



ANALISIS DETAK JANTUNG ABNORMAL MENGGUNAKAN FAST FOURIER TRANSFORM (FFT) PADA DATA EKG PTB DENGAN IMPLEMENTASI PYTHON

Fifin Dewi Ratnasari¹, Bintang Yuwastika Dwi Mandicky², Yenila Sovi Kartika³, Mitta

Egie Ferisa⁴

Prodi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang

Jl. Sekaran, Kec. Gn. Pati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50229

E-mail: fifin_fisika@mail.unnes.ac.id, yuwastikabintang@students.unnes.ac.id¹

ABSTRACT

According to the WHO Global Report on Hypertension (2023), the number of adults suffering from hypertension has nearly doubled over the past three decades—from 650 million in 1990 to 1.3 billion in 2019. This significant rise in high blood pressure poses serious health risks, particularly as a leading cause of Coronary Heart Disease (CHD). In Indonesia, of the estimated 10.8 million deaths, approximately 7.4 million are attributed to CHD. One of the key techniques used in biomedical signal analysis, especially in electrocardiogram (ECG) signal processing, is the Fast Fourier Transform (FFT). ECG signals represent cardiac activity through waveforms labeled P, Q, R, S, and T in each heartbeat cycle. This study aims to process ECG signal data to detect whether the heart condition is normal or abnormal using the FFT method. The ECG data is sourced from the PTB Diagnostic ECG Database and processed using Python-based computational tools. The procedure involves loading the data, applying the FFT algorithm, and extracting features that distinguish between normal and abnormal heart conditions while minimizing signal noise.

Article History

Received: Mei 2025
Reviewed: Mei 2025
Published: Mei 2025

Plagiarism Checker No 235

Prefix DOI : [10.8734/Koehesi.v1i2.365](https://doi.org/10.8734/Koehesi.v1i2.365)

Copyright : Author
Publish by : Koehesi



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



Keywords: Coronary Heart Disease (CHD), PTB ECG Database, Fast Fourier Transform (FFT), Python

ABSTRAK

Berdasarkan Laporan Global WHO tentang Hipertensi tahun 2023, jumlah penderita hipertensi di kalangan orang dewasa secara global telah mengalami peningkatan hampir dua kali lipat dalam tiga dekade terakhir, yaitu dari 650 juta pada tahun 1990 menjadi 1,3 miliar pada tahun 2019. Lonjakan angka tekanan darah tinggi ini memberikan dampak signifikan terhadap kesehatan, terutama karena menjadi faktor risiko utama Penyakit Jantung Koroner (PJK). Di Indonesia sendiri, dari total 10,8 juta kematian, sekitar 7,4 juta disebabkan oleh PJK. Salah satu metode yang digunakan dalam analisis sinyal biomedis, khususnya elektrokardiogram (EKG), adalah Fast Fourier Transform (FFT). Sinyal EKG menggambarkan aktivitas jantung dalam bentuk gelombang P, Q, R, S, dan T yang muncul di setiap siklus jantung. Penelitian ini bertujuan untuk memproses data sinyal EKG guna mengidentifikasi kondisi jantung normal atau abnormal dengan memanfaatkan metode FFT. Data sinyal EKG diperoleh dari PTB Diagnosis ECG Database dan diolah menggunakan perangkat lunak berbasis Python. Proses ini mencakup pembacaan data, penerapan metode FFT, hingga ekstraksi fitur dari sinyal EKG yang telah diproses, guna membedakan antara kondisi jantung normal dan abnormal serta mengurangi gangguan sinyal (noise).

Kata kunci: Penyakit Jantung Koroner (PJK), Database EKG PTB, Fast Fourier Transform (FFT), Python



PENDAHULUAN

Indonesia menempati posisi sebagai salah satu negara dengan tingkat kejadian penyakit kardiovaskular tertinggi di dunia. Berdasarkan data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) tahun 2018, prevalensi penyakit jantung di Indonesia diperkirakan mencapai sekitar 1,5% (Oktaviono, Y. H., 2024). Sementara itu, laporan WHO pada tahun 2006 mencatat bahwa jumlah kematian akibat penyakit kardiovaskular mencapai 17,5 juta jiwa, yang sebagian besar disebabkan oleh penyakit jantung koroner, stroke, dan penyakit jantung rematik. Jumlah ini menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan dengan tahun 1990 yang mencatat angka kematian sebesar 14,4 juta jiwa (Santosa, W. N., et al., 2020). Selain itu, Laporan Global WHO tentang Hipertensi tahun 2023 mengungkapkan bahwa jumlah penderita hipertensi di kalangan orang dewasa meningkat hampir dua kali lipat selama tiga dekade terakhir, mencapai 1,3 miliar jiwa pada tahun 2019.

