakan penerimaan yang baik untuk penerima tetap dan juga penerima portabel atau seluler. ISDB mendukung transmisi hierarkis hingga tiga lapisan dan menggunakan video MPEG-2 dan *Advanced Audio Coding*. Standar ini telah diadopsi di Jepang dan Filipina. ISDB-T International adalah adaptasi dari standar ini menggunakan H.264 / MPEG-4 AVC, yang telah diadopsi di sebagian besar negara-negara Amerika Selatan dan Afrika berbahasa Portugis (yen Ong et al. 2010).

*Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting* (DTMB) mengadopsi teknologi OFDM *Time-Domain Synchronous* (TDS) dengan kerangka sinyal pseudo-acak untuk berfungsi sebagai *Gate Interval* (GI) dari blok OFDM dan simbol pelatihan. Standar DTMB telah diadopsi di Republik Rakyat Tiongkok, termasuk Hong Kong dan Makau (yen Ong et al. 2010). *Digital Multimedia Broadcasting* (DMB) adalah teknologi transmisi radio digital yang dikembangkan di Korea Selatan sebagai bagian dari proyek TI nasional untuk mengirim multimedia seperti TV, radio dan datacasting ke perangkat seluler seperti ponsel, laptop dan sistem navigasi GPS (?). Gambar 2.2 dan tabel 2.1

merupakan penyebaran sistem DVB pada seluruh dunia (DTVstatus 2017).



Gambar 2.2: Sistem penyiaran digital untuk televisi terestrial (DTVstatus 2017)

Tabel 2.1: Status DTV membandingkan sistem penyiaran digital di seluruh dunia ATSC, DTMB, DVB-T/DVB-T2, dan ISDB-T (DTVstatus 2017)

| System                        | Explanation   |
|-------------------------------|---|
| DVB-T/DVB-T2                  | Broadcasting via DVB-T/DVB-T2 is actively in use.   |
| DVB-T/DVB-T2 adopted          | Countries which have adopted the DVB-T/DVB-T2 system.   |
| DVB-T/DVB-T2 trial broadcasts | Those countries undertake trials with DVB-T/DVB-T2.   |
| RRC06                         | The according countries participate in the Regional Radiocommunications Conference 2006 of the ITU (International Telecommunication Union). It can be assumed that all countries taking part will ultimately use the DVB-T/DVB-T2 system when they move from analog to digital. |
| ATSC                          | Broadcasting via the ATSC system is actively in use.  |
| ATSC adopted                  | Countries which have adopted the ATSC system.   |
| ATSC trial broadcasts         | Those countries undertake trials with ATSC.   |
| ISDB-T                        | Broadcasting via ISDB-T is actively in use.   |
| ISDB-T adopted                | Countries which have adopted the ISDB-T system.   |
| ISDB-T trial broadcasts       | Those countries undertake trials with ISDB-T.   |
| SBTVD-T                       | Broadcasting via SBTVD-T is actively in use.  |
| SBTVD-T adopted               | Countries which have adopted the SBTVD-T system.  |
| DTMB                          | Broadcasting via DTMB is actively in use.   |
| DTMB adopted                  | Countries which have adopted the DTMB system.   |
| DTMB trial broadcasts         | Those countries undertake trials with DTMB.   |
| Commercial DVB-T services     | No formal adoption of a DTT standard or undecided countries   |

### 2.3 Digital Video Broadcasting Terestrial 2 (DVB-T2)

Proyek *Digital Video Broadcasting* (DVB), merupakan suatu badan yang bertanggung jawab untuk membuat spesifikasi DVB dan secara resmi diresmikan

pada bulan September 1993. Proyek ini didahului oleh Kelompok Peluncuran Eropa untuk Penyiaran Video Digital. Proyek ini terdiri dari kelompok sukarela yang terdiri dari lebih dari 210 organisasi yang telah bergabung untuk memungkinkan pengembangan standar untuk DVB di semua bagian dunia, serta pengenalan awal layanan DVB (Reimers 1998). Sistem DVB mendistribusikan data menggunakan berbagai pendekatan yaitu:

1. Transmisi Satellite (S):
  - (a) DVB-S
  - (b) DVB-S2
2. Transmisi Kabel (C):
  - (a) DVB-C
  - (b) DVB-C2
3. Transmisi televisi terestrial (T):
  - (a) DVB-T
  - (b) DVB-T2 untuk televisi terestrial digital

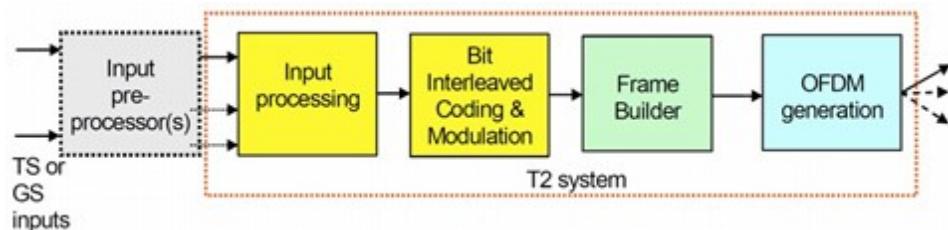
Tabel 2.2: Fitur DVB-S2, DVB-C2 dan DVB-T2 (SANDY 4.)

| Category          | DVB-T2   | DVB-C2   | DVB-S2   |
|-------------------|--|--|--|
| Input Interface   | Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE) | Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE) | Multiple Transport Stream and Generic Stream Encapsulation (GSE) |
| Code rate         | 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6                                     | 1/2, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10                               | 1/4, 1/3, 2/5, 1/2, 3/5, 2/3, 3/4, 4/5, 5/6, 8/9, 9/10           |
| Interleaving      | Bit, Cell, Time, Frequency                                       | Bit, Time, Frequency   | Bit  |
| Modulation Scheme | QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM                                       | 16QAM to 4096QAM   | QPSK to 8-PSK, 16-APSK, 32-APSK                                  |
| Modulation        | OFDM   | OFDM   | Singe carrier  |
| Guard Interval    | 1/4, 19/256, 1/8, 9/128, 1/16, 1/32, 1/128                       | 1/64, 1/128  | -  |
| FFT Size          | 1K, 2K, 4K, 8K, 16K, 32K   | 4K   | -  |
| Pilots            | Scaterred, edge, continual, P2, frame-closing                    | Scaterred, edge, continual, P2, preamble                         | 36 pilot symbols   |

Tabel 2.2 merupakan fitur yang ada pada DVB-S2, DVB-C2 dan DVB-T2. DVB-T2 dipilih pada penelitian ini karena merupakan salah satu standar teknis terbaru yang dikembangkan oleh Proyek DVB untuk DTT (*Digital Terrestrial Television*). DVB-T2 juga dikenal sebagai siaran digital melalui sistem terestrial sejak tahun 2006 dan merupakan perpanjangan dari sistem DVB-T sebagai program generasi kedua untuk meningkatkan efisiensi sistem total (Ya'acob et al. 2019). DVB-T2 adalah standardisasi generasi kedua dari DVB-T. DVB-T2 menyediakan enam ukuran *fast Fourier transform* (FFT) hingga 32K FFT, tujuh *guard interval* (GI) yang beragam, dan empat skema modulasi berbasis modulasi OFDM hingga 256-*Quadrature Amplitude Modulation* (QAM). DVB-T2 disasarkan pada kode LDPC (Low-Density Parity-

Check) dan BCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghem) yang digabungkan dengan berbagai tingkat kode (Lee & Kook 2019).

Tabel 2.3 menunjukkan parameter transmisi yang dapat digunakan pada DVB-T dan DVB-T2. Perbedaan diantaranya ditandai dengan huruf cetak tebal. Parameter yang membedakan salah satunya *Input Interface* pada DVB-T2 sudah mendukung GSE. GSE adalah protokol lapisan tautan data (*data link layer*) yang ditentukan oleh DVB. GSE menyediakan sarana untuk membawa protokol berorientasi paket seperti IP di atas lapisan fisik (*physical layer*) unidirectional dan memiliki dukungan untuk enkapsulasi multi-protokol (IPv4, IPv6, MPEG, ATM, Ethernet, VLAN 802.1pQ). *Bitrate* yang digunakan pada DVB-T2 lebih besar dari DVB-T yaitu hingga 32kbit/s per simbol menjadi sistem yang cocok untuk membawa sinyal HDTV pada saluran TV terestrisial (DVBProject 2013). Alur proses transmitter DVB-T2 ditunjukkan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3: Sistem pemancar DVB-T2 (Hou 2010)

Tabel 2.3: Spesifikasi DVB-T dan DVB-T2 (Ya'acob et al. 2019)

| Category          | DVB-T   | DVB-T2  |
|-------------------|---|---|
| Input Interface   | Single Transport Stream (TS)                            | Multiple Transport Stream and <b>Generic Stream Encapsulation (GSE)</b> |
| FEC Rate          | Convolutional Coding + Reed-Solomon, 1/2, 2/3, 3/4, 7/8 | <b>LDPC + BCH</b> , 1/2, <b>3/5</b> , 2/3, <b>4/5</b> , <b>5/6</b>      |
| Modulation Scheme | QPSK, 16QAM, 64QAM                                      | QPSK, 16QAM, 64QAM, <b>256QAM</b>                                       |
| Guard Interval    | 1/4, 1/8, 1/16, 1/32                                    | 1/4, <b>19/256</b> , 1/8, <b>9/128</b> , 1/16, 1/32, <b>1/128</b>       |
| IFFT Point        | 2048, 8192  | 2048, 4096, 8192, <b>16384</b> , <b>32768</b>                           |

## 2.4 Jenis Kompresi Transmisi Video Digital

Kompresi transmisi video digital adalah proses mengurangi ukuran data video sebelum dikirimkan melalui jaringan. Ini dilakukan untuk memastikan bahwa video dapat diterima dengan cepat dan dengan kualitas yang baik, meskipun dengan kapasitas bandwidth yang terbatas. Kompresi video menggunakan algoritma kompresi untuk menghapus informasi redundant dalam video dan mengurangi ukuran data. Setelah video diterima, algoritma dekompresi digunakan untuk memulihkan video ke bentuk aslinya. Ada berbagai jenis kompresi video digital yang digunakan, seperti MPEG-2, MPEG-4 AVC/H.264, VC-1, VP9, dan HEVC. (Salomon & Motta 2010).

### 2.4.1 Video H.222 MPEG-TS

*Moving Pictures Experts Group Transport Stream* (MPEG-TS) dipilih untuk pengkodean sumber audio dan video untuk pembuatan aliran dasar program. *Transport Stream* MPEG-2, juga disebut MPEG-2 atau MPEG-2 TS atau hanya TS, adalah format khusus untuk mentransmisikan video MPEG (MPEG-1, MPEG-2, atau MPEG-4) dalam sebuah kontainer. TS menetapkan

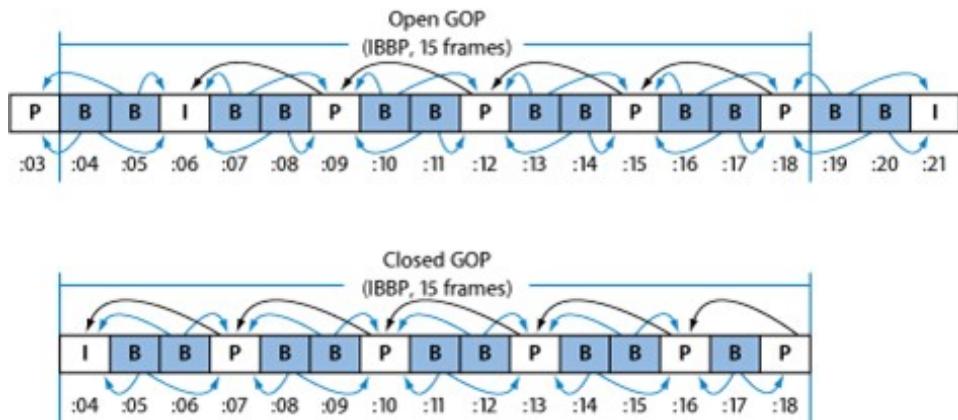
format wadah yang mengenkapsulasi aliran elemental paket (PES), dengan fitur koreksi kesalahan dan pola sinkronisasi untuk menjaga integritas transmisi ketika saluran komunikasi yang membawa aliran mengalami degradasi (ISO & IEC 2022).

MPEG-TS (MPEG Transport Stream) adalah standar transmisi untuk mengirimkan video digital dan audio dalam siaran televisi digital. Dalam siaran televisi digital, data video dan audio dikompresi menggunakan standar kompresi seperti MPEG-2 atau H.264, kemudian diteruskan dalam bentuk paket-paket yang disebut Transport Stream (TS). TS ini mengandung informasi tentang data video dan audio, serta informasi tambahan seperti pengaturan siaran dan informasi program. TS ini kemudian diteruskan melalui jaringan transmisi seperti saluran satelit atau jaringan kabel. Setelah sampai pada penerima, TS didekode dan diterjemahkan menjadi video dan audio yang dapat dilihat dan didengar (Hoelzer 2005, ISO & IEC 2022).

MPEG-TS menggunakan tiga jenis frame (I, P, dan B) untuk mewakili video. Pengaturan GOP menentukan pola tiga jenis frame yang akan digunakan. Ketiga tipe gambar ini antara lain Intra (*I-frame*), juga dikenal sebagai *frame* kunci. Setiap GOP berisi satu *I-frame*. *I-frame* adalah satu-satunya jenis *frame* MPEG-TS yang dapat didekompresi sepenuhnya tanpa referensi ke *frame* yang mendahului atau mengikutinya. Ini juga merupakan data yang paling berat, membutuhkan ruang disk paling banyak.

Berikutnya *Predicted frame (P-frame)*, dienkodekan dari gambar diprediksi berdasarkan pada *frame* I- atau P yang terdekat dan sebelumnya. *P-frame* biasanya membutuhkan ruang disk jauh lebih sedikit daripada *I-frame* karena mereka merujuk pada I- atau P-*frame* sebelumnya dalam GOP. Terakhir ada *Bi-directional (B-frame)*, dikodekan dari interpolasi *frame* referensi yang berhasil dan sebelumnya, baik dari *I-frame* atau *P-frame*. *B-frame* adalah jenis *frame* yang paling efisien penyimpanan, membutuhkan ruang disk paling sedikit.

it. Penggunaan B dan *P-frame* memungkinkan MPEG-TS untuk menghapus redundansi temporal, berkontribusi pada kemampuannya untuk mengompres video secara efisien (Apple-Inc. 2012).



Gambar 2.4: H.264/AVC Struktur GOP (Apple-Inc. 2012)

#### 2.4.2 Video H.264 MPEG-4

MPEG-4 adalah metode mendefinisikan kompresi data digital audio dan visual (AV). Ini diperkenalkan pada akhir 1998 dan menetapkan standar untuk sekelompok format pengkodean audio dan video dan teknologi terkait yang disetujui oleh Kelompok Ahli Gambar Bergerak ISO / IEC (MPEG) (ISO / IEC JTC1 / SC29 / WG11) di bawah standar formal ISO / IEC 14496-Pengkodean objek audio-visual. Penggunaan MPEG-4 termasuk kompresi data AV untuk web (*streaming media*) dan distribusi CD, suara (telepon, *videophone*) dan aplikasi siaran televisi. Standar MPEG-4 dikembangkan oleh kelompok yang dipimpin oleh Touradj Ebrahimi (kemudian presiden JPEG) dan Fernando Pereira (Ebrahimi & Pereira 2002).

Dibandingkan dengan MPEG-2, AVC MPEG-4 yang jauh lebih baik (H.264) video codec memungkinkan kecepatan data diturunkan 30 hingga 50%. Ini berarti bahwa sinyal SDTV sekarang dapat dikompresi hingga kira-kira 1,5 - 3 Mbit/s dibandingkan dengan laju data 2-7 Mbit/s, laju data asli yang tidak terkompresi adalah 270 Mbit/s. Menggunakan MPEG-4, sinyal HDTV

dapat menyusut menjadi sekitar 10 Mbit / dtk dari aslinya 1,5 Gbit/ dtk. MPEG-2 membutuhkan sekitar 20 Mbit/s untuk ini (Fischer 2010).

## 2.5 *Signal to Noise Ratio (SNR)*

SNR didefinisikan dengan baik dan dipahami dalam teknik listrik dan komunikasi. SNR sering digunakan dalam pekerjaan yang berkaitan dengan proses pengukuran dan desain instrumen, tetapi relatif sedikit digunakan dalam berorientasi aplikasi(SANDY 5). SNR dalam bentuknya yang paling sederhana didefinisikan sebagai rasio kekuatan sinyal terhadap kekuatan *noise*. Dalam praktiknya, *noise* dikenali pada echogram sebagai latar belakang umum acak. *Noise* tersebut dapat dihilangkan dengan memilih *threshold* yang akan memberikan sinyal bebas interferensi tetapi tidak secara signifikan mengurangi sinyal yang diinginkan dalam rentang kedalaman sinyal yang diinginkan (Welvaert & Rosseel 2013). Nilai SNR yang lebih tinggi menunjukkan kualitas sinyal yang lebih baik dan SNR yang rendah menunjukkan ada banyaknya *noise* pada sinyal tersebut (Altunian 2021).

SNR biasanya dinyatakan dalam Desibel (dB), terutama dalam aplikasi audio dan suara karena rentang dinamis pendengaran manusia yang sangat besar (Kessel 2018). Desibel (dB) sering digunakan untuk menyatakan rasio tidak berunit. dB bukanlah "satuan" dalam arti meter, newton, detik. Desibel dapat dianggap seperti persen, lusin atau bagian per juta sehingga dB adalah bilangan tak berdimensi (Centauri 2013). Desibel menjadi cara untuk mengekspresikan nilai pada skala logaritmik. Komponen audio, sebagai contoh mempunyai SNR senilai 100 dB, itu berarti level sinyal audio 100 dB lebih tinggi daripada *noise*. Spesifikasi SNR 100 dB jauh lebih baik daripada yang 70 dB atau kurang.

Sebagai ilustrasi, katakanlah Anda sedang berbicara dengan seorang teman di dapur yang kebetulan juga memiliki lemari es yang sangat keras.

Katakan juga bahwa kulkas menghasilkan 50 dB dengungan, anggap ini kebisingan karena membuat isinya tetap dingin. Jika teman yang Anda ajak bicara berbicara dengan suara 30 dB, anggap suara tersebut adalah sinyal. Anda tidak akan bisa mendengar sepatah kata pun karena suara kulkas menyalahkan ucapan teman Anda. Anda mungkin meminta teman Anda untuk berbicara lebih keras, tetapi bahkan pada 60 dB, Anda mungkin masih perlu meminta mereka untuk mengulanginya. Berbicara pada 90 dB mungkin tampak lebih seperti pertandingan berteriak, tetapi setidaknya kata-kata akan didengar dan dipahami (Altunian 2021). Formula 2.1 merupakan rumus untuk mencari nilai SNR (Kieser et al. 2005)

$$SNR_{db} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}}\right) \quad (2.1)$$

Dimana:

$P_{signal}$  : nilai sinyal asli dalam bentuk watt

$P_{noise}$  : nilai sinyal *noise* dalam bentuk watt

## 2.6 *Signal Strength*

Kekuatan sinyal atau *signal strength* berarti ukuran seberapa kuat sinyal transmisi yang diterima, diukur atau diprediks, pada titik referensi yang merupakan jarak dari antena pemancar (Hendrickson 2022). *signal strength* umumnya berkurang dengan bertambahnya jarak (Matthews et al. 2018). Sinyal TV adalah tegangan, dB mengacu pada skala mikro-volt yang digunakan untuk implementasi sistem TV menjadi proses penambahan dan pengurangan yang sederhana. *signal strength* didasarkan pada skala mikro-volt dB. Skala dimulai pada -30dBm akan menjadi mikro-Watt, -60dBm menjadi 1 nano-Watt, 0dBm yang akan menjadi 1 miliWatt, 30dBm akan menjadi 1 Watt, . *signal strength*

mengalami peningkatan sebanyak 30 dB per kelipatan 1000. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa ketika berhadapan dengan pengukuran sinyal yang lemah atau terbatas, peningkatan kecil dalam dB sering kali dapat membuat perbedaan besar (Frost 2014). Tingkat kekuatan sinyal minimum yang disarankan adalah sebagai berikut (Hendrickson 2022):

- TV Digital Terrestrial -45dB (Idealnya tidak kurang dari -50dB) <- Cari referensinya lagi
- TV Analog -60dB
- Sinyal TV Satelit -47dB (Idealnya tidak kurang tidak -52dB)

Kualitas atau sinyal yang *robust* atau kokoh diukur dalam hal kekuatan sinyal asli yang dikurangi *noise* yang dapat berasal dari berbagai sumber. *Noise* listrik sebenarnya akan ada di dalam sinyal, jadi inilah mengapa mendapatkan kekuatan sinyal saja tidak selalu merupakan faktor penentu kualitas sinyal yang handal. Meskipun demikian, semakin banyak sinyal yang dapat diperoleh dari pemancar TV, semakin besar perlindungan yang Anda miliki terhadap gangguan dan gangguan listrik (Matthews et al. 2018). Formula 2.2 merupakan rumus untuk mencari nilai *signal strength*

$$L_{dBm} = 10 \log_{10} \left( \frac{P}{0,001W} \right) \quad (2.2)$$

Dimana:

$L_{dBm}$  : nilai *signal strength* dalam satuan dBm

$P$  : nilai sinyal yang diterima oleh antena *receiver* dalam satuan mW

## 2.7 Metrik Kualitas Gambar

Penilaian kualitas citra dapat diartikan sebagai menilai atau mengukur kualitas suatu citra yang sesuai atau mengacu pada citra aslinya. Gambar dalam kompresi, jika diambil terdapat distorsi yang besar maka tidak akan cocok dengan gambar asli yang disimpan dalam dataset sehingga menemukan kualitas gambar di area tersebut sangat diperlukan. *image quality assessment algorithms* (IQA) merupakan salah satu proses penilaian kualitas gambar secara objektif, algoritma tersebut akan memprediksi kualitas gambar secara objektif. Metode objektif yang dipakai adalah metode klasifikasi tanpa referensi (Kumar & Prajapati 2015).

Metode objektif bukan satu-satunya perspektif dimana suatu gambar hanya dinilai dari sudut pandang komputer. Suatu gambar dapat dinilai dengan mata manusia sehingga mempertimbangkan figur tambahan jasa atau Pengamat dapat memberikan wawasan yang jauh lebih informatif. DAta keluaran pada gambar, secara umum dinyatakan dari metrik objektif untuk stimulus visual yang diberikan dinyatakan sebagai nilai tunggal pada suatu skala berkelanjutan. Data keluaran dengan metode objektif tersebut menunjukkan bahwa ketika skor kualitas yang diprediksi pada gambar dengan nilai yang diperoleh, keunggulan kualitas tiap gambar selalu terbentuk, tidak peduli seberapa kecil perbedaannya. Perbedaan skor kualitas yang bukan bernilai nol antara dua gambar serupa dapat menyebabkan keambiguan ketika perbedaan kualitas tidak terlihat oleh Pengamat. Kepekaan visual manusia terbatas dalam arti bahwa sejumlah kecil perbedaan nilai piksel terkadang tidak dapat dibedakan secara visual tergantung pada beberapa faktor seperti pencahayaan keseluruhan dan nilai piksel (Cheon et al. 2021). Metode penilaian subjektif biasanya digunakan untuk menghitung kualitas gambar. Penilaian subjektif ini digunakan oleh Pengamat untuk menilai kualitas gambar. Gambar

diberikan kepada Pengamat. Pengamat diberikan persyaratan waktu, Pengamat tersebut memberikan skor atau nilai pada gambar. Hasil subjektif dapat memberikan hasil yang akurat (Kumar & Prajapati 2015).

Gambar 2.5 menunjukkan contoh gambar yang menunjukkan adanya ambiguitas (Cheon & Lee 2016). Dua gambar referensi (burung beo dan rumah) diambil dari *database* Penilaian Kualitas Gambar LIVE (SANDY 18), kompresi JPEG2000 dilakukan untuk memberi *noise* pada gambar dengan bitrate yang berbeda. Ketika Gambar 2.5a dan 2.5b dibandingkan secara visual, perbedaan kualitasnya dapat dengan mudah dibedakan. Penilaian kualitas subjektif dilakukan percobaan, dimana sebagian besar Pengamat (14 dari 15) memilih Gambar 2.5b sebagai yang memiliki kualitas lebih baik. Metode objektif dengan PSNR juga menilai Gambar 2.5b memiliki kualitas yang lebih baik (dengan perbedaan 2,49 dB). Perbedaan antara Gambar 2.5c dan 2.5d hampir tidak terlihat, hampir setengah dari Pengamat (6 dari 15) memilih Gambar 2.5c. Kualitas yang diukur dengan *peak signal-to-noise ratio* (PSNR) masih menentukan bahwa Gambar 2.5d lebih baik. Gambar 2.5d menunjukkan perbedaan sebesar 2,54 dB, yang bahkan lebih besar dari perbedaan antara Gambar 2.5a dan 2.5b. Hasil yang tidak konsisten antara pengukuran kualitas subjektif dan objektif tidak dapat dilakukan untuk sistem multimedia yang mengoptimalkan kualitas. Sistem yang mengandalkan PSNR mungkin mencoba memberikan Gambar 2.5d daripada Gambar 2.5c untuk meningkatkan QoE dengan bit yang meningkat (20 hingga 35 kbyte), yang sebenarnya tidak begitu layak bagi Pengamat.



Gambar 2.5: Contoh gambar dari Basis Data Penilaian Kualitas Gambar LIVE, yang menunjukkan ambiguitas metrik kualitas objektif (dalam hal ini, PSNR)(Sheikh et al. 2006)

### 2.7.1 Penilaian Kualitas Gambar Referensi Penuh

Penilaian secara objektif dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis. *Full-reference image quality assessment (FR-IQA)* atau Penilaian kualitas referensi penuh yaitu membandingkan gambar referensi atau asli dengan gambar uji. *No-reference image quality assessment (NR-IQA)* atau tidak ada penilaian kualitas referensi yang mengacu pada pemeriksaan kualitas oleh algoritma dimana hanya gambar uji (yaitu, gambar terdistorsi) yang dapat diakses (Varga 2021, Dihin et al. 2020).

IQA yang sangat menjanjikan tetapi relatif kurang dipelajari digunakan sebagai tujuan untuk desain dan optimalisasi algoritma pemrosesan gambar baru. Parameter metode pemrosesan gambar biasanya disesuaikan untuk meminimalkan *mean squared error* (MSE). MSE merupakan metode yang

paling sederhana dari semua metode pembanding kualitas gambar, meskipun telah banyak dikritik karena korelasinya yang buruk dengan persepsi manusia tentang kualitas gambar. Upaya awal optimasi persepsi menggunakan indeks *structural similarity* (SSIM) sebagai pengganti MSE untuk mencapai keuntungan persepsi dalam aplikasi restorasi gambar, streaming video nirkabel, pengkodean video dan sintesis gambar, meskipun ini belum diuji terhadap penilaian manusia (Ding et al. 2021).

### 2.7.2 Penilaian Kualitas Gambar Tanpa Referensi

Penilaian kualitas gambar tanpa referensi (No-Reference Image Quality Assessment, NR-IQA) adalah metode penilaian kualitas gambar yang tidak memerlukan gambar referensi untuk melakukan penilaian. penilaian kualitas gambar atau video dalam kategori ini dilakukan secara buta berdasarkan fitur yang diekstraksi dari konten multimedia yang dinilai karena tidak ada referensi yang tersedia. Evaluasi kualitas gambar dan video berbasis NR adalah tugas yang menantang karena fitur yang diekstraksi dapat memberikan informasi yang sangat terbatas.(Dost et al. 2022).

Metode NR-IQA dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas gambar yang telah mengalami distorsi seperti kompresi, blur, noise, blocking artifact, dan kerusakan temporal. Dalam metode NR-IQA, tidak ada gambar referensi yang digunakan sebagai pembanding, sehingga penilaian kualitas gambar dilakukan secara independen dan tidak bergantung pada gambar referensi yang digunakan.

#### 2.7.2.1 Metrik NR-Bloking

*Blocking* muncul di semua teknik kompresi berbasis blok dan disebabkan oleh kuantisasi kasar komponen frekuensi. Artefak ini dapat diamati sebagai diskontinuitas permukaan atau tepi pada batas blok. Masalah dengan skema berba-

sis blok seperti JPEG adalah gambar dibagi menjadi sub-blok dengan ukuran masing-masing piksel berukuran 8x8. Transformasi dan proses kuantisasi kemudian diterapkan pada sub-blok secara individual dan independen. Korelasi antara sub-blok yang berdekatan secara spasial tidak diperhitungkan selama proses pengkodean, oleh karena itu transisi halus antara batas tepi setiap sub-blok berkurang. Selama proses decoding, batas tepi tidak dapat dipulihkan sepenuhnya seperti yang terlihat pada gambar asli. Batas blok sekarang terlihat. *blockiness* atau artefak pemblokiran dapat dengan mudah diamati pada gambar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6, bahkan lebih terlihat ketika bit rate atau jumlah bit untuk mewakili gambar dikurangi (Kusuma 2005).



Gambar 2.6: Contoh gambar asli Lena dan versi terdistorsinya dengan artefak pemblokiran (Kusuma 2005)

### 2.7.2.2 Metrik NR-Blur

*Blur* diamati sebagai kehalusan pada tepi atau kurangnya detail seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13. Hal ini disebabkan oleh hilangnya komponen frekuensi tinggi jika dibandingkan dengan gambar aslinya. Secara matematis, gambar *blur* dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$g(x, y) = h(x, y) * f(x, y) + n(x, y) \quad (2.3)$$

dimana  $g(x, y)$ ,  $f(x, y)$ , dan  $h(x, y)$  masing-masing mewakili gambar buram, gambar asli, dan *point spread function* (PSF) atau fungsi *blur*. Fungsi  $n(x, y)$  menunjukkan *noise* tambahan dari akuisisi citra jika ada. Simbol  $*$  adalah operator konvolusi. Artefak *blur* sebagian besar terjadi pada gambar terkompresi berbasis wavelet, seperti JPEG2000. Hal ini disebabkan oleh dekomposisi multi-resolusi dari transformasi wavelet. Jika sebuah gambar sangat terkompresi, maka hanya koefisien frekuensi rendah yang dipertahankan dalam gambar terkompresi. Akibatnya, gambar kehilangan detail halus yang terkait dengan komponen frekuensi tinggi. Informasi bentuk pada dasarnya dipertahankan sementara informasi tekstur sangat diperhalus. Skema kompresi berbasis DCT seperti JPEG juga menunjukkan *blur*, meskipun itu bukan artefak utama (Kusuma 2005).

