



P E D O M A N **QUALITY CONTROL (QC) ALAT & DATA PM2.5**



DIREKTORAT
LAYANAN IKLIM TERAPAN

2 0 2 5

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR GAMBAR.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
BAB I: MOTIVASI	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan Pedoman.....	2
C. Manfaat Pedoman.....	3
D. Tujuan Penulisan	3
BAB II: OPERASIONALISASI QC	4
A. Struktur, Tanggung Jawab, dan Wewenang Personel.....	4
B. Ruang Lingkup Operasional	7
BAB III: METODOLOGI QC	8
A. QC Alat (Instrument Quality Control).....	8
B. QC Data (Data Quality Control).....	18
C. Standardisasi Prosedur	26
REFERENSI.....	27

BMKG

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Struktur Organisasi BMKG	4
Gambar 2. Struktur Organisasi Deputi Klimatologi.....	5
Gambar 3. Struktur Organisasi Bidang Informasi Kualitas Udara	6
Gambar 4. <i>Beta Attenuation Monitor</i> (BAM 1020).....	9
Gambar 5. Format QC Harian	14
Gambar 6. Contoh Flag 0	20
Gambar 7. Contoh Flag 1	21
Gambar 8. Contoh Flag 2.....	21



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Pengecekan Parameter SETUP	10
Tabel 2. Flow CV	13
Tabel 3. QC Alat Periode Mingguan	15
Tabel 4. QC Alat Periode Bulanan	15
Tabel 5. QC Alat Periode Tahunan	16
Tabel 6. QC Alat Periode Tahunan	17
Tabel 7. Flagging Data PM2.5	22
Tabel 8. Kriteria Statistik untuk Validitas Data	24



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas tersusunnya Pedoman Quality Control (QC) Alat dan Data $PM_{2.5}$ ini.

Saya mengucapkan terima kasih kepada tim unit kerja Informasi Pencemaran Udara, Bidang Informasi Kualitas Udara, Direktorat Layanan Iklim Terapan BMKG atas usaha dan kerja samanya sehingga e-book ini dapat diterbitkan.

Dalam setiap perancangan suatu sistem, keberadaan sebuah Panduan untuk dapat menjadi pedoman dalam penyusunan setiap unsur pada sistem tersebut menjadi suatu nilai tambah yang menjamin optimalisasi sistem dan pencapaian sasaran yang ditargetkan. E-book ini disusun sebagai panduan teknis bagi seluruh tim unit kerja Informasi Pencemaran Udara BMKG dalam melakukan pengendalian mutu terhadap alat dan data $PM_{2.5}$ guna menjamin keandalan dan kredibilitas informasi kualitas udara yang dihasilkan.

E-book ini terdiri dari bab. Pedoman ini mengadaptasi struktur dan semangat dari dokumen Cetak Biru Layanan Kualitas Udara Indonesia, dengan fokus khusus pada aspek pengendalian mutu peralatan dan data partikulat halus ($PM_{2.5}$). Seperti yang tertera dalam sampul e-book Pedoman Quality Control (QC) Alat dan Data $PM_{2.5}$, e-book ini versi pertama. E-book ini tentunya tidak lepas dari adanya kritik, saran, dan masukan yang membangun sangat saya harapkan untuk dapat menyempurnakan dokumen ini di pemutakhiran selanjutnya.

Akhirnya, kami berharap pedoman ini dapat menjadi rujukan baku dalam pelaksanaan kegiatan QC di seluruh UPT BMKG.

Jakarta, Oktober 2025

Sub Koordinator Bidang Informasi Pencemaran Udara BMKG

(.....)

BAB I: MOTIVASI

A. Latar Belakang

Kualitas udara merupakan salah satu komponen penting yang menentukan tingkat kesehatan lingkungan dan kesejahteraan masyarakat. Udara yang bersih dan bebas polutan menjadi prasyarat utama bagi kehidupan yang sehat, stabilitas ekosistem, serta keberlanjutan pembangunan. Parameter kualitas udara terdiri atas berbagai komponen kimia dan fisika yang dapat menjadi indikator tingkat pencemaran, di antaranya partikulat (PM_{10} dan $PM_{2.5}$), sulfur dioksida (SO_2), nitrogen dioksida (NO_2), ozon (O_3), dan karbon monoksida (CO). Dari berbagai parameter tersebut, partikulat halus $PM_{2.5}$ menjadi salah satu yang paling krusial karena memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia dan visibilitas atmosfer.

$PM_{2.5}$ (Particulate Matter dengan ukuran diameter $\leq 2,5$ mikrometer) memiliki kemampuan untuk menembus jauh ke dalam sistem pernapasan dan bahkan masuk ke aliran darah, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan risiko penyakit kardiovaskular dan pernapasan. Selain itu, konsentrasi $PM_{2.5}$ juga berperan penting dalam proses penyerapan radiasi matahari, pembentukan awan, dan perubahan optik atmosfer yang berdampak pada iklim lokal maupun global. Oleh karena itu, pemantauan dan analisis data $PM_{2.5}$ yang akurat sangat penting untuk mendukung pengambilan keputusan dalam mitigasi polusi udara, perencanaan tata ruang, dan kebijakan lingkungan.

Sebagai unit kerja pusat yang memiliki mandat dalam pengelolaan data meteorologi, klimatologi, dan geofisika, BMKG berperan sentral dalam menjamin ketersediaan data kualitas udara nasional yang kredibel dan terstandar. Data yang diterima dari berbagai stasiun pengamatan menjadi dasar dalam penyusunan informasi dan analisis tren kualitas udara, yang selanjutnya digunakan untuk mendukung pengambilan kebijakan nasional di bidang lingkungan dan kesehatan udara.

Seiring dengan peningkatan jumlah stasiun pemantau partikulat dan penerapan sistem pengamatan otomatis, volume data $PM_{2.5}$ yang dikirim ke pusat terus meningkat setiap tahunnya. Namun, keberagaman kondisi alat, perbedaan lingkungan pengamatan, serta variasi kemampuan teknis operator di lapangan seringkali menyebabkan inkonsistensi kualitas data antarstasiun. Data yang diterima di pusat dapat mengandung berbagai anomali,

seperti nilai ekstrem akibat gangguan alat, kesalahan pencatatan, pengaruh cuaca ekstrem, atau gangguan komunikasi data.

Agar data yang tersimpan dan diolah di Database Kualitas Udara Nasional (DBKU) memiliki mutu yang terjamin, diperlukan suatu proses pengendalian mutu (Quality Control/QC) yang dilakukan secara konsisten, sistematis, dan terstandar di tingkat pusat. Pedoman QC ini disusun sebagai acuan internal bagi analis dan pengelola data di unit pusat dalam melakukan pemeriksaan, validasi, dan verifikasi data PM_{2.5} yang diterima dari seluruh stasiun pengamatan.

Proses QC meliputi tahapan pemeriksaan kelengkapan data, identifikasi potensi kesalahan alat melalui sistem *flagging*, validasi statistik berbasis parameter deviasi dan persentil, serta penentuan status data valid dan invalid sebelum data tersebut dimasukkan ke dalam sistem nasional. Melalui penerapan pedoman ini, diharapkan kualitas data PM_{2.5} yang dikelola di pusat menjadi lebih konsisten, andal, dan dapat digunakan sebagai dasar penyusunan informasi kualitas udara nasional yang kredibel dan berstandar ilmiah.

Lebih jauh, pedoman ini juga menjadi bagian dari sistem manajemen data kualitas udara nasional, yang bertujuan untuk memastikan bahwa setiap data yang diolah dan disajikan telah melalui proses pemeriksaan berlapis dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah. Penguatan sistem QC di tingkat pusat akan mendukung terciptanya database kualitas udara yang kredibel, konsisten antarwaktu dan antarl wilayah, serta memenuhi standar internasional (WMO/GAW dan USEPA).

Dengan demikian, penyusunan *Pedoman Quality Control (QC) Alat dan Data PM_{2.5}* ini merupakan langkah strategis BMKG dalam memperkuat tata kelola data kualitas udara nasional. E-book ini diharapkan menjadi acuan teknis bagi unit pusat dalam melaksanakan pengendalian mutu, analisis statistik, dan pengelolaan data PM_{2.5}, sehingga kualitas informasi yang dihasilkan semakin baik, representatif, dan mendukung pengambilan keputusan berbasis sains di bidang lingkungan dan kesehatan udara.