Salah satu alat yang digunakan untuk mendeteksi gangguan jantung adalah elektrokardiograf (EKG). EKG merupakan pemeriksaan medis yang merekam aktivitas listrik jantung guna mengetahui adanya kelainan. Sinyal yang dihasilkan oleh EKG mengandung pola informasi yang khas dan relatif stabil dari waktu ke waktu, sehingga juga berpotensi digunakan sebagai identitas biometrik untuk mengenali individu secara unik (Setiowati, S., 2020). Cara kerja EKG didasarkan pada pencatatan perbedaan potensial listrik yang dihasilkan oleh aktivitas listrik otot jantung. Aktivitas listrik ini terjadi akibat pergerakan ion natrium melewati membran sel otot jantung, yang memicu timbulnya arus listrik dan menghasilkan tegangan. Tegangan ini merepresentasikan kondisi irama jantung seseorang (Latifah, S., 2017).

Pada individu dengan kondisi fisik yang sehat dan sedang melakukan aktivitas normal, detak jantung umumnya berada dalam kisaran 60 hingga 100 kali per menit. Jika detak jantung melebihi 100 kali per menit, kondisi ini disebut takikardia (tachycardia), yang dapat menjadi indikasi adanya kelainan pada sistem kardiovaskular. Sebaliknya, jika denyut jantung berada di bawah 60 kali per menit, kondisi tersebut dikenal sebagai bradikardia (bradycardia). Bradikardia sering disertai dengan gejala seperti kelelahan yang mudah muncul, jantung berdebar (palpitasi),



nyeri dada, sesak napas, tekanan darah rendah (hipotensi), hingga pusing atau rasa melayang (Sana'Ramadhan, 2021).

Dalam proses pengolahan sinyal elektrokardiogram (EKG), konversi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi memegang peranan penting untuk mengungkapkan karakteristik frekuensi tersembunyi yang tidak selalu terlihat dalam bentuk sinyal waktu. Fast Fourier Transform (FFT) merupakan metode yang umum digunakan untuk melakukan transformasi ini secara cepat dan efisien. Dengan metode ini, analisis terhadap komponen frekuensi sinyal EKG dapat dilakukan secara lebih menyeluruh. Hasil analisis tersebut dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi gangguan ritme jantung seperti fibrilasi atrium dan berbagai bentuk aritmia lainnya. Dalam bahasa pemrograman Python, terdapat sejumlah pustaka yang mendukung penerapan FFT, salah satunya adalah *scipy.fft*. Modul ini memudahkan transformasi sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi, sehingga memungkinkan analisis spektrum yang lebih detail terhadap sinyal EKG dan membantu mendeteksi anomali yang tidak tampak dalam representasi waktu.

Selain itu, integrasi metode FFT dengan algoritma pembelajaran mesin, seperti *Convolutional Neural Networks* (CNN), telah digunakan untuk klasifikasi aritmia jantung berdasarkan fitur-fitur yang diekstraksi dari sinyal EKG. Pendekatan ini meningkatkan akurasi dalam mendeteksi berbagai jenis gangguan irama jantung .

Dengan demikian, penerapan metode FFT dalam pengolahan sinyal EKG menggunakan Python tidak hanya meningkatkan efisiensi analisis sinyal, tetapi juga membuka peluang untuk pengembangan sistem deteksi dini gangguan jantung yang lebih akurat dan dapat diakses secara luas. Hal ini sangat relevan dalam konteks peningkatan layanan kesehatan, terutama di wilayah dengan keterbatasan akses terhadap fasilitas medis.

1. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan untuk menyusun laporan meliputi beberapa tahap yaitu:

- a. Observasi



Dengan menggunakan metode mengamati untuk mengidentifikasi permasalahan yang timbul dalam proses deteksi dini gangguan irama jantung, khususnya *bradycardia* dan *tachycardia*. Observasi ini mencakup karakteristik sinyal detak jantung, faktor gangguan eksternal (seperti noise atau interferensi), serta kebutuhan sistem yang cepat dan akurat

b. Studi Literatur

1. **Karakteristik Gelombang EKG:** Tinjauan pustaka menjelaskan bahwa struktur utama pada sinyal elektrokardiogram (EKG) terdiri atas beberapa komponen, yaitu gelombang P yang menggambarkan proses depolarisasi atrium, kompleks QRS yang merepresentasikan depolarisasi ventrikel, serta gelombang T yang mencerminkan repolarisasi ventrikel. Setiap komponen gelombang tersebut memiliki rentang frekuensi yang berbeda. Berdasarkan sejumlah referensi, frekuensi gelombang P umumnya berada pada kisaran 5 hingga 30 Hz, sedangkan kompleks QRS memiliki rentang frekuensi sekitar 8 hingga 50 Hz. Pemahaman mengenai rentang frekuensi ini sangat krusial dalam menentukan batas-batas frekuensi yang akan digunakan pada proses analisis sinyal, khususnya dalam aplikasi transformasi sinyal ke domain frekuensi.
2. **Metode FFT dan Analisis Waktu-Frekuensi:** Studi terdahulu menunjukkan bahwa transformasi Fourier (FFT) efektif untuk mengekstrak fitur spektral dalam sinyal EKG; FFT dapat mengungkap keberadaan komponen frekuensi abnormal yang terkait aritmia. Selain itu, literatur modern menegaskan bahwa analisis waktu-frekuensi sangat penting untuk membedakan ritme jantung normal dan abnormal, sehingga fitur domain frekuensi menjadi krusial dalam deteksi dini.