### 2.7.2.3 Metrik NR-Temporal

*Frozen frame* sebagai *frame* video yang identik dengan yang sebelumnya (*frame repeat*) dan mendefinisikan peristiwa pembekuan sebagai satu set *frozen frame* berturut-turut. Setiap peristiwa pembekuan dicirikan oleh durasi pembekuan tergantung pada jumlah *frame* yang dibekukan secara berurutan dalam peristiwa itu. Total durasi pembekuan video kemudian diwakili oleh akumulasi semua durasi semua peristiwa pembekuan. Dalam contoh ilustrasi Gambar 2.7, video referensi memiliki kecepatan *frame* 25 fps. Oleh karena itu, setiap *frame* unik memiliki durasi 40 ms. Video yang terdegradasi berisi tiga peristiwa pembekuan, dengan total sepuluh *frozen frame*. Setiap *frame* yang dibekukan memiliki durasi 40 ms dan ketiga peristiwa pembekuan memiliki durasi masing-masing 80, 120 dan 200 ms. Total durasi pembekuan dalam video adalah 400 ms.

|            |   |     |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------------|---|-----|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ref video: | A | ... | D | E | F | G | I | J | ... | L | M | N | O | P | Q | R | S | T | U | V | W | X | Y | Z |
| Deg video: | A | ... | D | E | E | E | I | J | ... | L | L | L | L | P | Q | Q | Q | Q | Q | W | X | Y | Z |   |

Gambar 2.7: Contoh video yang terganggu oleh pembekuan frame temporal. Setiap huruf yang berbeda mewakili frame yang unik. (Huynh-Thu & Gha 2009)

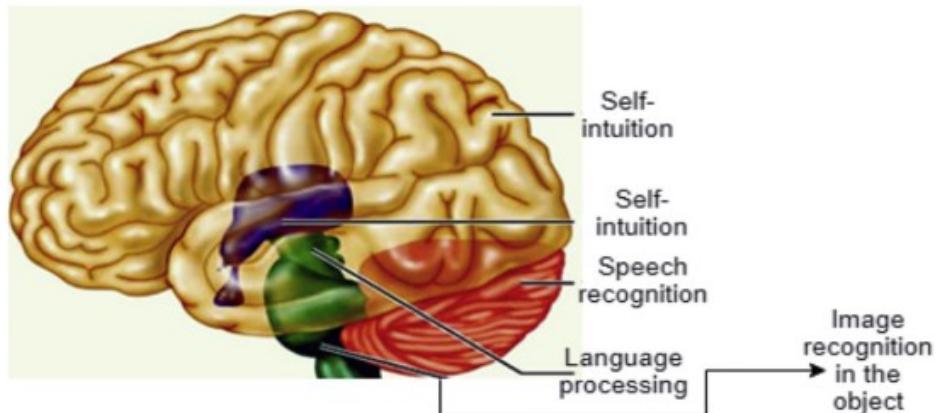
Pendekatan tanpa referensi, identifikasi *frozen frame* harus dilakukan hanya dengan menggunakan urutan yang diproses karena akses ke referensi tidak dimungkinkan. Kasus pendekatan tanpa referensi, tidak mungkin untuk membedakan konten diam (yaitu konten yang sengaja tidak bergerak) dari *frozen frame* (yaitu konten yang tidak bergerak sebagai akibat dari gangguan video). Pendekatan umum untuk mendeteksi *frozen frame* adalah dengan menghitung *mean-squared error* (MSE) antara *frame* saat ini dan sebelumnya dan mempertimbangkan *frame* saat ini untuk dibekukan jika MSE sama dengan nol (Huynh-Thu & Gha 2009).

### 2.7.3 Artificial Neural Network (ANN)

ANN diterapkan dalam prediksi berbagai proses. JST telah berhasil diterapkan di berbagai bidang matematika, teknik, kedokteran, ekonomi, neurologi. ANN dapat didefinisikan sebagai jaringan yang kompleks, yang terdiri dari unit pemrosesan dasar yang saling berhubungan yang disebut neuron. ANN dapat ditentukan oleh tiga faktor yaitu; Struktur, Algoritma pembelajaran, dan fungsi aktivasi (SANDY 26). Aplikasi ANN dapat dievaluasi sehubungan dengan faktor analisis data seperti akurasi, kecepatan pemrosesan, latensi, kinerja, toleransi kesalahan, volume, skalabilitas, dan konvergensi. Potensi besar ANN adalah pemrosesan berkecepatan tinggi yang disediakan dalam implementasi paralel besar-besaran dan ini telah meningkatkan kebutuhan untuk penelitian dalam domain ini. ANN dapat dikembangkan dan digunakan untuk pengenalan gambar, pemrosesan bahasa alami dan sebagainya.

Saat ini, ANN banyak digunakan untuk pendekatan fungsi universal dalam paradigma numerik karena sifat yang sangat baik dari belajar mandiri, adaptif, toleransi kesalahan, nonlinier, dan kemajuan input ke pemetaan output (SANDY 24).

Gambar 2.8 adalah demonstrasi koneksi di dalam otak yang bekerja seperti jaringan saraf yang melakukan fungsi penalaran kecerdasan. Brain-storming untuk memahami suatu skenario (seperti platform pencarian web internet), mengenali ucapan (misalnya dari orang yang dikenal dan orang yang tidak dikenal) seperti otak manusia, mengenali gambar (dari suatu objek) seperti otak, dapat memproses bahasa (menerjemahkan bahasa) seperti yang dilakukan otak manusia dan dapat melakukan hal-hal lain seperti makan, mengendarai sepeda (intuisi diri). ANN melihat penggunaan besar-besaran dalam domain tertentu, seperti diagnosis hepatitis, pengenalan suara, pemulihan data dalam telekomunikasi dari perangkat lunak yang rusak, interpretasi pesan multi-bahasa, pengenalan objek tiga dimensi, analisis tekstur, pengenalan wajah, deteksi ranjau bawah laut, dan pengenalan kata tulisan tangan. ANN dapat belajar dengan contoh seperti orang. Dalam beberapa kasus, ANN dapat dirancang untuk aplikasi tertentu seperti klasifikasi data atau pengenalan pola melalui proses pembelajaran. Pembelajaran di otak manusia memerlukan penyesuaian hubungan sinaptik antara dan antar neuron, demikian juga pembelajaran di ANN. Secara umum, ANN berfungsi seperti tiruan dari otak manusia (SANDY 24).



Gambar 2.8: Struktur otak manusia dengan kemampuan operasional (SANDY 24)

Data masukan pada ANN akan diberikan pada setiap masukan bobot, yang bisa berupa angka positif atau negatif. Sebuah input dengan bobot positif yang besar atau bobot negatif yang besar, akan memiliki pengaruh yang kuat terhadap output neuron. Sebelum dimulai, ANN harus menetapkan setiap bobot ke nomor acak, kemudian memulai proses pelatihan.

1. Ambil input dari contoh set pelatihan, sesuaikan dengan bobot, dan berikan melalui formula khusus untuk menghitung output neuron.
2. Hitung error, yang merupakan selisih antara output neuron dan output yang diinginkan dalam contoh set pelatihan.
3. Bergantung pada arah kesalahan, sesuaikan bobotnya sedikit.
4. Ulangi proses ini 10.000 kali.

Akhirnya bobot neuron akan mencapai optimal untuk set pelatihan. Jika pengguna membiarkan neuron berpikir tentang situasi baru dengan mengikuti pola yang sama, itu akan membuat prediksi yang baik (SANDY 25). Gambar 2.10 merupakan gambaran *training* pada ANN. formula 2.4 merupakan rumus dari jumlah bobot dari data masukan neuron.

$$\sum w_i \cdot x_i = w_{i \cdot 1} + w_2 \cdot x_2 + \dots + w_n \cdot x_n \quad (2.4)$$

Dimana:

$\sum w_i \cdot x_i$  : data keluaran

$w_i$  : bobot

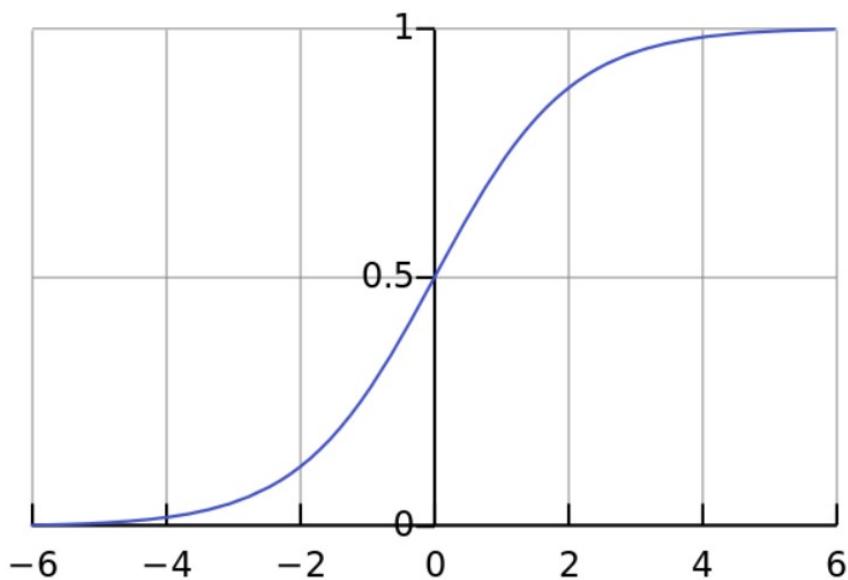
$x_i$  : data masukan

Hasil dari data keluaran tersebut dinormalisasi sehingga hasilnya antara 0 dan 1. Normalisasi tersebut menggunakan fungsi yang sesuai secara matematis yang disebut fungsi Sigmoid.

$$\frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.5)$$

Fungsi Sigmoid jika diplot pada grafik, fungsi Sigmoid menggambarkan kurva berbentuk S yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Jadi dengan men-substitusi formula 2.4 ke formula 2.5. Rumus akhir untuk keluaran neuron ditunjukkan pada formula 2.6, dimana y adalah data keluaran neuron

$$y = DataKeluaranNeuron = \frac{1}{1 + e^{-(\sum w_i \cdot x_i)}} \quad (2.6)$$



Gambar 2.9: Fungsi Sigmoid

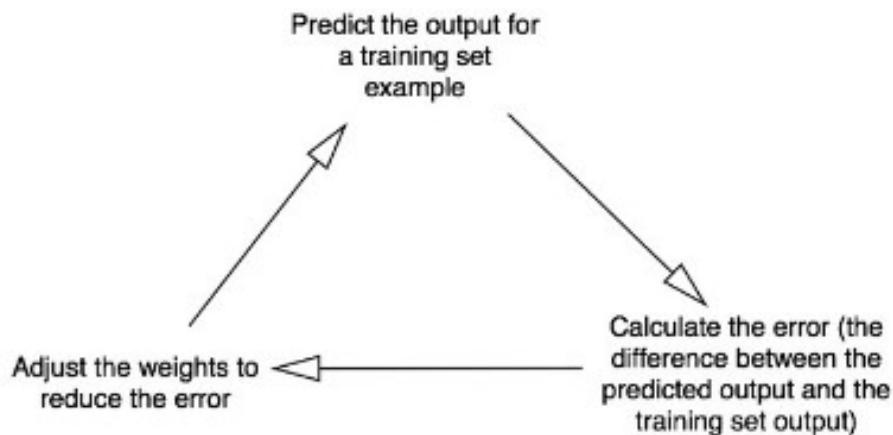
Gambar 2.10 terdapat penyesuaian bobot. Penyesuaian bobot tersebut dapat menggunakan rumus *Error Weighted Derivative* yang ditunjukkan pada formula 2.7.

$$\text{PenyesuaianBobot} = \text{Error.Input.SigmoidCurveGradient}(y) \quad (2.7)$$

Dimana:

*error* : data keluaran - data keluaran asli

*input* : data terukur



Gambar 2.10: Langkah training ANN (SANDY 25)

Tujuan dari formula 2.7 adalah membuat penyesuaian proporsional dengan ukuran kesalahan. Kalikan dengan data masukannya, yaitu 0 atau 1. Jika data masukannya 0, bobotnya tidak disesuaikan. Kalikan dengan gradien kurva Sigmoid (Gambar 2.9) untuk langkah selanjutnya. Berikut adalah langkah-langkah dari perhitungan formula 2.7

1. Menggunakan kurva Sigmoid untuk menghitung data keluaran dari neuron
2. Jika data keluarannya adalah angka positif atau negatif yang besar, itu menandakan neuron cukup percaya diri dengan satu atau lain cara.
3. Dari gambar 2.9, kita dapat melihat bahwa pada bilangan besar, kurva Sigmoid memiliki gradien yang dangkal.
4. Jika neuron yakin bahwa bobot yang ada benar, neuron tidak ingin terlalu banyak menyesuaikannya. Mengalikan dengan gradien kurva Sigmoid dapat mencapai bobot yang benar.

Gradien kurva Sigmoid, dapat ditemukan dengan mengambil turunan:

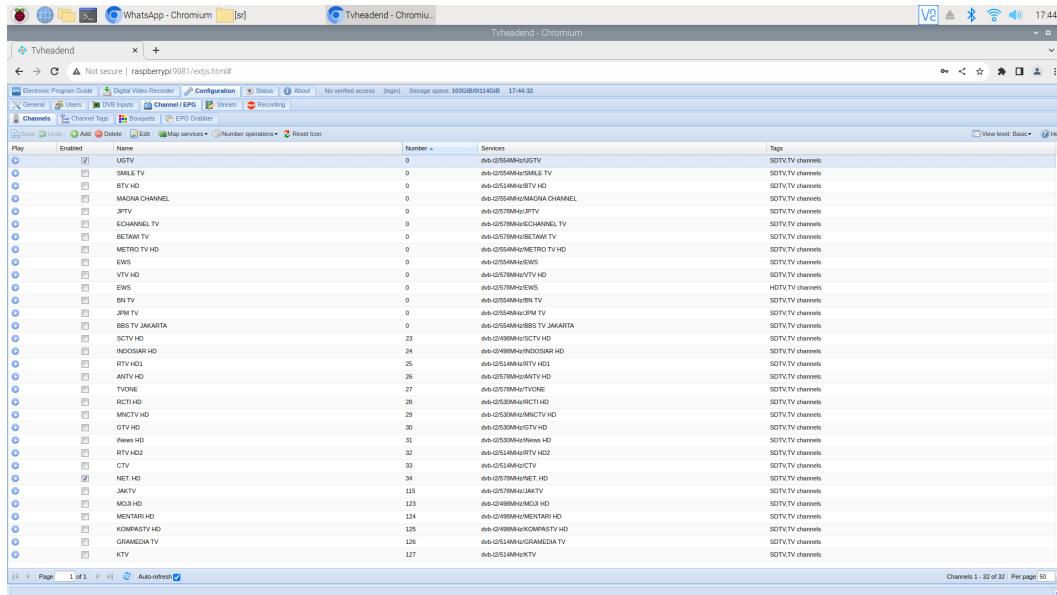
$$\text{SigmoidCurveGradient}(y) = y.(1 - y) \quad (2.8)$$

Jadi dengan memasukkan forluma 2.8 ke formula 2.7, rumus akhir untuk menyesuaikan bobot adalah:

$$\text{PenyesuaianBobot} = \text{Error.input}.y.(1 - y) \quad (2.9)$$

## 2.8 Perangkat Lunak *tvheadend*

Tvheadend adalah aplikasi server TV streaming yang open-source dan gratis. Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk menonton TV langsung dari komputer atau perangkat lain melalui jaringan. Tvheadend dapat digunakan dengan berbagai jenis perangkat lunak client, termasuk Kodi, VLC, dan banyak lagi. Tvheadend mendukung berbagai jenis tunner TV dan format pemrosesan video. Aplikasi ini juga menyediakan berbagai fitur, seperti merekam dan menunda TV langsung, dan memungkinkan pengguna untuk mengatur saluran dan membuat daftar putar. Tvheadend tersedia untuk berbagai platform, termasuk Linux, macOS, dan Windows (Foundation 2015).



Gambar 2.11: Antarmuka website perangkat lunak *tvheadend*

TVHeadend digunakan untuk menangkap, mengakses, dan mengelola sinyal TV dan radio yang disiarkan melalui antena, satelit, dan kabel. Fungsi utama TVHeadend adalah sebagai server TV yang memungkinkan pengguna untuk menonton dan merekam program TV dan radio melalui jaringan lokal atau internet. TVHeadend juga menyediakan fitur EPG (Electronic Program Guide) untuk memberikan informasi tentang jadwal program dan fitur PVR (Personal Video Recorder) untuk merekam dan menyimpan program TV seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.11. Selain itu, TVHeadend dapat diintegrasikan dengan beberapa perangkat lunak media center seperti Kodi dan Plex untuk menyediakan pengalaman media center yang lebih lengkap (Emmet 2022).

## 2.9 *Subjective Assessment*

Metodologi untuk penilaian subyektif kualitas gambar televisi ITU-R adalah seperangkat prosedur dan pedoman yang digunakan untuk melakukan penilaian kualitas gambar televisi dengan melibatkan orang-orang sebagai pe-

nilai. Pedoman ini dikembangkan oleh International Telecommunication Union-Radiocommunication Sector (ITU-R) dan digunakan secara luas oleh industri penyiaran dan penyedia layanan televisi untuk mengevaluasi kualitas gambar televisi mereka. Penilaian subyektif kualitas gambar televisi dapat memberikan umpan balik yang berharga tentang bagaimana kualitas gambar tersebut diterima oleh penonton dan membantu penyedia layanan meningkatkan kualitas gambar mereka (Rodriguez et al. 2014).

Pada penelitian ini digunakan standar pengukuran subyektif ITU-R BT.500-14 yang merupakan seperangkat pedoman dan prosedur untuk penilaian subyektif kualitas gambar televisi. Pedoman tersebut menyediakan metode standar untuk mengevaluasi kualitas gambar televisi secara konsisten dan dapat diulang. Standar tersebut banyak digunakan dalam industri penyiaran dan telekomunikasi untuk memastikan bahwa gambar televisi memenuhi tingkat kualitas tertentu. Pada standar tersebut juga mendefinisikan beberapa metode penilaian subyektif yang berbeda. Metode-metode ini dirancang untuk mengevaluasi berbagai aspek kualitas gambar, seperti resolusi, akurasi warna, dan visibilitas artefak (ITU-R BT500 2019). Beberapa metode yang terdapat pada standar tersebut diantaranya:

1. Double-stimulus impairment scale (DSIS).

Metode ini melibatkan dua gambar atau video yang ditampilkan secara bergantian di layar, yaitu gambar atau video referensi yang dianggap berkualitas tinggi dan gambar atau video uji yang mengalami gangguan atau distorsi tertentu. Panelis diminta untuk memberikan skor kualitas pada gambar atau video uji berdasarkan seberapa besar gangguan atau distorsi yang mereka rasakan dibandingkan dengan gambar atau video referensi. Metode DSIS memiliki keuntungan dalam mengurangi efek bias atau kecenderungan panelis dalam memberikan skor kualitas karena panelis harus membandingkan gambar atau video uji dengan gambar

atau video referensi yang dianggap berkualitas tinggi. Namun, metode ini dapat memakan waktu yang lebih lama karena panelis harus melihat dua gambar atau video secara bergantian dan memberikan skor kualitas untuk setiap gambar atau video uji.

## 2. Single Stimulus (SS)

Metode Single-stimulus (SS) adalah metode subjektif dalam penilaian kualitas citra atau video di mana penonton diberi satu citra atau video pada setiap waktu dan diminta untuk memberikan nilai kualitas. Penonton memberikan nilai kualitas pada skala tertentu, seperti skala MOS (Mean Opinion Score) yang berkisar dari 1 hingga 5 atau 1 hingga 10, di mana nilai yang lebih tinggi menunjukkan kualitas yang lebih baik. Metode SS terdiri dari beberapa varian, seperti Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE) dan Absolute Category Rating (ACR). Metode SS sering digunakan untuk penilaian kualitas video pada televisi dan perangkat seluler.

## 3. Single Stimulus Continuous Quality Evaluation (SSCQE)

Metode penilaian subyektif dalam penilaian kualitas gambar atau video. Dalam metode ini, penilai diberikan tampilan gambar atau video tunggal untuk dinilai secara terus menerus tanpa adanya perbandingan dengan tampilan gambar atau video lainnya. Penilai diminta memberikan penilaian kontinu pada kualitas gambar atau video yang mereka lihat menggunakan skala penilaian dari sangat buruk hingga sangat baik. Metode ini dapat digunakan untuk mengukur kualitas gambar atau video pada aspek-aspek tertentu seperti kecerahan, kontras, ketajaman, atau aspek lainnya.

## 4. Simultaneous Double Stimulus for cCntinuous Evaluation (SDSC)

Metode subyektif untuk mengevaluasi kualitas gambar televisi. Metode ini melibatkan pemutaran dua sumber video secara bersamaan, yaitu sumber video referensi dan sumber video yang diuji. Penonton kemudian diminta untuk menilai kualitas video yang diuji dengan cara memberikan nilai pada skala kualitas yang berkelanjutan pada layar monitor, sementara video referensi tetap diputar. Metode SDSC memungkinkan penonton untuk membandingkan kualitas gambar dari dua sumber video secara langsung, sehingga dapat memberikan penilaian yang lebih akurat dan objektif terhadap kualitas gambar televisi.

Standar ITU-R BT.500 juga memberikan panduan tentang bagaimana memilih dan melatih panel penonton untuk penilaian kualitas subyektif. Ini menjelaskan kualifikasi yang diperlukan untuk panelis, jumlah panelis yang dibutuhkan, dan proses pelatihan untuk memastikan bahwa panelis konsisten dan dapat diandalkan dalam penilaian mereka. Secara keseluruhan, standar ITU-R BT.500 menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk penilaian subyektif kualitas gambar televisi, yang penting untuk memastikan bahwa penonton menerima pengalaman menonton berkualitas tinggi (Martínez-Rach et al. 2014).

### **2.9.1 Raspberry Pi + TV Hat**

### **2.9.2 DVB-T2 TV Tunner**

### **2.9.3 *Confusion Matrix***

*Confusion matrix* adalah tabel evaluasi performa model yang digunakan untuk menunjukkan jumlah prediksi benar dan salah yang dibuat oleh model pada data uji. Tabel ini digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan recall dengan membandingkan hasil prediksi model dengan nilai sebenarnya.

narnya dari data uji. Confusion matrix digunakan pada tugas klasifikasi dengan dua kelas target dan terdiri dari empat kemungkinan hasil: true positive, false positive, true negative, dan false negative.

*Multiple class confusion matrix* adalah bentuk tabel evaluasi performa model yang digunakan untuk mengevaluasi performa model pada data uji dengan lebih dari dua kelas target. Tabel ini terdiri dari baris dan kolom, di mana setiap baris dan kolom mewakili kelas target dan prediksi yang berbeda. Diagonal matriks ini menunjukkan jumlah prediksi benar, sementara sel di luar diagonal menunjukkan jumlah prediksi salah. Multiple class confusion matrix digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan recall pada setiap kelas target, serta metrik evaluasi lainnya seperti F1 score. Metrik evaluasi ini berguna dalam mengevaluasi performa model pada tugas klasifikasi dengan lebih dari dua kelas target.

Akurasi dan presisi adalah dua metrik yang digunakan untuk mengukur kinerja model dalam klasifikasi, termasuk dalam konteks matriks kebingungan multi-kelas (MCCM). Berikut adalah perbedaan antara keduanya:

Akurasi: Akurasi adalah ukuran kinerja yang menggambarkan seberapa baik model klasifikasi memprediksi kelas yang benar. Dalam konteks MCCM, akurasi dihitung dengan mengambil jumlah prediksi yang benar (nilai pada diagonal utama matriks) dibagi dengan jumlah total prediksi (semua elemen dalam matriks). Akurasi mencakup semua kelas dan memberikan gambaran umum tentang seberapa baik model bekerja.

Presisi: Presisi adalah ukuran kinerja yang menggambarkan seberapa baik model klasifikasi mengidentifikasi hasil positif yang benar dari keseluruhan hasil positif yang diprediksi. Dalam konteks MCCM, presisi dihitung untuk setiap kelas secara terpisah menggunakan rumus: Presisi = TP / (TP + FP), di mana TP (True Positives) dan FP (False Positives) dihitung dari matriks kebingungan. Kemudian, presisi untuk setiap kelas digabungkan meng-

gunakan metode seperti rata-rata tertimbang berdasarkan jumlah sampel per kelas, rata-rata sederhana (macro-average), atau micro-average.

Perbedaan utama antara akurasi dan presisi adalah fokus pada keseluruhan kinerja model (akurasi) vs. kinerja model dalam mengidentifikasi hasil positif yang benar (presisi). Akurasi memberikan gambaran umum tentang seberapa baik model memprediksi kelas yang benar, sedangkan presisi menyoroti kinerja model dalam mengidentifikasi hasil positif yang benar untuk setiap kelas. Presisi sangat berguna dalam kasus di mana false positives memiliki konsekuensi yang lebih tinggi, seperti dalam diagnosis medis atau deteksi spam.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

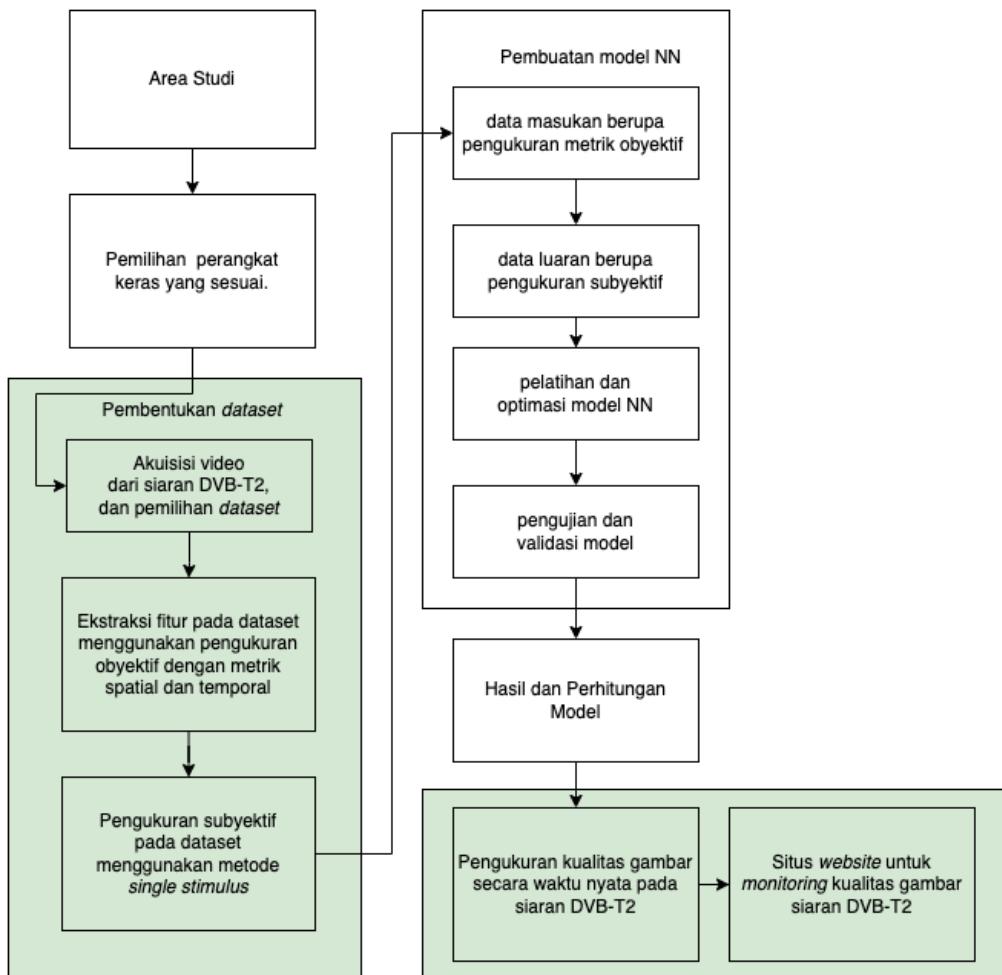
#### 3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat suatu sistem yang dapat memantau kualitas video dari siaran televisi digital DVB-T2. Rencana penelitian dilakukan dengan menggabungkan dan mengembangkan dari algoritma yang sudah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1, penelitian ini diawali dari area studi yang merupakan gambar dari siaran televisi digital DVB-T2 yang ada di Indonesia, khususnya wilayah Jabodetabek. Gambar diperoleh langsung dari siaran DVB-T2 melalui perangkat komputer yang terhubung dengan *tv tunner*.

Pembentukan dataset diawali dari proses pengambilan gambar/video dengan kualitas FHD dari perangkat komputer. Tahap berikutnya adalah mempelajari parameter apa saja yang dapat mempengaruhi kualitas gambar dari siaran DVB-T2 dan mencari metrik pengukuran apa saja yang dapat digunakan. Pemilihan metrik diutamakan pada metrik pengukuran kualitas gambar tanpa referensi (*No-Reference, NR*) yang didapat dari peneliti terdahulu. Metrik tersebut selanjutkan diprogram kembali dengan menggunakan bahasa pemrograman *python* untuk mempermudah dalam pengaplikasiannya. Hasil dari pengukuran menggunakan metrik obyektif ini nantinya digunakan sebagai parameter masukan dari model *neural network (NN)*.

Tahapan pembentukan dataset berikutnya adalah dengan menguji sampel kepada beberapa responden untuk memperoleh nilai yang digunakan sebagai parameter pengukuran subjektif. Proses pengumpulan data subjektif

dilakukan dengan merancang suatu aplikasi web yang mengikuti standar ITU-R BT.500-14 tahun 2019 mengenai metodologi untuk pengukuran subjektif pada kualitas gambar televisi. Hasil dari pengukuran subyektif nantinya akan digunakan sebagai parameter luaran dari model NN yang dibuat di tahapan selanjutnya.



Gambar 3.1: Tahapan penelitian yang dilakukan

Tahap berikutnya adalah dengan membuat model NN dari data pengukuran metrik objektif sebagai parameter masukan, dan data pengukuran subjektif sebagai parameter luaran. Model NN yang dibuat dilakukan dengan melakukan pengujian dari beberapa NN yang ada hingga memperoleh hasil yang sesuai dengan hasil pengukuran subjektif. Proses pembuatan model di-

lakukan dengan menggunakan Super Komputer DGX A100 milik Universitas Gunadarma. Selanjutnya dilakukan pengukuran akurasi dan korelasi untuk menvalidasi antara hasil dari model dibandingkan dengan pengukuran subjektif. Tahapan terakhir adalah mengimplementasikan hasil pengukuran dan model NN ke dalam perangkat *edge computing*. Perangkat yang digunakan adalah Raspberry Pi 4 dengan tambahan modul TV *Hat*. Pengukuran kualitas video dapat dilakukan secara waktunya pada siaran DVB-T2. Hasil dari pengukuran selanjutnya ditampilkan pada *website* pemantauan.

## **3.2 Area Studi**

Penelitian ini dilakukan di Indonesia lebih tepatnya di Wilayah Kota Depok, Jawa Barat, berbatasan dengan Kota Madya Jakarta Selatan. Proses pengambilan data video dan pengukuran kualitas gambarnya yang diperoleh dari siaran DVB-T2 dilakukan di lokasi Kampus F8, Universitas Gunadarma. Video diambil dengan menggunakan perangkat komputer yang terhubung secara langsung ke siaran DVB-T2 menggunakan *tv tunner* dan juga antena.

### **3.2.1 Obyek Penelitian**

Obyek penelitian ini adalah *frame* video definisi tinggi penuh (*Full High Definition, FHD*) yang diperoleh dari siaran televisi DVB-T2. FHD memiliki resolusi gambar 1080p atau  $1920 \times 1080$  piksel. Pada penelitian ini durasi pengambilan sampel video sampel pada siaran DVB-T2 hanya 10 detik untuk setiap samplenya, mengikuti standar pengukuran kualitas gambar ITU-R BT.500. Video diambil dari beberapa layanan televisi lokal yang ada di Indonesia, khususnya di wilayah studi. Beberapa layanan tv digital yang didapat seperti Metro TV, Net TV, TVRI World, TVRI, Sport, dan MyTV. Layanan yang dipilih merupakan layanan yang sudah mendukung resolusi video FHD.

Pada gambar 3.2 merupakan hasil gambar FHD yang diperoleh dari siaran DVB-T2 menggunakan perangkat komputer.



Gambar 3.2: Contoh Gambar FHD dari layanan TVRI World

Proses pengambilan video membutuhkan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan adalah perangkat komputer, raspberry pi, *tv tunner*, antena dan monitor. Perangkat lunak yang digunakan adalah *tvheadend*, *visual studio code*, *jupyterlab*, dan bahasa pemrograman *python* beserta librari pendukungnya.