B. Tujuan Pedoman

Berdasarkan latar belakang di atas, pedoman ini bertujuan untuk memberikan acuan standar bagi pelaksanaan Quality Control alat dan data PM_{2.5} di lingkungan BMKG, meliputi aspek operasional, teknis, dan administratif.

1. Menetapkan prosedur standar dalam pengoperasian, pemeliharaan, dan kalibrasi alat pemantau PM_{2.5}.

2. Mengatur mekanisme pemeriksaan data secara berkala untuk mendeteksi dan mengoreksi anomali, kesalahan, atau data outlier.
3. Meningkatkan akurasi dan keandalan data melalui dokumentasi yang sistematis dan traceable.
4. Memfasilitasi proses audit dan evaluasi kinerja alat pemantau PM_{2.5} dengan menyediakan standar dan indikator penilaian kualitas data.
5. Mendorong efektivitas pengambilan keputusan terkait pengelolaan kualitas udara menggunakan data PM_{2.5} yang terpercaya.

C. Manfaat Pedoman

Berdasarkan uraian tujuan, manfaat yang ingin dicapai dari pedoman QC ini adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan konsistensi pelaksanaan operasional di lapangan
2. Meminimalkan kesalahan data dan meningkatkan keandalan hasil pemantauan
3. Mendukung transparansi dan keterlacakan informasi (traceability)
4. Memperkuat proses audit dan evaluasi kinerja alat
5. Meningkatkan kualitas pengambilan keputusan

D. Tujuan Penulisan

Dokumen ini disusun untuk menjadi panduan operasional dalam penerapan sistem Quality Control alat dan data PM_{2.5} secara nasional di lingkungan BMKG, termasuk integrasinya ke dalam sistem Database Kualitas Udara (DBKU).

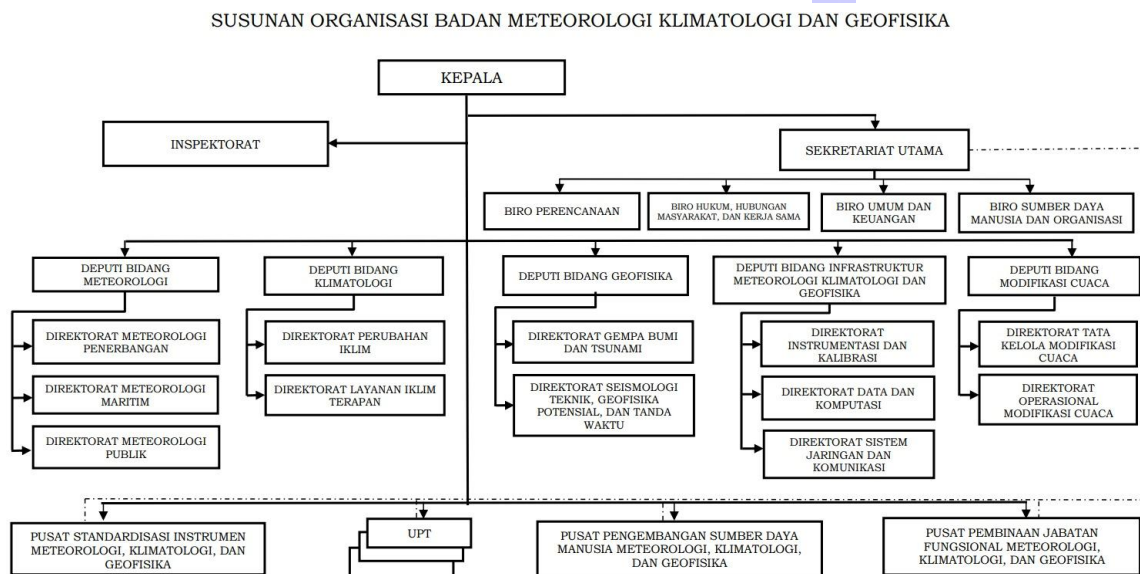
BMKG

BAB II: OPERASIONALISASI QC

A. Struktur, Tanggung Jawab, dan Wewenang Personel

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) adalah Lembaga Pemerintah Non Kementerian yang berada di bawah Presiden dan berkoordinasi dengan Menteri Perhubungan. BMKG bertugas melaksanakan pemerintahan di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika, termasuk kualitas udara. Informasi MKG berperan penting dalam keselamatan, perekonomian, serta pertahanan dan keamanan nasional. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2009, pemerintah wajib menyelenggarakan MKG melalui BMKG, serta melakukan mitigasi dan adaptasi terhadap dampak pemanasan global dan perubahan iklim.

Berdasarkan Peraturan BMKG Nomor 5 Tahun 2020, BMKG memiliki struktur organisasi seperti pada gambar berikut.

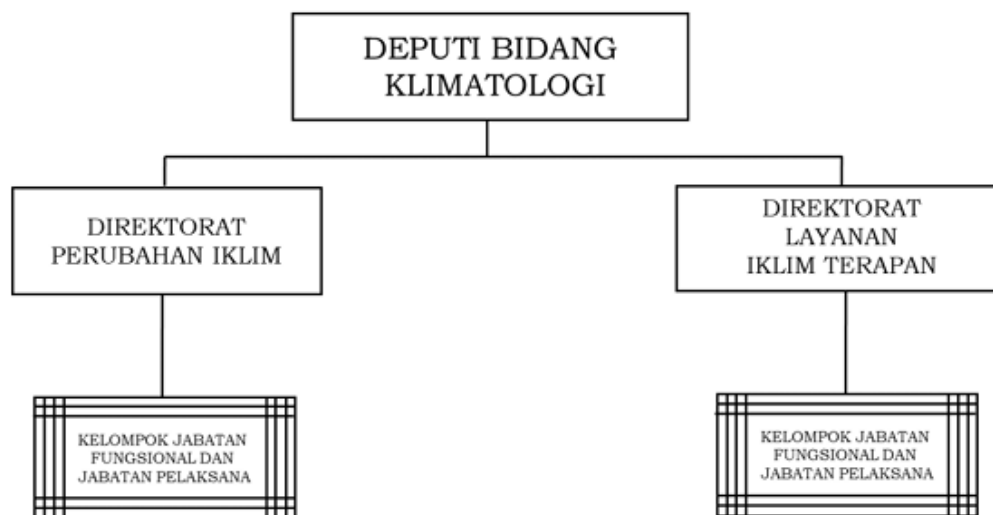


Gambar 1. Struktur Organisasi BMKG

Deputi Bidang Klimatologi dipimpin oleh deputi dan bertanggung jawab kepada kepala. Berdasarkan Peraturan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika nomor 2 tahun 2024 tugas utamanya adalah menyelenggarakan perumusan dan pelaksanaan kebijakan umum dan teknis di Bidang Klimatologi. Dalam melaksanakan tugasnya Deputi Bidang Klimatologi menyelenggarakan beberapa fungsi, yaitu:

- Merumuskan kebijakan umum dan teknis terkait pengamatan, pengolahan dan analisis data, serta pelayanan klimatologi.
- Melaksanakan kebijakan tersebut.
- Menyusun norma, standar, prosedur, dan kriteria di bidangnya.
- Memberikan bimbingan teknis, supervisi, pengendalian, dan pengawasan.
- Melakukan pemantauan, evaluasi, dan pelaporan terkait kegiatannya.
- Menyampaikan informasi dan peringatan dini kepada instansi terkait dan masyarakat mengenai perubahan iklim, kondisi iklim, dan kualitas udara, termasuk konsentrasi gas rumah kaca.
- Melaksanakan fungsi lain yang diberikan oleh Kepala BMKG.

Deputi bidang Klimatologi terdiri dari dua direktorat yaitu Direktorat Perubahan Iklim dan Direktorat Layanan Iklim Terapan yang memiliki struktur organisasi dengan bagan sebagai berikut.