c. Perancangan

1. **Akuisisi Data:** Gunakan PTB Diagnostic ECG Database (PhysioNet) sebagai sumber data physionet.org. Basis data ini berisi 549 rekaman EKG high-resolution (15-lead) dari 294 subjek (sehat dan pasien dengan berbagai gangguan jantung), lengkap dengan ringkasan klinis.



2. **Pra-pemrosesan Sinyal:** Terapkan filter band-pass (misalnya 5–15 Hz) untuk menonjolkan komponen QRS dan mengurangi *baseline wander* serta artefak rendah frekuensi. Pendekatan ini mengikuti prinsip algoritma Pan–Tompkins yang meningkatkan rasio sinyal/derau pada komponen depolarisasi cepat.
3. **Deteksi dan Segmentasi:** Terapkan algoritma Pan–Tompkins untuk mendeteksi puncak R (QRS) pada setiap detak. Setelah puncak R teridentifikasi, ekstrak segmen sinyal elektrokardiogram sekitar setiap detak (misalnya jendela waktu tetap yang mencakup satu beat) untuk analisis lanjut.
4. **Transformasi Fourier:** Untuk tiap segmen-beat, lakukan Fast Fourier Transform (FFT) menggunakan pustaka *scipy.fft* (Python) untuk mendapatkan spektrum frekuensi sinyal. Transformasi ini mengubah sinyal waktu per beat menjadi representasi domain frekuensi yang mengungkap komponen frekuensi dominan.
5. **Ekstraksi Fitur Band-Power:** Hitung rata-rata *band-power* (energi spektral) pada pita frekuensi yang relevan, misalnya pita tinggi yang mencakup komponen QRS dan pita rendah untuk gelombang P. Kemudian bentuk **rasio energi QRS/P** sebagai fitur pembeda. Rasio ini mencerminkan perbandingan energi frekuensi tinggi (QRS) terhadap rendah (P) untuk tiap detak, yang diharapkan berbeda antara irama normal dan abnormal.

d. Pembuatan

1. **Implementasi Python:** Realisasikan seluruh pipeline dengan bahasa Python. Gunakan pustaka *wfdb* (atau *biosppy*) untuk membaca data EKG PTBDB, *scipy.signal* untuk filter digital, *numpy.fft/scipy.fft* untuk perhitungan FFT, dan *matplotlib* untuk visualisasi grafik.
2. **Kode Analisis:** Kembangkan modul kode terstruktur yang mencakup: pembacaan sinyal EKG, filter band-pass, algoritma deteksi puncak R (Pan–Tompkins), segmentasi sinyal per detak, serta fungsi perhitungan FFT dan fitur band-power. Pastikan setiap langkah diimplementasikan sebagai fungsi terpisah agar mudah diuji.

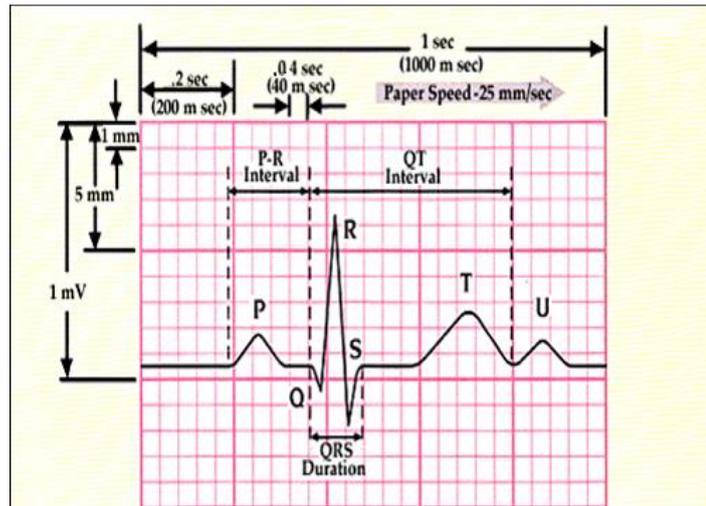


3. **Visualisasi Hasil:** Program juga menghasilkan grafik yang menampilkan sinyal EKG mentah dan hasil pra-proses (misalnya setelah filter), spektrum FFT per segmen, serta nilai rasio fitur untuk tiap detak. Visualisasi ini memudahkan verifikasi implementasi dan interpretasi hasil deteksi.