### 3.2.2 Pemilihan Perangkat Keras

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan seperti yang dijelaskan pada gambar 3.1, sehingga memerlukan perangkat yang mendukung dimulai dari proses pengambilan data, pengukuran obyektif dan subyektif, hingga memperoleh model, dan hasil. Perangkat keras yang digunakan juga tidak hanya satu jenis, dikarena setiap proses pada tahapan penelitian, menggunakan spesifikasi perangkat keras yang berbeda. Proses pengambilan data dan pengujian hasil dilakukan pada perangkat *edge computing* yang terhubung langsung dengan

siaran DVB-T2. Sedangkan pada proses pengukuran dan pembuatan model untuk jaringan saraf tiruan (NN) menggunakan perangkat komputer atau cloud computing. Perangkat keras yang digunakan diantaranya:

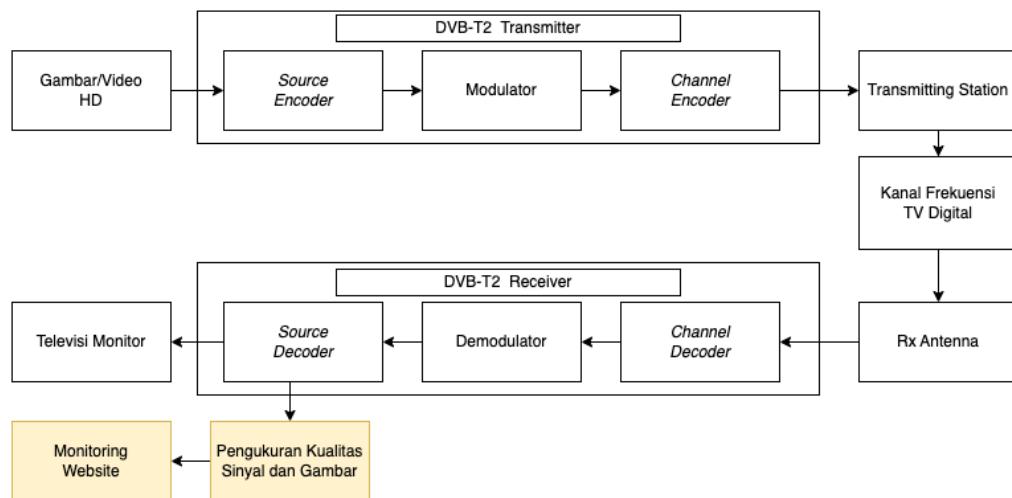
- Perangkat *Edge Computing* untuk pengambilan data dan juga pengukuran secara waktu nyata menggunakan Raspberry Pi 4 model B dengan prosesor Cortex-A72 ARM v8 64-bit up to 1.5 Mhz, VideoCore VI support OpenGL 3.0, dan RAM LPDDR4 8GB.
- Perangkat *tv-tunner* untuk *edge computing* yang digunakan adalah raspberry pi TV HAT (*Hardware Attach on Top*) dengan Tuner Sony CXD2880, mendukung DVB-T2 dengan frekuensi pembawa VHF dan UHV, mendukung format video MPEG-2 dan H.264, yang umum digunakan dalam siaran televisi digital.
- Perangkat pengukuran video subyektif yang digunakan adalah Macbook 2019, prosesor intel hexa-core i7 Gen-9, GPU AMD Radeon Pro 555X, RAM DDR4 16GB, layar 15.4 inci resolusi  $2880 \times 1800$ .
- Perangkat untuk pengukuran dan membuat model *neural network* menggunakan *Super Computer* NVIDIA DGX A100 dengan virtual machine yang digunakan RAM 20GB dan GPU 40GB

Pemilihan perangkat komputer yang digunakan sebagai *edge computing* berdasarkan pada kemampuan untuk dapat dapat terhubung langsung dengan modul TV Hat yang bisa menerima siaran televisi digital DVB-T2. Sedangkan perangkat yang digunakan dalam membuat model NN berdasarkan pada kecepatan memproses data dan juga merupakan salah satu fasilitas dari Universitas Gunadarma. Kedua perangkat tersebut menggunakan versi perangkat lunak yang sama untuk memudahkan proses duplikasi program.

Tabel 3.1: Versi bahasa pemrograman python dan librariinya

| Nama Library | python | opencv | matplotlib | numpy  | tensorflow |
|--------------|--------|--------|------------|--------|------------|
| Versi        | 3.8.5  | 4.6.0  | 3.2.2      | 1.21.6 | 2.11.0     |

Fokus dari penelitian terdapat pada sisi penerima siaran televisi digital. Siaran DVB-T2 yang diterima dari antenna menuju *receiver* dan mengalami beberapa tahapan *decoder* untuk memperoleh video dan audio. Frame gambar dari video hasil akhir proses tersebut yang akan diukur dan didapat nilai kualitasnya berdasarkan beberapa parameter.

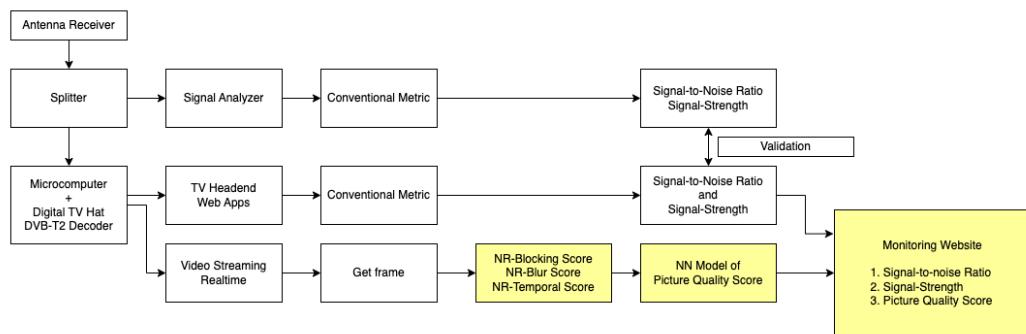


Gambar 3.3: Fokus Penelitian

Luaran akhir dari penelitian ini adalah mendapat model yang sesuai untuk dapat melakukan pengukuran kualitas gambar pada siaran DVB-T2. Pengukuran juga dilakukan terhadap parameter sinyal dari siaran yang sedang dilakukan pengukuran gambarnya. Hasil dari pengukuran akan secara waktu nyata ditampilkan pada *website* dan tersimpan secara berkala.

### 3.3 Pembentukan *Dataset*

Dalam mencapai tujuan dari penelitian maka dibuat sebuah rancangan dari sistem secara keseluruhan. Sistem terdiri dari beberapa perangkat keras dan lunak yang memiliki tugas dan fungsi masing-masing yang saling terhubung. Keterbaruan dari penelitian ini juga adalah sistem secara keseluruhan yang ditunjukkan pada gambar 3.4 dan NN untuk dalam proses pengukuran kualitas gambar secara waktunya.



Gambar 3.4: Rancangan Sistem Pengukuran Kualitas Gambar Siaran DVB-T2

Sistem diawali dari pengambilan sinyal siaran tv digital menggunakan Antenna yang kemudian di split ke dua alat yaitu yang pertama adalah mikro komputer *Raspberry Pi* dengan *tv tunner*, kedua *signal analyzer*. Aplikasi yang digunakan pada raspberry pi adalah *tvheadend* yang berfungsi menampilkan siaran tv digital pada perangkat *raspberry pi* dan menampilkan status pengukuran sinyalnya. Spectrum analyzer digunakan hanya untuk melakukan validasi pada parameter sinyal siaran tv digital. Selanjutnya dengan menggunakan aplikasi *ffmpeg* dan pemrograman python setiap video yang sedang ditayangkan dapat diambil frame gambarnya. Frame yang diambil diukur menggunakan obyektif metriks untuk memperoleh parameter input dari kualitas gambar frame tersebut. Hasil pengukuran berupa angka yang nantinya akan dimasukkan ke dalam model NN untuk memperoleh nilai kualitas yang

sudah disesuaikan dengan penilaian subyektif manusia. Hasil akhir pengukuran sinyal dan juga kualitas gambar ditampilkan dalam sebuah *website*.

### **3.3.1 Akuisisi *Dataset* Video**

Video yang dijadikan dataset adalah video yang diperoleh dari siaran DVB-T2 secara langsung dengan resolusi HD dan FHD, yaitu resolusi 1280x720 piksel (720p) dan 1920x1080 piksel (1080p). Proses pengambilan video dilakukan dengan menggunakan perangkat keras *Raspberry Pi 4* dengan modul *TV HAT*. Kemudian perangkat tersebut harus terhubung dengan antena televisi agar dapat menerima siaran DVB-T2. Antena yang digunakan pada penelitian ini adalah PX HDA-5000.

Perangkat lunak yang digunakan dalam proses pengambilan data video adalah *tvheadend*. Aplikasi tersebut dapat menampilkan siaran televisi digital dari tv *tunner* ke perangkat komputer. Aplikasi *tvheadend* kemudian diatur untuk melakukan perekaman video HD dari siaran televisi digital. Beberapa layanan televisi yang sudah HD diantaranya TVRI HD, TVRI World, Net TV HD dan Metro TV HD. Dalam pengambilan dataset, diambil sejumlah 100 video dari masing-masing layanan tersebut dengan durasi per video adalah 10 detik.

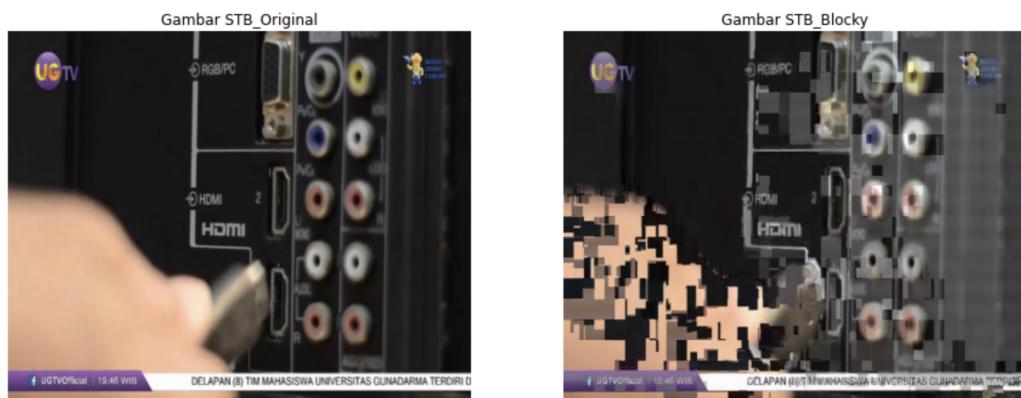
### **3.3.2 Metrik Obyektif Pengukuran Kualitas Gambar**

Metrik obyektif merupakan suatu ukuran atau parameter yang dapat diukur secara kuantitatif. Pada penelitian digunakan beberapa metrik obyektif untuk melakukan pengukuran pada kualitas video. Metrik obyektif yang digunakan diantarauntuk pengukuran spatial pada gambar seperti blocking dan blur, ada juga metrik yang digunakan untuk melakukan pengukuran temporal terhadap frame yang terdapat pada video. Metrik obyektif juga digunakan untuk melakukan pemilihan dataset dan sebagai parameter masukan yang

nantinya digunakan dalam NN.

### 3.3.2.1 Metrik Bloking

*Blocking* pada gambar adalah efek visual yang terjadi ketika akibat kompresi data yang dilakukan pada gambar atau video dengan mengurangi jumlah bit yang digunakan untuk merepresentasikan piksel di dalamnya. Saat terjadi kerusakan pada bit data tersebut dan gambar didekompresi kembali, maka akan muncul kerusakan seperti munculnya kotak-kotak besar yang terlihat di dalam gambar, yang disebut sebagai *bloking*. Gambar dengan kondisi *blocking* dapat dilihat pada gambar 3.5.



Gambar 3.5: Perbandingan gambar normal dan *blocking*

Pada penelitian ini digunakan salah satu algoritma pengukuran tingkat *blocking* pada gambar yang dikemukakan oleh *Zhou Wang*. Teknik pengkodean gambar yang membagi gambar menjadi sub-blok 8x8 piksel. Proses transformasi dan kuantisasi kemudian diterapkan pada masing-masing sub-blok secara individual dan independen. Teknik pengkodean gambar ini umumnya digunakan dalam teknologi kompresi gambar, seperti pada standar kompresi JPEG, dan dapat menyebabkan munculnya artefak blok atau blocking artifact pada gambar. Sehingga pengukuran *bloking* pada gambar dilakukan setiap 8 piksel secara horizontal dan vertikal.

$$\begin{aligned} \text{image\_resolution} &= x(m, n) \\ \text{dimana, } m &\in [1, M], \quad n \in [1, N] \end{aligned} \tag{3.1}$$

Gambar diubah ke dalam skala keabuan (grayscale) untuk dapat memperoleh satu saluran warna dengan jumlah m baris dan n kolom. Kemudian dilakukan pengukuran secara terpisah antara baris dan kolom. Ide dasar dari algoritma ini adalah untuk mendeteksi sinyal blok dan memperkirakan dayanya dengan menggunakan asumsi bahwa gambar yang berblok adalah gambar yang tidak berblok yang terganggu oleh sinyal blok ideal. Algoritma ini dimulai dengan menghitung selisih antara piksel-piksel sepanjang baris untuk mendapatkan selisih horizontal  $d_h$  dan sepanjang kolom untuk mendapatkan selisih vertikal  $d_v$ .

$$d_h(m, n) = x(m, n + 1) - x(m, n), \quad n \in [1, N - 1] \tag{3.2}$$

$$d_v(m, n) = x(m + 1, n) - x(m, n), \quad n \in [1, M - 1] \tag{3.3}$$

Setelah selisih-selisih ini dihitung, gambar selisih dapat diperoleh. Selanjutnya, keberblokan dihitung dengan mengambil rata-rata selisih di sepanjang batas blok. Untuk gambar berukuran  $M \times N$ , pengukuran horizontal didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$B_h = \frac{1}{M(\lfloor N/8 \rfloor - 1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{\lfloor N/8 \rfloor - 1} |d_h(i, 8j)| \tag{3.4}$$

Selanjutkan dilakukan pengukuran tingkat aktifitas sinyal. Aktivitas sinyal gambar mengacu pada ukuran intensitas sinyal atau informasi yang

terkandung dalam gambar. Semakin tinggi aktivitas sinyal, semakin banyak detail yang terdapat dalam gambar dan semakin sedikit pengaburan atau keberblokan yang terlihat. Pengukuran aktivitas sinyal dapat membantu dalam mengidentifikasi pengaburan atau keberblokan pada gambar. Pada metode ini dilakukan pengukuran aktifitas sinyal gambar meliputi rata-rata selisih absolut (A) antar sampel gambar di dalam blok dan tingkat *zero-crossing* (Z) (Wang et al. 2002).

$$A_h = \frac{1}{7} \left[ \frac{8}{M(N-1)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-1} |d_h(i,j)| - B_h \right] \quad (3.5)$$

Pengukuran aktifitas gambar kedua adalah menghitung rata-rata dari *zero-crossing*. Zero crossing adalah fenomena di mana sinyal atau gelombang melintasi sumbu nol. Hal ini dapat dihitung dengan menghitung jumlah kali di mana sinyal melintasi sumbu nol dalam interval waktu tertentu. Semakin banyak tingkat nol-crossing yang terjadi, semakin tinggi aktivitas sinyal dan semakin banyak detail yang terdapat dalam gambar atau sinyal tersebut.

$$z_h(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{horizontal } ZC \text{ pada } d_h(m, n) \\ 0 & \text{selain itu} \end{cases} \quad (3.6)$$

$$Z_h = \frac{1}{M(N-2)} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^{N-2} d_h(i,j) \quad (3.7)$$

Metode yang sama dilakukan pada pengukuran secara vertikal pada  $B_v$ ,  $A_v$ , dan  $Z_v$ . Kemudian, rata-rata blockiness, B, rata-rata perbedaan absolut, A, dan rata-rata tingkat *zero crossing*, Z, diperoleh dengan menggunakan pengukuran vertikal dan horizontal yang dijumlahkan dan dibagi dua.

$$B = \frac{B_h + B_v}{2}, A = \frac{A_h + A_v}{2}, B = \frac{Z_h + Z_v}{2} \quad (3.8)$$

Ukuran blockiness akhir, S, kemudian dapat diperoleh menggunakan rumus:

$$S = \alpha + \beta B^{\gamma_1} A^{\gamma_2} B^{\gamma_3} \quad (3.9)$$

Dimana  $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$ , dan  $\gamma_3$ , mewakili parameter prediksi yang diperoleh melalui fitting kurva data eksperimen subjektif yang dilakukan oleh Wang. Kemudian berdasarkan algoritma diatas maka dibuatlah program ke dalam bahasa pemrograman python.

### 3.3.2.2 Metrik Blur

Blur pada gambar adalah kondisi di mana gambar menjadi kurang tajam dan terlihat kabur seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6. Hal ini disebabkan oleh hilangnya komponen frekuensi tinggi pada gambar, yang dapat terjadi karena berbagai faktor seperti pergerakan kamera saat pengambilan gambar atau ketidakfokusan saat pemotretan. Gambar bisa menjadi blur juga karena transmisi, yaitu ketika sinyal gambar dikirimkan melalui jaringan atau media transmisi, seperti kabel atau gelombang radio. Selama transmisi, sinyal gambar dapat terdistorsi atau terganggu oleh kebisingan dan interferensi. Hal ini dapat menyebabkan kehilangan atau penyimpangan data gambar, terutama pada detail halus dan frekuensi tinggi, yang akhirnya menyebabkan gambar tampak blur atau kabur. Kualitas transmisi bergantung pada faktor-faktor seperti kecepatan transfer data, kualitas sinyal, dan jarak antara pemancar dan penerima.



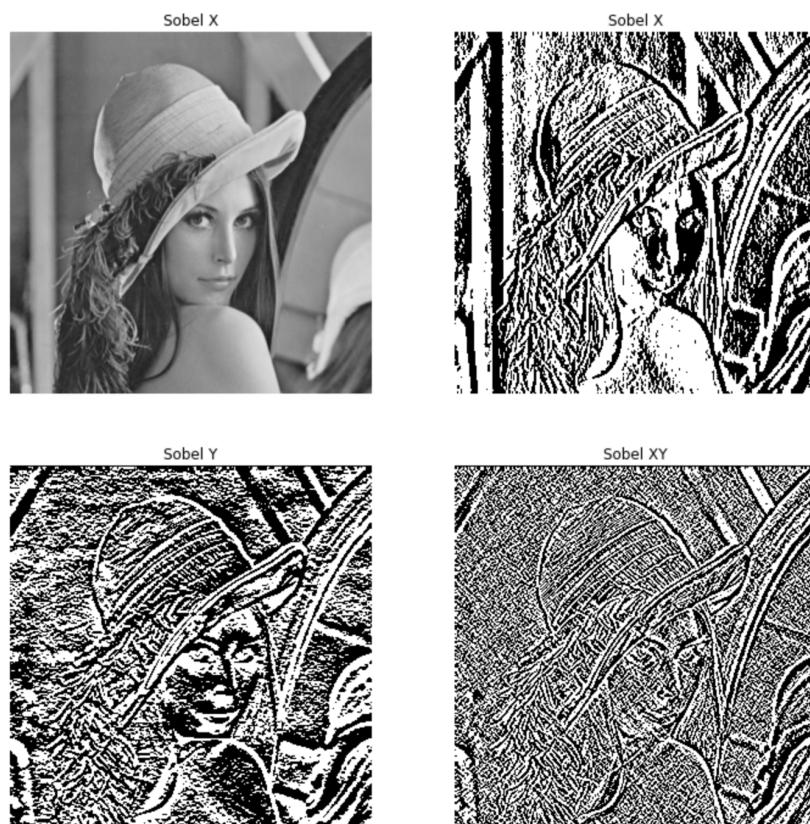
Gambar 3.6: Perbandingan Gambar Blur dan tidak, dari kiri ke kanan: Tumbling Es, Lena, Street View (Xu et al. 2021)

Gejala blur pada gambar dapat diidentifikasi dengan melihat kehalusan tepi atau kekurangan detail halus pada gambar. Terdapat beberapa teknik yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat blur pada gambar, salah satunya adalah dengan menggunakan deteksi tepi. Metode ini didasarkan pada observasi bahwa gambar yang kabur memiliki tepian yang kurang tajam atau tidak jelas, karena kehilangan komponen frekuensi tinggi. Oleh karena itu, dengan mendeteksi tepi pada gambar, kita dapat mengukur tingkat kejelasan tepi yang terdapat pada gambar dan menggunakan nilai ini untuk mengindikasikan tingkat blur pada gambar tersebut (Ferzli & Karam 2009).

Deteksi tepi dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Sobel. Dalam metode ini, gambar diubah menjadi citra grayscale dan dilakukan operasi perataan pada gambar dengan kernel tertentu untuk menghilangkan noise.

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & +1 \\ -2 & 0 & +2 \\ -1 & 0 & +1 \end{bmatrix} \quad G_y = \begin{bmatrix} +1 & +2 & +1 \\ 0 & 0 & +2 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Selanjutnya, operasi deteksi tepi dilakukan dengan menghitung turunan parsial gambar pada arah vertikal dan horizontal. Hasil dari kedua arah ini kemudian digabungkan dengan menghitung magnitude gradien pada setiap titik pada gambar seperti yang terlihat pada gambar 3.7. Hasil akhir yang dihasilkan adalah citra biner dengan nilai 0 dan 1, yang menunjukkan lokasi tepi pada gambar.

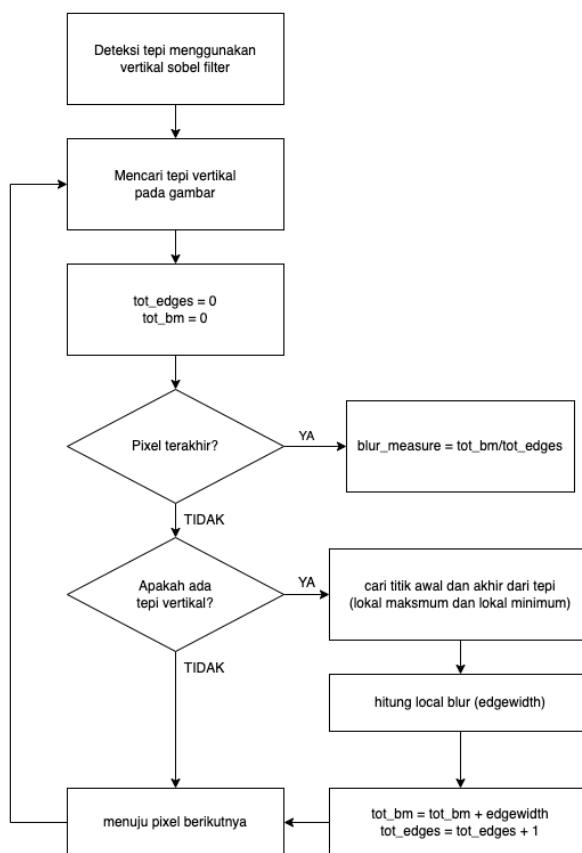


Gambar 3.7: Hasil Transformasi ke bentuk deteksi tepi menggunakan sobal pada gambar Lenna

Dalam deteksi tepi, local minimum dan local maximum mengacu pada titik-titik di mana perubahan intensitas mencapai minimum atau maksimum dalam sekelompok piksel pada gambar. Dalam konteks algoritma Marziliano, local minimum dan local maximum digunakan untuk menentukan spread dari tepi vertikal pada gambar yang kabur. Local minimum dan local maximum pada tepi vertikal dihitung pada setiap baris gambar, dan jarak antara ke-

dua titik tersebut memberikan informasi tentang tingkat blur pada gambar (Marziliano et al. 2002).

Detailnya jika tepi ditemukan, maka lokal ekstremum (maksimum lokal dan minimum lokal) dicari ke arah kiri dan kanan dari piksel tepi. Untuk mencari jarak atau panjang tepi, selisih antara maksimum lokal dan minimum lokal dihitung. Hasilnya diidentifikasi sebagai ukuran blur lokal untuk lokasi tepi saat ini. Akhirnya, ukuran blur global dihitung dengan menghitung rata-rata *blur* lokal di seluruh lokasi tepi. Algoritma dari teknik pengukuran blur ini ditunjukkan pada Gambar ??.



Gambar 3.8: Diagram alur algoritma pengukuran blur pada gambar (Marziliano et al. 2002)

Metrik pengukuran *blur* tersebut digunakan pada penelitian ini sebagai salah satu parameter masukan untuk pembuatan model NN. Metrik tersebut

ditulis kembali menggunakan bahas apemprograman python untuk mempermudah proses pengukuran yang dilakukan pada hardware yang digunakan.

### 3.3.2.3 Metrik Temporal

Metrik temporal merujuk pada metode pengukuran kualitas video yang fokus pada perubahan dari waktu ke waktu. Metrik ini digunakan untuk mengukur bagaimana perubahan frame dari video yang dihasilkan mempengaruhi kualitas keseluruhan dari video tersebut. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi metrik temporal meliputi jumlah frame yang hilang atau rusak, kualitas gambar pada setiap frame, dan kehalusan perpindahan antar frame. Metrik temporal dapat digunakan untuk mengukur kualitas video pada berbagai jenis aplikasi, termasuk video streaming dan komunikasi video.

Pendekatan umum untuk mendeteksi frame yang beku adalah dengan menghitung mean-squared error (MSE) antara frame saat ini dan frame sebelumnya, dan mempertimbangkan frame saat ini sebagai frame yang beku jika  $MSE=0$ . Pertama, video input dikonversi ke ruang warna YUV. Frame yang potensial beku kemudian diidentifikasi berdasarkan MSE antara frame saat ini dan frame sebelumnya:

$$YM_1(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (Y(x, y, i) - Y(x, y, i-1))^2 \quad (3.11)$$

$$UM_1(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (U(x, y, i) - U(x, y, i-1))^2 \quad (3.12)$$

$$VM_1(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (V(x, y, i) - V(x, y, i-1))^2 \quad (3.13)$$

Dimana:

$Y$  : saluran warna *luminance*

$U$  : sarulan warna *chrominance* hijau ke merah

$V$  : sarulan warna *chrominance* biru ke kuning

$M$  : variabel pengukuran antar frame

$W$  : lebar resolusi gambar

$H$  : panjang resolusi gambar

$x$  : piksel baris pada gambar

$y$  : piksel kolom pada gambar

$i$  : jumlah frame dalam video ( $i = 2, \dots, n$ )

Konten dengan gerakan sangat rendah dapat menghasilkan MSE yang sangat kecil antara *frame* yang berurutan meskipun *frame* ini tidak beku (*freeze*). Untuk membatasi jumlah positif palsu, mekanisme berikut diterapkan: jika sebuah *frame* berpotensi dibekukan maka *frame* tersebut juga diperiksa terhadap *frame* pertama dari peristiwa pembekuan (kecuali jika *frame* saat ini juga merupakan *frame* pertama dari peristiwa pembekuan).  $YM_2(i)$ ,  $UM_2(i)$  dan  $VM_2(i)$  menunjuk MSE (masing-masing dalam bidang warna Y, U dan V) antara *frame* saat ini dan *frame* pertama dari peristiwa pembekuan(Huynh-Thu & Gha 2009).

$$YM_2(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (Y(x, y, i) - Y(x, y, i - k))^2 \quad (3.14)$$

$$UM_2(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (U(x, y, i) - U(x, y, i - k))^2 \quad (3.15)$$

$$VM_2(i) = \frac{1}{W * H} \sum_{x=0}^{W-1} \sum_{y=0}^{H-1} (V(x, y, i) - V(x, y, i - k))^2 \quad (3.16)$$

di mana  $(i - k)$  adalah indeks temporal dari *frame* pertama dari peristiwa pembekuan di mana *frame*  $i$  berada. Sebuah *frame*  $i$  akan ditandai sebagai beku jika MSE antara *frame* sekarang dan *frame* sebelumnya tetapi juga antara *frame* ini dan *frame* pertama dari *event freeze* berada dibawah *threshold*

T yang sangat kecil dimana *threshold* T ditetapkan ke 1 (Huynh-Thu & Gha 2009).

$$FreezeFlag = \begin{cases} 1 & if(YM, UM, VM)_{1,2}(1) < T \\ 0 & lainnya \end{cases} \quad (3.17)$$

Selanjutnya, nilai durasi freeze dijumlahkan untuk memperolah nilai seberapa besar freeze yang terjadi dalam interveal waktu tertentu. Metrik untuk mendekripsi kebekuan pada video ini juga dituliskan dalam bahasa pemrograman phthon sebagai parameter masukan.

### 3.3.3 Pengukuran Subyektif Kualitas Gambar

Subyektif assessment adalah metode pengukuran yang melibatkan partisipasi manusia untuk memberikan penilaian kualitatif terhadap suatu produk atau layanan berdasarkan pengalaman mereka secara langsung. Dalam konteks pengolahan citra atau video, subyektif assessment dapat digunakan untuk mengukur kualitas visual dari hasil pengolahan tersebut berdasarkan persepsi pengguna. Pada penelitian ini digunakan standar pengukuran subyektif berdasarkan rekomendasi ITU-R BT.500-14 yang diterbitkan Oktober 2019. Standar tersebut menyediakan pedoman dan prosedur untuk penilaian subyektif kualitas gambar televisi (ITU-R BT500 2019).

#### 3.3.3.1 Single Stimulus Standar ITU-R 500-14

Single stimulus methods (SS) dipilih sebagai salah satu metode subjective assessment pada ITU-R BT.500-14 karena lebih mudah dilakukan dan lebih efisien dalam hal waktu. Metode ini hanya memerlukan satu gambar atau video per *sample* sebagai stimulus, sehingga tidak memerlukan waktu yang lama dalam proses evaluasi. Selain itu, metode ini juga tidak memerlukan gambar referensi atau acuan, sehingga lebih fleksibel dan dapat digunakan

dalam berbagai kondisi yang berbeda. Meskipun demikian, single stimulus methods juga memiliki kekurangan yaitu rentan terhadap bias pengamat, sehingga perlu dilakukan pengujian ulang dan dilakukan dengan panelis yang berbeda untuk menghasilkan hasil yang lebih akurat dan konsisten.

Metode Single Stimulus dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas video dan gambar. Namun, karena video adalah sekuens gambar yang saling terkait, maka pada pengujian video, stimulus yang diberikan pada setiap pengujian harus sesuai dengan konteks dari adegan yang dipresentasikan. Hal ini bisa dilakukan dengan memilih frame yang mewakili adegan atau dengan memilih klip video pendek yang mewakili adegan tersebut (Seshadrinathan et al. 2010).

Terdapat beberapa persyaratan pengukuran Single Stimulus (SS) pada ITU-R BT.500-14 yang terdiri dari beberapa hal, antara lain:

1. Pemilihan materi uji yang representatif dan bervariasi, serta disajikan dalam kondisi yang sama untuk semua panelis.
2. Jumlah panelis minimal 15 orang, yang diwajibkan untuk memenuhi syarat tertentu, seperti usia, pengalaman dalam menonton televisi, kesehatan mata, dan tidak memiliki kecacatan warna.
3. Prosedur pelatihan yang ketat untuk panelis dalam memberikan penilaian yang konsisten dan obyektif.
4. Penggunaan skala pengukuran yang sesuai, yaitu skala likert yang terdiri dari 5 hingga 7 pilihan untuk menilai kualitas gambar.
5. Pelaksanaan pengujian dan pengolahan data dengan standar yang ketat dan terdokumentasi dengan baik.

Selain dari faktor pemilihan panelis dan materi uji, standar ITU-R BT.500-14 memberikan panduan yang mencakup beberapa faktor, seperti ca-

haya lingkungan, warna dinding, dan pencahayaan ruangan yang diperlukan untuk memastikan konsistensi dan validitas penilaian subjektif. Selain itu, panduan ini juga menyarankan penggunaan layar televisi yang sesuai dengan kondisi pengujian dan memberikan instruksi tentang posisi penonton dan jarak pandang yang optimal. Tujuannya adalah untuk meminimalkan faktor-faktor yang dapat memengaruhi hasil penilaian subjektif dan memastikan bahwa penilaian dilakukan dalam kondisi yang optimal untuk memberikan hasil yang akurat dan dapat diandalkan. Panduan ini sangat penting untuk memastikan bahwa hasil penilaian subjektif kualitas gambar televisi dapat dipertanggung-jawabkan dan diandalkan untuk digunakan dalam pengembangan produk dan teknologi baru dalam industri televisi.

