

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kendali mutu (*Quality Control/QC*) pada pesawat *Computed Tomography* (CT) Scan merupakan suatu program sistematis yang bertujuan untuk menguji kinerja pesawat secara periodik dan membandingkannya dengan standar yang telah ditetapkan (Bushong, 2017). Tujuan utama dari program QC adalah memastikan bahwa setiap citra yang dihasilkan oleh pesawat CT Scan memiliki kualitas yang optimal dengan dosis radiasi seminimal mungkin terhadap pasien dan personel (IAEA, 2012). Citra berkualitas tinggi memberikan informasi maksimal kepada radiolog, meningkatkan peluang diagnosis yang tepat, dan pada akhirnya berkontribusi pada kualitas pelayanan pasien yang lebih baik (Bushberg dkk., 2020).

Dalam konteks CT Scan, QC merupakan komponen esensial dari program proteksi radiasi. Program ini mencakup beberapa tingkatan pengujian, mulai dari *acceptance testing* (pengujian awal saat pesawat baru terpasang), *routine performance evaluation* (pemantauan rutin harian, bulanan, hingga tahunan), hingga *error correction* (tindakan korektif jika ditemukan penyimpangan) (BAPETEN, 2011). Berbagai lembaga seperti *American College of Radiology* (ACR), *International Atomic Energy Agency* (IAEA), dan Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) di Indonesia telah menetapkan standar pengujian yang harus dipenuhi oleh setiap fasilitas pelayanan CT Scan untuk menjamin keselamatan pasien dan akurasi diagnostik (ACR, 2017; IAEA, 2012; BAPETEN, 2022). Dengan kompleksitas rekayasa pesawat CT yang melibatkan ribuan komponen mekanik dan elektronik, potensi terjadinya penurunan kualitas citra secara perlahan dan tidak terdeteksi menjadi sangat mungkin terjadi, sehingga program QC yang konsisten menjadi suatu keharusan (Nowik dkk., 2015).

Tiga parameter utama yang menjadi fokus dalam program QC pesawat CT Scan adalah akurasi CT number, keseragaman CT number (*uniformity*), dan keseragaman noise (*noise uniformity*). Ketiga parameter ini secara langsung mempengaruhi kemampuan diagnostik pesawat CT Scan (Shirazu dkk., 2025).

Akurasi CT number mengacu pada ketepatan nilai Hounsfield Unit (HU) suatu material sesuai dengan standar yang ditetapkan, di mana nilai air seharusnya 0 HU (Bushong, 2017). Pemeriksaan uji kesesuaian CT number air sangat penting karena peranannya dalam menilai serta membedakan kelainan pada organ manusia (Livia dkk., 2023). Jika akurasi CT number menyimpang dari batas toleransi, maka interpretasi densitas jaringan menjadi tidak akurat dan lesi patologis dapat terlewat (Bushberg dkk., 2020).

Keseragaman CT number (CT Number *uniformity*) mengukur seberapa homogen nilai HU di seluruh area citra, yaitu dengan membandingkan nilai HU pada ROI (*Region of Interest*) pusat dengan nilai HU pada empat ROI di posisi tepi (arah jam 12, 3, 6, 9) (ACR, 2017). Penelitian oleh Kang (2024) menunjukkan bahwa ketidaksejajaran pusat geometri antara objek dengan gantry CT dapat menyebabkan perubahan pada nilai CT number dan noise. Hal ini menunjukkan bahwa keseragaman citra sangat sensitif terhadap posisi pasien dan kalibrasi pesawat.

Keseragaman noise (*noise uniformity*) mengukur seberapa homogen nilai standar deviasi HU di seluruh area citra, dengan membandingkan nilai noise pada ROI pusat dan ROI tepi (Shirazu dkk., 2025). Noise yang tidak seragam dapat mengindikasikan adanya ketidakseimbangan *gain* antar kanal detektor atau masalah pada sistem akuisisi data (Nowik dkk., 2015). Penelitian oleh Nowik dkk. (2015) di Karolinska University Hospital menunjukkan bahwa standar deviasi air (*standard deviation of water*) merupakan nilai kuantitatif terpenting yang harus dikumpulkan sebagai bagian dari program QC harian.

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait evaluasi parameter QC pada berbagai merek pesawat CT Scan. Shirazu dkk. (2025) melakukan penilaian

terhadap akurasi CT number, keseragaman citra, dan noise pada enam pesawat CT dari berbagai vendor (Toshiba 128/640 slice, Philips 64 slice, dan General Electric 16 slice) di Accra, Ghana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai HU air yang terukur berada dalam rentang -2,31 hingga 2,21 HU dan masih memenuhi rekomendasi IAEA yaitu ± 5 HU. Penelitian tersebut juga melaporkan nilai keseragaman CT number sebesar 0,07; 0,9; dan 0,76 untuk berbagai pusat, yang semuanya berada di bawah batas toleransi ACR sebesar 5 HU.