e. Pengujian dan Analisis

1. **Pengujian Data Nyata:** Uji sistem dengan menggunakan subset rekaman dari PTBDB yang sudah diberi label (normal, bradikardia, takikardia). Proses tiap rekaman melalui pipeline, lalu kumpulkan nilai rasio band-power dari setiap detak.
2. **Penentuan Ambang (Threshold):** Dari data normal, hitung nilai rata-rata (μ) dan simpangan baku (σ) rasio fitur. Tetapkan **threshold** = $\mu + 2\sigma$ sehingga sekitar 97,5% nilai normal berada di bawah batas ini. Jika rasio sebuah detak melebihi threshold, tandai detak tersebut sebagai kasus takikardia/bradikardia.
3. **Visualisasi Hasil Deteksi:** Plot nilai rasio fitur untuk setiap detak dan tandai garis threshold. Selain itu, tampilkan distribusi rasio fitur (misalnya histogram atau boxplot) untuk membandingkan kasus normal versus abnormal. Gunakan pula grafik spektrum FFT untuk beberapa sampel detak sebagai ilustrasi.
4. **Analisis Kinerja:** Membandingkan hasil deteksi dengan ground truth untuk menghitung metrik kinerja (akurasi, sensitivitas, spesifisitas). Identifikasi dan diskusikan sumber kesalahan (misalnya kesalahan deteksi akibat noise sinyal atau variasi biologis antar pasien), serta evaluasi ketepatan metode FFT dalam mendeteksi irama abnormal.

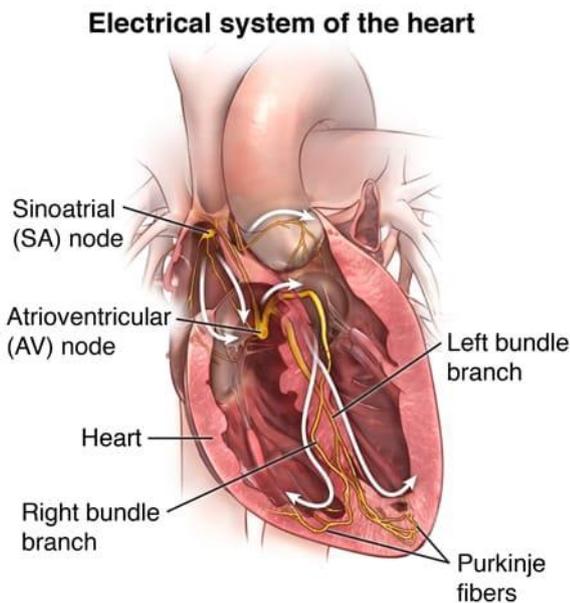
f. Analisis data



Gambar 3.1 Interpretasi sinyal EKG

Puncak PQRST adalah komponen utama dalam sinyal EKG yang menggambarkan aktivitas listrik jantung selama satu siklus detak.

1. Gelombang P menandai puncak awal dalam siklus dan mencerminkan depolarisasi atrium.
2. Gelombang Q merupakan titik minimum pertama setelah gelombang P, menunjukkan awal depolarisasi ventrikel.
3. Gelombang R adalah puncak tertinggi dalam siklus, yang merepresentasikan puncak dari depolarisasi ventrikel.
4. Gelombang S adalah titik minimum kedua yang muncul setelah gelombang R, sebagai bagian akhir dari proses depolarisasi ventrikel.



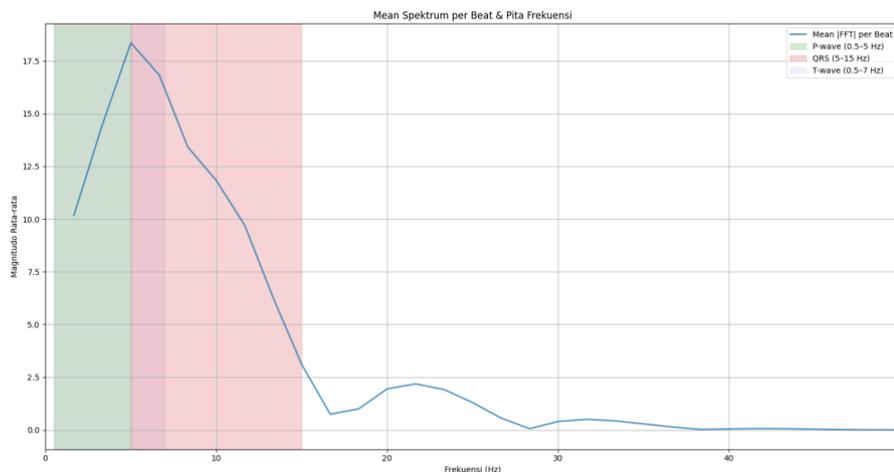
Gambar 3.2. Elektrical system of the heart

Dalam kondisi normal, impuls yang memicu kontraksi jantung berasal dari nodus SA (sinoatrial) dan menyebar melalui serabut-serabut atrium menuju nodus AV (atrioventrikular), lalu diteruskan ke berkas His → cabang kiri dan kanan → jaringan Purkinje → serabut otot ventrikel. Nodus SA berperan sebagai pacemaker utama yang mengatur irama jantung karena posisinya yang lebih tinggi dan masih aktif. Bila nodus SA tidak berfungsi, maka nodus lain dapat mengambil alih tugas tersebut. Irama jantung yang berasal dari nodus SA disebut irama sinus, yang ritmenya teratur dan ditandai oleh gelombang P yang selalu diikuti oleh kompleks QRS. Dengan kata lain, irama sinus adalah irama jantung normal yang dipimpin oleh nodus SA.