Pada pengujinya dipilih standar *home environment* dengan alasan konteks penggunaan yang lebih realistik dibandingkan dengan di lab, biaya pengujian yang lebih renda, dan waktu yang lebih fleksibel disesuaikan dengan panelis. Namun tetap terdapat beberapa syarat untuk pengujian SS dengan *home environment* yang ditunjukkan pada tabel??.

Tabel 3.2: Standar pengujian SS dengan *home-environment*

|  |                    |
|--|--------------------|
| Penerangan sekitar pada layar<br>(cahaya insiden dari lingkungan yang jatuh pada layar harus diukur secara tegak lurus ke layar) | 200 lux            |
| Pencahayaan puncak dari layar<br>(peak luminance)  | 70-500 lux         |
| Rasio pencahayaan antara kondisi layar tidak aktif dan kondisi layar puncak  | $\leq 0.02$        |
| Resolusi gambar/video  | $1920 \times 1080$ |
| Aspect rasio   | 16:9               |
| Sudut lihat optimal dari layar   | $31^\circ$         |
| Jarak lihat optimal dari layar<br>(H = lebar gambar di layar)  | 3.2 H              |
| Durasi keseluruhan pengujian   | $\leq 30$ menit    |

Pada umumnya durasi klip yang digunakan berkisar antara 5 hingga 10 detik. Durasi ini dianggap cukup untuk menampilkan adegan yang mewakili isi dari keseluruhan konten. Selain itu, durasi klip yang terlalu lama dapat membuat panelis cepat lelah dan mempengaruhi konsistensi hasil penilaian. Oleh karena itu, durasi klip perlu dipertimbangkan secara cermat untuk memastikan keakuratan dan konsistensi dari hasil penilaian (ITU-R BT500 2019).

### 3.3.3.2 Tahap 1 - Pemilihan materi dan luaran

Sebelum memulai pengujian subyektif dipilih terlebih dahulu materi/video yang akan dinilai. Video dipilih dari dataset yang sudah diambil dari siaran DVB-T2. Jumlah materi/video klip yang diujikan sebanyak 105 video

FHD dengan durasi per video 10 detik. Perangkat yang digunakan dalam proses pengujian adalah Macbook Pro 2019 dengan ukuran layar 16 inci. Penilaian pada video uji menggunakan skala kualitas gambar ITU-R yang ditunjukkan pada tabel 3.3.

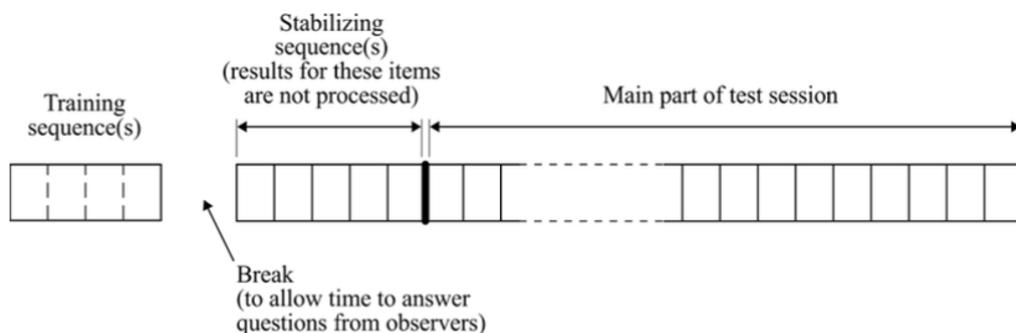
Tabel 3.3: Skala ITU-R Quality dan Impairment

| Skala lima kelas |                                 |
|------------------|---------------------------------|
| Quality          | Impairment                      |
| 5 Excellent      | 5 Imperceptible                 |
| 4 Good           | 4 Perceptible, but not annoying |
| 3 Fair           | 3 Slightly annoying             |
| 2 Poor           | 2 Annoying                      |
| 1 Bad            | 1 Very annoying                 |

Luaran dari subyektif assessment pada gambar siaran televisi berupa skala pengukuran. Terdapat dua jenis skala pengukuran, yaitu skala kualitas dan skala *impairment*. Skala kualitas digunakan untuk mengukur sejauh mana penonton merasakan kualitas gambar atau video yang ditampilkan. Skala ini biasanya berbentuk angka atau kata-kata yang merepresentasikan level kualitas. Responden diminta untuk memilih nilai yang paling sesuai dengan pengalaman menonton mereka. Sedangkan skala impairment digunakan untuk mengukur sejauh mana gangguan pada gambar atau video memengaruhi kualitas tampilan secara keseluruhan. Responden diminta untuk memilih nilai yang paling sesuai dengan tingkat gangguan pada gambar atau video. Dalam beberapa kasus, skala kualitas dan skala *impairment* digunakan bersamaan untuk memberikan gambaran yang lebih lengkap tentang kualitas gambar atau video yang ditampilkan (Mittal et al. 2012).

### 3.3.3.3 Tahap 2 - Sesi tes

Terdapat dua bagian pada tes seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.9, yang pertama adalah urutan latihan atau *training sequence*, dan selanjutnya sesi tes (test session). *Training sequence* atau urutan latihan berupa serangkaian langkah atau instruksi yang diberikan kepada panelis dalam rangka melatih mereka untuk melakukan penilaian subyektif dengan konsisten dan akurat. *Training sequence* biasanya mencakup langkah-langkah seperti familiarisasi dengan peralatan pengujian, instruksi tentang melaksanakan tugas penilaian, dan latihan tentang mengenali dan mengevaluasi aspek-aspek kualitas gambar yang berbeda. Langkah ini penting untuk memastikan bahwa panelis memahami dan menggunakan skala penilaian dengan konsisten dan bahwa hasil penilaian subyektif akurat dan dapat diandalkan.

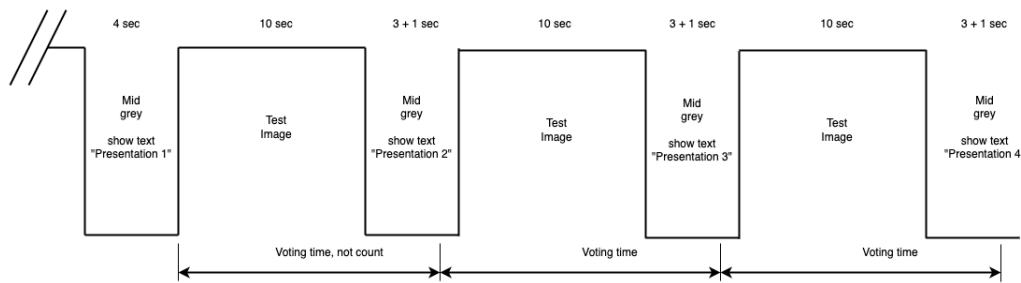


Gambar 3.9: Struktur presentasi dari subyektif tes

Pada awal sesi pertama, sekitar lima "presentasi *dummy*" harus diperkenalkan untuk menstabilkan pendapat para pengamat. Data yang dihasilkan dari presentasi ini tidak boleh dipertimbangkan dalam hasil pengujian. Selanjutnya secara langsung tanpa sepengetahuan pengamat dilakukan bagian utama dari sesi tes. Setiap presentasi diawali dan diakhiri dengan *midgrey* yang diantara berupa materi uji. *Midgrey* merupakan citra dengan nilai keabuan antara putih dan hitam dengan nilai RGB (128,128,128) atau HEX #808080. Mid-grey biasanya digunakan sebagai referensi dalam pengujian

subyektif untuk mengevaluasi kualitas kontras, ketajaman, dan keseimbangan warna.

Durasi yang umumnya digunakan adalah sekitar 10 detik untuk materi uji dan 1 hingga 2 detik untuk *midgrey*. Durasi ini dapat disesuaikan tergantung pada kebutuhan pengujian dan karakteristik materi uji yang digunakan. Waktu antara *midgrey* dan materi uji pada penelitian adalah 1, 10, dan 3 detik seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10: Interval antara *midgrey* dan materi uji

Berdasarkan interval tersebut maka dapat dihitung jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan rangkaian pengukuran subyektif. Jumlah materi yang digunakan sesi tes termasuk *dummy* sebanyak  $100 + 5$  video klip. Waktu yang dibutuhkan dalam 1 video adalah 14 detik termasuk dengan *midgrey*. Sehingga waktu yang dibutuhkan sebanyak  $105 \times 14 = 1470$  detik atau sekitar 24.5 menit. Jika ditambah dengan *training sequence* yang membutuhkan waktu 3-5 menit, maka total waktu yang dibutuhkan untuk melakukan rangkaian secara keseluruhan masih  $\leq 30$  menit.

### 3.3.3.4 Tahap 3 - Pengukuran hasil tes

Pengukuran hasil pengukuran subyektif *single stimulus* melibatkan sejumlah panelis yang menilai kualitas gambar dari materi uji pada layar monitor. Skor subyektif diberikan dan dianalisis untuk menentukan rata-rata skor, standar deviasi, dan interval kepercayaan. Materi uji terdiri dari beberapa

klip video yang dipilih secara acak dari berbagai jenis siaran televisi, yang ditampilkan dalam urutan acak. Panelis diberikan klip latihan sebelumnya untuk membiasakan diri dengan tampilan antarmuka dan jenis gambar yang akan dinilai. Skor diberikan pada skala kualitas ITU-R dengan 1 menunjukkan kualitas gambar yang sangat buruk dan 5 menunjukkan kualitas gambar yang sangat baik. Hasil pengukuran dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas gambar pada siaran televisi dengan menghitung skor rata-rata, standar deviasi, dan interval kepercayaan (ITU-R P.910 2022).

Pengukuran hasil yang pertama adalah mengukur rata-rata dari setiap materi yang dipresentasikan ke panelis, dengan persamaan berikut:

$$\bar{u}_{ijkr} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u_{ijkr} \quad (3.18)$$

dimana:

$\bar{u}_{ijkr}$  : nilai dari panelis i untuk kondisi tes j, urutan ke k, pengulangan r  
 $N$  : jumlah panelis

Demikian pula, skor rata-rata keseluruhan,  $u_j$  dan  $u_k$ , dapat dihitung untuk setiap kondisi uji dan setiap urutan/gambar uji. Selanjutnya saat menyajikan hasil pengujian, semua skor rata-rata harus memiliki interval kepercayaan yang terkait yang berasal dari standar deviasi dan ukuran masing-masing sampel. Berdasarkan ITU-R BT.500-14 dianjurkan untuk menggunakan interval kepercayaan 95% yang dinyatakan sebagai berikut:

$$[\bar{u}_{jkr} - \delta_{jkr}, \bar{u}_{jkr} + \delta_{jkr}] \quad (3.19)$$

dimana:

$$\delta_{jkr} = 1.96 \frac{S_{jkr}}{N} \quad (3.20)$$

Standar deviasi untuk setiap presentasi  $S_{jkr}$  dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$S_{jkr} = \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{(\bar{u}_{jkr} - \bar{u}_{ijkr})^2}{(N - 1)}} \quad (3.21)$$

Dengan probabilitas 95%, nilai mutlak dari selisih antara skor rata-rata eksperimental dan skor rata-rata sebenarnya (untuk jumlah pengamat yang sangat tinggi) lebih kecil dari interval kepercayaan 95%, asalkan distribusi skor individual memenuhi persyaratan tertentu. Demikian pula, deviasi standar  $S_j$  dapat dihitung untuk setiap kondisi uji. Namun, perlu dicatat bahwa deviasi standar ini, dalam kasus penggunaan jumlah urutan/gambar uji yang sedikit, akan lebih dipengaruhi oleh perbedaan antara urutan/gambar uji yang digunakan daripada variasi antara penilai yang berpartisipasi dalam penilaian.

#### 3.3.3.5 Desain Aplikasi Subyektif *Assessment*

Subyektif *assessment* yang dilakukan untuk pengukuran kualitas gambar menggunakan perangkat lunak berbasis *local website*. Perangkat lunak dirancang untuk memudahkan proses pengambilan data dan juga memudahkan panelis dalam melakukan penilaian. Pada awal tampilan terdapat pilihan antara *training sequence* dan sesi tes. Pada tampilan utama saat tes terdapat jendela pemutaran materi video dan juga tab penilaian seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11 rancangan aplikasi subyektif *assessment*. Rangkaian materi video dan *mid-grey* akan ditampilkan secara berkala sesuai dengan skema yang sudah direncanakan.



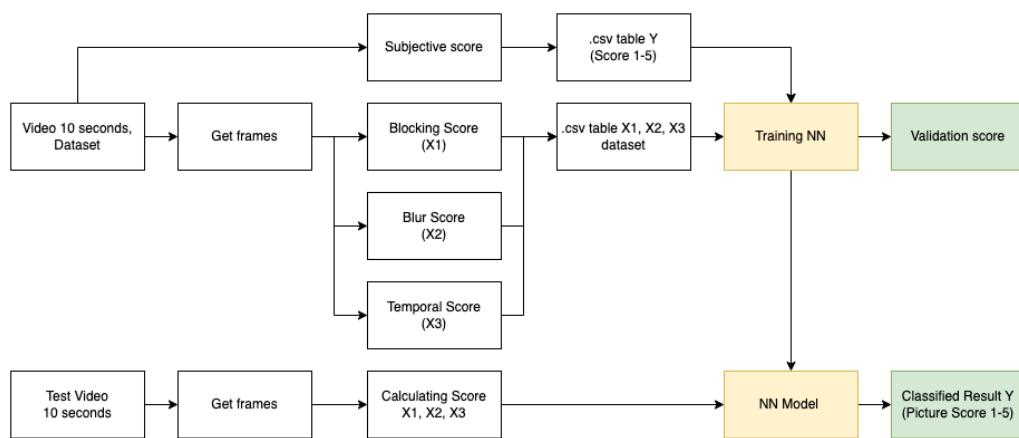
Gambar 3.11: Rancangan tampilan aplikasi web subyektif *assessment*

Aplikasi ditujukan untuk mempermudah proses pengujian pada subjektif *assessment*. Beberapa fitur yang dibutuhkan seperti melakukan input materi video yang akan diujikan, melakukan pengambilan data dan perekaman jawaban dari panelis, dan menarik keseluruhan data uji hasil evaluasi serta dapat di export ke dalam format .csv. Setiap panelis juga memiliki ID masing-masing sehingga data bisa dikelompokkan berdasarkan panelis atau berdasarkan materi yang diujikan.

### 3.4 Pembuatan Model NN

Jaringan saraf tiruan (*Neural network, NN*) digunakan dalam subjektif *assessment* untuk memprediksi kualitas gambar atau video berdasarkan fitur-fitur tertentu. Proses pembuatan model NN dimulai dengan pemilihan fitur-fitur yang relevan dengan kualitas gambar atau video yang ingin diprediksi. Fitur-fitur tersebut dapat berupa metrik kualitas gambar seperti metrik *blocking*, metrik *blur*, dan metrik *temporal*. Setelah pemilihan fitur, langkah selanjutnya adalah pemilihan arsitektur dan parameter untuk mod-

el NN. Pada penelitian ini dipilih *Recurrent Neural Network (RNN)* untuk memodelkan hubungan antara penilaian kualitas gambar/video oleh manusia dengan fitur-fitur gambar/video yang dijadikan input pada model seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12. Diharapkan penilaian kualitas gambar/video yang dihasilkan oleh model dengan RNN lebih akurat karena model dapat mengambil informasi sebelumnya pada urutan input yang diberikan.

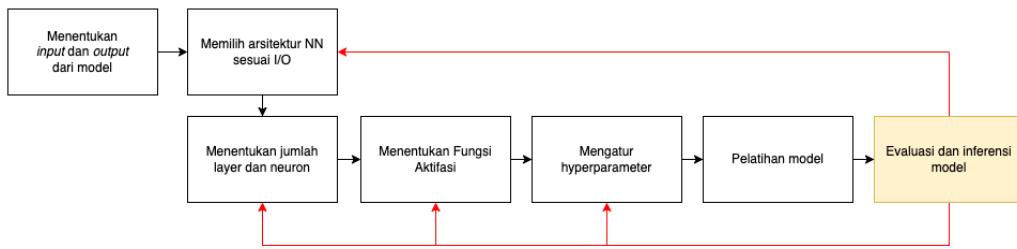


Gambar 3.12: Diagram parameter I/O untuk membangun model NN

Setelah arsitektur dan parameter ditentukan, langkah selanjutnya adalah pelatihan model NN menggunakan data latih yang telah dilabeli dengan nilai kualitas yang sesuai. Data latih harus mencakup variasi yang cukup dari kualitas gambar atau video yang ingin diprediksi. Setelah model dilatih, kinerjanya dievaluasi menggunakan data uji yang belum pernah dilihat oleh model (Shahreza et al. 2019). Berikut proses dan tahapan untuk membangun arsitektur NN yang akan dilakukan pada penelitian ini meliputi:

1. Menentukan masukan (input) dan keluaran (output) dari model: Langkah pertama adalah menentukan jenis data masukan yang akan digunakan dan keluaran yang diharapkan dari model.
2. Memilih arsitektur NN: Berdasarkan jenis masukan dan keluaran yang telah ditentukan, kemudian dipilih arsitektur NN yang tepat.

3. Menentukan jumlah lapisan dan neuron: Setelah memilih arsitektur NN yang tepat, selanjutnya ditentukan jumlah lapisan dan neuron pada setiap lapisan. Jumlah lapisan dan neuron ini dapat disesuaikan dengan kompleksitas data dan sumber daya komputasi yang tersedia.
4. Menentukan fungsi aktivasi: Fungsi aktivasi digunakan untuk mengaktifkan neuron pada setiap lapisan. Beberapa fungsi aktivasi yang umum digunakan adalah sigmoid, relu, dan tanh.
5. Mengatur hyperparameter: Hyperparameter adalah parameter yang diatur sebelum memulai pelatihan model. Beberapa hyperparameter yang perlu diatur adalah learning rate, batch size, dan jumlah epoch.
6. Pelatihan model: Setelah menentukan arsitektur NN dan hyperparameter, selanjutnya model dilatih dengan menggunakan data latih. Proses pelatihan ini dilakukan dengan mengoptimalkan fungsi loss yang dihasilkan.
7. Evaluasi model: Setelah selesai dilatih, model dievaluasi dengan menggunakan data uji untuk mengevaluasi performa dan akurasi model. Apabila hasil evaluasi masih belum memuaskan, dapat dilakukan iterasi kembali pada tahap pelatihan model atau penyesuaian parameter lainnya.
8. Prediksi atau inferensi: Setelah model dievaluasi dan dianggap cukup baik, model dapat digunakan untuk memprediksi nilai output dari data yang baru atau melakukan inferensi.
9. Penggunaan dan pemeliharaan model: Setelah berhasil dibuat, model dapat digunakan untuk memproses data yang baru. Namun, model juga perlu dipelihara secara berkala agar tetap optimal dalam memproses data.



Gambar 3.13: Tahapan pembuatan arsitektur dan model NN

Seluruh tahapan dilakukan dalam penelitian ini untuk memperoleh model RNN yang tepat seperti pada gambar 3.13. Seperti memilih jenis RNN yang sesuai dengan jenis data dan tugas yang akan dilakukan. Beberapa jenis RNN yang umum digunakan adalah LSTM, GRU, dan SimpleRNN. Kemudian penentuan hyperparameter seperti jumlah neuron, learning rate, jumlah epochs, dan batch size sangat penting untuk membangun model yang optimal. Evaluasi model secara sistematis setelah model dibangun, model harus dievaluasi secara sistematis menggunakan metrik yang tepat seperti akurasi, presisi, dan recall. Hal ini dapat membantu memastikan bahwa model dapat digunakan dengan efektif untuk tugas yang diberikan.

### 3.5 Hasil dan Perhitungan Model

Setelah model NN terbentuk, yang perlu dilakukan adalah melakukan pengukuran model tersebut. Akurasi, presisi, *recall*, *F1-score*, *confusion matrix*, dan *loss function* merupakan parameter yang perlu diukur pada model NN. Akurasi dihitung dengan membandingkan nilai prediksi dengan nilai sebenarnya pada data uji. Presisi dihitung dengan membagi jumlah prediksi positif benar dengan jumlah keseluruhan prediksi positif. Recall dihitung dengan membagi jumlah prediksi positif benar dengan jumlah keseluruhan data positif pada data uji. *F1-score* merupakan ukuran gabungan antara presisi dan *recall* dan dihitung dengan menghitung rata-rata harmonis antara presisi

dan recall.

### 3.5.1 *Confusion* matriks

*Confusion matrix* digunakan untuk mengevaluasi performa model NN dengan memperlihatkan jumlah prediksi benar dan salah yang dibuat oleh model. Confusion matrix digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan *recall*. *Loss function* merupakan fungsi yang digunakan untuk mengukur seberapa besar kesalahan prediksi model pada setiap iterasi selama proses pelatihan. Loss function digunakan untuk mengoptimalkan bobot pada model NN. Semua parameter ini penting untuk mengukur dan mengevaluasi performa model NN dalam memprediksi hasil pengukuran subyektif pada sistem monitoring kualitas siaran DVB-T2.

Pada penelitian ini terdapat 5 klasifikasi pada hasil NN, yaitu nilai kualitas 1 sampai 5 berdasarkan ITU-R. Sehingga digunakan *multiple class confusion matrix* (MCCM) untuk mengevaluasi performa dari model NN. Sama seperti confusion matrix sederhana terdapat juga parameter TP, TN, FP, dan FN yang merupakan empat nilai dalam confusion matrix yang digunakan untuk mengevaluasi performa model pada tugas klasifikasi.

- TP (true positive) adalah jumlah kasus positif yang terdeteksi dengan benar oleh model.
- TN (true negative) adalah jumlah kasus negatif yang terdeteksi dengan benar oleh model.
- FP (false positive) adalah jumlah kasus negatif yang salah terdeteksi sebagai positif oleh model.
- FN (false negative) adalah jumlah kasus positif yang salah terdeteksi sebagai negatif oleh model.

|              |                | Predicted Class  |                |     |                  |
|--------------|----------------|------------------|----------------|-----|------------------|
|              |                | C <sub>1</sub>   | C <sub>2</sub> | ... | C <sub>N</sub>   |
| Actual Class | C <sub>1</sub> | C <sub>1,1</sub> | FP             | ... | C <sub>1,N</sub> |
|              | C <sub>2</sub> | FN               | TP             | ... | FN               |
|              | ...            | ...              | ...            | ... | ...              |
|              | C <sub>N</sub> | C <sub>N,1</sub> | FP             | ... | C <sub>N,N</sub> |

Gambar 3.14: *Multiple Class Confusion Matrix* (Markouliakis et al. 2021)

Dalam konteks MCCM, TP, TN, FP, dan FN dihitung berdasarkan kelas target dan prediksi yang berbeda pada data uji yang memiliki lebih dari dua kelas. Diagonal matriks MCCM menunjukkan jumlah prediksi benar untuk setiap kelas, sementara sel di luar diagonal menunjukkan jumlah prediksi salah untuk setiap kelas seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.14. Oleh karena itu, TP, TN, FP, dan FN pada MCCM terdapat pada setiap sel matriks dan digunakan untuk menghitung akurasi, presisi, dan recall pada setiap kelas. Akurasi digunakan untuk mengukur seberapa sering model NN dapat memprediksi dengan benar kelas target pada seluruh data uji (Powers 2020). Menghitung akurasi pada MCCM dapat dilakukan dengan menjumlahkan seluruh TP dibagi dengan seluruh data pada matriks, atau dapat dituliskan dalam rumus:

$$Akurasi = \frac{\sum_{i=1}^k TP_i}{\sum_{i=1}^k (TP_i + FP_i)} \quad (3.22)$$

dimana:

$TP_i$  : jumlah prediksi model yang benar dari kelas  $i$

$FP_i$  : jumlah prediksi model yang salah pada kelas  $i$ .

$k$  : jumlah kelas pada model  $i$ .

Presisi digunakan mengukur seberapa sering model NN dapat memprediksi dengan benar kelas positif dari semua prediksi positif yang dibuat. Presisi dapat dianggap sebagai tingkat ketepatan dari prediksi positif model NN. Rumus untuk menghitung presisi adalah sebagai berikut:

$$\text{Presisi}_i = \frac{TP_i}{(TP_i + FP_i)} \quad (3.23)$$

Kemudian untuk menghitung *recall* atau True Positive Rate (TPR) atau sensitivitas, adalah metrik kinerja yang digunakan untuk mengukur seberapa baik model klasifikasi mengidentifikasi hasil positif yang benar dari keseluruhan hasil positif yang sebenarnya. Recall dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Recall}_i = \frac{TP_i}{(TP_i + FN_i)} \quad (3.24)$$

Parameter berikutnya adalah F1-score, merupakan metrik kinerja yang digunakan untuk mengukur kinerja model klasifikasi, terutama dalam situasi di mana distribusi kelas tidak seimbang. F1-score merupakan rata-rata harmonik dari presisi dan recall, yang memperhitungkan keduanya dalam satu metrik. Rumus F1-score:

$$F1 - score_i = 2 \frac{\text{Presisi}_i * \text{Recall}_i}{(\text{Presisi}_i + \text{Recall}_i)} \quad (3.25)$$

Dalam konteks klasifikasi multi-kelas, presisi, *recall*, dan *f1-score* dihitung untuk setiap kelas secara terpisah dan kemudian digabungkan menggunakan metode seperti rata-rata sederhana (*macro-average*), rata-rata mikro (*micro-average*), atau rata-rata tertimbang (*weighted average*), tergantung pada konteks masalah dan jumlah sampel per kelas.

Rumus rata-rata sederhana (*macro-average*):

$$Average_{macro} = \frac{\sum_{i=1}^k Metrik_i}{k} \quad (3.26)$$

Rumus rata-rata mikro *micro-average*:

$$Average_{micro} = \frac{\sum_{i=1}^k TP_i}{(\sum_{i=1}^k TP_i + \sum_{i=1}^k FP_i)} \quad (3.27)$$

Rumus rata-rata tertimbang *weighted-average*:

$$Average_{weighted} = \frac{\sum_{i=1}^k (Metrik_i \times Bobot_i)}{(\sum_{i=1}^k Bobot_i)} \quad (3.28)$$

Memilih rata-rata yang tepat untuk klasifikasi multi-kelas bergantung pada konteks masalah dan tujuan evaluasi. Macro-average memberikan bobot yang sama pada setiap kelas, cocok untuk menekankan kinerja seimbang di semua kelas, terutama ketika ada ketidakseimbangan kelas yang signifikan. Micro-average memberikan bobot yang sama pada setiap sampel, lebih cocok jika Anda lebih peduli tentang kinerja model secara keseluruhan daripada kinerja kelas individu. Weighted average memberikan bobot yang proporsional terhadap jumlah sampel per kelas, lebih memperhatikan kinerja kelas yang lebih besar dalam evaluasi.

### 3.5.2 Pengukuran Korelasi

Korelasi antara pengukuran subyektif dan obyektif dapat digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana metode pengukuran obyektif dapat memprediksi pengukuran subyektif yang dilakukan oleh manusia. Dengan mengetahui korelasi antara hasil pengukuran subyektif dan objektif, kita dapat mengevaluasi seberapa baik pengukuran objektif dapat merepresentasikan penilaian kualitas gambar atau video oleh manusia. Untuk mengukur korelasi antara pengukuran subyektif dan obyektif, seringkali digunakan koefisien korelasi Pearson. Koefisien korelasi Pearson mengukur hubungan linier antara dua variabel, dalam

hal ini pengukuran subyektif dan obyektif. Koefisien ini memiliki nilai antara -1 hingga 1, di mana 1 menunjukkan hubungan positif sempurna, -1 menunjukkan hubungan negatif sempurna, dan 0 menunjukkan tidak ada hubungan linier antara kedua variabel.

Selain koefisien korelasi Pearson, terdapat juga metode pengukuran korelasi lainnya yang dapat digunakan, seperti koefisien korelasi Spearman dan koefisien korelasi Kendall. Korelasi Spearman juga merupakan salah satu jenis korelasi yang digunakan untuk mengukur hubungan antara dua variabel. Korelasi Spearman menghitung koefisien korelasi rho ( $\rho$ ) antara peringkat dua variabel yang tidak berdistribusi normal atau tidak memiliki asumsi normal (M.H. Pinson 2004). Korelasi Spearman dapat digunakan untuk mengukur korelasi antara nilai subyektif dan obyektif dalam penilaian kualitas video atau gambar.

Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai koefisien korelasi Pearson:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3.29)$$

dimana:

$r_{xy}$  : koefisien korelasi Pearson  $i$

$x_i$  : nilai dari variabel x dalam sample  $i$ .

$\bar{x}$  : rata-rata variabel x.

$y_i$  : nilai dari variabel y dalam sample  $i$ .

$\bar{y}$  : rata-rata variabel y.

$n$  : jumlah sample.

Sedangkan untuk menghitung nilai koefisien korelasi Spearman digunakan rumus sebagai berikut:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.30)$$

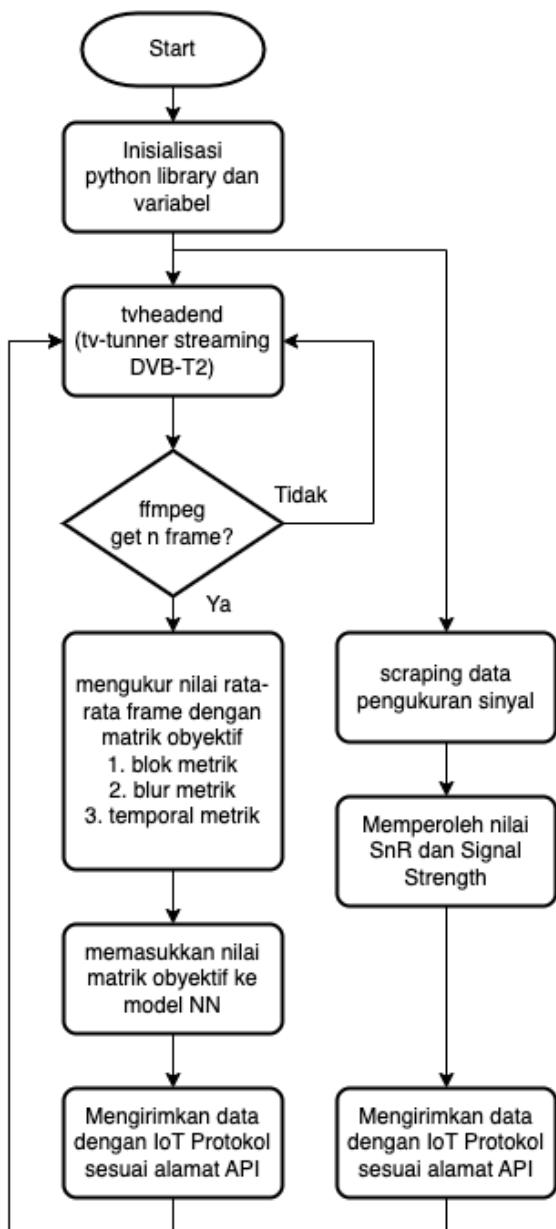
dimana:

- $\rho$  : koefisien korelasi peringkat Spearman  $i$   
 $d_i$  : perbedaan antara peringkat variabel X dan Y pada observasi ke- $i$ .  
 $n$  : jumlah sample.

Korelasi Pearson dan Spearman merupakan metode yang berbeda untuk mengukur hubungan antara dua variabel. Korelasi Pearson mengukur hubungan linier antara variabel dengan menggunakan nilai aktual, dan mengasumsikan distribusi normal serta hubungan linier. Sementara itu, korelasi Spearman mengukur hubungan monoton dengan menggunakan peringkat variabel, dan tidak mengharuskan distribusi normal atau hubungan linier, sehingga lebih cocok untuk data ordinal atau data yang tidak berdistribusi normal (Akoglu 2018).

