

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAU CUACA KAWASAN NUKLIR SERPONG

Arif Yuniarto, Agus Gindo S., Budihari H.P.
Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN

ABSTRAK

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAU CUACA KAWASAN NUKLIR SERPONG.

Meteorologi mempunyai peranan yang penting dalam membantu memperkirakan kemampuan udara untuk menyebarkan zat pencemar. Pengoperasian Reaktor Serba Guna dan instalasi nuklir penunjang di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) menimbulkan potensi lepasan zat radioaktif ke lingkungan dan penduduk. Penyebaran zat radioaktif di udara sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca tersebut. Pada tahun 2009 telah dilakukan revitalisasi sistem pemantau cuaca dengan melakukan penggantian sensor cuaca pada ketinggian 4, 15 dan 60 meter. Pada tahun 2011 dilakukan pengembangan pengolahan data meteorologi dengan tampilan di website yang digabungkan dengan pemantauan laju dosis udara ambien. Pada tahun 2012 dilakukan pengembangan sistem pemantauan cuaca yang meliputi penambahan sensor cuaca pada ketinggian 30 m, penambahan kapasitas hard disk, penggantian format database dari Microsoft Access menjadi Microsoft SQL, serta pengembangan perangkat lunak pengolah data arah dan kecepatan angin untuk tampilan cakrawala angin. Tujuan utama pengembangan sistem pemantau cuaca ini adalah untuk meningkatkan kualitas pengamatan meteorologi. Hasil evaluasi terhadap pengembangan sistem pemantau cuaca KNS menunjukkan bahwa seluruh komponen yang dikembangkan telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Validasi data cuaca pada sensor 30 m yang baru terpasang dilakukan dengan menggunakan rentang standar kinerja pada spesifikasi perangkat, menggunakan kriteria penyaringan data seperti yang disarankan oleh U.S. Environmental Protection Agency serta membandingkan kecenderungan perubahan nilai untuk parameter yang sama pada ketinggian sensor yang berbeda.

Kata kunci : sistem pemantau cuaca, penyebaran zat radioaktif, lingkungan dan penduduk

ABSTRACT

DEVELOPMENT OF METEOROLOGICAL MONITORING SYSTEM AT SERPONG NUCLEAR AREA. Meteorology has an important role in helping to predict the ability of air to disperse contaminants. The operation of Multipurpose Reactor and nuclear installations support in Serpong Nuclear area (KNS) generates a potential release of radioactive substances into the environment and residents. The dispersion of radioactive substances in the air is strongly influenced by the weather conditions. In the year 2009, meteorological monitoring system has been revitalized by replacing weather sensors at a height of 4, 15 and 60 meters. In the year 2011, it has been developed on meteorological data processing by publishing on the website coupled with the monitoring of ambient air dose rate. In the year 2012, it has been developed by some changes includes addition of weather sensors at a height of 30 m, addition of hard disk capacity, replacement of Microsoft Access database format into Microsoft SQL, and improvement on data processing software of wind direction and wind speed for windrose display. The main purpose of meteorological monitoring system revitalization is to improve the quality of meteorological observations. Evaluation of the improvement of KNS meteorological monitoring system showed that all improved components have operated as expected. Validation of weather data at 30 m in the new sensor installed was done using standard range performance on the device specifications, using data filtering criteria as suggested by the U.S. Environmental Protection Agency and comparing changes in the same parameter values for different sensor altitude.

Keywords: meteorological monitoring system, dispersion of radioactive substances, environment and population

PENDAHULUAN

Pengoperasian Reaktor Serba Guna dan instalasi nuklir penunjang di Kawasan Nuklir Serpong (KNS) menimbulkan potensi lepasan zat radioaktif ke lingkungan dan penduduk. Penyebaran zat radioaktif di udara sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dari waktu ke waktu. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pemantau cuaca (meteorologi) dalam rangka memantau perubahan cuaca setiap saat secara kontinyu.