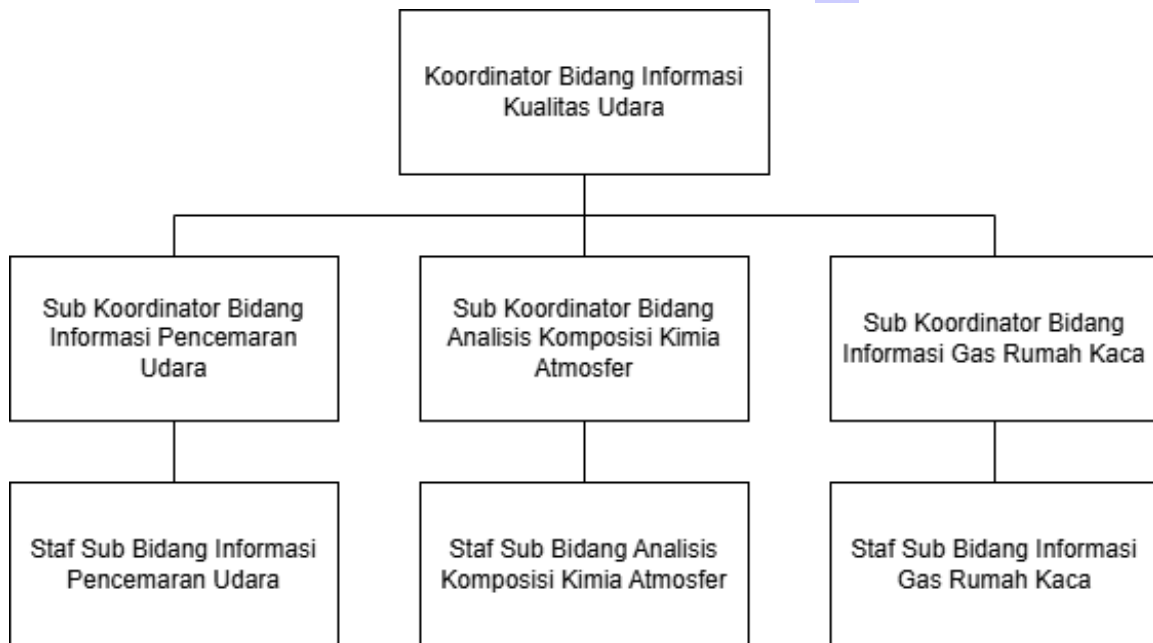


Gambar 2. Struktur Organisasi Deputi Klimatologi

Direktorat Layanan Iklim Terapan merupakan salah satu unit di bawah Deputi Bidang Klimatologi yang bertugas untuk merumuskan dan melaksanakan kebijakan teknis di bidang layanan iklim terapan. Dalam melaksanakan tugasnya Direktorat Layanan Iklim Terapan menyelenggarakan beberapa fungsi, yaitu:

- Merumuskan kebijakan umum maupun teknis terkait pengamatan, pengolahan, analisis data, serta layanan klimatologi.

- Melaksanakan kebijakan umum dan teknis dalam bidang pengamatan, pengolahan, analisis data, dan layanan klimatologi.
- Menyusun norma, standar, prosedur, serta kriteria yang berkaitan dengan pengamatan, pengolahan, analisis data, dan layanan klimatologi.
- Memberikan bimbingan teknis, melakukan supervisi, pengendalian, serta pengawasan di bidang pengamatan, pengolahan, analisis data, dan layanan klimatologi.
- Melaksanakan kegiatan pemantauan, evaluasi, serta penyusunan laporan dalam bidang pengamatan, pengolahan, analisis data, dan layanan klimatologi.
- Menyampaikan informasi serta peringatan dini kepada instansi, pihak terkait, dan masyarakat mengenai perubahan iklim, kondisi iklim, serta kualitas udara termasuk konsentrasi gas rumah kaca, baik pada masa lalu, saat ini, maupun yang diperkirakan akan datang.
- Menjalankan fungsi lain sesuai dengan penugasan dari Kepala.



Gambar 3. Struktur Organisasi Bidang Informasi Kualitas Udara

Pelaksanaan QC di lingkungan BMKG dilakukan secara terstruktur di bawah koordinasi Bidang Informasi Kualitas Udara, Direktorat Layanan Iklim Terapan. Setiap UPT berperan dalam melakukan QC alat dan data sesuai dengan standar nasional dan panduan ini.

Koordinator Bidang bertanggung jawab atas evaluasi dan pembinaan pelaksanaan QC, sedangkan Sub Koordinator dan staf teknis melaksanakan pemeriksaan rutin, kalibrasi, serta dokumentasi hasil QC harian, mingguan, dan bulanan.

B. Ruang Lingkup Operasional

Ruang lingkup QC mencakup dua komponen utama, yaitu:

1. QC Alat (Instrument Quality Control) → meliputi pemeriksaan, kalibrasi, dan validasi kinerja alat $PM_{2.5}$ otomatis
2. QC Data (Data Quality Control) → meliputi pengecekan kelengkapan, konsistensi, dan validitas data



BMKG

BAB III: METODOLOGI QC

Quality Assurance (QA) adalah sekumpulan tindakan terkoordinasi seperti rencana, spesifikasi, dan kebijakan yang digunakan untuk memastikan bahwa suatu program pengukuran menghasilkan data dengan kualitas yang diketahui.

Quality Control (QC) adalah kegiatan rutin teknis yang dirancang untuk mencapai dan mempertahankan tingkat kualitas yang telah ditetapkan dalam suatu sistem pengukuran.

Quality assurance dan quality control (QA/QC) umumnya terkait dengan keseluruhan proses pemantauan kualitas udara, termasuk pemilihan instrumen, penentuan lokasi pemantauan, proses kalibrasi dan pemeliharaan, pengumpulan dan penyimpanan data, serta kompetensi dan keahlian teknis personel (New Zealand Ministry of the Environment, 2009). QA merupakan sistem yang terintegrasi yang mencakup penetapan tujuan pemantauan dan kualitas data, perancangan jaringan pemantauan, pemilihan lokasi, evaluasi peralatan, serta pelatihan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran memenuhi standar kualitas yang telah ditetapkan. QC adalah prosedur operasional dan pemeriksaan yang digunakan untuk menilai kinerja peralatan berdasarkan kriteria yang diinginkan atau telah ditentukan. QC juga mencakup proses pemeriksaan atau perbandingan yang dilakukan selama validasi data untuk mengidentifikasi data yang tidak valid, diragukan, atau perlu disesuaikan (American Society for Quality, 2021).

A. QC Alat (Instrument Quality Control)

Pemantauan kualitas udara yang akurat merupakan fondasi dalam pengambilan keputusan berbasis data, khususnya dalam pengendalian pencemaran udara dan perlindungan kesehatan masyarakat. Instrumen *Beta Attenuation Monitor* (BAM 1020) adalah salah satu alat referensi yang digunakan secara luas di dunia untuk pengukuran otomatis konsentrasi partikulat halus $PM_{2.5}$ selama 24 jam, dengan metode **Beta Attenuation** yang telah memenuhi standar *Federal Equivalent Method (FEM)*.



Gambar 4. Beta Attenuation Monitor (BAM 1020)

Sebagai instrumen yang sensitif dan beroperasi secara berkesinambungan, BAM 1020 membutuhkan prosedur **Quality Control (QC)** yang terstruktur, konsisten, dan terdokumentasi dengan baik. Pelaksanaan QC tidak hanya memastikan alat bekerja sesuai spesifikasi pabrikan, namun juga menjamin bahwa data $PM_{2.5}$ yang dihasilkan **valid, dapat ditelusuri (traceable)**, dan memenuhi standar kualitas data nasional maupun internasional. QC alat bertujuan memastikan seluruh perangkat pemantauan $PM_{2.5}$ berfungsi dengan baik, terkalibrasi, dan menghasilkan data yang akurat. Kegiatan QC alat meliputi:

a. QC pada Instalasi dan Lingkungan Operasi

1. Lokasi Pemasangan sesuai kriteria siting $PM_{2.5}$

Sebelum memilih lokasi pemasangan terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan, seperti jarak bebas dari sumber emisi langsung, ketinggian inlet, dan jarak dari bangunan atau penghalang.