### 3.6 Sistem Pengukuran Waktu Nyata

Sistem pengukuran waktu nyata pada kualitas gambar siaran DVB-T2 dilakukan setelah didapat model yang dapat melakukan pengukuran dengan tingkat akurasi yang cukup tinggi dibandingkan dengan penilaian subyektif manusia. Prosedur yang dilakukan dalam melakukan pengukuran waktu nyata seperti yang digambarkan pada gambar 3.15. Hardware yang digunakan adalah raspberry pi 4 model B dengan menggunakan TV HAT dan juga antenna. Raspberry pi sudah terisntall raspbian OS 64-bit, dan sudah diinstall aplikasi *tvheadend*, *ffmpeg*, dan juga *python* dengan *library*-nya.



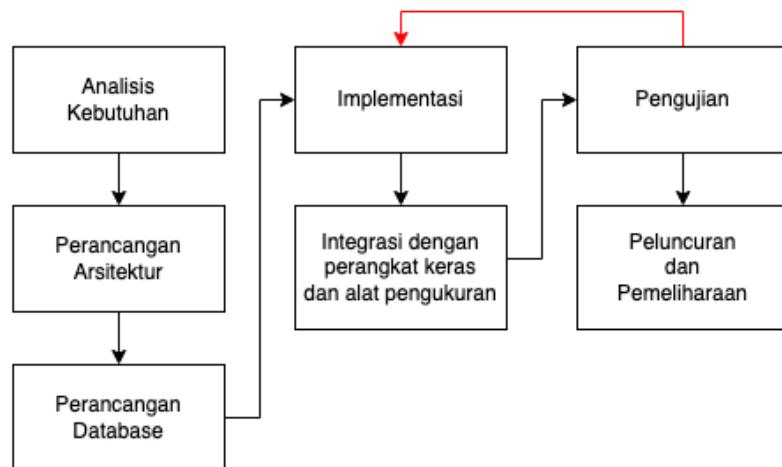
Gambar 3.15: Diagram alur program python pada pengukuran kualitas gambar siaran DVB-T2 waktu nyata

Pertama gambar ditangkap dari web aplikasi `tvheadend` yang diperoleh langsung pada siaran DVB-T2. Gambar ditangkap menggunakan aplikasi `ffmpeg` yang sudah diprogram menggunakan python untuk melakukan pengambilan data gambar dengan interval tertentu secara berkala. Gambar yang diamambil merupakan urutan frame video sebanyak 5 frame dengan interval 0.5 detik.

Frame gambar tersebut kemudian diukur satu persatu menggunakan metrik obyektif blur, blok, dan temporal. Hasil pengukuran obyektif dirata-ratakan kemudian digunakan sebagai parameter masukan pada model NN. Nilai yang diperoleh dari model NN selanjutnya akan dikirim ke IoT dashboard menggunakan protokol IoT seperti *thingspeak* milik *Matlab*.

### **3.6.1 Tahapan pembuatan *website* pemantauan**

Web aplikasi monitoring kualitas penyiaran DVBT-2 merupakan sebuah aplikasi web yang dapat digunakan untuk memonitor kualitas penyiaran televisi secara waktu nyata *real-time*. Aplikasi ini dapat menampilkan informasi tentang kualitas siaran seperti kualitas video dan kualitas sinyal. Aplikasi ini dilengkapi dengan fitur-fitur seperti pemantauan kualitas siaran secara real-time, pemantauan kualitas siaran secara historis, analisis data kualitas siaran, serta notifikasi jika terjadi gangguan atau perbaikan dalam kualitas siaran. Web aplikasi ini dapat berguna bagi stasiun televisi atau radio untuk memastikan bahwa kualitas siaran yang mereka kirimkan kepada pemirsa adalah yang terbaik, serta memastikan bahwa siaran tidak mengalami gangguan atau masalah teknis. Tahapan dari pembuatan web ditunjukkan pada gambar



Gambar 3.16: Tahapan pembuatan *website monitoring real-time* kualitas gambar DVB-T2

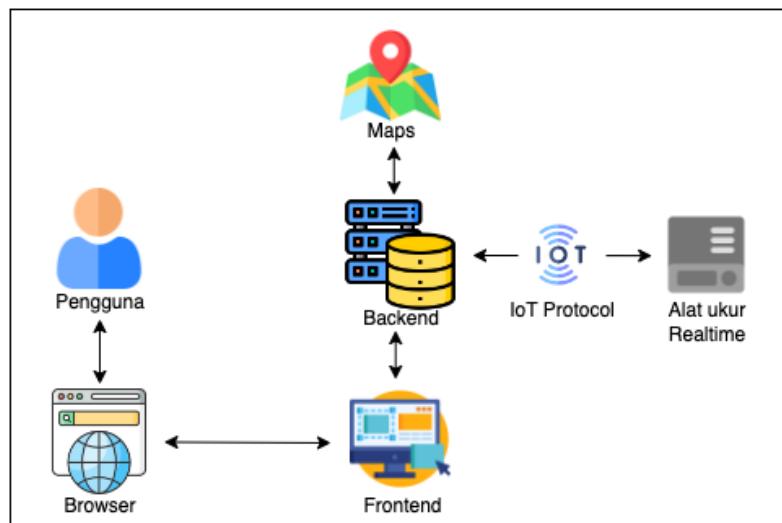
Perancangan sistem web aplikasi monitoring televisi digital melibatkan beberapa tahapan yang harus dilakukan secara terstruktur. Tahapan pertama adalah melakukan analisis kebutuhan untuk menentukan fitur dan fungsi yang diperlukan dalam aplikasi. Analisis kebutuhan dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari stakeholder dan melakukan studi literatur. Selanjutnya, dilakukan perancangan arsitektur sistem, yang mencakup infrastruktur server, database, dan interaksi antarmuka pengguna dengan sistem. Arsitektur ini harus dirancang dengan mempertimbangkan aspek keamanan, skalabilitas, dan kinerja sistem.

Setelah perancangan arsitektur, dilakukan perancangan database untuk menyimpan data yang dibutuhkan oleh aplikasi, seperti data pengguna, data channel televisi, dan data kualitas sinyal. Tahapan selanjutnya adalah implementasi, yang mencakup pembuatan kode program, integrasi komponen sistem, pengujian, dan debugging. Penting juga untuk melakukan integrasi dengan perangkat perekam dan alat ukur kualitas sinyal agar aplikasi dapat merekam dan memonitor kualitas siaran secara real-time. Tahap pengujian dilakukan untuk memastikan aplikasi berfungsi sesuai dengan yang diharapkan

dan memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Setelah aplikasi diuji dan dirasa siap untuk digunakan, dilakukan tahap peluncuran dengan menginstal aplikasi di server dan memberikan akses kepada pengguna. Perlu diingat bahwa setelah aplikasi diluncurkan, perlu dilakukan pemeliharaan sistem secara berkala untuk menjaga kinerja dan keamanan sistem.

### 3.6.2 Arsitektur *Website Monitoring*

Penerapan hasil pengukuran kualitas gambar pada siaran DVB-T2 ditampilkan pada halaman situs online untuk melakukan pemantauan secara waktu nyata. Pada penelitian ini rancangan arsitektur *website* ditunjukkan pada gambar 3.17. Aplikasi pemantauan dapat diakses melalui web browser. Aplikasi ini ditujukan untuk mempermudah pengguna untuk melihat hasil pengukuran yang sedang berlangsung secara realtime.



Gambar 3.17: Diagram arsitektur *website* pemantauan kualitas gambar siaran DVB-T2

Laman yang diakses atau diminta, memiliki tampilan antarmuka atau yang dikenal dengan user interface. Front end pada penerapan sistem ini menggunakan *native javascript*. Frontend Native JavaScript merujuk pada pengem-

bangun antarmuka pengguna (user interface) berbasis web yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman JavaScript murni tanpa mengandalkan framework atau library tertentu. Frontend Native JavaScript memungkinkan pengembang untuk lebih fleksibel dalam menyesuaikan dan mengubah kode mereka karena mereka memiliki kontrol penuh atas kode tersebut.

Server yang digunakan pada penelitian ini adalah virtual machine yang terdapat pada server universitas gunadarma. Sistem operasi yang digunakan Ubuntu 22.1 dan *apache* web server. Penyimpanan basis data menggunakan MySQL. Tampilan Maps yang ditampilkan pada front end merupakan hasil dari permintaan yang terintegrasi terhubung dari Mapbox API. Peta digunakan hanya untuk mengukur jarak antara alat pengukur dengan stasiun pemancar. Kemudian digunakan juga protokol IoT yang berfungsi untuk mengirimkan data pengukuran kualitas sinyal dan gambar ke IoT dashboard yang kemudian API dari IoT tersebut diambil dari web server. Pengguna hanya dapat memilih lokasi pemantauan yang sebelumnya sudah dibuat oleh admin. Lokasi pemantauan merupakan titik dimana perangkat melakukan pengukuran. Selanjutnya data hasil pengukuran ditampilkan secara realtime pada antarmuka web.

## BAB IV

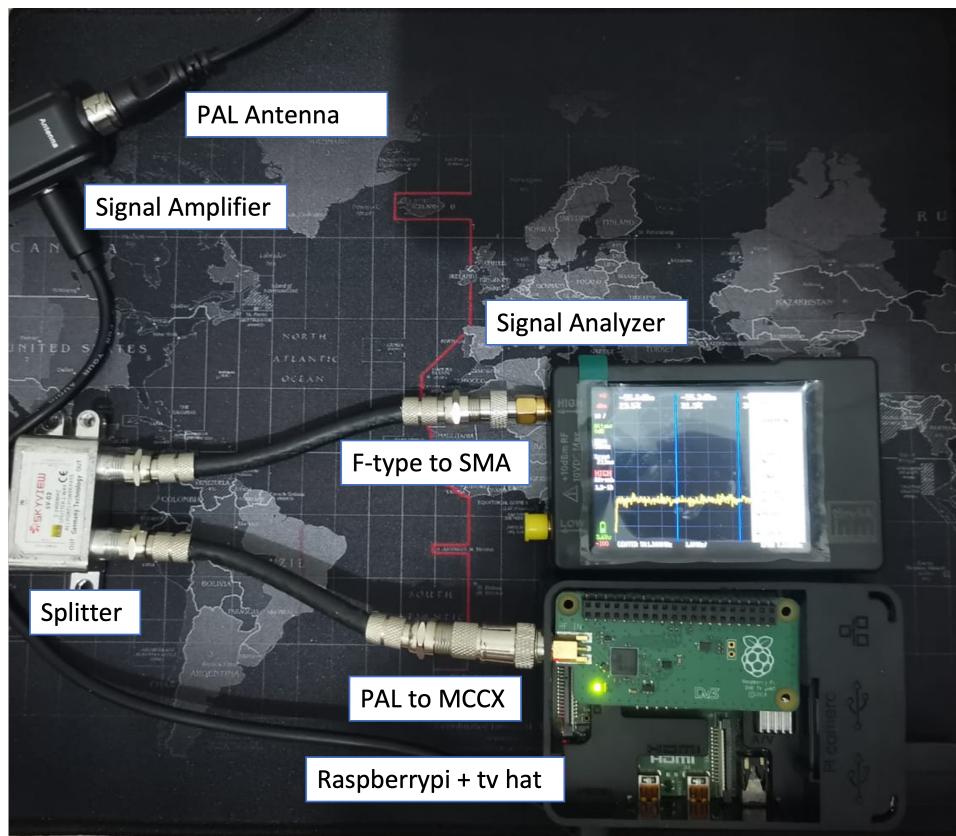
# HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Material yang digunakan

Material dalam penelitian ini berupa video yang diambil dari siaran DVB-T2. Material yang digunakan akan diujikan secara obyektif menggunakan beberapa metrik spatial dan metrik temporal, serta diujikan secara subjektif ke beberapa panelis. Pemilihan material menjadi aspek penting dalam proses evaluasi kualitas video. Material yang dipilih harus mencerminkan berbagai jenis konten dan situasi yang mungkin dihadapi oleh penonton dalam kehidupan nyata. Memilih material untuk tes subjektif melibatkan beberapa kriteria penting, seperti variasi genre, kualitas sumber, durasi klip, tingkat detail, gerakan dan kecepatan, warna dan kontras, serta artefak khas.

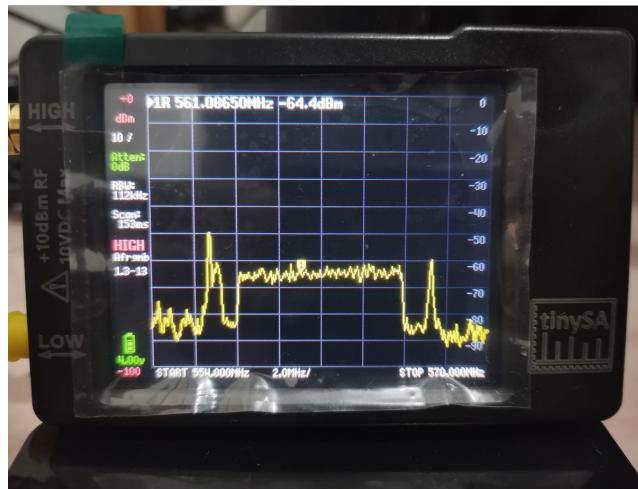
#### 4.1.1 Proses akuisisi material video

Perangkat keras yang digunakan untuk melakukan akuisisi pada video secara langsung dari siaran DVB-T2 adalah raspberry pi dengan modul tv hat, antena dan periferal untuk komputer yang ditunjukkan pada gambar 4.1. Sebelum melakukan pengambilan data dilakukan beberapa setup untuk mendapatkan sampel yang sesuai. Pertama adalah memastikan seluruh perangkat terpasang dan terinstall dengan baik dan benar. Perangkat *tv hat* harus *attach* di atas raspberry pi. Perangkat *tv hat* memiliki *jack input* dari antena berbentuk *micro miniature coaxial (MMCX) to PAL-female*. Konektor PAL female kemudian terhubung ke penguat sinyal eksternal dengan daya 5watt untuk selanjutnya terhubung ke antena tv.



Gambar 4.1: Perangkat keras yang digunakan untuk akuisisi video siaran DVB-T2

Langkah kedua, memastikan kekuatan sinyal siaran DVB-T2 yang diterima oleh perangkat ada di antara -60 dB sampai -75 dB. Kekuatan sinyal dapat diperkuat menggunakan alat penguat sinyal dan mengubah posisi antenna. Kekuatan sinyal dapat diukur menggunakan *tv hat* dengan aplikasi *tvheadend* atau bisa juga menggunakan perangkat signal analyzer seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.2. Ketiga membuat rencana perekaman video menggunakan fitur *record* pada aplikasi *tvheadend*. Perekaman dilakukan dengan beberapa skema untuk memperoleh video dengan kualitas yang baik dan juga video dengan kualitas yang buruk.



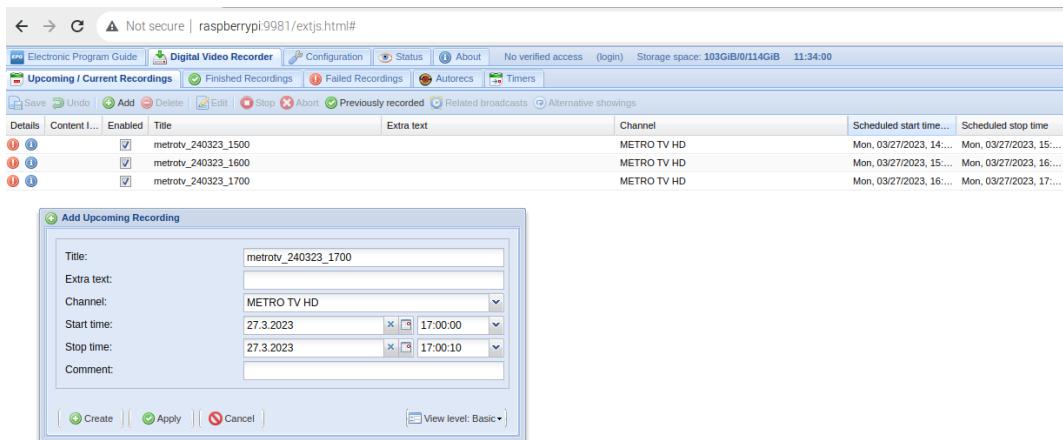
Gambar 4.2: Pengukuran kekuatan sinyal menggunakan *signal analyzer*, *TinySA*

Antena diletakkan diluar bangunan (*outdoor*) dengan ketinggian 2 meter diatas bangunan. Antena yang digunakan adalah antena televisi dengan tipe PX HDA-5000 seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.3. Kemudian dilakukan beberapa skema dengan mengubah posisi antena ke empat arah yang berbeda selama pengambilan data video. Posisi antena awal  $0^\circ$  posisi menghadap ke stasiun pemancar, serta diputar  $90^\circ$ ,  $180^\circ$ , dan  $270^\circ$ . Hal ini dilakukan agar mendapatkan gambar dengan kualitas yang bervariasi untuk melengkapi *dataset* yang dibutuhkan.



Gambar 4.3: Penempatan antena outdoor PX HDA-5000

Setelah seluruh perangkat sudah siap, maka pengambil data video dapat dilakukan menggunakan aplikasi *tvheadend*. Sebelum menjalankan *tvheadend* pastikan juga sudah melakukan instalasi pada perangkat keras, serta instalasi aplikasi *tvheadend* yang disertai proses pencarian layanan siaran DVB-T2. Selanjutnya dilakukan beberapa konfigurasi pada *tvheadend* dengan malakukan proses perekaman dengan durasi 10 detik per video, dengan interval waktu tertentu. Perekaman dapat menggunakan fitur "*digital video recorder*", kemudian klik "*upcoming/current recording*", lalu tekan tombol "+" untuk menambahkan jadwal perekaman video seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4. Jendela *pop-up* akan muncul untuk mengisikan judul/nama rekaman, channel/layanan yang dipilih, serta waktu melakukan perekaman. Setelah itu tekan "*apply*". Hasil dari rekaman dapat di download pada tab "*finished recordings*"



Gambar 4.4: Fitur melakukan perekaman video siaran DVB-T2 menggunakan *tvheadend*

Selain menggunakan fitur yang terdapat pada *tvheadend* pengambilan video juga dapat dilakukan menggunakan *ffmpeg* dan *python*, namun tetap membutuhkan alamat lokal layanan dari *tvheadend*. Alamat layanan dapat diperoleh dari channel layanan yang terdapat dari *tvheadend* dan dapat di download dengan format .m3u (*Moving Picture Experts Group Audio Layer*

*3 Uniform Resource Locator).* Digunakan beberapa *library* untuk dapat menjalankan ffmpeg dalam melakukan perekaman dengan interval waktu tertentu. Library yang digunakan adalah *time*, *schedule*, dan *subprocess*. Contoh program yang digunakan adalah sebagai berikut:

```
import schedule
import time
import subprocess

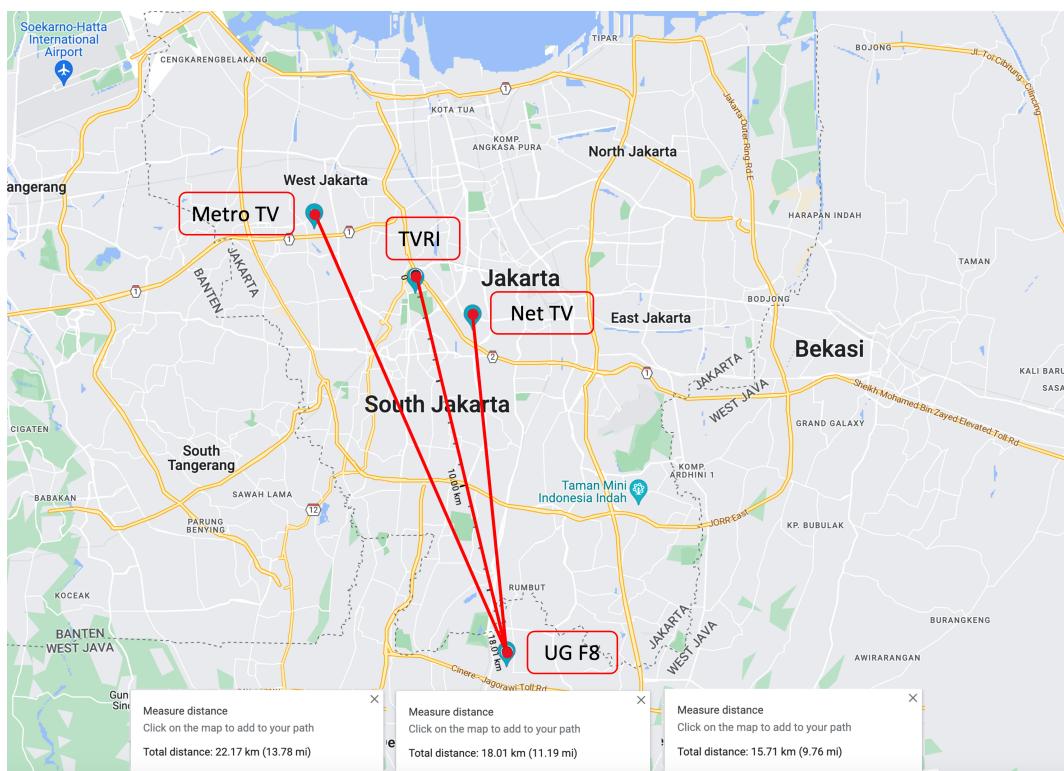
def my_function():
    command = 'perintah ffmpeg record + timestamp'
    subprocess.call(shlex.split(command))

schedule.every(1).hours.do(my_function)
while True:
    schedule.run_pending()
    time.sleep(1)
```

Perekaman materi uji dilakukan dengan durasi 10 detik per video tayangan. Materi video direkam dari lima layanan televisi yang diperoleh di wilayah kota Depok, Jawa Barat. Layanan televisi yang digunakan sebagai *dataset* adalah TVRI World, TVRI Sport, Metro TV HD, Net TV, dan My TV dengan tiga frekuensi pembawa berbeda . Sudut antena diatur sehingga mendapat kekuatan sinyal yang bervariasi agar mendapatkan hasil data yang dapat menggambarkan kondisi siaran real. Terdapat tiga frekuensi pembawa yang berbeda dari kelima layanan tv tersebut yang ditunjukkan pada tabel 4.1. Lokasi dari ketiga stasiun pemancarnya juga dicatat sebagai penghitungan variabel jarak antara pengirim dan penerima siaran. Jarak line of sight (LOS) antara ketiga stasiun pemancara terhadap perangkat yang digunakan pada penelitian relatif, dimana lokasi pengambilan video dari siaran dilakukan dari kampus F8 Universitas Gunadarma.

Tabel 4.1: Pengambilan dataset dari layanan siaran DVB-T2 pada area studi

| Frekuensi<br>Pembawa | Nama<br>Layanan             | Lokasi<br>Pemancar            | Latitude,<br>Langitude | Kekuatan sinyal di<br>0°, 90°,<br>180°, 270°<br>dari pemancar |
|----------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|---|
| 626 MHz              | TVRI World                  | Tanah Abang,<br>Jakarta Pusat | -6.21254,<br>106.80071 | -64 dBm, -74 dBm<br>-81 dBm, -75 dBm                          |
|                      | TVRI Sport                  | Jakarta Barat                 | 106.75871              | -80 dBm, -75 dBm  |
| 562 MHz              | Metro TV                    | Kebon Jeruk,<br>Jakarta Barat | -6.18698,<br>106.75871 | -64 dBm, -75 dBm<br>-80 dBm, -75 dBm                          |
|                      | My TV                       | Jakarta Barat                 | 106.71896              | -81 dBm, -74 dBm  |
| 650 MHz              | Net TV                      | Kembangan,<br>Jakarta Barat   | -6.22192,<br>106.71896 | -65 dBm, -75 dBm<br>-81 dBm, -74 dBm                          |
|                      | F8 Universitas<br>Gunadarma | Cimanggis,<br>Kota Depok      | -6.36390,<br>106.84019 | Penerima siaran   |

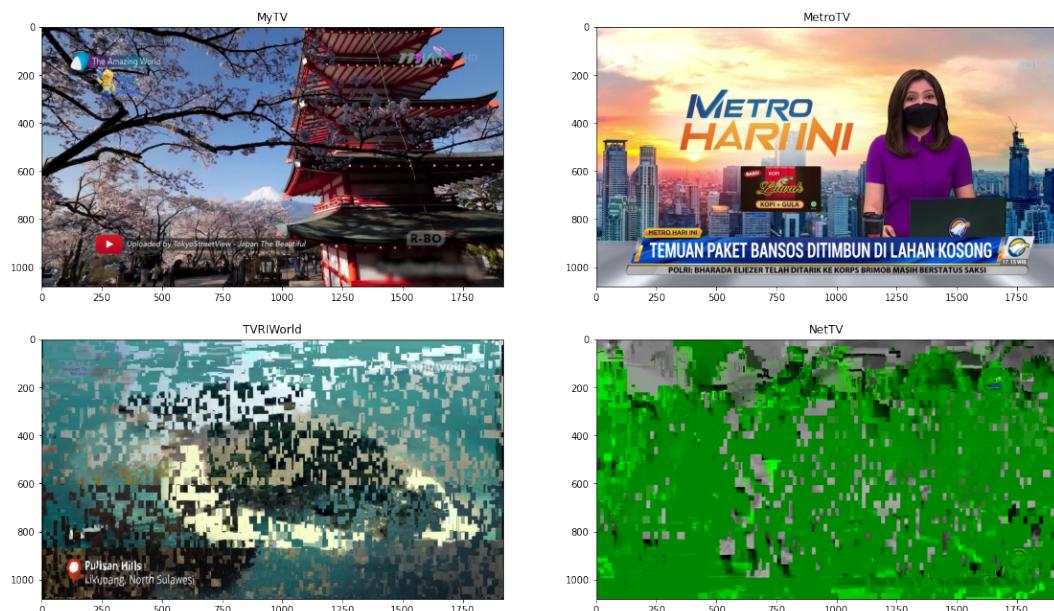


Gambar 4.5: Jarak stasiun pemancar terhadap lokasi pengambilan data siaran DVB-T2

Stasiun pemancar terjauh adalah metro tv dengan jarak 22 km. Stasiun siaran TVRI yang berlokasi di kec. Tanah Abang memiliki jarak 18 km, sedangkan yang terdekat adalah stasiun net tv dengan jarak 16 km. Semua pengukuran jarak tersebut diukur secara LOS menggunakan google maps seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5.

#### 4.1.2 Koleksi data

Pengumpulan data merupakan proses terstruktur untuk menghimpun informasi dari berbagai sumber guna mendapatkan wawasan, menganalisis situasi, atau membantu pengambilan keputusan. Melibatkan tahapan perencanaan, identifikasi sumber, pemilihan metode pengumpulan data yang tepat, dan pengolahan data untuk analisis lebih lanjut. Tahapan ini merupakan komponen penting dalam penelitian, uji coba, evaluasi, dan beragam disiplin ilmu lainnya untuk mendukung hipotesis, menguji teori, atau memvalidasi hasil (Yin n.d.).



Gambar 4.6: Citra/frame video dengan resolusi FHD  $1920 \times 1080$  piksel hasil rekaman dari siaran DVB-T2

Data yang sudah terkumpul dari hasil akuisisi berupa video dengan durasi 10 detik. Ukuran dari video sekitar 2 MB sampai 10 MB. Gambar 4.6 merupakan contoh frame yang didapat dari hasil pengambilan video menggunakan prosedur sebelumnya. Diperoleh data dari masing-masing siaran sejumlah 100 video, sehingga terdapat 500 video. Video yang akan dijadikan dataset untuk pengujian obyektif dan subyektif dipilih secara manual dari video yang ada. Pemilihan manual video untuk dataset tersebut berdasarkan kualitas dari video, dari jumlah artefak bloking, bluring dan juga pembekuan frame. Dipilih sejumlah 105 video yang dijadikan *dataset*. Jumlah dataset awal yang digunakan tidak terlalu besar karena dataset tersebut juga digunakan untuk pengukuran subyektif yang dinilai oleh panelis.

#### **4.1.3 Perangkat pengolahan data**

Setelah dipilih sebanyak 105 video untuk *dataset*, maka video akan diukur menggunakan beberapa metrik obyektif spatial dan juga temporal. Pengukuran dilakukan menggunakan dua perangkat komputer untuk pembanding yaitu vm milik *google-colab* dan juga vm *dgx-a100* milik UG. Perangkat tersebut juga digunakan untuk pembuatan model NN dari hasil pengukuran obyektif dan subyektif dari dataset. Spesifikasi umum perangkat yang digunakan untuk pengolahan data ditunjukkan pada tabel 4.2

Tabel 4.2: Perangkat pengolahan data yang digunakan

| Mesin GPU NVIDIA      | Keterangan                |
|-----------------------|---------------------------|
| Google Colab          | TU104-895-16GB (Tesla 4)  |
| Universitas Gunadarma | A-100-SXM4-40GB (DGX A00) |

## 4.2 Pengujian metrik obyektif

Proses pengukuran kualitas video secara obyektif, digunakan tiga metrik.

Algoritma metrik obyektif spatial yang digunakan terdiri metrik *blocking* dan metrik *blur*, untuk temporal menggunakan metrik *temporal freeze*. Metrik tersebut diubah ke dalam bahasa pemrograman *python* yang kemudian dilakukan pengujian ke beberapa citra/video. Metrik tersebut juga akan digunakan sebagai parameter masukan pada jaringan saraf buatan (NN).

### 4.2.1 Pengujian metrik *blocking*

Tahap awal mengubah algoritma metrik *blocking* ke dalam bahasa pemrograman *python*. Kemudian dilakukan pengujian metrik tersebut untuk beberapa citra, dimana semakin besar kerusakannya maka nilainya akan semakin kecil. Interval pengukuran dari metrik ini yaitu 1 – 100 dengan skor 1 citra dengan tingkat noise bloking yang tinggi, dan skor 100 citra tanpa bloking. Pseudocode 4.1 menuliskan secara umum perhitungan yang dilakukan algoritma blok milik Zhou Wang.

---

#### Algoritma 4.1 Metrik pengukuran blok

---

**INPUT:** citra

**OUTPUT:** blok\_score

```

1: function BLOK_METRIC(image_path)
2:   img  $\leftarrow$  load_image(image_path)                                 $\triangleright$  Load citra
3:   dh  $\leftarrow$  img[ $:1$ ]  $-$  img[ $:-1$ ] $:$                                  $\triangleright$  Selisih horizontal
4:   dv  $\leftarrow$  img[ $1:$ ] $-$  img[ $:-1$ ] $:$                                  $\triangleright$  Selisih vertikal
5:   Bh, Bv  $\leftarrow$  Hitung nilai Bh, Bv                 $\triangleright$  Mean bloking 8x8
6:   Ah, Av  $\leftarrow$  Hitung nilai Ah, Av                 $\triangleright$  Mean dari mean blok - Bh
7:   sigh, sigv  $\leftarrow$  Hitung nilai sigh, sigv           $\triangleright$  Zero crossing
8:   Zh, Zv  $\leftarrow$  Hitung nilai Zh, Zv                 $\triangleright$  Mean zero crossing
9:   B, A, Z  $\leftarrow$  Hitung nilai B, A, Z             $\triangleright$  Mean variabel v dan h
10:  score  $\leftarrow$  Hitung nilai score                          $\triangleright$  Skor akhir
11:  return score
12: END function

```

---

Pada gambar 4.7 dicontohkan nilai luaran yang dihasilkan dari pengukuran metrik *bloking*. Citra yang dicontohkan merupakan hasil cuplikan frame dari video yang ada di dataset.