Irama sinus memiliki beberapa karakteristik khas, yaitu gelombang P berbentuk normal, setiap gelombang P diikuti oleh kompleks QRS, dan gelombang P defleksinya positif di sadapan I. Pada lead aVR, gelombang P dan kompleks QRS umumnya menunjukkan defleksi negatif. Sebaliknya, fibrilasi atrium adalah kondisi di mana aktivitas listrik atrium menjadi sangat cepat dan tidak efektif, sehingga menyebabkan kontraksi ventrikel yang tidak teratur. Ciri khas atrial fibrilasi (AF) adalah tidak ditemukannya gelombang P serta irama jantung yang tidak teratur, sementara morfologi gelombang P berubah menjadi fibrilasi.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil Ekstraksi Fitur Spektral EKG



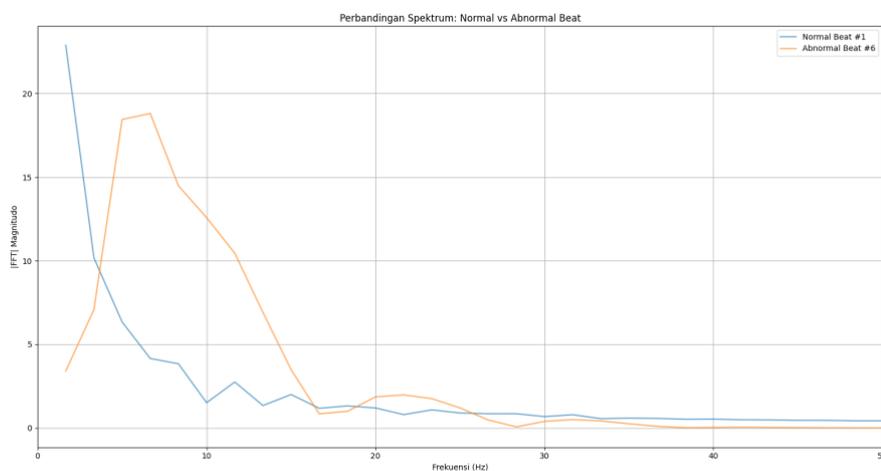
Gambar 3.3: Spektrum Rata-rata per Beat

Gambar 3.3 menunjukkan spektrum Fourier rata-rata satu beat EKG. Terlihat bahwa energi spektrum paling dominan berada pada pita frekuensi QRS (sekitar 5–15 Hz, latar merah muda), sedangkan gelombang P mencakup frekuensi rendah 0,5–5 Hz (latar hijau) dan gelombang T sekitar 0,5–7 Hz (latar ungu). Puncak spektrum sekitar 4–5 Hz mencerminkan komponen P/R biasanya. Pembagian pita ini penting untuk memahami indeks-indeks abnormalitas: misalnya, konten frekuensi tinggi (di atas pita QRS) berkaitan dengan bentuk QRS yang tajam atau terfragmentasi, sedangkan centroid T yang rendah menunjukkan gelombang T melebar (frekuensi dominan lebih kecil).

Dapat disimpulkan bahwa puncak spektrum Fourier EKG berada pada frekuensi sekitar 7–8 Hz, yaitu dalam rentang pita QRS (5–15 Hz), yang menunjukkan aktivitas listrik utama jantung saat depolarisasi ventrikel. Pada kondisi **tachykardia**, denyut jantung yang cepat menyebabkan energi spektral bergeser ke frekuensi lebih tinggi, sering kali melewati 10–15 Hz. Spektrum pada spektrum rata-rata ini memang menunjukkan kecenderungan ke arah frekuensi tinggi, sehingga dapat mengindikasikan adanya **tachykardia ringan**. Sebaliknya, **bradikardia** ditandai dengan frekuensi dominan yang lebih rendah (sekitar 3–5 Hz) akibat interval detak yang lebih panjang, namun hal ini tidak tampak pada spektrum yang ditampilkan. Jadi, meskipun belum ekstrem, distribusi spektrum ini lebih mendekati pola **tachykardia** dibanding bradikardia. Untuk konfirmasi, tetap diperlukan analisis interval RR pada domain waktu.