2. BAM 1020 harus berada dalam shelter/weatherproof enclosure

Alat sebaiknya ditempatkan pada shelter (walk-in atau mini enclosure) dengan suhu stabil 0–50 °C, di BMKG suhu maksimum shelter adalah 26°C dan RH < 90% non-condensing. Selain itu shelter juga harus menyediakan ruang akses belakang dan atas alat.

3. Inlet tube harus tegak lurus dan tr-grounding dengan baik

Inlet tube harus lurus (vertical/alignment), karena apabila miring dapat menyebabkan nozzle macet dan mengganggu siklus sampling. Hal ini dilakukan untuk menghindari gangguan statistik.

4. Pemasangan Smart Inlet Heater

Smart Heater terpasang pada inlet tube ± 5 cm di atas receiver BAM. Heater berfungsi untuk menghangatkan udara sampel jika RH terlalu tinggi untuk mencegah kelembapan menyebabkan pembacaan PM terlalu tinggi.

b. QC Sebelum Operasi (Initial Setup)

1. Pemanasan alat minimal 1 jam setelah power-on sampai detektor stabil

Pemanasan ini dilakukan agar detektor beta dan rangkaian elektronik mencapai kondisi stabil sebelum mulai sampling, jika tidak stabil pembacaan massa partikel bisa tidak konsisten. Sebelum siklus pengambilan sampel dimulai, alat akan menunggu hingga jam berikutnya untuk memulai siklus otomatis

2. Clock / waktu harus diset akurat

Clock (jam internal) mengontrol siklus sampling 1 jam. Jika clock tidak tepat data jam tidak sinkron dengan data logger dan siklus sampling bisa gagal atau drift. Siklus tidak akan dimulai jika belum tepat.

3. Pengecekan/peninjauan parameter SETUP

Tabel 1. Pengecekan Parameter SETUP

Menu SETUP yang dicek	Parameter yang harus dipastikan	Fungsi/Tujuan dalam QC	QC
Sample	<ul style="list-style-type: none"> COUNT TIME = 8 menit (PM_{2.5} FEM) RANGE dan OFFSET sesuai setting default (mis. RANGE 1.000 mg, OFFSET -0.015 mg) 	COUNT TIME menentukan durasi pengukuran beta pada tiap siklus 1 jam. RANGE & OFFSET mengatur skala konsentrasi dan output ke data logger.	COUNT TIME 8 min, RANGE 1.000 mg, OFFSET -0.015
Calibrate	<ul style="list-style-type: none"> FLOW RATE = 16.70 L/min FLOW TYPE = ACTUAL (PM_{2.5}) CONC TYPE sesuai 	Menjamin laju aliran udara standar PM dan perhitungan konsentrasi berdasarkan kondisi aktual.	FLOW RATE 16.7 L/min, FLOW TYPE ACTUAL, CONC TYPE ACTUAL

	(ACTUAL untuk PM _{2.5})		
Sensor	<ul style="list-style-type: none"> Scaling sensor eksternal (AT, RH, BP) Multiplier & Offset sesuai output sensor 	Memastikan pembacaan sensor met (RH/Temp/Pressure) akurat untuk kontrol heater & flow.	Channel AT, RH, BP terbaca normal
Heater	<ul style="list-style-type: none"> Heater mode = AUTO RH set point sesuai (untuk PM_{2.5} = 35% RH) 	Heater menjaga kelembapan pada filter agar tidak terjadi over-measurement akibat water artifact.	Mode AUTO, RH < set point saat heater aktif

c. QC Pada Sistem Sampling dan Flow

1. Leak Check (routine & awal instalasi)

Bertujuan untuk Memastikan flow path (jalur udara dari inlet → nozzle → filter tape → internal tubing → pompa) tertutup rapat dan tidak ada kebocoran. Kebocoran pada sistem akan menyebabkan flow yang terbaca lebih kecil atau tidak stabil sehingga konsentrasi PM menjadi salah. BAM akan menyalakan pompa dan memonitor apakah aliran turun ke nilai tertentu saat inlet ditutup. Jika **flow tidak turun** atau tidak mencapai nilai yang diharapkan → **indikasi kebocoran**. Sumber umum kebocoran, yaitu O-ring aus, tubing retak, koneksi tidak tight, nozzle tidak sealing dengan baik.

2. Flow Check & Flow Calibration

Bertujuan untuk memverifikasi apakah laju aliran udara (**flow = 16.7 LPM**) benar dan akurat, serta mengkalibrasi flow jika penyimpangan lebih besar dari batas. Operator membandingkan flow yang terbaca di BAM dengan flow calibrator eksternal, Jika selisih > $\pm 4\%$ → lakukan Flow Calibration melalui CALIBRATE > FLOW.

3. Cleaning Nozzle dan Vane Secara Berkala

Bertujuan untuk Menjaga agar **filter tape tidak tersangkut**, tekanan nozzle tetap sealing saat sampling, dan mencegah debris menyebabkan error data. Nozzle & vane berfungsi menekan filter tape saat proses pengukuran beta, jika nozzle kotor tape akan robek sehingga menyebabkan data negatif. Bersihkan nozzle dan vane

secara rutin (mingguan/bulanan tergantung lokasi polusi), gunakan alkohol swab atau compressed air dan ganti O-ring jika aus atau keras.

d. QC Pada Sistem Filter Tape

1. Instalasi filter tape dengan benar

Berujuan untuk memastikan filter tape dapat bergerak otomatis setiap jam, tidak kusut/robek, dan nozzle dapat menekan filter dengan tepat selama pengukuran. Operator harus memasang filter tape, memastikan roller tidak berada pada posisi "UP", dan alat tidak akan memulai siklus jika roller masih terkunci. Pinch roller (penjepit) harus diturunkan setelah pemasangan tape, jika roller tertinggal di posisi UP, BAM tidak akan mengambil sampel. Filter tape harus berada pada core tube/loading spindle, tidak boleh langsung ke hub, untuk menghindari slip dan masalah tensioning.

2. Self-Test setelah ganti filter tape

Self-test adalah prosedur otomatis yang mengecek seluruh mekanisme transportasi tape. Bertujuan untuk memastikan unit tidak ada fault sebelum sampling berjalan dan memverifikasi bahwa tape bergerak dan sensor yang memonitor tape berfungsi. Self test dapat dilakukan setiap kali mengganti tape dan saat indikaator error muncul (Tape Fault, Maintenance).

3. TAPE TENSION test

BAM memiliki sensor foto (photosensor) untuk mendeteksi ketegangan tape dan apakah tape putus atau tidak. TAPE TENSION test memastikan ketegangan tepat. Jika tension di layar self-test menunjukkan FAIL → tape tidak boleh digunakan untuk sampling. Jika filter tape terlalu kendur/kencang → pergerakan terganggu → BAM tidak akan melakukan sampling. Jika tape error terjadi, BAM tidak menghasilkan data valid untuk jam tersebut karena konsentrasi otomatis diisi nilai FULL SCALE sebagai tanda invalid data.

e. QC Operasional

1. Monitoring satu siklus pengukuran 1jam

Bertujuan untuk memastikan siklus berjalan lengkap setiap jam, dan memastikan nozzle turun → sampling dimulai → nozzle naik → tape bergeser. Hal-hal yang harus diperhatikan adalah tape bergerak otomatis setelah siklus selesai dan tidak ada alarm (Tape fault, Flow fail, dll.)

2. Pantau layar Normal/Instant/Average

BAM memiliki tiga layar status pada menu **OPERATE**:

- **NORMAL screen** → ringkasan kondisi operasi
Menampilkan Flow (LPM), RH filter, Heater status (ON/OFF), Ambient pressure (BP), LAST concentration (hasil jam terakhir)
- **INSTANT screen (INST)** → nilai saat ini / real-time
Dapat mendeteksi nyala heater saat RH tinggi, membantu saat troubleshooting (sensor AT, BP, RH)
- **AVERAGE screen** → rata-rata jam sebelumnya
Jika LAST C kosong → siklus tidak selesai. Jika flow di NORMAL layar tidak stabil → lakukan cek pada Flow Statistics.