Blok score : 85



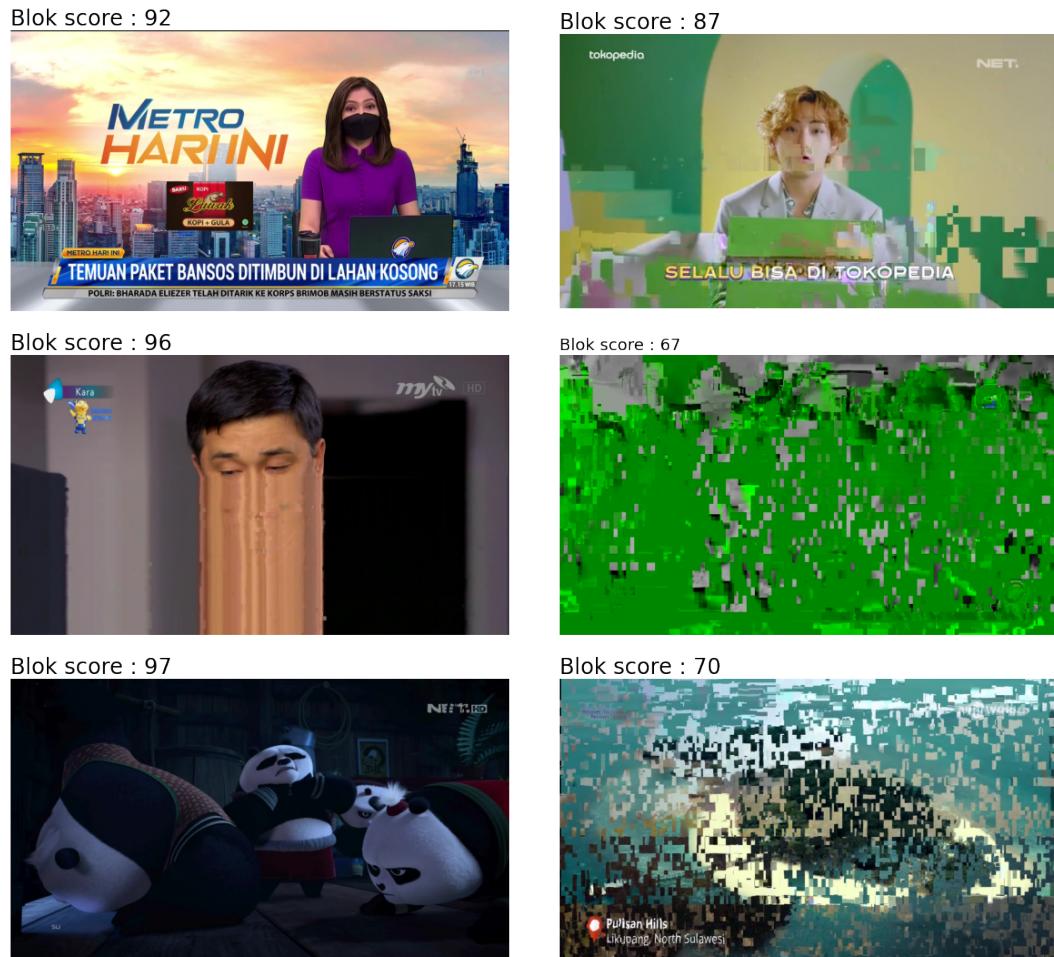
Blok score : 75



Gambar 4.7: Pengukuran metrik obyektif blok pada citra normal dan *blocking artifact*

Pada gambar 4.7 menunjukkan pengukuran blok pada citra frame siaran DVB-T2 yang ada di *dataset*. Citra bagian atas merupakan citra asli dari siaran, sedangkan citra pada bagian bawah merupakan citra yang sudah diberikan gangguan. Gangguan yang diberikan berupa noise akibat kerusakan data yang terencode dalam proses transmisi. Ditunjukkan citra dengan gangguan blok memiliki skor lebih rendah (skor = 75) dibanding citra asli yang tidak blur

(skor = 85) meskipun tidak terlalu signifikan.



Gambar 4.8: Contoh pengukuran metrik obyektif blok pada beberapa citra siaran televisi DVB-T2

Pengukuran metrik blok dilakukan secara langsung terhadap citra dari siaran televisi DVB-T2 memiliki beberapa kendala. Seperti yang terlihat pada gambar 4.8, metrik blok tidak signifikan dalam penurunan skor antara gambar dengan kualitas yang baik dan gambar dengan *blocking artifact*. Metrik *bloking* ini juga hanya dapat mendeteksi adanya bloking secara lokal di dalam citra, dan tidak dapat mendeteksi bloking secara menyeluruh di seluruh citra. Hal ini bisa menjadi kekurangan dalam kasus-kasus tertentu di mana bloking yang terjadi lebih kompleks atau terdistribusi secara luas di seluruh citra. Metrik ini juga hanya berfokus pada jenis distorsi *bloking* dan tidak mempertimbangkan

distorsi lainnya, seperti distorsi *blur*, *noise*, dan *masking*, sehingga perlu juga dilakukan pengukuran dengan metrik lain.

#### 4.2.2 Pengujian metrik *blur*

Metrik blur pada dasarnya mengukur tingkat kekaburan atau ketidakjelasan pada gambar dengan membandingkan nilai piksel pada tepi gambar dengan nilai piksel sekitarnya. Pengukuran dilakukan dengan cara menghitung perbedaan nilai antara setiap piksel pada tepi gambar dengan nilai piksel terdekat di sekitarnya. Metrik blur menggunakan deteksi tepi pada gambar dengan menggunakan filter Sobel dan menghitung nilai lokal maksimum dan lokal minimum pada tiap tepi gambar. Dalam proses pengukuran, semakin tinggi nilai perbedaan pada tepi gambar dengan nilai piksel di sekitarnya, maka semakin tinggi pula tingkat kekaburan pada citra.

Selanjutnya berdasarkan beberapa percobaan pengukuran pada gambar, hasil dari metrik blur dinormalisasi pada rentang skala 1 hingga 100. Nilai skor 100 menandakan bahwa gambar tidak mengalami kekaburan sedangkan nilai skor 1 menunjukkan bahwa gambar memiliki tingkat kekaburan yang sangat tinggi . Pengukuran yang dilakukan oleh metrik blur dapat membantu dalam mengukur tingkat kekaburan pada gambar yang mungkin sulit diukur secara subjektif oleh manusia, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu dalam memperbaiki atau meningkatkan kualitas gambar. Pada penelitian ini metrik blur dibuat ke bahasa pemrograman *python* untuk melakukan proses pengukuran.

Citra yang sudah disiapkan untuk dialukan pengujian di unggah ke dalam aplikasi *Jupyter Notebook*. Program juga sudah dituliskan di dalam aplikasi yang sama. Pengukuran pada gambar dilakukan satu persatu dengan urutan proses seperti yang ditunjukkan pada pseudocode algoritma 4.3.

---

**Algoritma 4.2 Metrik pengukuran blur**

---

**INPUT:** citra**OUTPUT:** blur\_score

```

1: function BLUR_METRIC(image_path)
2:   img  $\leftarrow$  load_image(image_path)                                 $\triangleright$  Load citra
3:   grayImg  $\leftarrow$  convert_to_grayscale(img)                       $\triangleright$  Skala abu
4:   edgeImg  $\leftarrow$  apply_sobel_filter(img)                          $\triangleright$  Sobel filter
5:   maxVals  $\leftarrow$  dilate_edges(edgeImg)                         $\triangleright$  Lokal maksimum
6:   minVals  $\leftarrow$  erode_edges(edgeImg)                          $\triangleright$  Lokal minimum
7:   diffImg  $\leftarrow$  diff(maxVals, minVals)                      $\triangleright$  Hitung lebar tepi
8:   blurMetric  $\leftarrow$  sum_(diffImg)                            $\triangleright$  Jumlah lebar tepi
9:   totalEdges  $\leftarrow$  count_edges(edgeImg)                          $\triangleright$  Jumlah seluruh tepi
10:  score  $\leftarrow$  score(blurMetric, totalEdges)                    $\triangleright$  Menghitung skor
11:  score  $\leftarrow$  limit_round_score(score)                          $\triangleright$  Limit dan bulatkan skor
12:  return score
13: END function

```

---

Blur score : 82

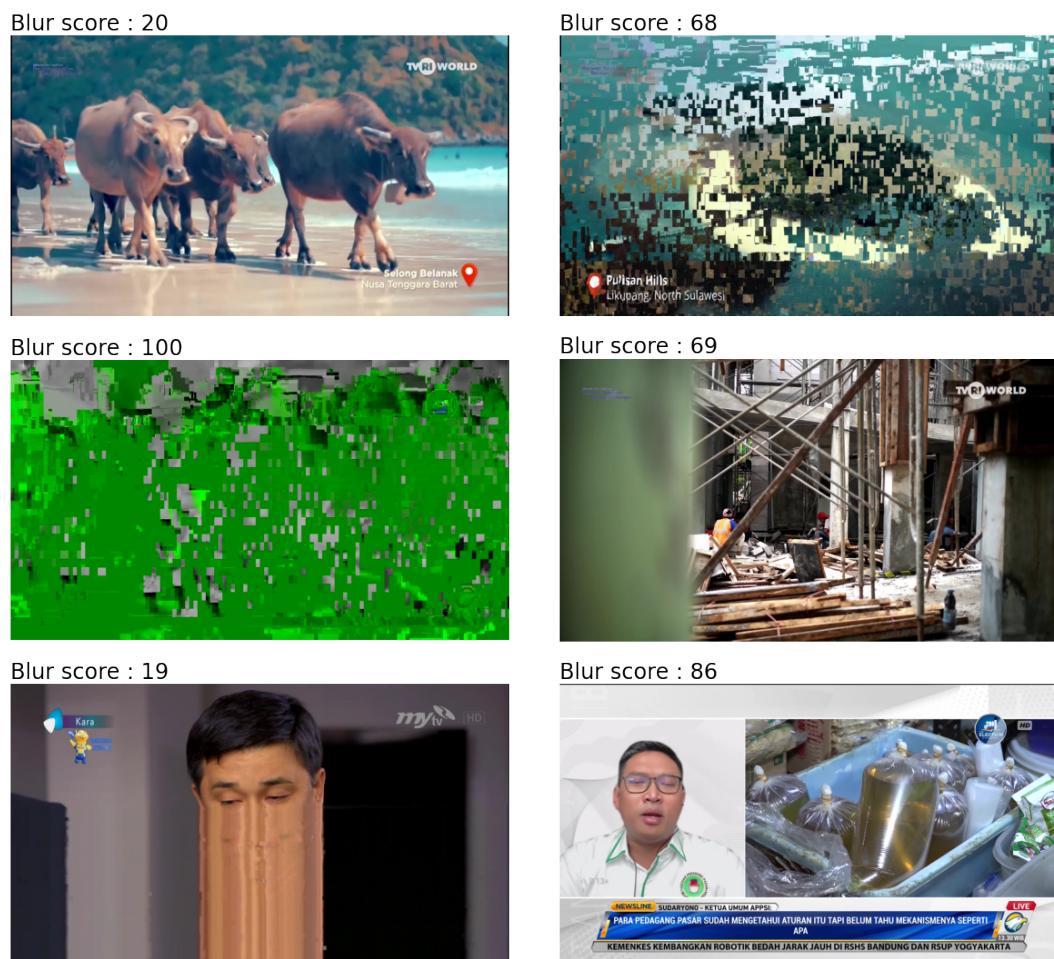


Blur score : 18



Gambar 4.9: Pengukuran metrik obyektif blur pada citra normal dan blur

Pada gambar 4.9 menunjukkan pengukuran blur pada citra frame siaran DVB-T2 yang ada di *dataset*. Citra bagian atas merupakan citra asli dari siaran, sedangkan citra pada bagian bawah merupakan citra yang sudah diberikan gangguan *gaussian noise blur* menggunakan library *opencv*. Pada gambar tersebut ditunjukkan citra dengan gangguan blur memiliki skor lebih rendah (skor = 18) dibanding citra asli yang tidak blur (skor = 82).



Gambar 4.10: Contoh pengukuran metrik obyektif blur pada beberapa citra siaran televisi DVB-T2

Pengukuran metrik *blur* dilakukan secara langsung terhadap citra dari siaran televisi DVB-T2 memiliki beberapa kendala seperti yang terlihat pada gambar 4.10. Metrik blur memiliki ketergantungan pada jenis citra dan kondisi pencahayaan dapat mempengaruhi hasil deteksi tepi dan oleh karena itu da-

pat mempengaruhi metrik blur. Gambar yang mengalami *bloking* atau *noise* dapat memberikan skor blur yang tinggi karena terdapat banyak tepi baru dari noise *tersebut*, sementara gambar yang gelap dapat memberikan skor blur yang rendah karena tepi yang terlihat samar. Selain itu, pada gambar dengan efek bokeh atau gambar yang dengan sengaja di-*blur*, skor *blur* yang dihasilkan mungkin tidak mencerminkan kualitas *blur* secara objektif.

---

#### **Algoritma 4.3** Metrik pengukuran blur

---

**INPUT:** citra

**OUTPUT:** blur\_score

```

1: function BLUR_METRIC(image_path)
2:   img  $\leftarrow$  load_image(image_path)                                 $\triangleright$  Load citra
3:   grayImg  $\leftarrow$  convert_to_grayscale(img)                       $\triangleright$  Skala abu
4:   edgeImg  $\leftarrow$  apply_sobel_filter(img)                         $\triangleright$  Sobel filter
5:   maxVals  $\leftarrow$  dilate_edges(edgeImg)                       $\triangleright$  Lokal maksimum
6:   minVals  $\leftarrow$  erode_edges(edgeImg)                         $\triangleright$  Lokal minimum
7:   diffImg  $\leftarrow$  diff(maxVals, minVals)                       $\triangleright$  Hitung lebar tepi
8:   blurMetric  $\leftarrow$  sum_(diffImg)                                 $\triangleright$  Jumlah lebar tepi
9:   totalEdges  $\leftarrow$  count_edges(edgeImg)                       $\triangleright$  Jumlah seluruh tepi
10:  score  $\leftarrow$  score(blurMetric, totalEdges)                   $\triangleright$  Menghitung skor
11:  score  $\leftarrow$  limit_round_score(score)                          $\triangleright$  Limit dan bulatkan skor
12:  return score
13: END function
```

---

Metrik *blur* juga dapat bergantung pada parameter yang digunakan untuk proses deteksi tepi dan dapat menghasilkan banyak *noise* atau tepi palsu. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis yang lebih komprehensif dan pemilihan metode deteksi tepi yang tepat untuk memperoleh metrik blur yang akurat dan konsisten pada berbagai jenis gambar. Dalam praktiknya, sebaiknya metrik blur digunakan bersama dengan metode pengukuran kualitas gambar lainnya untuk memperoleh hasil yang lebih akurat dan konsisten. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil deteksi tepi dan metrik blur, dapat ditemukan teknik-teknik yang lebih canggih dan adaptif untuk pengukuran tingkat blur pada gambar.

#### 4.2.3 Pengujian metrik *temporal*

Pada metrik temporal pengukuran dilakukan terhadap beberapa frame dalam selang waktu tertentu. Metrik ini mengukur tingkat pembekuan (*freeze*) yang terjadi pada frame citra dengan cara menghitung rasio antara jumlah frame membeku terhadap seluruh frame yang diambil. Dalam implementasinya, frame yang dianggap membeku biasanya didefinisikan dengan perubahan piksel yang sangat kecil atau bahkan tidak ada perubahan sama sekali dalam interval waktu tertentu. Hal ini dapat dicapai dengan membandingkan nilai piksel dari dua frame berurutan dan menghitung nilai MSE atau nilai perubahan piksel yang ada. Jika nilai perubahan piksel kurang dari atau sama dengan threshold tertentu, maka frame tersebut dianggap membeku.



Gambar 4.11: Pengukuran metrik temporal *freeze* dengan MSE skor

Parameter utama yang digunakan pada pengukuran metrik temporal adalah membandingkan dua frame citra saat ini (i) dan sebelumnya (i-1) menggunakan pengukuran *mean square error* (MSE). Nilai maksimal dari MSE bergantung pada ukuran gambar yang digunakan. Semakin besar ukuran gam-

bar, semakin besar nilai maksimal dari MSE. Pada penelitian ini gambar yang digunakan menggunakan ukuran  $1920 \times 1080$  yang artinya nilai maksimal dari MSE nya bisa mencapai  $1920 \times 1080 \times 3 = 6220800$  dengan menghitung masing-masing kanal RGB. Sedangkan nilai terkecilnya adalah 0 dengan kondisi kedua citra yang diukur sama persis. Ditunjukkan gambar 4.11 terdapat empat citra berbeda A, B, C, D. Nilai MSE citra A dan B , sedangkan nilai MSE antara citra A dan C adalah besar. Digunakan treshold untuk menetukan apakah gambar mengalami pembekuan dengan nilai MSE kurang dari sama dengan 1, berdasarkan referensi (Huynh-Thu & Gha 2009) dan juga pengujian metrik pada beberapa frame.

---

**Algoritma 4.4** Metrik pengukuran blur
 

---

**INPUT:** video

**OUTPUT:** temporal\_score

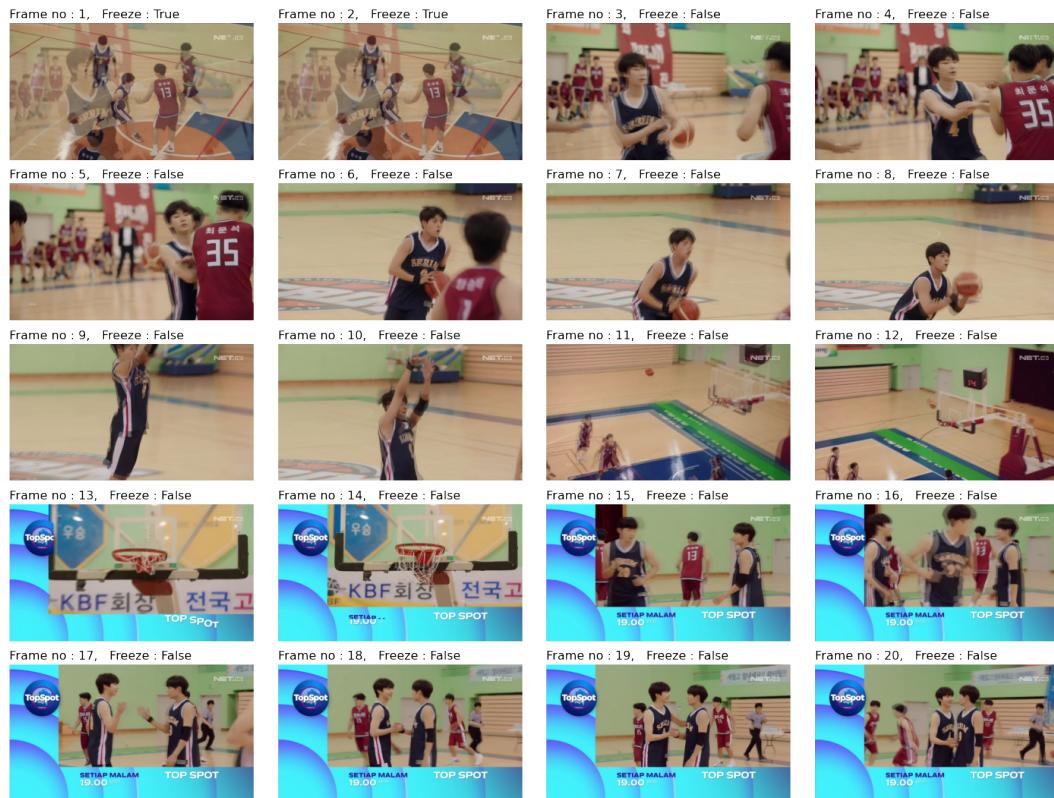
```

1: function TEMPORAL_METRIC( $image_{path_i}, image_{path_{i-1}}$ )
2:    $list\_temporal \leftarrow []$ 
3:   for  $i = 1$  to  $20$  do
4:      $image_i \leftarrow$  Baca gambar ke- $i$  dari  $image\_path_i$ 
5:      $image_{i-1} \leftarrow$  Baca gambar ke- $(i-1)$  dari  $image\_path_{i-1}$ 
6:      $mse \leftarrow$  Hitung nilai MSE antara  $image_i$  dan  $image_{i-1}$ 
7:     IF  $mse \leq 1$  THEN
8:       Tambahkan nilai 1 ke  $list\_temporal$ 
9:     ELSE
10:      Tambahkan nilai 0 ke  $list\_temporal$ 
11:    END IF
12:   END for
13:    $score \leftarrow sum(list\_temporal)/len(list\_temporal)$ 
14:    $score \leftarrow round(1 - score) * 100$ 
15:   return  $score$ 
16: END function
```

---

Algoritma metrik temporal pembekuan frame ini selanjutnya diterapkan pada video. Dari video dengan durasi 10 detik, diambil 20 frame citra, selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap masing-masing citra dibandingkan secara MSE terhadap citra pada frame sebelumnya. Hasilnya akan dicatat kemudian dihitung rata-rata e yang mengalami pembekuan terhadap jumlah

seluruh fram yang diambil. Program dituliskan dalam bahasa python seperti yang ditunjukkan pada algoritma pseudocode 4.4. Pada algoritma metrik tersebut, semakin besar skornya maka menggambarkan kualitasnya video yang semakin baik dengan interval skor 0-100.



Gambar 4.12: Contoh pengukuran metrik obyektif temporal pada video *dataset* no.84 siaran televisi DVB-T, temporal skor : 90

Pada gambar 4.12 didapat kemiripan 2 frame dari 20 frame sehingga metrik temporal memberikan skor 90. Sedangkan pada gambar 4.13 didapat kemiripan frame sebanyak 7 frame, sehingga metrik temporal memberikan skor 65. Semakin banyak frame yang mirip/sama dalam satu video dengan MSE dibawah *threshold* maka akan semakin kecil skor dari metrik temporalnya.

Tabel 4.3: Waktu yang dibutuhkan untuk memproses satu video dalam satuan detik

| No.       | Nama dataset | A<br>Nvidia T4<br>(Google-colab) | B<br>Nvidia A100<br>(UG) | Perbandingan<br>A/B |
|-----------|--------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------|
| 1         | 001.mp4      | 3.8352                           | 2.0829                   | 1.8413              |
| 2         | 007.mp4      | 3.3550                           | 1.7997                   | 1.8642              |
| 3         | 015.mp4      | 3.9755                           | 2.1446                   | 1.8537              |
| 4         | 074.mp4      | 4.8772                           | 2.2676                   | 2.1508              |
| 5         | 084.mp4      | 4.4204                           | 1.9829                   | 2.2293              |
| 6         | 097.mp4      | 4.5780                           | 1.9934                   | 2.2966              |
| 7         | 099.mp4      | 4.6574                           | 2.0846                   | 2.2342              |
| Rata-rata |              |                                  |                          | 2.0671              |

Percobaan dilakukan dengan menggunakan dua mesin GPU untuk mendapat perbedaan waktu proses seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.3 Pengujian menggunakan beberapa video untuk menghitung perbandingan skor metrik temporal dengan pengambilan citra sebanyak 20 frame. Dihitung perbandingan antara GPU A yaitu Google colab Nvidia T4 terhadap GPU B milik Universitas Gunadarma NVIDIA A100. Diperoleh waktu proses yang dibutuhkan GPU A 2.0671 kali lebih cepat dari GPU B.



Gambar 4.13: Contoh pengukuran metrik obyektif temporal pada video *dataset* no.15 siaran televisi DVB-T, temporal skor : 65

Salah satu kekurangan dari metrik temporal freeze adalah kurang mampu menggambarkan kualitas video secara keseluruhan. Metrik ini hanya mampu mendeteksi apakah terjadi freeze pada suatu waktu tertentu dalam video, namun tidak dapat memberikan informasi tentang kualitas video secara keseluruhan atau apakah terdapat jenis distorsi lain seperti blur atau bloking. Selain itu, metrik ini juga dapat memberikan hasil yang tidak akurat jika terdapat frame duplikat, ketidakstabilan dalam pengambilan gambar, atau frame berupa berita yang hanya menampilkan *slide statis*. Oleh karena itu, metrik ini sebaiknya digunakan bersamaan dengan metrik lainnya untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat dan lengkap tentang kualitas video.

#### 4.2.4 Pengukuran obyektif pada keseluruhan *dataset*

Pengukuran obyektif dilakukan pada seluruh dataset yang pada tahapan selanjutnya akan digunakan untuk melakukan pengukuran subyektif. Ketiga metrik obyektif yaitu blok, blur, dan temporal akan diterapkan pada seluruh video untuk memperoleh nilai obyektif dari masing-masing video yang akan digunakan sebagai nilai masukan pada jaringan saraf tiruan NN. Pengukuran dilakukan menggunakan dua super komputer berbeda untuk mendapatkan waktu proses dan kesamaan nilai ukur dari setiap metrik. Pada tabel 4.5 ditunjukkan sebagian pengukuran yang dilakukan pada dataset. Selanjutnya hasil pengukuran disimpan ke dalam file.csv untuk dilakukan proses selanjutnya ke pengukuran subyektif dan pembuatan model NN.

Tabel 4.4: Pengukuran metrik obyektif terhadap dataset

| <b>Nama<br/>video dataset</b> | <b>skor<br/>metrik blok</b> | <b>skor<br/>metrik bluk</b> | <b>skor<br/>metrik temporal</b> |
|-------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| 000.mp4                       | 87                          | 39                          | 79                              |
| 001.mp4                       | 87                          | 79                          | 80                              |
| 002.mp4                       | 73                          | 20                          | 90                              |
| 003.mp4                       | 77                          | 49                          | 90                              |
| 004.mp4                       | 84                          | 80                          | 85                              |
| 005.mp4                       | 74                          | 50                          | 90                              |
| ...                           | ...                         | ...                         | ...                             |
| 100.mp4                       | 74                          | 50                          | 90                              |
| 101.mp4                       | 80                          | 74                          | 85                              |
| 102.mp4                       | 94                          | 38                          | 100                             |
| 103.mp4                       | 78                          | 52                          | 85                              |
| 104.mp4                       | 89                          | 60                          | 75                              |

### 4.3 Hasil pengambilan data pengukuran subyektif

Pengukuran subjektif kualitas video merupakan langkah penting dalam menilai sejauh mana video memenuhi harapan penonton dan memberikan pengalaman visual yang baik. Proses ini melibatkan penilaian kualitas video berdasarkan persepsi manusia, yang mencakup berbagai faktor seperti kejelasan, kehalusan gerakan, warna, kontras, dan artefak kompresi. Evaluasi kualitas video ini sangat berguna untuk memastikan bahwa video sesuai dengan standar kualitas yang diharapkan oleh penonton dan industri.

Selain itu, pengukuran subjektif juga berperan dalam validasi metrik obyektif yang dikembangkan untuk mengukur kualitas video secara otomatis. Penilaian subjektif digunakan sebagai *ground truth* untuk menguji dan men-goptimalkan metrik obyektif, sehingga mereka dapat lebih akurat dan efektif dalam menggantikan penilaian manusia. Memvalidasi metrik obyektif melalui pengukuran subjektif memungkinkan peneliti dan pengembang untuk menciptakan algoritma penilaian kualitas video yang lebih efisien dan handal.

#### 4.3.1 Material pengukuran subyektif

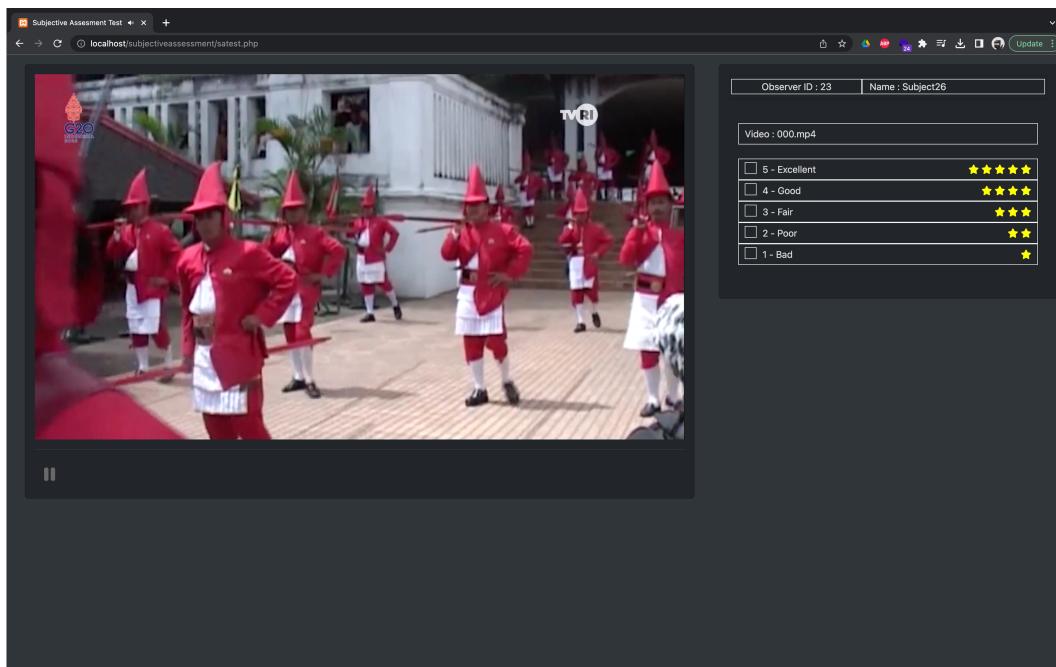
Pada penelitian ini material yang akan digunakan untuk pengujian adalah dataset berupa video dari siaran DVB-T2 sebanyak 105 video. Pada tahap sebelumnya sudah dilakukan pengukuran menggunakan metrik obyektif spatial dan temporal pada video tersebut. Terdapat tiga metrik obyektif yang sudah diterapkan dan mendapatkan skornya masing-masing untuk seluruh video. Di pengujian kali ini akan dilakukan pengukuran secara subyektif pada video tersebut. Tujuan dari pengukuran subyektif pada kualitas video adalah untuk mendapatkan penilaian kualitas video dari sudut pandang manusia, dengan melibatkan partisipasi pengamat manusia untuk memberikan penilaian secara langsung terhadap video yang ditampilkan.

### **4.3.2 Perangkat yang digunakan**

Perangkat yang digunakan untuk melakukan pengukuran subyektif berupa perangkat keras laptop Macbook Pro 2019 hexa-core i7 RAM DDR4 16GB dan perangkat lunak yang dibuat secara mandiri. Perangkat lunak berupa aplikasi web yang menggunakan *native javascript*, css dan html yang terinstall secara lokal pada laptop. Seluruh materi video yang akan diujian dimasukan ke dalam aplikasi. Selanjutnya pengujian akan dilakukan menggunakan laptop tersebut satu persatu oleh panelis/partisipan.

### **4.3.3 Proses pengukuran subyektif**

Pengukuran subyektif atau (*subjective assessment*) yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan standar pengukuran ITU-R BT.500-14 tahun 2019 mengenai standarisasi prosedur untuk melakukan subyektif tes pada citra televisi. Pengukuran subyektif melibatkan 25 yang terdiri dari 21 laki-laki dan 4 perempuan. Kriteria dari panelis yaitu rentang usia 20 - 40 tahun dikarenakan berdasarkan data dari organisasi survei Nielsen diperoleh jumlah penonton televisi terbanyak di Indonesia yaitu 41% berada pada rentang umur tersebut (Annur 2023). Kriteria lainnya yaitu pernah menonton televisi digital dan tidak memiliki gangguan mata. Selanjutnya masing-masing panelis akan memberikan penilaian terhadap keseluruhan dataaset sebanyak 105 video menggunakan aplikasi yang sudah dibuat.