Indeks idx_{hf} (Kandidat LBBB/RBBB)

Indeks idx_{hf} menandai beat dengan konten frekuensi tinggi QRS di atas ambang ($hf_content > 0.001$). Kondisi *bundle branch block* (LBBB atau RBBB) biasanya menghasilkan gelombang QRS yang melebar atau notched karena konduksi ventricles yang tertunda. QRS yang lebar (≥ 120 ms) pada LBBB/ RBBB menambah komponen frekuensi tinggi pada sinyal EKG. Pada data ini hanya 1 beat yang melebihi ambang $hf_content$, mengindikasikan satu kandidat LBBB/RBBB. Secara klinis, blok cabang ventrikel menunjukkan gangguan konduksi antar-ventrikel dan dapat berasosiasi dengan penyakit jantung struktural atau risiko aritmia.



Gambar 3.4

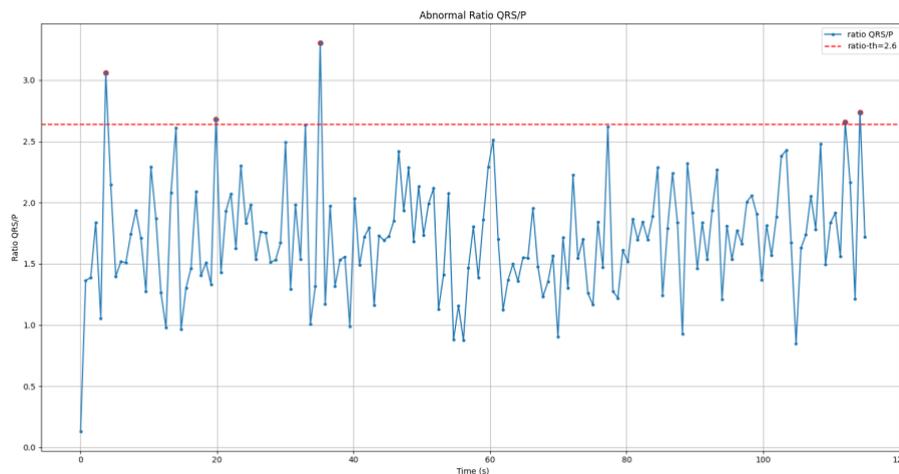
Gambar 3.4 memperlihatkan perbandingan spektrum dua beat: satu normal (biru) dan satu abnormal (oranye, beat #6). Pada beat normal, amplitudo spektrum tertinggi muncul di frekuensi sangat rendah (~2 Hz), menunjukkan gelombang P yang relatif kuat. Sebaliknya, beat abnormal (#6) memiliki energi spektrum rendah yang lebih kecil dan puncak spektrum lebih tinggi pada frekuensi 5–15 Hz (area QRS). Perbedaan ini menggambarkan rasio energi QRS terhadap P yang lebih besar pada beat abnormal. Dengan kata lain, beat #6 memiliki P-wave yang kecil (rendah) dan QRS yang sangat dominan, sehingga spektrumnya tertumpu pada frekuensi QRS. Fenomena ini menunjukkan bahwa indeks rasio QRS/P akan tinggi untuk beat abnormal. Secara klinis,

rasio besar QRS/P sering terlihat pada irama non-sinus (misalnya aritmia ventrikel) di mana gelombang P teredam atau tidak terdefinisi. Kondisi semacam itu meliputi takikardia ventrikel dengan P yang disosiasi atau ekstrasistol ventrikel (PVC), yang menghasilkan QRS lebar tanpa gelombang P praceder yang jelas. Gambar 3.4 mempertegas bahwa pengukuran rasio spektral dapat membedakan bentuk beat (normal vs abnormal) berdasarkan konten frekuensi P dan QRS-nya.

Indeks `idx_ratio` (Beat Abnormal berdasarkan Rasio QRS/P)

Indeks `idx_ratio` menandai beat dengan rasio energi spektral QRS terhadap P melebihi ambang ($\text{ratio} > 2,64$). Nilai tinggi berarti QRS sangat dominan relatif terhadap gelombang P. Dari data, terdapat 5 beat yang melampaui ambang ini, menunjukkan 5 beat abnormal. Hal ini konsisten dengan karakteristik spektral pada Gambar 3.4: misalnya beat #6 (oranye) dan #28 (dibahas di bawah) menunjukkan gelombang P kecil dan QRS lebar. Dalam konteks klinis, rasio QRS/P >1 dikaitkan dengan takikardia ventrikel atau disosiasi atrioventrikuler. Oleh karena itu, beat-beat dengan `idx_ratio` tinggi bisa menjadi kandidat irama abnormal (seperti PVC atau AV disosiasi) yang perlu evaluasi lebih lanjut.