3. Flow Statistics Screen

Bertujuan untuk memastikan flow stabil dan memonitor flow CV. Halaman **FLOW STATISTICS** bisa dibuka tanpa mengganggu proses sampling. Data yang ditampilkan Flow rate (LPM), Average Flow, Flow CV, AT (ambient temperature), BP (barometric pressure), dan Volume udara (m³). Interpretasi QC Flow CV (Coefficient of Variability):

Tabel 2. Flow CV

Kondisi Flow CV	Interpretasi
CV < 2%	Flow stabil (baik)
CV > 5%	Ada masalah (kebocoran, filter tersumbat, pompa lemah)
Flow error	BAM akan menghentikan sampel dan data dianggap invalid

f. QC Rutin / Preventive Maintenance

1. QC Harian (Daily Check)

Dilakukan setiap hari saat inspeksi rutin/saat pergantian shift, dengan format laporan sebagai berikut:

LAPORAN PERALATAN PEMANTAU PARTIKULAT PM 2.5

STASIUN

LOKASI :
 SERIAL NUMBER :
 TAHUN & BULAN : 2022

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----

Tgl	Time	CEK PADA MONITOR						Filter Tape	Spool Cover	Nozzle	Pompa	Signal Weather	Catatan Singkat	Operator
		Last (m)	FLOW ACT	Pressure	RH %	T (C)	Heater							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	09:00 LT													
2	09:00 LT													
3	09:00 LT													
4	09:00 LT													
5	09:00 LT													
6	09:00 LT													
7	09:00 LT													
8	09:00 LT													
9	09:00 LT													
10	09:00 LT													

Gambar 5. Format QC Harian

Keterangan:

Kolom	Fungsi QC	Standar nilai sesuai panduan
Last (m)	Konsentrasi hasil pengukuran jam terakhir (LAST C) ditampilkan di layar NORMAL.	Nilai masuk akal (tidak terlalu ekstrem).
Flow	Flow saat sampling.	16.70 L/min (harus stabil).
Pressure	Tekanan atmosfer untuk perhitungan volume udara.	Sensor valid, tidak error.
RH (%)	Digunakan untuk pengendalian Smart Heater.	Saat heater aktif RH $\leq 35\%$
T (°C)	Suhu sampel untuk flow actual/standard.	Sesuai suhu ruang shelter (maksimal 26°C)
Heater	Indikator heater ON/OFF. Menyala saat RH > set point.	ON ketika RH > 35%
Filter tape	Kondisi tape (Basah/Putus/Habis).	TAPE TENSION = OK; roller DOWN
Spool cover	Kondisi penggulung tape.	Tidak kendur
Nozzle	Kebersihan dan pelumasan O-ring.	Bersih, tidak hitam/berdebu
Pump	Suara pompa stabil (tidak bising).	Flow stabil (no FLOW ERROR)

Signal Weather	Kondisi cuaca (Haze, Fog, Smoke)	Sebagai metadata kualitas udara
Catatan	Catatan kejadian (error / perawatan)	Wajib jika ada alarm/error

2. QC Mingguan (Weekly QC)

Tabel 3. QC Alat Periode Mingguan

Poin QC	Penjelasan	Standar nilai sesuai panduan
SELF-TEST	Menguji: nozzle turun/naik, shuttle, ketegangan tape, pompa, flow. Output: "SELF TEST PASSED"	
Cleaning ringan nozzle & spool area	Nozzle kotor mengakibatkan pembacaan negatif / tape rusak.	Bacaan normal setelah dibersihkan.
Monitoring Flow CV dari Flow Statistik	FLOW CV = STD/MEAN dari flow.	FLOW CV < 2-5%

3. QC Bulanan (Monthly Preventive QC)

Tabel 4. QC Alat Periode Bulanan

Poin QC	Penjelasan	Standar nilai sesuai panduan
Leak check	Wajib dilakukan setelah instalasi dan rutin. Kebocoran dicek dengan memonitor drop aliran.	Jika bocor, maka cek O-ring, tubing, fitting.
Flow check + flow calibration	Bandingkan flow BAM dengan flow calibrator traceable .	Flow harus 16.70 L/min
Cleaning nozzle/cyclon/vane (deep celaning)	Nozzle macet jika inlet tidak lurus / kotor.	Setelah dibersihkan TAPE TENSION OK.
Periksa vacum pump	Pompa bisa overheating jika ventilasi buruk.	Suara pompa stabil dan halus.
Backup data (download via system menu)	File 0 = daily concentration, File 7 = error log.	

4. QC Tahunan (Annual QC/QA Program)

Tabel 5. QC Alat Periode Tahunan

Poin QC Tahunan	Penjelasan	Standar nilai sesuai panduan
72-hour Zero Filter Background Test (Zero-test / BKGD)	Menjalankan BAM 1020 selama 48-72 jam menggunakan <i>Zero Filter</i> untuk menentukan nilai background (<i>BKGD</i>). Zero test digunakan untuk menentukan <i>noise</i> , <i>LLD</i> , dan <i>baseline</i> alat. (<i>referensi manual: zero test & BKGD</i>)	Nilai BKGD $\approx 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, stabil sepanjang uji.
Perhitungan LOD/LLD (noise detektor beta)	LLD dihitung dari <i>instrument noise</i> (σ) pada pembacaan beta count. (<i>manual: rumus LLD = 2σ</i>)	LLD memenuhi FEM ($< 4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ untuk count 8 menit).
Service vacuum pump (penggantian carbon vane / overhaul)	Pompa vakum memiliki komponen bergerak (carbon vane) yang aus dan perlu diganti secara periodik \pm setiap 1 tahun (bergantung jam operasi).	Flow cepat stabil, tekanan pompa baik, tidak bising.
Penggantian suku cadang (parts replacement) tambahan sesuai permintaan	<ul style="list-style-type: none"> • O-ring nozzle • Filter internal • Selang pneumatik yang getas • Fan / kipas pendingin jika performa menurun Pengecekan dilakukan bersama preventive maintenance tahunan.	Komponen baru dapat mengurangi risiko kebocoran sistem (leak) menurun, memperpanjang umur alat.
Pembersihan shelter / ruang instalasi tambahan sesuai permintaan	Bersihkan ruang shelter, jalur kabel, area di sekitar inlet. Pastikan AC / ventilasi berfungsi, tidak ada debu pada komponen elektrik. Kebersihan shelter sangat berpengaruh terhadap performa pompa dan stabilitas suhu RH.	Lingkungan alat bersih, tidak pengap, tidak ada sarang serangga/debu pada panel / konektor.

g. QC Data dan Error Handling

Tabel 6. QC Alat Periode Tahunan

Kegiatan QC	Tujuan	Langkah pengecekan	Output QC
Logging Error & Alarm melalui Error Recall / Error Log	Mengidentifikasi penyebab masalah (flow, tape, nozzle, tekanan, clock, dll.) serta menentukan validitas data.	<ul style="list-style-type: none"> Masuk ke System Menu → File 7 (Error Log) Periksa jenis kode error (E, U, M, I, L, R, N, F, P, D, C, T) Pastikan error yang menyebabkan invalid data diberi flag. 	Riwayat 100 alarm/error terakhir lengkap dengan waktu kejadian.
Data Review / Daily Report (Report & System Menu)	Memastikan data jam-harian valid, tidak ada gap data, dan range konsentrasi realistis.	<ul style="list-style-type: none"> Masuk System Menu → File 0 Daily Concentration Report Cek data konsentrasi dan persen keberhasilan akuisisi data Untuk FEM PM2.5, cek flow statistics 5-menit. 	Rekap PM _{2.5} harian + % data valid serta statistik flow.
72-hour Zero Filter Background Test (BKGD Zero Test)	Menentukan nilai background mass (BKGD) & memastikan LOD/LLD sesuai.	<ul style="list-style-type: none"> Pasang Zero Filter (BX-302) Jalankan sampling selama 48-72 jam (1 jam = 1 data point) Hitung rata-rata → digunakan sebagai nilai BKGD 	Nilai BKGD baru sesuai kondisi lapangan (seharusnya $\approx 0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
External Data Logger / Communication & Backup Data	Menjamin data terekam otomatis ke sistem logger & mencegah kehilangan data.	<ul style="list-style-type: none"> Hubungkan BAM ke logger via RS-232 / analog output Analog dapat diatur untuk kirim sinyal full-scale (1.00 V) jika error 	Data tersimpan pada logger (redundant backup). Bila error terjadi, logger menerima sinyal full-scale (error flag).