Gambar 4.14: Tampilan aplikasi pengukuran subyektif kualitas citra video siaran DVB-T2

Metode yang digunakan untuk pelakuan pengukuran subyektif pada penelitian ini adalah *single stimulus* (SS). Panelis akan duduk di depan laptop dengan kondisi *home-environment*. Kemudian panelis menjalankan aplikasi tes, melakukan latihan dan pengarahan, selanjutkan masuk kebagian sesi utama tes. Pada tes ini setiap video dengan durasi 10 detik akan diputar dengan jeda 4 detik antar videonya. Sehingga untuk menyelesaikan 105 video, panelis membutuhkan waktu sekitar 24.5 menit. Panelis harus memberikan penilaian pada setiap video dengan skor 1 sampai 5. Skor tersebut menggambarkan kualitas video dengan skor 1 artinya sangat buruk dan skor 5 berarti sangat baik dari sisi kualitas citranya. Tampilan dari sesi utama tes ditunjukkan pada gambar 4.14.

The screenshot shows a web-based administrative dashboard titled "Dashboard". On the left, there is a sidebar with navigation links: "Dashboard" (which is active and highlighted in blue), "Setting & Input", "User", and "Pluge test". The main content area is titled "Dashboard" and contains a table with the following data:

| Video   | Total Data | Average Rating (0 - 5) | Percentage Rating (0% - 100%) | Info                    |
|---------|------------|------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| 000.mp4 | 20         | 3.90                   | 78.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 001.mp4 | 20         | 4.60                   | 92.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 002.mp4 | 20         | 2.35                   | 47.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 003.mp4 | 20         | 1.60                   | 32.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 004.mp4 | 20         | 1.85                   | 37.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 005.mp4 | 20         | 2.10                   | 42.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 006.mp4 | 20         | 1.50                   | 30.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 007.mp4 | 20         | 1.00                   | 20.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 008.mp4 | 20         | 1.70                   | 34.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 009.mp4 | 20         | 4.10                   | 82.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 010.mp4 | 20         | 4.30                   | 86.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 011.mp4 | 20         | 3.30                   | 66.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 012.mp4 | 20         | 1.60                   | 32.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 013.mp4 | 20         | 4.35                   | 87.00 %                       | <button>Detail</button> |
| 014.mp4 | 20         | 3.95                   | 79.00 %                       | <button>Detail</button> |

Copyright © 2014-2021 AdminLTE.io. All rights reserved.

Version 3.2.0

Gambar 4.15: Tampilan dashboard aplikasi pengukuran subyektif dari sisi administrator

Setelah panelis melakukan tes, maka data dapat diakses oleh administrator web pada bagian dashboard. Ditampilkan jumlah peserta yang sudah memerlukan penilaian dan skor rata-rata per video seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.15. Data juga bisa di download dengan format .xls untuk selanjutnya diolah.

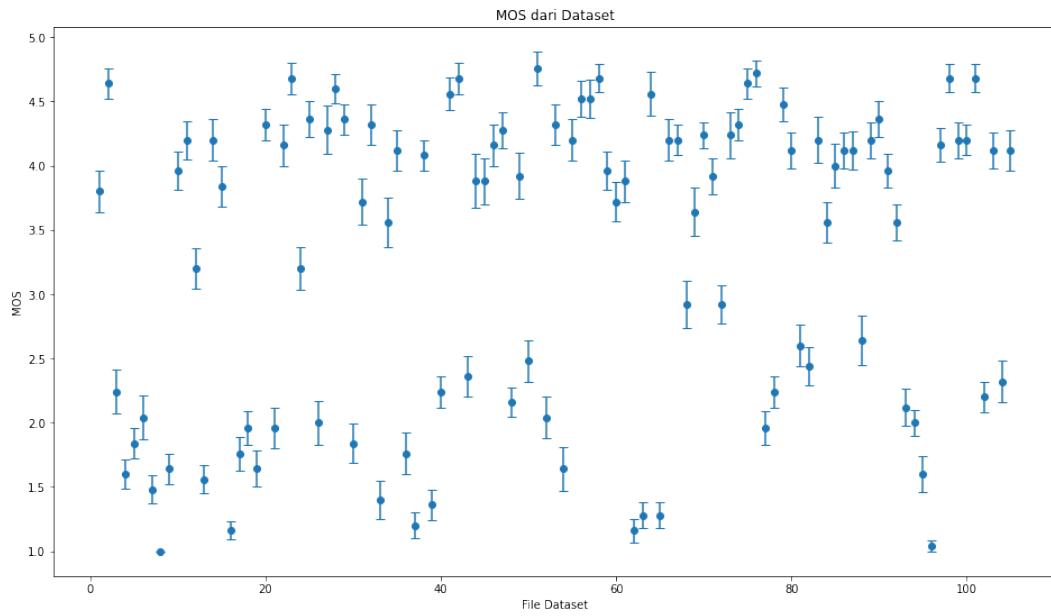
#### 4.3.4 Hasil pengukuran subyektif

Setelah data penilaian subjektif terkumpul dari panelis, beberapa langkah pengolahan data perlu dilakukan untuk menghitung hasil pengukuran subjektif dan menganalisis hasil tersebut. Seperti yang ditunjukkan pada tabel ?? langkah yang perlu diambil meliputi menghitung nilai rata-rata (Mean Opinion Score/MOS) untuk setiap klip video, menghitung deviasi standar dan interval kepercayaan 95%.

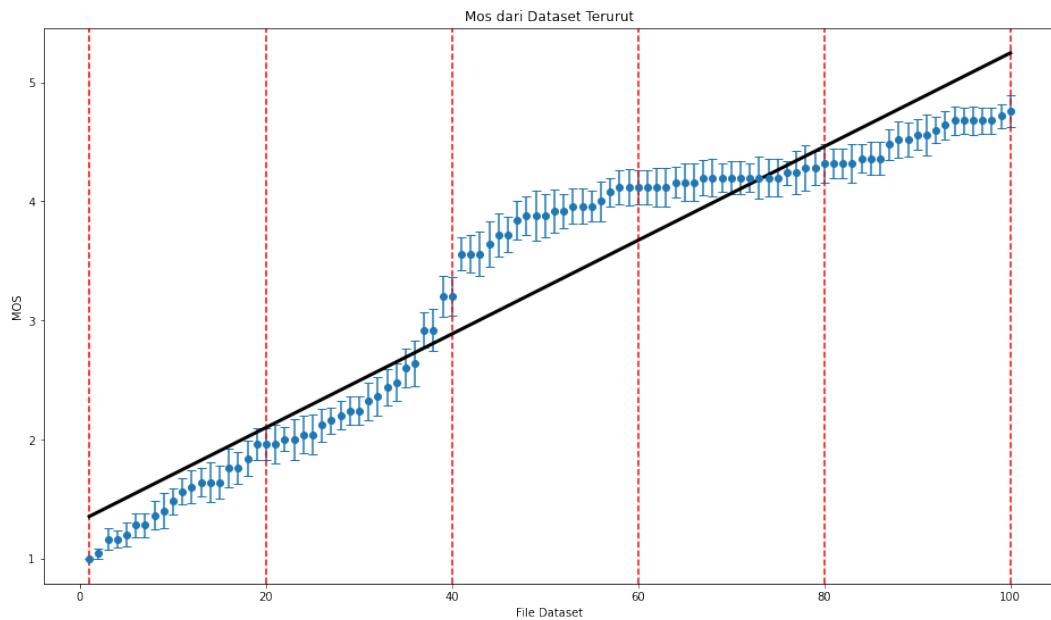
Tabel 4.5: Hasil pengukuran subyektif terhadap dataset

| Nama    | MOS  | Stdev | Conf_Int | Batas_bawah | Batas_atas |
|---------|------|-------|----------|-------------|------------|
| 000.mp4 | 3.80 | 0.82  | 0.16     | 3.64        | 3.96       |
| 001.mp4 | 4.64 | 0.64  | 0.12     | 4.52        | 4.76       |
| 002.mp4 | 2.24 | 0.88  | 0.17     | 2.07        | 2.41       |
| 003.mp4 | 1.60 | 0.58  | 0.11     | 1.49        | 1.71       |
| 004.mp4 | 1.84 | 0.62  | 0.12     | 1.72        | 1.96       |
| 005.mp4 | 2.04 | 0.89  | 0.17     | 1.87        | 2.21       |
| 006.mp4 | 1.48 | 0.59  | 0.11     | 1.37        | 1.59       |
| 007.mp4 | 1.00 | 0.00  | 0.00     | 1.00        | 1.00       |
| 008.mp4 | 1.64 | 0.64  | 0.12     | 1.52        | 1.76       |
| 009.mp4 | 3.96 | 0.79  | 0.15     | 3.81        | 4.11       |
| 010.mp4 | 4.20 | 0.76  | 0.15     | 4.05        | 4.35       |
| ...     | ...  | ...   | ...      | ...         | ...        |
| 091.mp4 | 3.56 | 0.71  | 0.14     | 3.42        | 3.70       |
| 092.mp4 | 2.12 | 0.73  | 0.14     | 1.98        | 2.26       |
| 093.mp4 | 2.00 | 0.50  | 0.10     | 1.90        | 2.10       |
| 094.mp4 | 1.60 | 0.71  | 0.14     | 1.46        | 1.74       |
| 095.mp4 | 1.04 | 0.20  | 0.04     | 1.00        | 1.08       |
| 096.mp4 | 4.16 | 0.69  | 0.13     | 4.03        | 4.29       |
| 097.mp4 | 4.68 | 0.56  | 0.11     | 4.57        | 4.79       |
| 098.mp4 | 4.20 | 0.71  | 0.14     | 4.06        | 4.34       |
| 099.mp4 | 4.20 | 0.65  | 0.12     | 4.08        | 4.32       |
| 100.mp4 | 4.68 | 0.56  | 0.11     | 4.57        | 4.79       |
| 101.mp4 | 2.20 | 0.65  | 0.12     | 2.08        | 2.32       |
| 102.mp4 | 4.12 | 0.73  | 0.14     | 3.98        | 4.26       |
| 103.mp4 | 2.32 | 0.85  | 0.16     | 2.16        | 2.48       |
| 104.mp4 | 4.12 | 0.83  | 0.16     | 3.96        | 4.28       |

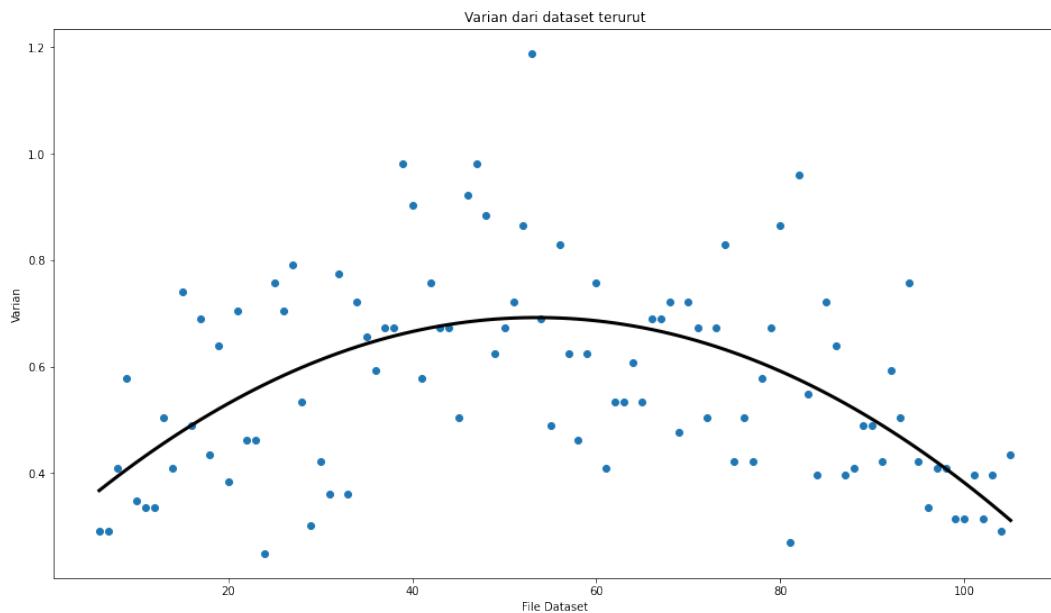
Pengukuran dilakukan pada masing-masing video, MOS menunjukkan nilai rata-rata dari seluruh panelis yang melakukan tes. Semakin besar nilai dari MOS menunjukkan semakin bagus kualitas video tersebut. Standar deviasi dari data (Stdev) menunjukkan variasi panelis dalam memberikan nilai, semakin besar stdev-nya, maka semakin bervariasi panelis dalam memberikan penilaian. Dilakukan juga pengukuran interval kepercayaan 95% untuk memberikan nilai batas bawah dan batas atas rata-rata dari populasi sebenarnya.



Gambar 4.16: Sebaran MOS pengukuran tes subyektif dari dataset video



Gambar 4.17: Pembagian kelas MOS pengukuran subyektif dataset



Gambar 4.18: Varian pengukuran subyektif dataset dengan skor terurut

Berdasarkan hasil *scatter plot* dari gambar 4.16 yang menunjukkan sebaran data dari pengukuran subyektif, diperoleh lebih banyak skor MOS pengukuran terdapat pada rentang 3.5 sampai 4.5. Kemudian data diurutkan dari skor MOS terkecil hingga terbesar seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.17. Jika data dipisahkan menjadi 5 kelas berbeda sesuai dengan penilaian pada standar ITU-R BT.500-14 maka diperoleh batasan seperti pada tabel 4.6. Batasan tersebut yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan batasan skor pada pengukuran secara waktu nyata. Selanjutnya dilakukan pengukuran terhadap variansi dari masing-masing data. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18 nilai variansi tertinggi berada pada data urutan ke 40-60. Hal tersebut berarti banyak varian panelis pada rentang tersebut yaitu pada kelas klasifikasi 3.

Tabel 4.6: Batasan masing-masing kelas berdasarkan pengukuran subyektif

| Kelas | Jumlah data | Batas bawah | Batas atas | Interval batas |
|-------|-------------|-------------|------------|----------------|
| 1     | 20          | 1.00        | 1.96       | 0.96           |
| 2     | 20          | 1.96        | 3.20       | 1.06           |
| 3     | 20          | 3.20        | 4.12       | 0.92           |
| 4     | 20          | 4.12        | 4.32       | 0.20           |
| 5     | 20          | 4.32        | 5.00       | 0.68           |

Berdasarkan hasil dari pengukuran subyektif kemudian dibagi menjadi 5 kelas dengan jumlah data yang sama. Dikarenakan distribusi yang tidak merata maka interval antar kelas berbeda-beda. Interval tertinggi berada pada kelas 2, dan interval terendah berada pada kelas 4. Selanjutnya data hasil pengukuran subyektif ini akan digunakan sebagai parameter luaran pada NN.

#### 4.4 Pengujian dan hasil pada NN

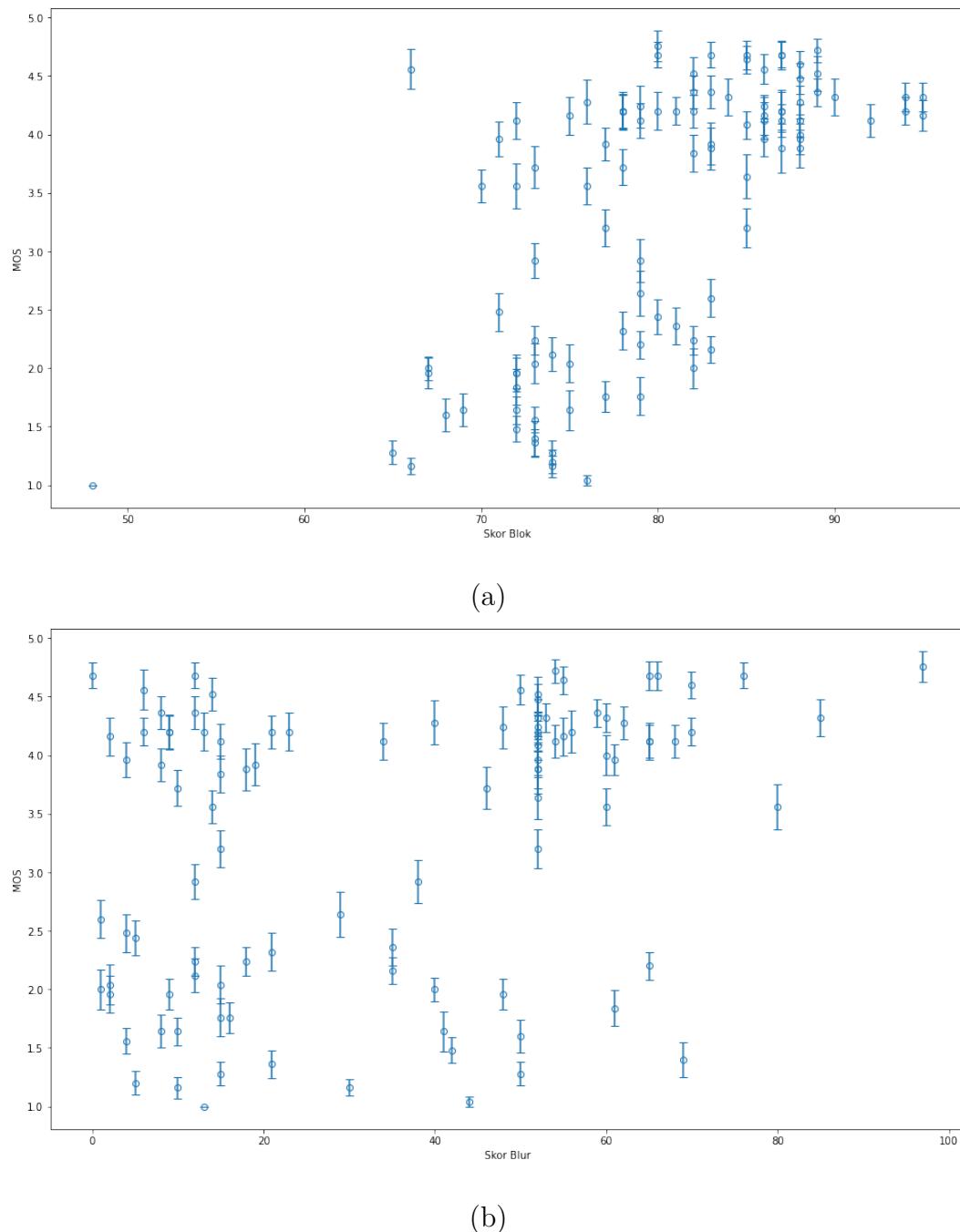
Pengujian yang dilakukan dalam membentuk model NN adalah akurasi dan korelasi dari model tersebut. Luaran model NN yang dibentuk yaitu untuk menentukan kualitas suatu video pada siaran DVB-T2. Terdapat 100 dataset yang sudah di label menggunakan hasil pengukuran subyektif. Parameter tersebut berupa luaran dari NN yang akan dibentuk. Terdapat juga tiga parameter masukan pada NN yaitu metrik blok, metrik blur dan metrik temporal freeze. Masukan dan luaran pada NN tersebut buat skor dari metrik dengan obyek video yang sudah diukur, bukan videonya secara langsung. Pengujian dilakukan menggunakan beberapa jenis NN, seperti artificial Neural Network (ANN), atau recurrent neural network (RNN).

#### 4.4.1 Data masukan dan luaran model

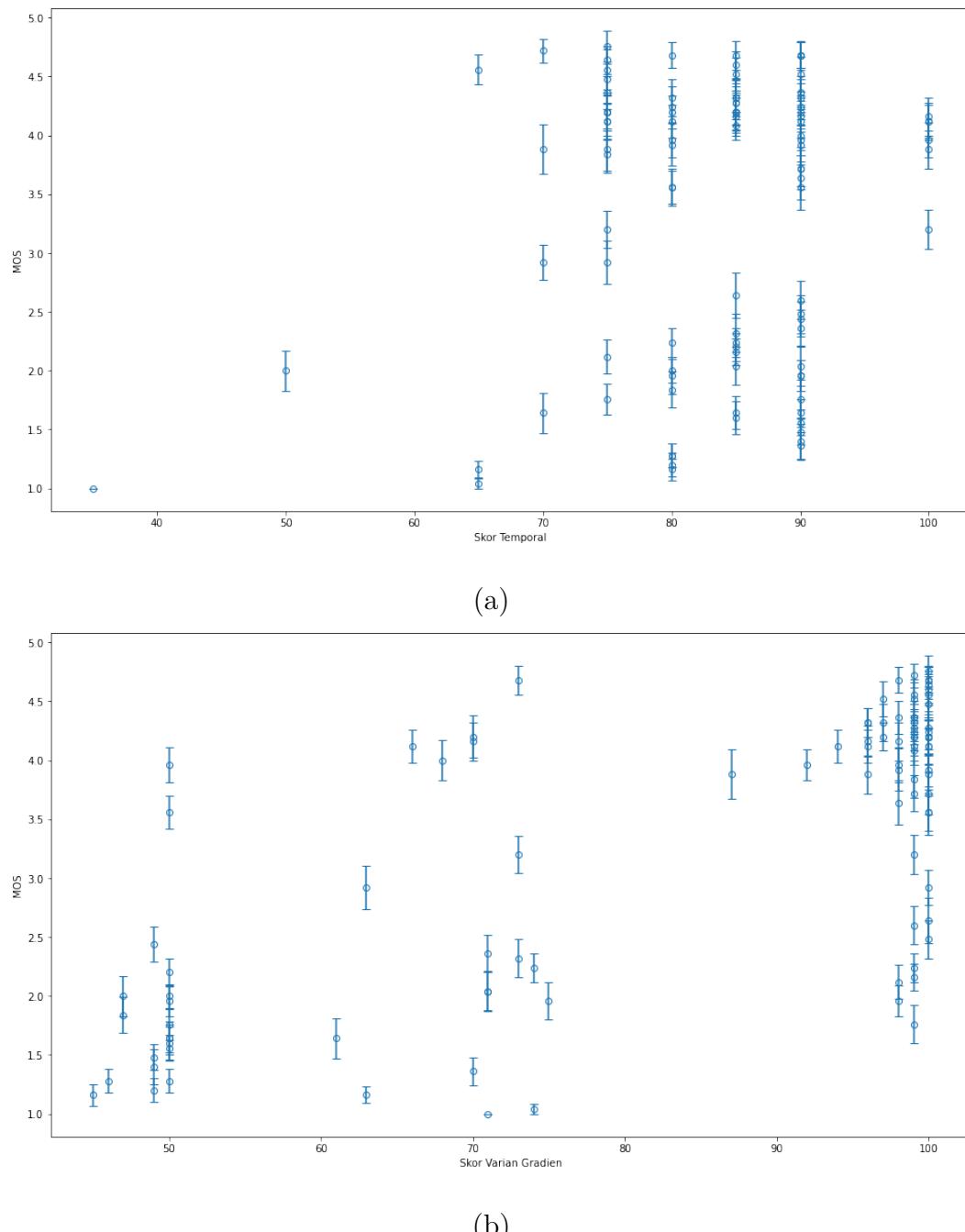
Terdapat 100 dataset berupa skor dari pengukuran menggunakan metrik obyektif pada video siaran DVB-T2. Luaran yang ingin dicapai adalah kemiripan dengan MOS hasil pengukuran subyektif yang sudah dilakukan oleh panelis pada 100 video. Pada tabel 4.7 ditunjukkan sebagian hasil pengukuran metrik obyektif dan juga skor MOS pada pengukuran subyektif.

Tabel 4.7: Hasil pengukuran subyektif terhadap dataset

| nama    | m_blok | m_blur | m_grad | std_grad | move_fr | m_temp | mos  | class |
|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|------|-------|
| 000.mp4 | 87     | 52     | 4.84   | 4.76     | 95      | 75     | 3.8  | 3     |
| 001.mp4 | 88     | 55     | 0.29   | 0.25     | 100     | 75     | 4.64 | 5     |
| 002.mp4 | 73     | 1      | -0.26  | 0.12     | 50      | 90     | 2.24 | 2     |
| 003.mp4 | 79     | 8      | 3.85   | 8.5      | 71      | 90     | 1.6  | 1     |
| 004.mp4 | 80     | 10     | 0.33   | 4.94     | 75      | 85     | 1.84 | 1     |
| 005.mp4 | 73     | 2      | 3.67   | 8.12     | 71      | 90     | 2.04 | 2     |
| 006.mp4 | 72     | 42     | -0.51  | 0.59     | 49      | 90     | 1.48 | 1     |
| 007.mp4 | 48     | 13     | 3.9    | 9.97     | 71      | 35     | 1    | 1     |
| 008.mp4 | 72     | 10     | -0.35  | 0.63     | 50      | 90     | 1.64 | 1     |
| 009.mp4 | 86     | 52     | 1.63   | 0.78     | 98      | 80     | 3.96 | 3     |
| 010.mp4 | 78     | 9      | 0      | 0.31     | 100     | 85     | 4.2  | 4     |
| ...     | ...    | ...    | ...    | ...      | ...     | ...    | ...  | ...   |
| 091.mp4 | 70     | 14     | -0.25  | 0.51     | 50      | 80     | 3.56 | 3     |
| 092.mp4 | 74     | 12     | 2.21   | 2.6      | 98      | 75     | 2.12 | 2     |
| 093.mp4 | 67     | 40     | -0.28  | 0.59     | 50      | 80     | 2    | 2     |
| 094.mp4 | 68     | 50     | -0.23  | 0.38     | 50      | 85     | 1.6  | 1     |
| 095.mp4 | 76     | 44     | 1.3    | 2.92     | 74      | 65     | 1.04 | 1     |
| 096.mp4 | 95     | 52     | 4      | 1.57     | 96      | 90     | 4.16 | 4     |
| 097.mp4 | 80     | 0      | 0.29   | 0.46     | 100     | 90     | 4.68 | 5     |
| 098.mp4 | 82     | 9      | 0.1    | 0.26     | 100     | 75     | 4.2  | 4     |
| 099.mp4 | 94     | 70     | 2.68   | 1.82     | 97      | 90     | 4.2  | 4     |
| 100.mp4 | 87     | 76     | 2.12   | 2.95     | 98      | 90     | 4.68 | 5     |
| 101.mp4 | 79     | 65     | -0.47  | 0.58     | 50      | 85     | 2.2  | 2     |
| 102.mp4 | 92     | 52     | 9.33   | 16.3     | 66      | 100    | 4.12 | 4     |
| 103.mp4 | 78     | 21     | 1.86   | 7.08     | 73      | 85     | 2.32 | 2     |
| 104.mp4 | 86     | 52     | 1.36   | 2.3      | 99      | 75     | 4.12 | 4     |



Gambar 4.19: Diagram scatter pengukuran metrik spatial terhadap MOS pada pengukuran subyektif (a) metrik blok, (b) metrik blur.



Gambar 4.20: Diagram scatter pengukuran metrik temporal terhadap MOS pada pengukuran subyektif (a) metrik freeze, (b) metrik variansi gradien .

#### 4.4.2 Pengujian arsitektur NN

Pengujian untuk mencari arsitektur NN yang sesuai dengan menggunakan tiga metode. Metode pertama adalah dengan menggunakan regresi multivariable, kedua menggunakan ANN tanpa klasifikasi kelas, yang ketiga dengan menggunakan ANN dan RNN dengan klasifikasi. Ketiga metode tersebut dilakukan untuk mencari tingkat akurasi dan korelasi paling tinggi, serta waktu paling cepat dalam menentukan nilai dari data baru.

##### 4.4.2.1 Hasil regresi multivariabel

Regresi multivariabel digunakan untuk mencari bobot dari setiap variabel masukan yang digunakan untuk menentukan nilai dari luaran. Akurasi dan korelasi dari prediksi regresi multivariabel dihitung terhadap hasil luaran yang diperoleh dari skor MOS pada pengukuran subyektif. Pengujian dilakukan menggunakan dataset dan memecahnya menjadi 4:1 untuk data latih dan data tes. Pada tabel 4.8 ditunjukkan hasil pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan persamaan dari model regresi multivariabel.

Tabel 4.8: Hasil pengujian terhadap percobaan regresi multivariabel

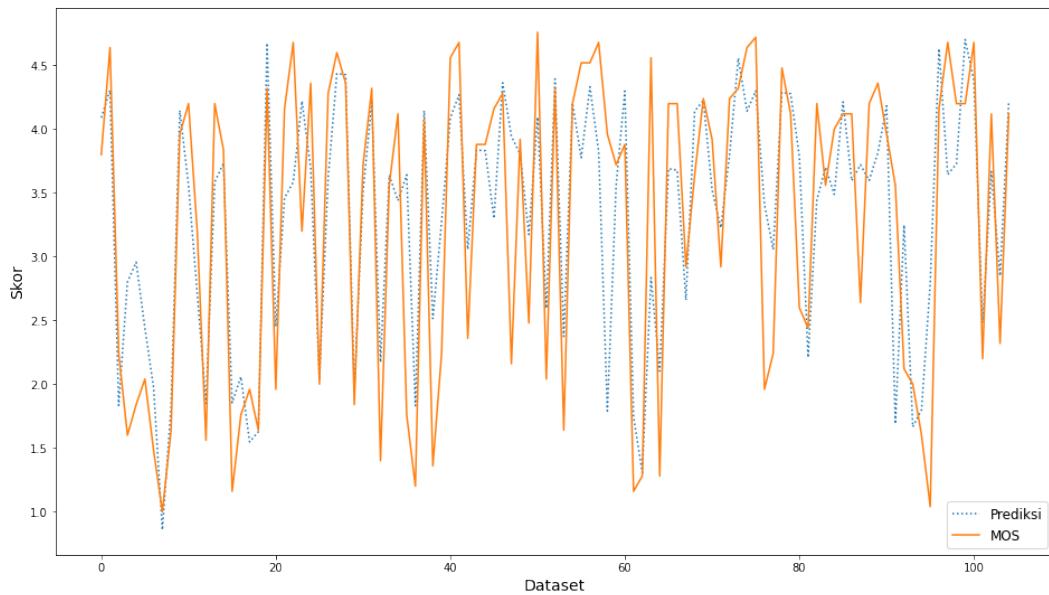
| Random State | Data Tes |        |        |        |        | Data Total |        |
|--------------|----------|--------|--------|--------|--------|------------|--------|
|              | R2       | MSE    | MAE    | PLCC   | SLCC   | PLCC       | SLCC   |
| 1            | 0.7983   | 0.3366 | 0.4682 | 0.9192 | 0.7922 | 0.8884     | 0.8194 |
| 2            | 0.8009   | 0.2686 | 0.4073 | 0.9164 | 0.8416 | 0.8478     | 0.8504 |
| 3            | 0.7696   | 0.4259 | 0.4816 | 0.9163 | 0.7923 | 0.8331     | 0.8241 |
| 4            | 0.7851   | 0.2876 | 0.4577 | 0.8971 | 0.7491 | 0.8167     | 0.7471 |
| 5            | 0.8352   | 0.2209 | 0.3930 | 0.9191 | 0.8152 | 0.8033     | 0.7588 |

Pada pembuatan model menggunakan regresi multivariabel dilakukan lima kali percobaan dengan mengacak antara data latih dan data tes. Berdasarkan tabel 4.8 diperoleh pada percobaan kedua memiliki nilai akurasi R2

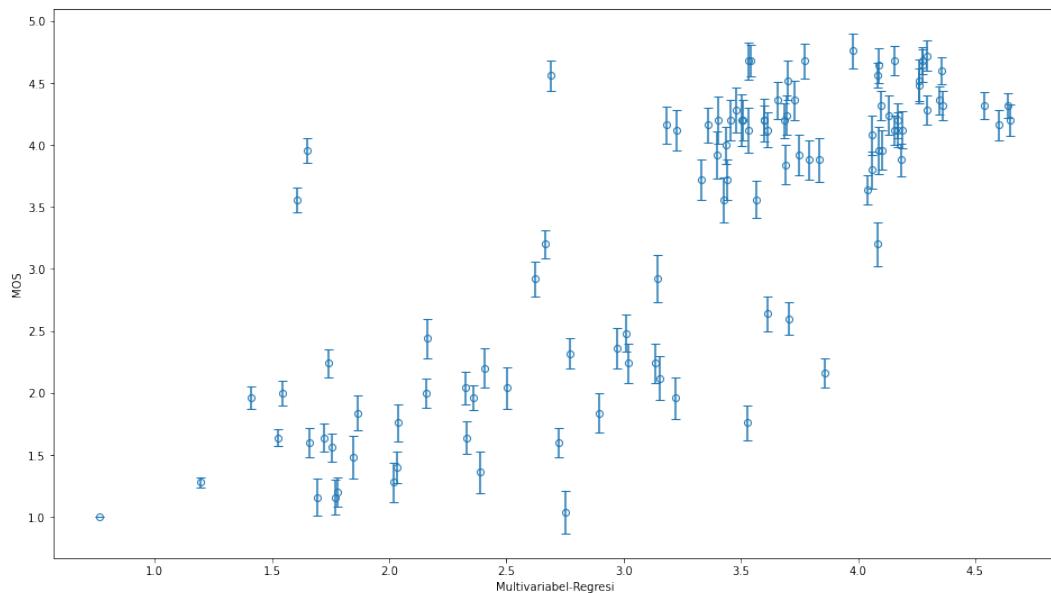
tertinggi dan nilai error terendah. Pengukuran terhadap metrik korelasinya pada percobaan kedua baik menggunakan metrik korelasi spearman ataupun korelasi pearson pada data tes dan total juga lebih tinggi dibandingkan percobaan lainnya. Sehingga dipilih model regresi multivabel yang akan digunakan adalah dari hasil percobaan kedua, dengan nilai bobot yaitu:

$$y = w_1 \cdot X_1 + w_2 \cdot X_2 + w_3 \cdot X_3 + w_4 \cdot X_4 - c \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} y = & 0.05474 \cdot X_1 + 0.00540 \cdot X_2 \\ & + 0.00498 \cdot X_3 + 0.02867 \cdot X_4 - 4.05 \end{aligned} \quad (4.2)$$



Gambar 4.21: Diagram hasil prediksi terhadap MOS



Gambar 4.22: Diagram Scater hasil prediksi terhadap MOS

#### 4.4.2.2 Hasil ANN tanpa klasifikasi

#### 4.4.2.3 Hasil ANN dengan klasifikasi

### 4.5 Aplikasi pemantauan kualitas gambar siaran DVB-T2

Hasil pengukuran secara keseluruhan sistem ditampilkan pada sebuah aplikasi pemantauan kualitas gambar siaran DVB-T2. Aplikasi berupa situs jejaring atau *website* yang menampilkan hasil pengukuran secara waktu nyata terhadap kualitas gambar siaran dan juga kualitas sinyal yang diterima di lokasi pengukuran. Hasil pengukuran kualitas gambar berupa skor 1 sampai 5 yang ditampilkan dalam grafik

#### 4.5.1 Arsitektur aplikasi

#### **4.5.2 Pengujian dan implementasi aplikasi**

## **BAB V**

## **PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

## 5.2 Saran

## DAFTAR PUSTAKA

- Akoglu, H. (2018), ‘User's guide to correlation coefficients’, *Turkish Journal of Emergency Medicine* **18**(3), 91–93.
- Altunian, G. (2021), ‘What Is Signal-to-Noise Ratio and Why Does It Matter?’, URL: <https://www.lifewire.com/signal-to-noise-ratio-3134701>. (Diakses tanggal 07 Juli 2022).
- Annur, C. M. (2023), ‘Demografi Pengguna Televisi di Indonesia Berdasarkan Usia’ (2022), URL: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/12/09/survei-nielsen-indonesia-majoritas-pengguna-television-di-ri-berusia-50-tahun-ke-atas>. (diakses tanggal 20 Januari 2023).
- Apple-Inc. (2012), ‘Compressor 4 - User Manual, MPEG-2 Reference Information’, URL: <https://help.apple.com/compressor/mac/4.0/en/compressor/usermanual/#chapter=1&section=5>. (Diakses tanggal 25 April 2021).
- Baek, S. & Kim, B. J. (2008), Digital Multimedia Broadcasting (DMB) in Korea, in ‘Multimedia Technologies’, IGI Global, pp. 1377–1390.
- Centauri, A. (2013), ‘Why Decibels are used to measure Signal to Noise Ratio?’, URL: <https://electronics.stackexchange.com/q/82823>. (Diakses tanggal 21 Juli 2022).
- Cheon, M. & Lee, J.-S. (2016), ‘On ambiguity of objective image quality assessment’, *Electronics Letters* **52**(1), 34–35.