Berkaitan dengan zat pencemar, meteorologi mempunyai peranan yang penting dalam membantu memperkirakan kemampuan udara untuk menyebarkan zat pencemar tersebut. Sebagian unsur-unsur atmosfer sangat penting bagi kehidupan manusia, sebagian tidak berbahaya dan sebagian lagi dapat merugikan bahkan membahayakan kehidupan manusia baik langsung maupun tidak langsung. Pengalaman menunjukkan bahwa meskipun sumber pencemar mengeluarkan zat pencemar setiap hari dalam jumlah yang sama, tetapi ternyata udara relatif bersih, dan adakalanya sebaliknya udara menjadi sangat kotor. Hal ini memberikan indikator bahwa kondisi meteorologi mempengaruhi konsentrasi pencemar yang berbeda di permukaan tanah. Pencemaran udara lokal biasanya dapat dihamburkan atau dapat dihindari oleh adanya sirkulasi udara umum. Peranan atmosfer pada pencemaran udara adalah bertindak sebagai pengencer konsentrasi pencemar atau bertindak sebagai penghalau pencemar udara, tetapi juga bertindak sebagai sumber pendaauran kembali pencemar tersebut. Arah dan kecepatan angin dapat menunjukkan arah penyebaran dan fluktuasi konsentrasi pencemar di atmosfer. Angin kencang memiliki pergolakan yang kuat sehingga konsentrasi pencemar menjadi encer. Angin reda memiliki pergolakan yang lemah sehingga konsentrasi pencemar menjadi pekat. Perubahan suhu terhadap ketinggian dapat mengindikasikan tingkat stabilitas atmosfer dan lapisan inversi suhu. Keduanya berpengaruh pada kualitas udara. Inversi berbahaya adalah lapisan dengan konsentrasi pencemar di permukaan tanah sangat tinggi. Sebaliknya curah hujan dapat bertindak sebagai pencuci atmosfer dan mengurangi penyebaran pencemar.

Pada tahun 2009 telah dilakukan revitalisasi sistem pemantau cuaca dengan melakukan penggantian sensor cuaca pada ketinggian 4, 15 dan 60 meter serta perangkat lunaknya. Pada ketinggian 4 m terpasang sensor curah hujan dan radiasi matahari. Pada ketinggian 15 m dan 60 m terpasang sensor untuk mengamati arah dan kecepatan angin, suhu udara, kelembaban relatif serta tekanan udara. Data cuaca dikirim dari sensor ke server melalui modem nirkabel secara kontinyu. Sistem pemantau cuaca mulai mengoleksi data pada tanggal 15 Oktober 2009. Data cuaca dapat dianalisis secara statistik untuk mendapatkan data minimum, maksimum dan rata-rata harian. Data arah dan kecepatan angin juga dapat dibuat cakra angin (*windrose*) dan dari data gabungan kecepatan angin dan solar radiasi dapat ditentukan kelas kestabilan udaranya.

Pada tahun 2011 dilakukan pengembangan pengolahan data meteorologi dengan tampilan di *website* yang digabungkan dengan pemantauan laju dosis udara ambien. Tautan *website* pemantauan cuaca dan laju dosis udara ambien dapat dilihat di www.batan.go.id dengan nama tautan *Env. Radiation Monitoring*. Untuk pengguna yang mengakses dengan jaringan intranet BATAN dapat

menggunakan pilihan tautan *via intranet (Local BATAN)*, sedangkan untuk mengakses dengan jaringan di luar intranet BATAN dapat menggunakan pilihan tautan *via internet*.

Pada tahun 2012 dilakukan pengembangan atau kapitalisasi sistem pemantauan cuaca. Kegiatan pengembangan sistem pemantau cuaca ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas pengamatan meteorologi di sekitar KNS. Pengembangan sistem ini meliputi penambahan sensor cuaca pada ketinggian 30 m, penambahan kapasitas hardisk server, penggantian format database dari *Microsoft Access* menjadi *Microsoft SQL*, serta pengembangan perangkat lunak pengolahan data arah dan kecepatan angin untuk tampilan cakra angin.

DASAR TEORI

Meteorologi adalah ilmu yang mempelajari tentang atmosfer. Kondisi atmosfer pada suatu saat disebut cuaca, sedangkan rata-rata dari cuaca dalam periode yang panjang disebut iklim. Unsur utama pembentuk cuaca dan iklim adalah suhu udara, tekanan udara, kelembaban udara, curah hujan, angin dan durasi pancaran sinar matahari. Faktor-faktor yang mempengaruhi unsur cuaca dan iklim sehingga dapat membedakan cuaca atau iklim di suatu tempat dengan tempat lain antara lain radiasi matahari, distribusi darat dan laut, sel tekanan tinggi dan rendah, massa udara, pegunungan, arus laut dan badai siklonik [1].

Suhu Udara

Suhu udara merupakan unsur cuaca dan iklim yang sangat penting, namun sulit didefinisikan. Secara fisis suhu dapat didefinisikan sebagai tingkat gerakan molekul benda, makin cepat gerakan molekul, makin tinggi suhunya. Suhu juga dapat didefinisikan sebagai tingkat panas suatu benda.

Untuk menyatakan suhu udara digunakan beberapa skala, diantaranya yang lazim dipakai adalah skala Fahrenheit dan skala Celcius. Sebagian besar negara di dunia termasuk Indonesia menggunakan skala Celcius terutama untuk pelaporan dan analisis data cuaca dan iklim.