		<ul style="list-style-type: none"> • Cek setting via SETUP → ERRORS 	
Download Data via Serial Communication (HyperTerminal / RS-232)	Mendapatkan raw data (jam, flow, error, BKGD, dll.) untuk analisis QC.	<ul style="list-style-type: none"> • Hubungkan ke komputer via RS-232 • Tekan ENTER → lalu tekan h untuk membuka System Menu • Pilih file (0-9) untuk download data 	Data file (concentration, error log, flow stats, dll.) tersimpan dalam format teks/CSV.

B. QC Data (Data Quality Control)

Data management merupakan kegiatan pengelolaan data mulai dari proses pengumpulan di lapangan hingga penyimpanan, validasi, dan pelaporan data. Dalam dokumen disebutkan bahwa pengelolaan data sama pentingnya dengan proses pengumpulan data itu sendiri, sehingga organisasi pemantau wajib memastikan bahwa data tersimpan dengan aman dan terdokumentasi secara tertib (EPA QA Handbook, Section 14). Sistem Data Acquisition System (DAS) digunakan untuk memisahkan data pemantauan dari data QC, melakukan penandaan (*flagging*) terhadap data yang tidak valid, serta mengotomatisasi perhitungan dan pelaporan data. Data yang dikumpulkan harus disimpan dalam bentuk rekaman elektronik dan/atau kertas dengan masa penyimpanan minimal tiga tahun sesuai ketentuan (Section 14). Dengan demikian, data yang dihasilkan dapat dikelola secara konsisten dan siap digunakan untuk kebutuhan analisis, pelaporan nasional, maupun publik.

Quality Assurance adalah serangkaian kegiatan bersifat sistematis dan terdokumentasi untuk memastikan bahwa seluruh proses pengumpulan dan pengolahan data berjalan sesuai dengan standar dan prosedur baku. QA mencakup penyusunan dokumen seperti Quality Management Plan (QMP), Quality Assurance Project Plan (QAPP), dan Standard Operating Procedures (SOP). QA juga mencakup kegiatan audit, pelatihan personel, serta tindakan perbaikan apabila ditemukan ketidaksesuaian (Appendix H QA Checklist). QA memastikan bahwa sistem pemantauan, personel, dan perangkat yang digunakan telah memenuhi persyaratan yang diperlukan sebelum kegiatan pengukuran dilaksanakan. Dengan QA, keandalan data $PM_{2.5}$ terjaga karena seluruh proses memiliki pedoman yang jelas dan terdokumentasi.

Quality Control adalah kegiatan teknis yang dilakukan untuk memverifikasi bahwa hasil pengukuran berada dalam batas penerimaan yang telah ditentukan. QC dilakukan pada setiap tahapan pengukuran, baik di lapangan maupun laboratorium. QC mencakup kegiatan seperti verifikasi laju alir, *leak check*, kalibrasi temperatur dan tekanan, penggunaan sampel *field blank* dan *lab blank*, serta pengukuran *collocated samples*. Tabel pada dokumen menyajikan daftar *PM_{2.5} Field and Laboratory QC Checks* yang mencakup frekuensi dan batas toleransi penerimaannya (Table 10-2). QC dilakukan baik secara internal oleh operator maupun eksternal melalui audit independen untuk memastikan tidak ada penyimpangan dalam proses pengukuran (Section 10.3). QC bertujuan untuk mendeteksi kesalahan secara dini, sehingga tindakan koreksi dapat segera dilakukan dan data yang tidak memenuhi syarat dapat diidentifikasi sebelum digunakan lebih lanjut.

Secara keseluruhan, QA menjamin bahwa sistem dan prosedur telah direncanakan dengan baik, QC memastikan bahwa hasil pengukuran memenuhi standar kualitas, dan Data Management menjamin bahwa data yang dihasilkan disimpan, diproses, dan dilaporkan secara akurat dan aman. Ketiga unsur ini membentuk satu kesatuan dalam siklus hidup data *PM_{2.5}* sehingga data yang diproduksi valid, konsisten, dan dapat dipertanggungjawabkan dalam penyusunan informasi kualitas udara.

QC data dilakukan untuk memverifikasi integritas, kelengkapan, dan konsistensi data hasil pemantauan. QC data *PM_{2.5}* dilakukan dengan sistem flagging. Flagging adalah proses pemberian tanda (label) atau kode pada data *PM_{2.5}* untuk menunjukkan status atau kondisi kualitas data tersebut, tanpa menghapus datanya dari database.

Dalam praktik QA/QC *PM_{2.5}*, flagging digunakan untuk mengidentifikasi data yang:

- berpotensi tidak valid
- menyimpang dari nilai normal (anomali/outlier)
- terpengaruh gangguan teknis atau operasional alat
- berasal dari kondisi lingkungan yang tidak representatif

Sistem flagging dirancang bertujuan untuk mengendalikan kualitas data sebelum digunakan dalam analisis, menghilangkan nilai tidak merepresentasikan kondisi udara sebenarnya, menjamin integritas dataset harian dan bulanan, mencegah bias perhitungan akibat kesalahan instrumen atau anomali data, dan mendukung konsistensi penerapan QA/QC di seluruh stasiun pemantauan.

Flag diterapkan secara berurutan mulai dari Flag 0 hingga Flag 2 dengan tujuan memastikan bahwa hanya data yang memenuhi kriteria validitas yang digunakan dalam pengolahan, pelaporan, dan analisis kualitas udara.

Flagging dilakukan pada **data per-jam**, dan hasilnya menjadi dasar untuk menentukan validitas data harian maupun bulanan.

A. Sistem Flagging Data PM_{2.5}

Dengan flagging, data tetap disimpan tetapi diberi penanda sehingga saat analisis atau pelaporan, pengguna tahu mana data yang aman digunakan dan mana yang harus ditinjau ulang atau dikecualikan. Berikut 3 kategori flagging data PM_{2.5}.

1. Flag 0 – Indikasi Error Instrumen Dasar

Tujuannya untuk menandai nilai yang muncul akibat **error instrumen**, seperti kegagalan sensor, pembacaan kosong, atau gangguan komunikasi data. Nilai-nilai ini tidak mewakili kondisi udara sebenarnya sehingga tidak dapat digunakan dalam pengolahan data. Status data yang diberikan yaitu **Remove** (data dihapus dari proses perhitungan). Berikut kriteria yang menandakan flag 0:

- Nilai PM_{2.5} < 0 (negatif)
- Nilai PM_{2.5} = 99999,9
- Contoh: Data PM_{2.5} Kemayoran bulan maret 2025

	A	B	C	D	E	F	G
1	TANGGAL	JAM	STASIUN	PM25	Flag 0	Flag 1	Flag 2
2	28/02/2025		0 KEMAYORAN3	-0.3	Remove		
619	25/03/2025	19	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
627	26/03/2025	12	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
632	26/03/2025	20	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
640	27/03/2025	11	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
643	27/03/2025	16	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
655	28/03/2025	11	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
659	28/03/2025	17	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
671	29/03/2025	15	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
684	30/03/2025	5	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
685	30/03/2025	7	KEMAYORAN3	99999.9	Remove		
726							
727							

Gambar 6. Contoh Flag 0

2. Flag 1 – Indikasi adanya outlier atau nilai ekstrim

Tujuannya untuk mengidentifikasi data yang secara statistik berada jauh di luar pola normal (5-SD outlier), yang umumnya disebabkan oleh **kesalahan instrumentasi**, misalnya:

- Sensor instrumen tidak stabil
- Kesalahan mekanisme sampling
- Gangguan internal alat
- Kontaminasi internal alat
- Contoh: Data PM_{2.5} Kemayoran PM_{2.5} bulan Maret 2025

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TANGGAL	JAM	STASIUN	PM25	Flag 1				
623	25/03/2025		23 KEMAYOR.	145.1	Invalid				
726							rata-rata	22.83	
727							standar deviasi	19.59	
728							batas invalid	120.77	
729									
730									
731									
732									
733									

Gambar 7. Contoh Flag 1

Status data yang diberikan yaitu Invalid, dengan kriteria sebagai berikut:

- Nilai PM_{2.5} \geq (Rata-rata bulan berjalan + 5 \times Standar Deviasi)