- Cheon, M., Vigier, T., Krasula, L., Lee, J., Callet, P. L. & Lee, J.-S. (2021), ‘Ambiguity of objective image quality metrics: A new methodology for performance evaluation’, *Signal Processing: Image Communication* **93**, 116150.
- Chochliouros, I. (2009), ‘Digital Video Broadcasting (DVB) Evolution, Encyclopedia of Multimedia Technology and Networking, Second Edition’, *IGI Global Science and Technology*.
- Dai, L., Wang, Z. & Yang, Z. (2012), ‘Next-generation digital television terrestrial broadcasting systems: Key technologies and research trends’, *IEEE Communications Magazine* **50**(6), 150–158.
- Dihin, R. A., Hamza, N. R. & Toman, Z. H. (2020), ‘Full-Reference Facial Image Quality Assessment and Identification by Two Proposed Measures’, *Journal of Southwest Jiaotong University* **55**(2), 1.
- Ding, K., Ma, K., Wang, S. & Simoncelli, E. P. (2021), ‘Comparison of Full-Reference Image Quality Models for Optimization of Image Processing Systems’, *International Journal of Computer Vision* **129**(4), 1258–1281.
- Dost, S., Saud, F., Shabbir, M., Khan, M. G., Shahid, M. & Lovstrom, B. (2022), ‘Reduced reference image and video quality assessments: review of methods’, *EURASIP Journal on Image and Video Processing* **2022**(1).
- DTVstatus (2017), ‘DTV Status Compares The Worldwide Digital Broadcasting Systems ATSC, DTMB, DVB-T/DVB-T2, and ISDB-T’, URL: <http://en.dtvstatus.net/>. (Diakses tanggal 27 Juni 2021).
- DVBProject (2013), Digital Video Broadcasting (DVB) Bluebook A116-2, in ‘Digital Video Broadcasting’, Digital Video Broadcasting.
- Ebrahimi, T. & Pereira, F. (2002), *The MPEG-4 Book*, illustrated edition edn, Prentice Hall PTR.

- El-Saba, M. (2018), *Telecommunication Systems and Data Networks*, third edn.
- Emmet (2022), ‘Stream TV from your Raspberry Pi with Tvheadend’, URL: <https://pimylifeup.com/raspberry-pi-tvheadend/>. (Diakses tanggal April 2022).
- Ferzli, R. & Karam, L. (2009), ‘A no-reference objective image sharpness metric based on the notion of just noticeable blur (JNB)’, *IEEE Transactions on Image Processing* **18**(4), 717–728.
- Fischer, W. (2010), *Digital Video and Audio Broadcasting Technology*, third edn, Springer Berlin Heidelberg.
- Foundation, T. (2015), ‘Tvheadend 4.0 User Guide’, URL: [https://docs.tvheadend.org/about\\_project/](https://docs.tvheadend.org/about_project/). (Diakses tanggal 5 Oktober 2021).
- Frost, P. (2014), ‘How is signal strength calculated?’, Electrical Engineering Stack Exchange. URL: <https://electronics.stackexchange.com/q/98691> (version: 2014-02-04). (Diakses tanggal 30 Oktober 2022).
- Gultom, A. D. (2018), ‘Digitalisasi Penyiaran Televisi di Indonesia’, *Buletin Pos dan Telekomunikasi* **16**(2), 91.
- Hendrickson, J. (2022), ‘How to Check Your Wi-Fi Signal Strength’, URL: <https://www.hwtogeek.com/426642/how-to-check-your-wi-fi-signal-strength/>. (Diakses tanggal 30 Oktober 2022).
- Hoelzer, S. (2005), ‘MPEG-2 overview and MATLAB codec project’, URL: [https://users.cs.cf.ac.uk/Dave.Marshall/Multimedia/Lecture\\_Examples/Compression/mpeg/](https://users.cs.cf.ac.uk/Dave.Marshall/Multimedia/Lecture_Examples/Compression/mpeg/) (Diakses tanggal 25 April 2021).

- Hou, H.-A. (2010), ‘DVB-T2 technology overview - Industrial Technology Research Institute’, URL: [https://www.ncc.gov.tw/chinese/files/10051/1661\\_2.pdf](https://www.ncc.gov.tw/chinese/files/10051/1661_2.pdf). (Diakses tanggal 2 Oktober 2021).
- Huynh-Thu, Q. & Gha, M. (2009), ‘No-reference temporal quality metric for video impaired by frame freezing artefacts’.
- ISO & IEC (2022), ‘13818-1:2022 Information technology - Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 1: Systems’, URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#0023iso:std:83239:en>. (Diakses tanggal 25 Juli 2022).
- ITU-R BT500 (2019), *BT500-14: Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures*, International Telecommunication Union - Radiocommunication, International Telecommunication Union - Radiocommunication.
- ITU-R P.910 (2022), ‘International telecommunication union - telecommunication standarization’.
- Kennedy, G. & Davis, B. (2009), *Electronic Communication System, Fourth Edision*, 4 edn, Tata McGraw Hill Education Private Limited.
- Kessel, R. (2018), ‘Why isn’t signal-to-noise ratio expressed in a percentage instead of in dB?’.
- Kieser, R., Reynisson, P. & Mulligan, T. J. (2005), ‘Definition of signal-to-noise ratio and its critical role in split-beam measurements’, *ICES Journal of Marine Science* **62**(1), 123–130.
- Kominfo, H. (2022), ‘Update Perkembangan Analog Switch Off (ASO)’, URL: <https://www.kominfo.go.id/content/detail/43905/siaran-pers-no>

- 346hmkominfo082022-tentang-update-perkembangan-analog-switch-off-  
aso/0/siaran\_pers. (Diakses tanggal 2 Oktober 2022).
- Kruger, L. G. & Guerrero, P. F. (2002), *Digital Television: An Overview*, Novinka Books.
- Kumar, S. & Prajapati, P. (2015), ‘A Review Paper on Image Quality Assessment Metrics’, *International Journal of Advance Research in Computer Science and Management* **2**, 129–132.
- Kusuma, T. M. (2005), A Perceptual-based Objective Quality Metric for Wireless Imaging, phdthesis, Curtin University of Technology.
- Lee, Y.-S. & Kook, J. (2019), ‘Integrated DVB-X2 Receiver Architecture with Common Acceleration Engine’, *Applied Sciences* **9**(19), 3983.
- Lundstrom, L.-I. (2006), *Understanding Digital Television*, Focal Press.
- Markoulidakis, I., Rallis, I., Georgoulas, I., Kopsiaftis, G., Doulamis, A. & Doulamis, N. (2021), ‘Multiclass confusion matrix reduction method and its application on net promoter score classification problem’, *Technologies* **9**(4), 81.
- Martínez-Rach, M. O., Piñol, P., López, O. M., Malumbres, M. P., Oliver, J. & Calafate, C. T. (2014), ‘On the Performance of Video Quality Assessment Metrics under Different Compression and Packet Loss Scenarios’, *The Scientific World Journal* **2014**, 1–18.
- Marziliano, P., Dufaux, F., Winkler, S. & Ebrahimi, T. (2002), A no-reference perceptual blur metric, in ‘Proceedings. International Conference on Image Processing’, IEEE.
- Matthews, V. O., Idiake, S. U., Noma-Osaghae, E. & Nwukor, F. (2018), ‘Comparative Analysis of the Effect of Distance on Signal Strength using Selected

- Communication Media Comparative Analysis of the Effect of Distance on Signal Strength using Selected Communication Media’, *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering* **4**(8), 82–91.
- M.H. Pinson, S. W. (2004), ‘A New Standardized Method for Objectively Measuring Video Quality’, *IEEE Transactions on Broadcasting* **50**(3), 312–322.
- Mittal, A., Moorthy, A. K. & Bovik, A. C. (2012), ‘No-reference image quality assessment in the spatial domain’, *IEEE Transactions on Image Processing* **21**(12), 4695–4708.
- Mustafa, W., Yazid, H., Jaafar, M., Zainal, M., Abdul Nasir, A. S. & Mazlan, N. (2017), ‘A Review of Image Quality Assessment (IQA): SNR, GCF, AD, NAE, PSNR, ME’, *Journal of Advanced Research in Computing and Applications* **7**, 1–7.
- Nguyen, H. H. & Shwedyk, E. (2009), *A First Course in Digital Communications*, Cambridge University Press.
- Ong, E., Lin, W., Lu, Z., Yang, X., Yao, S., Pan, F., Jiang, L. & Moschetti, F. (2003), ‘A no-reference quality metric for measuring image blur’.
- Pauliks, R., Tretjaks, K., Belahs, K. & Pauliks, R. (2013), A survey on some measurement methods for subjective video quality assessment, in ‘2013 World Congress on Computer and Information Technology (WCC-IT)’, IEEE.
- Powers, D. M. W. (2020), ‘Evaluation: from precision, recall and F-measure to ROC, informedness, markedness and correlation’.
- Reimers, U. (1998), ‘Digital video broadcasting’, *IEEE Communications Magazine* **36**(6), 104–110.

- Reimers, U. (2006), 'DVB The Family of International Standards for Digital Video Broadcasting', *Proceedings of the IEEE*. **94**(1), 173–182.
- Robin, M. & Poulin, M. (2000), *Digital Televisin Fundamentals 2nd Edition*, McGraw-Hill Professional.
- Rodriguez, D. Z., Rosa, R., AbrahÃ£o, J., Bressan, G. & Costa Alfaia, E. (2014), 'Video Quality Assessment in Video Streaming Services Considering User Preference for Video Content', *IEEE Transactions on Consumer Electronics* **60**, 436–444.
- Salomon, D. & Motta, G. (2010), *Handbook of Data Compression*, fifth edn, Springer London.
- Seshadrinathan, K., Soundararajan, R., Bovik, A. C. & Cormack, L. K. (2010), 'Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video', *IEEE Transactions on Image Processing* **19**(6), 1427–1441.
- Shahreza, H. O., Amini, A. & Behroozi, H. (2019), 'No-reference video quality assessment using recurrent neural networks'.
- Sheikh, H., Sabir, M. & Bovik, A. (2006), 'A Statistical Evaluation of Recent Full Reference Image Quality Assessment Algorithms', *IEEE Transactions on Image Processing* **15**(11), 3440–3451.
- Suryanto (2021), 'Indonesia mulai masuki era TV Digital', URL: [https://www.kominfo.go.id/content/detail/3400/indonesia-mulai-masuki-era-tv-digital/0/sorotan\\_media](https://www.kominfo.go.id/content/detail/3400/indonesia-mulai-masuki-era-tv-digital/0/sorotan_media). (Diakses tanggal 26 April 2021).
- Tom (2022), 'What Is The Difference Between TV Signal Strength and Quality?', URL: <https://www.smartaerials.co.uk/blog/what-is-the-difference-between-tv-signal-strength-quality>. (Diakses tanggal 30 Juli 2022).

- Varga, D. (2021), ‘No-Reference Image Quality Assessment with Global Statistical Features’, *Journal of Imaging* **7**(2), 29.
- Victoria, A. (2020), ‘Information Technology’.
- Wang, Z. (2003), ‘Objective Video Quality Assessment, The Handbook of Video Databases: Design and Applications’, *B.Furht and O. Marqure, ed., CRC Press.* pp. 1041–1078.
- Wang, Z., Bovic, A. & Hamid, S. (2002), ‘No-reference perceptual quality assessment of JPEG compressed images’, *IEEE International Conference on Image Processing* .
- Welvaert, M. & Rosseel, Y. (2013), ‘On the Definition of Signal-To-Noise Ratio and Contrast-To-Noise Ratio for fMRI Data’, *PLoS ONE* **8**(11), e77089.
- Xu, J., Tao, C., Mao, X., Lu, X., Bao, J., Drobe, B. & Chen, H. (2021), ‘Blur Detection Sensitivity Increases in Children Using Orthokeratology’, *Frontiers in Neuroscience* **15**.
- Ya’acob, N., Tajudin, N., Zamiri, M. M. . M., Yusof, A. L., Sarnin, S. S. & Idris, A. (2019), ‘Measurement of digital video broadcasting-second generation terrestrial (DVB-T2) signal in Kuala Lumpur, Malaysia’, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* **13**(3), 1286.
- yen Ong, C., Song, J., Pan, C. & Li, Y. (2010), ‘Technology and standards of digital television terrestrial multimedia broadcasting, Topics in Wireless Communications’, *IEEE Communications Magazine* **48**(5), 119–127.
- Yin, R. K. (n.d.), *Case Study Research and Applications : Design and Methods*, SAGE Publications, Inc.

## LAMPIRAN

### 1. Program Memperoleh Kualitas Sinyal dari TVheadend

Program ditulis dalam bahasa python sebagai berikut.

Program here ...

### 2. Program Pengukuran Metrik Objektif NR-IQA Blockiness

Program ditulis dalam bahasa python sebagai berikut.

Program here ...

### 3. Tabel hasil pengukuran obyektif dan subyektif pada dataset

Tabel 5.1: A sample long table.

| nama    | m_blok | m_blur | m_grad | std_grad | move_fr | m_temp | mos  | class |
|---------|--------|--------|--------|----------|---------|--------|------|-------|
| 000.mp4 | 87     | 52     | 4.84   | 4.76     | 95      | 75     | 3.8  | 3     |
| 001.mp4 | 88     | 55     | 0.29   | 0.25     | 100     | 75     | 4.64 | 5     |
| 002.mp4 | 73     | 1      | -0.26  | 0.12     | 50      | 90     | 2.24 | 2     |
| 003.mp4 | 79     | 8      | 3.85   | 8.5      | 71      | 90     | 1.6  | 1     |
| 004.mp4 | 80     | 10     | 0.33   | 4.94     | 75      | 85     | 1.84 | 1     |
| 005.mp4 | 73     | 2      | 3.67   | 8.12     | 71      | 90     | 2.04 | 2     |
| 006.mp4 | 72     | 42     | -0.51  | 0.59     | 49      | 90     | 1.48 | 1     |
| 007.mp4 | 48     | 13     | 3.9    | 9.97     | 71      | 35     | 1    | 1     |
| 008.mp4 | 72     | 10     | -0.35  | 0.63     | 50      | 90     | 1.64 | 1     |
| 009.mp4 | 86     | 52     | 1.63   | 0.78     | 98      | 80     | 3.96 | 3     |
| 010.mp4 | 78     | 9      | 0      | 0.31     | 100     | 85     | 4.2  | 4     |
| 011.mp4 | 77     | 15     | 1.63   | 6.58     | 73      | 75     | 3.2  | 3     |
| 012.mp4 | 73     | 4      | -0.47  | 1.67     | 50      | 90     | 1.56 | 1     |
| 013.mp4 | 78     | 23     | 0.31   | 0.25     | 100     | 75     | 4.2  | 4     |
| 014.mp4 | 82     | 15     | 0.84   | 0.68     | 99      | 75     | 3.84 | 3     |
| 015.mp4 | 66     | 30     | 11.8   | 17.7     | 63      | 65     | 1.16 | 1     |

|         |    |    |       |       |     |     |      |   |
|---------|----|----|-------|-------|-----|-----|------|---|
| 016.mp4 | 77 | 16 | -0.09 | 0.25  | 50  | 75  | 1.76 | 1 |
| 017.mp4 | 67 | 9  | -0.23 | 0.29  | 50  | 90  | 1.96 | 2 |
| 018.mp4 | 69 | 8  | -0.44 | 0.56  | 50  | 85  | 1.64 | 1 |
| 019.mp4 | 95 | 52 | 3.91  | 1.32  | 96  | 90  | 4.32 | 5 |
| 020.mp4 | 72 | 2  | 0.38  | 1.98  | 75  | 80  | 1.96 | 2 |
| 021.mp4 | 86 | 52 | 5.45  | 7.42  | 70  | 100 | 4.16 | 4 |
| 022.mp4 | 87 | 52 | 2.06  | 3.89  | 73  | 85  | 4.68 | 5 |
| 023.mp4 | 85 | 52 | 0.83  | 0.98  | 99  | 100 | 3.2  | 3 |
| 024.mp4 | 82 | 8  | 1.33  | 0.15  | 99  | 75  | 4.36 | 5 |
| 025.mp4 | 82 | 1  | 27.66 | 30.23 | 47  | 50  | 2    | 2 |
| 026.mp4 | 76 | 40 | 0.07  | 0.1   | 100 | 85  | 4.28 | 4 |
| 027.mp4 | 88 | 70 | 0.22  | 0.08  | 100 | 85  | 4.6  | 5 |
| 028.mp4 | 89 | 52 | 0.85  | 0.46  | 99  | 90  | 4.36 | 5 |
| 029.mp4 | 72 | 61 | -3.1  | 3.11  | 47  | 80  | 1.84 | 1 |
| 030.mp4 | 73 | 46 | 0.06  | 0.16  | 100 | 90  | 3.72 | 3 |
| 031.mp4 | 84 | 85 | 2.53  | 3.23  | 97  | 85  | 4.32 | 5 |
| 032.mp4 | 73 | 69 | -0.9  | 0.27  | 49  | 90  | 1.4  | 1 |
| 033.mp4 | 72 | 80 | 0.21  | 0.1   | 100 | 90  | 3.56 | 3 |
| 034.mp4 | 72 | 34 | 0.33  | 0.24  | 100 | 100 | 4.12 | 4 |
| 035.mp4 | 79 | 15 | 1.29  | 2.43  | 99  | 90  | 1.76 | 1 |
| 036.mp4 | 74 | 5  | -0.75 | 0.61  | 49  | 80  | 1.2  | 1 |
| 037.mp4 | 85 | 52 | 1.25  | 0.19  | 99  | 85  | 4.08 | 3 |
| 038.mp4 | 73 | 21 | 4.74  | 6.49  | 70  | 90  | 1.36 | 1 |
| 039.mp4 | 73 | 12 | 0.68  | 1.01  | 99  | 85  | 2.24 | 2 |
| 040.mp4 | 86 | 50 | 0.86  | 0.18  | 99  | 65  | 4.56 | 5 |
| 041.mp4 | 85 | 52 | 0.14  | 0.12  | 100 | 90  | 4.68 | 5 |
| 042.mp4 | 81 | 35 | 3.68  | 9.04  | 71  | 90  | 2.36 | 2 |
| 043.mp4 | 87 | 52 | 12.89 | 1.4   | 87  | 70  | 3.88 | 3 |
| 044.mp4 | 83 | 18 | 0.42  | 0.37  | 100 | 75  | 3.88 | 3 |
| 045.mp4 | 75 | 2  | 1.67  | 1.68  | 98  | 85  | 4.16 | 4 |
| 046.mp4 | 88 | 62 | 0.61  | 0.29  | 99  | 85  | 4.28 | 4 |
| 047.mp4 | 83 | 35 | 0.96  | 1.2   | 99  | 85  | 2.16 | 2 |
| 048.mp4 | 83 | 19 | 2.03  | 1.8   | 98  | 80  | 3.92 | 3 |
| 049.mp4 | 71 | 4  | 0.14  | 0.44  | 100 | 90  | 2.48 | 2 |
| 050.mp4 | 80 | 97 | 0.06  | 0.36  | 100 | 75  | 4.76 | 5 |
| 051.mp4 | 75 | 15 | 4.21  | 10.84 | 71  | 85  | 2.04 | 2 |
| 052.mp4 | 90 | 52 | 0.81  | 0.7   | 99  | 80  | 4.32 | 5 |
| 053.mp4 | 75 | 41 | 14.21 | 21.08 | 61  | 70  | 1.64 | 1 |
| 054.mp4 | 87 | 52 | 1.15  | 1.15  | 99  | 75  | 4.2  | 4 |
| 055.mp4 | 82 | 14 | 0.73  | 0.44  | 99  | 85  | 4.52 | 5 |
| 056.mp4 | 89 | 52 | 2.63  | 1.55  | 97  | 90  | 4.52 | 5 |
| 057.mp4 | 83 | 12 | 0.26  | 0.68  | 100 | 80  | 4.68 | 5 |
| 058.mp4 | 71 | 4  | -0.19 | 0.22  | 50  | 100 | 3.96 | 3 |

|         |    |    |       |       |     |     |      |   |
|---------|----|----|-------|-------|-----|-----|------|---|
| 059.mp4 | 78 | 10 | 1.16  | 0.17  | 99  | 90  | 3.72 | 3 |
| 060.mp4 | 88 | 52 | 3.63  | 4.03  | 96  | 100 | 3.88 | 3 |
| 061.mp4 | 74 | 10 | -4.59 | 4.65  | 45  | 80  | 1.16 | 1 |
| 062.mp4 | 65 | 15 | -4.4  | 3.07  | 46  | 80  | 1.28 | 1 |
| 063.mp4 | 66 | 6  | 0.01  | 0.03  | 100 | 75  | 4.56 | 5 |
| 064.mp4 | 74 | 50 | -0.49 | 0.82  | 50  | 80  | 1.28 | 1 |
| 065.mp4 | 80 | 13 | 0.11  | 0.38  | 100 | 85  | 4.2  | 4 |
| 066.mp4 | 81 | 6  | 0.57  | 0.12  | 99  | 85  | 4.2  | 4 |
| 067.mp4 | 79 | 38 | 12.31 | 30.32 | 63  | 75  | 2.92 | 2 |
| 068.mp4 | 85 | 52 | 1.66  | 0.08  | 98  | 90  | 3.64 | 3 |
| 069.mp4 | 86 | 52 | 1.21  | 1.16  | 99  | 90  | 4.24 | 4 |
| 070.mp4 | 77 | 8  | 0.19  | 0.18  | 100 | 90  | 3.92 | 3 |
| 071.mp4 | 73 | 12 | 0.37  | 0.86  | 100 | 70  | 2.92 | 2 |
| 072.mp4 | 79 | 48 | 0.22  | 0.28  | 100 | 80  | 4.24 | 4 |
| 073.mp4 | 94 | 52 | 4.01  | 4.5   | 96  | 85  | 4.32 | 5 |
| 074.mp4 | 85 | 52 | 0.5   | 0.5   | 100 | 75  | 4.64 | 5 |
| 075.mp4 | 89 | 52 | 1.03  | 0.16  | 99  | 70  | 4.72 | 5 |
| 076.mp4 | 72 | 48 | 1.79  | 2.97  | 98  | 90  | 1.96 | 2 |
| 077.mp4 | 82 | 18 | 0.53  | 2.85  | 74  | 80  | 2.24 | 2 |
| 078.mp4 | 88 | 52 | 0.25  | 0.27  | 100 | 75  | 4.48 | 5 |
| 079.mp4 | 88 | 68 | 5.7   | 1.91  | 94  | 90  | 4.12 | 4 |
| 080.mp4 | 83 | 1  | 1.42  | 2.47  | 99  | 90  | 2.6  | 2 |
| 081.mp4 | 80 | 5  | -0.88 | 2.69  | 49  | 90  | 2.44 | 2 |
| 082.mp4 | 87 | 52 | 4.95  | 6.8   | 70  | 85  | 4.2  | 4 |
| 083.mp4 | 76 | 60 | 0.38  | 0.26  | 100 | 80  | 3.56 | 3 |
| 084.mp4 | 88 | 52 | 6.71  | 9.62  | 68  | 90  | 4    | 3 |
| 085.mp4 | 87 | 52 | 3.86  | 1.54  | 96  | 80  | 4.12 | 4 |
| 086.mp4 | 79 | 15 | 0.31  | 0.17  | 100 | 75  | 4.12 | 4 |
| 087.mp4 | 79 | 29 | 0.07  | 1.13  | 100 | 85  | 2.64 | 2 |
| 088.mp4 | 78 | 21 | 0.1   | 0.52  | 100 | 80  | 4.2  | 4 |
| 089.mp4 | 83 | 12 | 1.75  | 1.51  | 98  | 90  | 4.36 | 5 |
| 090.mp4 | 88 | 61 | 8.22  | 5.61  | 92  | 90  | 3.96 | 3 |
| 091.mp4 | 70 | 14 | -0.25 | 0.51  | 50  | 80  | 3.56 | 3 |
| 092.mp4 | 74 | 12 | 2.21  | 2.6   | 98  | 75  | 2.12 | 2 |
| 093.mp4 | 67 | 40 | -0.28 | 0.59  | 50  | 80  | 2    | 2 |
| 094.mp4 | 68 | 50 | -0.23 | 0.38  | 50  | 85  | 1.6  | 1 |
| 095.mp4 | 76 | 44 | 1.3   | 2.92  | 74  | 65  | 1.04 | 1 |
| 096.mp4 | 95 | 52 | 4     | 1.57  | 96  | 90  | 4.16 | 4 |
| 097.mp4 | 80 | 0  | 0.29  | 0.46  | 100 | 90  | 4.68 | 5 |
| 098.mp4 | 82 | 9  | 0.1   | 0.26  | 100 | 75  | 4.2  | 4 |
| 099.mp4 | 94 | 70 | 2.68  | 1.82  | 97  | 90  | 4.2  | 4 |
| 100.mp4 | 87 | 76 | 2.12  | 2.95  | 98  | 90  | 4.68 | 5 |
| 101.mp4 | 79 | 65 | -0.47 | 0.58  | 50  | 85  | 2.2  | 2 |

|         |    |    |      |      |    |     |      |   |
|---------|----|----|------|------|----|-----|------|---|
| 102.mp4 | 92 | 52 | 9.33 | 16.3 | 66 | 100 | 4.12 | 4 |
| 103.mp4 | 78 | 21 | 1.86 | 7.08 | 73 | 85  | 2.32 | 2 |
| 104.mp4 | 86 | 52 | 1.36 | 2.3  | 99 | 75  | 4.12 | 4 |

Program here ...



# RIWAYAT HIDUP

## IDENTITAS DIRI

Nama : Sandy Suryo Prayogo  
Tempat/Tanggal Lahir : Surabaya, 14 April 1993  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Pekerjaan : Dosen  
NIP / NIDN : 171011 / 0314049301  
Jabatan Fungsional : Lektor  
Unit Kerja : Laboratorium Pengembangan Teknik Elektro  
Institusi : Universitas Gunadarma  
Telp : 085782382323  
Email Staff : sandy\_sr@staff.gunadarma.ac.id  
Email Pribadi : sunariveru@gmail.com

## PENDIDIKAN FORMAL

| Tahun | Pendidikan             | Institusi               |
|-------|------------------------|-------------------------|
| 1999  | TK                     | TK Aisyiah 37 Jakarta   |
| 2005  | SD                     | SD N Menteng 02 Jakarta |
| 2008  | SMP                    | SMP Negeri 216 Jakarta  |
| 2011  | SMA                    | SMA Negeri 28 Jakarta   |
| 2015  | S1 Teknik Elektro      | Universitas Gunadarma   |
| 2016  | S2 Teknik Elektro      | Universitas Gunadarma   |
| —     | S3 Teknologi Informasi | Universitas Gunadarma   |

## PENGALAMAN DILUAR PENDIDIKAN FORMAL

| Tahun  | Jabatan  |
|--------|--|
| 2016   | <i>Linneaus Palme Scholarship Swedia - Student Exchange</i>    |
| 2017 - | Dosen Tetap Universitas Gunadarma                              |
| 2017 - | Reviewer Nasional Program Kreatifitas Mahasiswa - Kemdikbud    |
| 2017 - | Pilot Drone Licences Asosiasi Pilot Drone Indonesia - Kemenhub |

## PUBLIKASI ILMIAH

| <b>Tahun</b> | <b>Penulis-Judul</b>   | <b>Keterangan</b>  |
|--------------|--|--|
| 2020         | Sandy Suryo Prayogo, Tubagus Maulana Kusuma - Analisis Sensitivitas Video MPEG-4 berdasarkan Struktur Frame Pada Transmisi DVB-T | Jurnal Ilmiah Informatika Komputer 25 (2), 86-97 , Universitas Gunadarma |
| 2023         | -  | -  |
| 2023         | -  | -  |