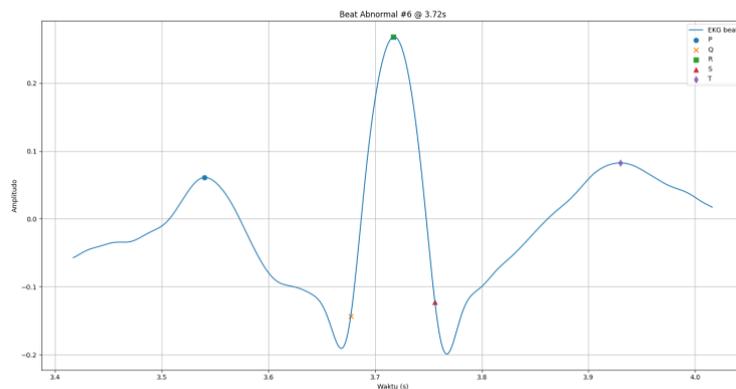
Tren Nilai Rasio QRS/P



Gambar 3.5

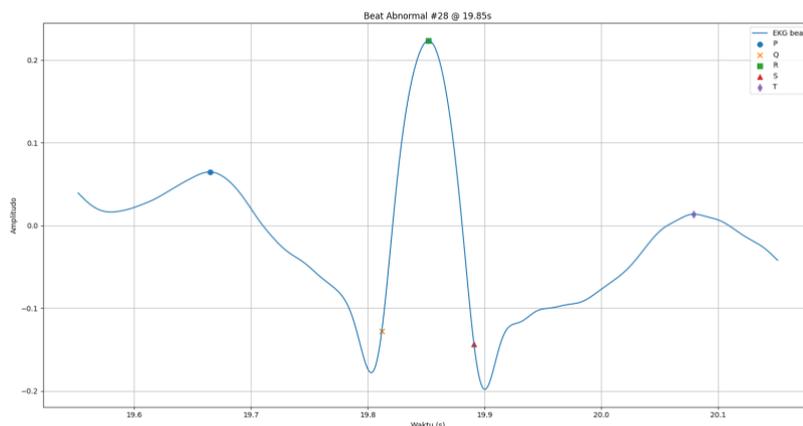
Gambar 3.5 menunjukkan evolusi waktu nilai rasio QRS/P (sumbu-y) sepanjang 120 detik, dengan garis putus-putus merah sebagai ambang 2,64. Titik-titik biru (·) menunjukkan nilai rasio setiap beat. Tampak beberapa lonjakan (lingkaran merah) yang melampaui garis ambang. Secara keseluruhan ada 5 lonjakan yang mewakili beat abnormal sesuai indeks `idx_ratio`. Grafik ini memperjelas kapan dan seberapa sering beat abnormal muncul selama rekaman. Misalnya, pada detik ~3, 18, 33, dan mendekati 115 detik rasio QRS/P mencapai ~2,7–3,3. Data ini mendukung output terminal yang menampilkan 5 beat abnormal `ratio_QRS_P`. Gejala klinis: pola lonjakan rasio yang sporadis bisa mencerminkan insiden ekstrasistol ventrikel atau transient conduction abnormal yang bersifat paroksismal.

Bentuk Sinyal EKG Beat Abnormal



Gambar 3.6a

Gambar 3.6a: Bentuk gelombang EKG beat ke-6 pada $t=3,72$ s (abnormal). Tanda-tanda P, Q, R, S, T diidentifikasi: gelombang P (titik biru) kecil (+0,06 mV), gelombang R (kotak hijau) dominan ($\sim+0,22$ mV), gelombang S (segitiga merah) dalam ($\sim-0,14$ mV), dan gelombang T (berlian ungu) moderat. Gambar ini mengilustrasikan kasus di mana gelombang P kecil relatif terhadap QRS besar. Beat ini memiliki rasio QRS/P tinggi, sehingga terdeteksi sebagai beat abnormal (`idx_ratio`). Tidak terlihat gelombang P yang hilang atau sangat terdistorsi, sehingga tidak mengindikasikan fibrilasi atrium. Gelombang S yang dalam menunjukkan depolarisasi ventricles yang kuat. Perubahan khas blok konduksi (LBBB/RBBB) tidak jelas secara visual di sini (karena hanya melihat satu lead), sehingga indeks `hf_content` mungkin normal untuk beat ini.



Gambar 3.6b

Gambar 3.6b: Bentuk gelombang EKG beat #28 pada $t=19,85$ s (abnormal). Gelombang P (titik biru) terlihat kecil ($+0,05$ mV), R (kotak hijau) sangat dominan ($\sim+0,23$ mV), S (segitiga merah) dalam ($\sim-0,16$ mV), T (berlian ungu) hampir datar ($\sim+0,01$ mV). Seperti beat #6, beat ini juga memperlihatkan P kecil dan QRS besar, sehingga rasio QRS/P tinggi (terdeteksi `idx_ratio`). Kehadiran gelombang P meski kecil menunjukkan bahwa tidak terjadi fibrilasi atrium pada beat ini. Gelombang T yang mendekati nol bisa mengindikasikan gelombang T yang datar setelah PVC, tetapi karena hanya contoh tunggal, perlu interpretasi hati-hati. Intinya, kedua contoh bentuk gelombang abnormal ini memperlihatkan **ciri fenotip rasio QRS/P tinggi (P kecil)**, mendukung penandaan oleh `idx_ratio`.