3. Flag 2 – Indikasi adanya outlier atau nilai ekstrim

Tujuannya untuk menandai nilai ekstrim yang berada pada batas atas distribusi data bulanan dan berpotensi muncul akibat:

- Gangguan alat
- Obstruksi inlet (serangga, debu, residu)
- Kejadian spike singkat tanpa dukungan data meteorologi
- Error aliran
- Contoh: Data PM_{2.5} Kemayoran PM_{2.5} bulan Maret 2025

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	TANGGAL	JAM	STASIUN	PM25	Flag 2				
144	05/03/2025		22 KEMAYOR.	100.8	Invalid				
145	05/03/2025		23 KEMAYOR.	111.6	Invalid				
245	10/03/2025		3 KEMAYOR.	88	Invalid		nilai 99% persentil	87.974	
257	10/03/2025		15 KEMAYOR.	90.7	Invalid				
264	10/03/2025		22 KEMAYOR.	91.3	Invalid				
267	11/03/2025		1 KEMAYOR.	89.8	Invalid				
272	11/03/2025		6 KEMAYOR.	107.5	Invalid				
623	25/03/2025		23 KEMAYOR.	145.1	Invalid				
726									

Gambar 8. Contoh Flag 2

Status data yang diberikan yaitu Invalid, dengan kriteria sebagai berikut:

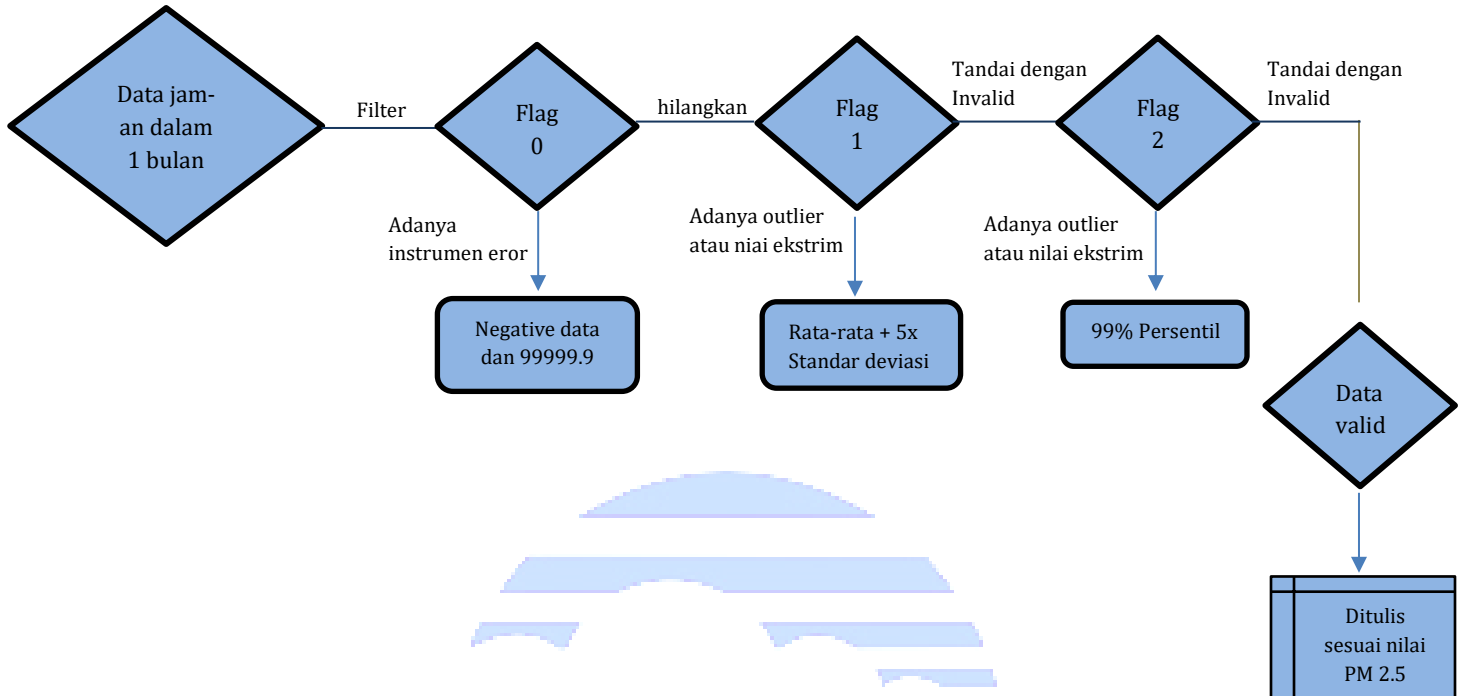
- Nilai $PM_{2.5} \geq$ Persentil ke-99 (99th Percentile) dari data bulan yang sama
4. Flag Valid – Data asli yang berhasil melampaui semua tahap flagging
Tujuannya dapat digunakan sebagai dasar perhitungan statistik harian, bulanan, analisis kualitas udara, indeks, maupun pelaporan, dengan kriteria sebagai berikut:
- Tidak termasuk Flag 0, Flag 1, maupun Flag 2
- Status data yang diberikan yaitu Valid (nilai asli yang digunakan)

Tabel 7. Flagging Data $PM_{2.5}$

Flag	Kriteria	Status Data	Tujuan
0	$PM_{2.5} < 0$ (negative) atau $PM_{2.5} = 99999.9$	Remove	Menghilangkan nilai negatif karena gangguan instrumen
1	$PM_{2.5}$ di atas Rata-rata + 5 kali Standar Deviasi pada bulan tersebut	Invalid	Menandai adanya outlier atau nilai ekstrim
2	$PM_{2.5}$ di atas 99% Persentil dari sepanjang series data yang ada	Invalid	Menandai adanya outlier atau nilai ekstrim
$PM_{2.5}$ Valid* = Konsentrasi $PM_{2.5}$ lulus uji Flag			

Keterangan:

- Data mentah $PM_{2.5}$ adalah data Flag 0.
- QC data $PM_{2.5}$ ini harus memenuhi kriteria dari Flag 0 hingga Flag 2, dimana basis datanya diambil dari data per-jam yang dihasilkan pada bulan yang sama pada data mentah $PM_{2.5}$.
- Untuk informasi web dan aplikasi data $PM_{2.5}$ yang digunakan adalah data $PM_{2.5}$ valid yang telah melewati Flag 0 sampai dengan Flag 2.



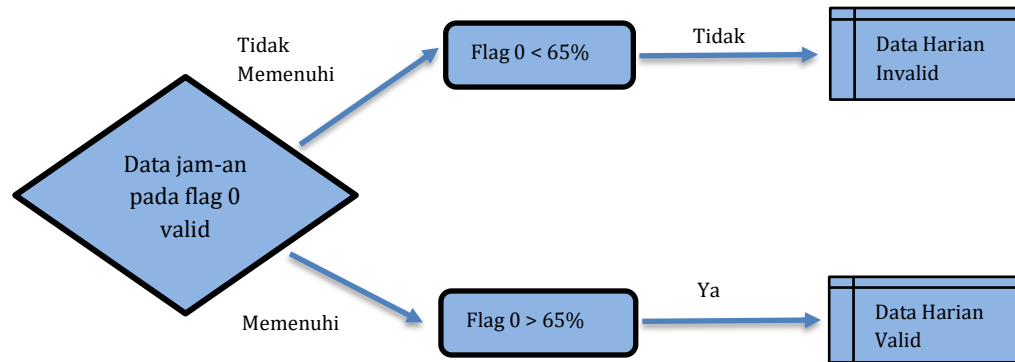
B. Kriteria Statistik untuk Validitas Data

Proses validitas data PM_{2.5} bertujuan untuk memastikan bahwa data yang digunakan dalam analisis, perhitungan indeks, dan pelaporan kondisi kualitas udara memenuhi standar kualitas yang ditetapkan. Kriteria statistik data kualitas udara dibagi menjadi 2 kriteria, yaitu:

1. Rata Harian

Kriteria yang harus dipenuhi untuk rata harian, yaitu:

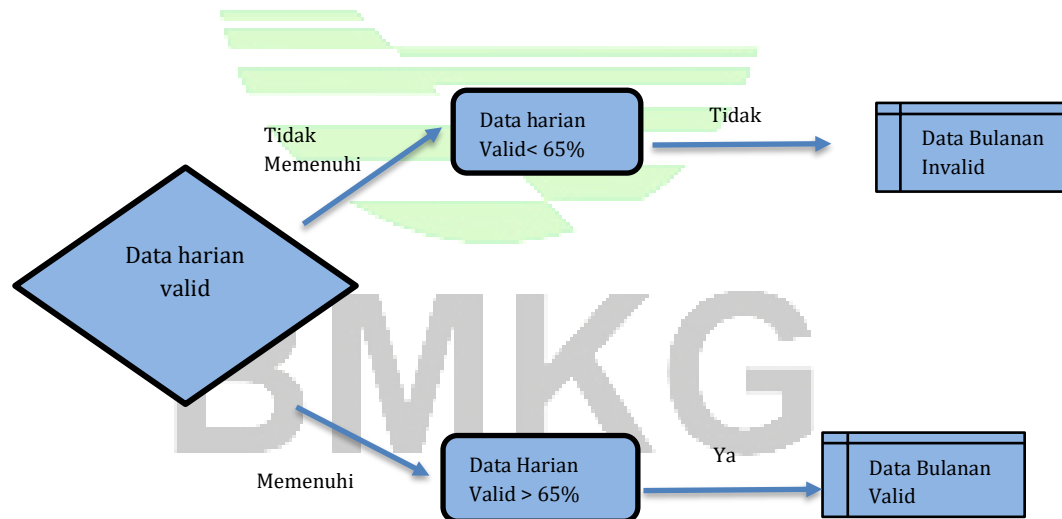
- Data yang digunakan untuk menghitung rata-rata harian adalah data per jam yang valid dari flag 0
- Data per-jam yang valid dari flag 0 ini harus memenuhi minimal 65% data valid agar dapat digunakan untuk menghitung rata harian
- Jika data jam-an yang valid dari flag 0 < 65% maka data harian berstatus **invalid**



2. Rata Bulanan

Kriteria yang harus dipenuhi untuk rata bulanan, yaitu:

- Data yang digunakan untuk menghitung rata-rata bulanan adalah data harian yang valid
- Data harian yang valid ini harus memenuhi minimal 65% data valid agar dapat digunakan untuk menghitung rata bulanan
- Jika data harian yang valid <65% maka data bulanan berstatus **invalid**



Tabel 8. Kriteria Statistik untuk Validitas Data

Level Statistik	Basis Data	Kriteria Valid	Status Data
Rata Harian	Data jam-an pada flag 0 valid	65% data jam-an dalam 1 hari valid	Jika basis data <65% → data harian invalid

Rata Bulanan	Data harian valid	65% data harian dalam 1 bulan valid	Jika basis data <65% → data bulanan invalid
--------------	-------------------	-------------------------------------	---

C. Prosedur QC Data

Untuk menjamin akurasi, konsistensi, dan keandalan data $PM_{2.5}$ yang dihasilkan oleh sistem pemantauan kualitas udara, diperlukan serangkaian prosedur Quality Control (QC) yang dilakukan secara sistematis dan berkesinambungan. Prosedur QC ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap data yang masuk telah melalui proses verifikasi, penyaringan, serta evaluasi yang sesuai dengan standar teknis dan statistika. Melalui proses QC yang terstruktur, potensi kesalahan instrumen, nilai ekstrem, maupun anomali dalam data dapat diidentifikasi sejak dini sehingga hanya data yang valid dan representatif yang digunakan dalam perhitungan harian, bulanan, maupun pelaporan kualitas udara. Adapun langkah-langkah QC data yang diterapkan dalam pedoman ini meliputi:

1. Pengecekan Data Hilang (Missing Data)

Langkah ini bertujuan untuk mengidentifikasi periode waktu ketika data tidak terekam oleh instrumen atau tidak berhasil tersimpan dalam sistem akuisisi data (DAS).

Pada tahap ini, operator memeriksa:

- nilai kosong atau tanda “NaN”,
- data yang tidak terbaca akibat gangguan komunikasi,
- kehilangan data karena pemadaman listrik atau kesalahan logger,
- ketidaklengkapan data per-jam dalam satu hari.

Jika data hilang melebihi batas kelengkapan yang disyaratkan (<65% dalam sehari), maka data harian dan/atau bulanan harus diberi status **invalid**. Identifikasi missing data penting agar tidak terjadi bias dalam perhitungan rata-rata harian dan bulanan.

2. Identifikasi Outlier dan Anomali

Outlier merupakan nilai ekstrim yang berbeda jauh dari pola umum data dan dapat disebabkan oleh gangguan alat, noise instrumen, atau kondisi lingkungan. Proses ini mencakup:

- pemeriksaan nilai yang melebihi batas statistik (misalnya >5 standar deviasi atau berada di atas persentil ke-99),

- pemantauan spike mendadak yang tidak didukung oleh fenomena meteorologi,
- pendeteksian nilai negatif atau nilai ekstrem seperti 99999.9.

Outlier tidak boleh langsung dihapus, tetapi harus diverifikasi penyebabnya terlebih dahulu melalui logbook alat dan catatan operasional. Jika outlier terbukti tidak representatif, maka data diberi flag **invalid**.

3. Penentuan Status Data (Valid, Invalid) berdasarkan sistem flagging

Tahap ini adalah inti dari QC, yaitu menetapkan status akhir setiap data berdasarkan aturan flagging (Flag 0-2). Hasil akhirnya jika seluruh data memenuhi kriteria flag 0 hingga flag 2 ditandai dengan valid. Aturan yang dipakai dapat dilihat pada tabel.

4. Pencatatan Hasil Koreksi dan Dokumentasi Perubahan Data

Setiap tindakan QC harus disertai pencatatan yang jelas untuk memastikan akuntabilitas dan keterlacakan data (traceability). Dokumentasi meliputi:

- waktu dan jenis koreksi yang dilakukan
- nilai data sebelum dan sesudah koreksi
- alasan penyisipan, penghapusan, atau perubahan nilai
- referensi logbook atau bukti gangguan instrumen
- identitas petugas yang melakukan peninjauan QC.

Dokumentasi perubahan penting terutama untuk audit QA, evaluasi performa instrumen, dan rekonstruksi kejadian pengukuran di masa depan.

C. Standardisasi Prosedur

Seluruh kegiatan QC harus mengacu pada Standard Operating Procedures (SOP) yang telah ditetapkan. SOP mencakup format form QC harian, mingguan, dan bulanan, serta panduan pengisian logbook alat. Dokumen QC harus tersimpan dengan baik sebagai bagian dari sistem manajemen mutu BMKG.

REFERENSI

- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). *Peraturan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Nomor 2 Tahun 2024 tentang Organisasi dan Tata Kerja BMKG*. Jakarta: BMKG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2024). *Cetak Biru Informasi Kualitas Udara – Pusat Layanan Informasi Iklim Terapan BMKG*. Jakarta: BMKG.
- Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2025). *Laporan Quality Control Data PM_{2.5} – Kedeputan Bidang Klimatologi*. Jakarta: BMKG.
- European Commission. (2013). *Guide to the Demonstration of Equivalence of Ambient Air Monitoring Methods*. Brussels: Directorate-General for Environment.
- European Environment Agency. (2020). *Air Quality Manual for Europe*. Copenhagen: EEA.
- Met One Instruments. (2018). *BAM-1020 Continuous Particulate Monitor: Operation Manual*. Oregon, USA: Met One Instruments Inc.
- Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3rd ed.). New York: John Wiley & Sons.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2002). *EPA QA/G-8: Guidance on Environmental Data Verification and Data Validation*. Office of Environmental Information.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2006). *EPA QA/G-9S: Data Quality Assessment: Statistical Tools for Practitioners*. Office of Environmental Information.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2016). *Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems, Volume II: Ambient Air Quality Monitoring Program* (EPA-454/B-17-001). Office of Air Quality Planning and Standards.
- World Health Organization. (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines*. Geneva: WHO.

Chang, D., & Hanna, S. (2004). Air Quality Data Management and Validation. *Journal of the Air & Waste Management Association*.