Penelitian oleh Livia dkk. (2023) di RSUD Bunda Padang melakukan uji kesesuaian CT number air pada pesawat CT Philips. Hasil penelitian menunjukkan nilai CT number pada pusat citra berkisar antara 4,14 HU hingga 5,16 HU, namun hasil keseragaman ROI pada pusat citra dan noise telah melebihi batas toleransi yang ditetapkan oleh PERKA BAPETEN. Temuan ini mengindikasikan bahwa meskipun akurasi CT number masih dalam batas toleransi, parameter keseragaman dapat menunjukkan penyimpangan yang memerlukan tindakan korektif.

Penelitian oleh Nowik dkk. (2015) di Karolinska University Hospital melakukan pemantauan otomatis parameter kinerja utama (*key performance indicators/KPI*) pada sistem CT selama dua tahun. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemantauan tren noise dan akurasi CT number secara otomatis dapat mendeteksi kesalahan kalibrasi dan artefak cincin lebih awal, sehingga tindakan korektif dapat segera dilakukan.

Penelitian oleh Kang (2024) tentang pengaruh ketidaksejajaran pusat geometri menunjukkan bahwa CT number air yang diukur dari seluruh citra tidak melebihi ± 7 HU (masih dalam batas toleransi) bahkan ketika *phantom* digeser hingga posisi maksimal. Namun, noise yang terukur telah melebihi ambang batas 5 HU ketika *phantom* bergerak 30 mm dari *iso-center* pada sumbu X, 20 mm ke atas, dan 30 mm ke bawah pada sumbu Y. Penelitian ini menegaskan bahwa keselarasan pusat geometri sangat sensitif terhadap perubahan posisi.

Penelitian oleh Anam dkk. (2024) mengevaluasi data uji kesesuaian dari 684 pesawat CT Scan di Indonesia untuk periode 2019-2022. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari perangkat yang lulus uji dengan kondisi (*conditional pass*), 45,2% disebabkan oleh ketidakakuratan CT number air, sementara untuk perangkat yang tidak lulus uji, 75,0% disebabkan oleh kegagalan memenuhi kriteria uji dosis pasien.

Pada tahun 2025, Peneliti bersama tim pernah melakukan penelitian tentang Analisis Tren *Quality Control* Pesawat Computed Tomografi Canon 160 Slice di Rumah Sakit Bhakti Wira Tamtama Semarang selama 2 tahun. Hasil yang diperoleh menunjukkan akurasi CT number pusat citra selalu berada dalam toleransi yakni ± 4 HU. Di sisi lain, keseragaman CT *number* dan *noise* sempat mengalami nilai diluar batas toleransi (lebih dari 2 HU) pada rentang Januari – Mei 2024. Akan tetapi, kondisi ini berhasil diperbaiki setelah dilakukan kalibrasi dan perbaikan pada Juni 2024. Analisis tren QC selama dua tahun mampu menunjukkan performa pesawat CT dan mendeteksi adanya ketidakakuratan lebih dini.

Meskipun berbagai penelitian telah dilakukan, masih terdapat kesenjangan pengetahuan terkait bagaimana tren ketiga parameter QC (akurasi CT number pusat citra, keseragaman *noise*, dan keseragaman CT number) berperilaku pada pesawat CT Scan GE 32 Slice dalam periode pemantauan yang panjang, terutama di fasilitas kesehatan di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini perlu dilakukan untuk menjawab pertanyaan: bagaimana hasil analisis tren *quality control* CT Scan GE 32 slice dengan parameter akurasi CT number pusat citra, keseragaman *noise*, dan keseragaman CT number? Merujuk dari penelitian-penelitian sebelumnya serta adanya kebutuhan untuk memahami karakteristik spesifik pesawat GE 32 Slice di tempat peneliti bekerja sebagai Fisikawan Medik Part Timer, maka peneliti tertarik untuk melakukan penelitian lanjut dengan judul "Analisis Tren *Quality Control* CT Scan GE 32 Slice dengan Parameter Akurasi CT Number Pusat Citra, Keseragaman *Noise* dan Keseragaman *CT Number*."

1.2. Tujuan Penelitian

1. Menganalisis akurasi CT number pusat citra CT Scan GE 32 slice dan membandingkannya dengan batas toleransi yang ditetapkan BAPETEN
2. Menganalisis nilai keseragaman *noise* pada *phantom* air sebagai indikator kualitas citra
3. Menganalisis keseragaman CT number melalui perbandingan nilai HU pada *ROI* pusat dengan *ROI* tepi *phantom*
4. Mengidentifikasi pola perubahan ketiga parameter QC selama periode 22 bulan sebagai dasar rekomendasi jadwal kalibrasi dan pemeliharaan

1.3. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi :

1. Instalasi Radiologi sebagai bahan evaluasi program QC yang sedang berjalan dan dasar pengambilan keputusan terkait kalibrasi rutin.
2. Fisikawan Medik dan Radiografer sebagai referensi tentang karakteristik *drift* parameter QC pada pesawat GE 32 slice.
3. Manajemen Rumah Sakit sebagai justifikasi ilmiah untuk alokasi sumber daya dalam program pemeliharaan pesawat CT Scan.
4. Pengembangan ilmu Fisika Medik terutama dalam bidang jaminan kualitas pesawat CT Scan di Indonesia.