Indeks `idx_eP` (Kandidat Fibrilasi Atrial)

Indeks `idx_eP` mencari beat dengan entropi gelombang P tinggi ($entP > 1,752$), yang menunjukkan gelombang P yang tidak teratur atau menghilang. Hasilnya tidak ada beat yang memenuhi kriteria ini. Secara klinis, fibrilasi atrium (AF) dicirikan oleh aktivitas atrial yang sangat acak sehingga gelombang P normal tidak muncul (baseline fibrilasi). Nilai entropi tinggi pada gelombang P akan menandakan ketidakteraturan ini. Karena `idx_eP = 0`, artinya tidak terdeteksi AF. Hal ini konsisten dengan fakta pada Gambar 3.6a/b bahwa gelombang P terlihat ada (meski kecil dan teratur), sehingga tidak ada pola fibrilasi atrium.



Output Terminal

Berdasarkan output terminal, jumlah beat yang terdeteksi masing-masing indeks adalah:

- **idx_ratio** (rasio QRS/P > 2.64): 5 beat
- **idx_hf** (konten frekuensi tinggi > 0.001): 1 beat (kandidat LBBB/RBBB)
- **idx_cT** (centroid T < 3.940 Hz): 1 beat (kandidat Long-QT)
- **idx_eP** (entropi P > 1.752): 0 beat (tidak ada AF)

Nilai-nilai ini konsisten dengan analisis di atas. Secara klinis, beat-beat **idx_ratio** tinggi dapat berupa PVC atau takikardia ventrikel (perlu perhatian lanjut), **idx_hf** menunjuk kemungkinan blok cabang ventrikel (dapat melibatkan evaluasi lebih lanjut), dan **idx_cT** menunjukkan satu beat dengan potensi Long-QT (risiko aritmia ventrikel). Indeks **idx_eP** tidak menunjukkan bukti fibrilasi atrium pada rekaman ini.

3. SIMPULAN DAN SARAN

Analisis spektral mengungkapkan deteksi otomatis beberapa keabnormalan penting. Gambar-gambar spektrum (3.3–3.5) dan bentuk gelombang (3.6a/b) mendukung bahwa beat dengan rasio energi QRS/P tinggi telah teridentifikasi dengan benar, sementara fitur P-wave entropi maupun Twave centroid mengindikasikan insiden AF nol dan satu kandidat Long-QT. Dengan demikian, penanda spektral ini dapat memberikan sinyal awal anomaly pada EKG yang membutuhkan pemeriksaan klinis lebih lanjut.



DAFTAR PUSTAKA

- Naomi, W. S., Picauly, I., & Toy, S. M. (2021). Faktor risiko kejadian penyakit jantung koroner. *Media Kesehatan Masyarakat*, 3(1), 99-107.
- Amelia, N., Afroni, M. J., & Basuki, B. M. (2020). STUDI ARITMIA PADA DATA DISKRIT ELECTROCARDIOGRAM (ECG) UNTUK MENENTUKAN SINYAL PQRST DENGAN METODE EKSTRIMA. *SCIENCE ELECTRO*, 12(2).
- Oktaviono, Y. H. (2024). *Penyakit Jantung Koroner*. Airlangga University Press.
- Santosa, W. N., & Baharuddin, B. (2020). Penyakit jantung koroner dan antioksidan. *KELUWIH: Jurnal Kesehatan Dan Kedokteran*, 1(2), 95-100.
- Latifah, S. (2017). Merancang sistem deteksi penyakit apnea tidur obstruktif menggunakan fast fourier transform pada elektrokardiogram.
- Setiowati, S. (2020). Denoising Sinyal Electrocardiogram (Ecg) Menggunakan Metode Fast Fourier Transform Pada Sistem Deteksi Kantuk. *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan (e-Journal)*, 7(1), 789-796.
- Bartek, K. (2023). *Working with ECG — Heart Rate data, on Python*. Medium.
- Real Python. (n.d.). *Fourier transforms with scipy.fft: Python signal processing*. Real Python.
- Sana'Ramadhan, A. M. M. A. R. (2021). Rancang Bangun Monitoring Detak Jantung (Heart Rate) Sebagai Indikator Kesehatan Berbasis Internet of Things (IoT).
- Saraswati, N. P., Pratama, I. G. N., & Mahendra, I. K. D. (2021). Analisis frekuensi sinyal EKG menggunakan FFT dan filtering digital. *Jurnal Elektro Medik Indonesia*, 3(2), 88–95.
- Wulandari, A., & Hidayat, A. (2023). Pemanfaatan Python untuk deteksi gangguan jantung dengan FFT dan klasifikasi machine learning. *Jurnal Sains Komputer dan Kesehatan*, 5(3), 112–120.
- Rifali, M., & Irmawati, D. (2019). Sistem Cerdas Deteksi Sinyal Elektrokardiogram (EKG) untuk Klasifikasi Jantung Normal dan Abnormal Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST). *Elinvo (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 4(1), 49-55.