Suhu udara bervariasi menurut tempat dan waktu, karena pemanasan udara di permukaan bumi. Karena udara bercampur secara dinamis maka semakin tinggi tempat dari permukaan laut, maka suhunya akan semakin rendah. Variasi suhu harian menjelaskan kondisi cuaca pada hari dan tempat tertentu. Di daerah tropis suhu udara maksimum terjadi sesudah tengah hari, biasanya antara jam 12.00 dan jam 14.00 waktu setempat, yakni sekitar 1-2 jam setelah kulminasi matahari tertinggi pada tengah hari, sedang suhu udara minimum terjadi pada waktu fajar menjelang matahari terbit, sekitar jam 06.00 waktu setempat. Variasi suhu musiman lebih menggambarkan keadaan iklim suatu daerah, yang digambarkan oleh suhu harian rata-rata yang berbeda dari hari ke hari.

Perubahan suhu terhadap ketinggian dapat menyatakan tingkat stabilitas atmosfer dan lapisan inversi suhu yang berpengaruh pada kualitas udara. Inversi berbahaya adalah lapisan dengan konsentrasi pencemar di permukaan tanah sangat tinggi.

Kelembaban Udara

Kelembaban udara adalah besarnya kadar uap air yang dikandung oleh udara, biasanya disebut kelembaban nisbi atau kelembaban relatif (*relatif humidity* disingkat RH). Satuan RH dinyatakan dalam persen (%), karena RH merupakan perbandingan antara kelembaban aktual dengan kapasitas udara untuk menampung uap air. Kelembaban udara sangat erat kaitannya dengan suhu udara, dengan korelasi yang berlawanan sehingga mengakibatkan RH akan lebih rendah pada siang hari. Variasi bulanan RH umumnya seirama dengan variasi curah hujan bulanan.

Angin

Secara umum, angin adalah gerakan udara horizontal atau sejajar dengan permukaan bumi dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah dengan asumsi bahwa seluruh gerakan udara vertikal dapat diabaikan karena kecepatannya relatif kecil akibat direduksi oleh gaya gravitasi bumi. Angin diberi nama sesuai dengan dari arah mana angin datang, misalnya angin barat adalah angin yang datang dari arah barat, dan angin laut adalah angin yang bertiup dari laut ke darat.

Secara klimatologis arah angin diamati dalam 8 penjuru, tetapi dalam dunia penerbangan diamati dalam 16 penjuru. Angin adalah besaran vektor yang mempunyai arah dan kecepatan. Arah dinyatakan dalam derajat ($^{\circ}$) dan kecepatannya dinyatakan dalam satuan meter per detik, kilometer per jam, dan knot (1 knot = 1,8 km/jam).

Dalam pengamatan di KNS, arah mata angin dibagi menjadi 16 penjuru sebagai berikut :

Utara / <i>North (N)</i>	: 360 $^{\circ}$
Utara Timur Laut / <i>North North East (NNE)</i>	: 22,5 $^{\circ}$
Timur Laut / <i>North East (NE)</i>	: 45 $^{\circ}$
Timur Timur Laut / <i>North East East (NEE)</i>	: 67,5 $^{\circ}$
Timur / <i>East (E)</i>	: 90 $^{\circ}$
Timur Tenggara / <i>South East East (SEE)</i>	: 112,5 $^{\circ}$
Tenggara / <i>South East (SE)</i>	: 135 $^{\circ}$
Selatan Tenggara / <i>South South East (SSE)</i>	: 157,5 $^{\circ}$
Selatan / <i>South (S)</i>	: 180 $^{\circ}$
Selatan Barat Daya / <i>South South West (SSW)</i>	: 202,5 $^{\circ}$
Barat Daya / <i>South West (SW)</i>	: 225 $^{\circ}$
Barat Barat Daya / <i>South West West (SWW)</i>	: 247,5 $^{\circ}$
Barat / <i>West (W)</i>	: 270 $^{\circ}$
Barat Barat Laut / <i>North West West (NWW)</i>	: 292,5 $^{\circ}$
Barat Laut / <i>North West (NW)</i>	: 315 $^{\circ}$
Utara Barat Laut / <i>North North West (NNW)</i>	: 337,5 $^{\circ}$
Angin Tenang (Calm)	: 0 $^{\circ}$

Curah Hujan

Curah hujan adalah bentuk presipitasi yang sering dijumpai. Di Indonesia yang dimaksud dengan presipitasi adalah curah hujan. Curah hujan merupakan unsur iklim yang sangat penting bagi kehidupan di bumi. Jumlah curah hujan dicatat dalam milimeter atau inci. Jumlah curah hujan 1 mm, menunjukkan tinggi air hujan yang menutupi permukaan 1 mm, jika air tersebut tidak meresap ke dalam tanah atau menguap ke atmosfer.

TATA KERJA

Bahan, Peralatan, dan Waktu Kegiatan

Peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini antara lain sensor cuaca (*combo WXT 520 Vaisala*), *wireless modem (RF modem Xcite-Digi PKG 900 MHz)*, *solar panel set (Sundaya 21 Watt)*, *data logger (DX4)*, *PCI card*, *hard disk server* kapasitas 1 TB, lengan/arm sensor stainless steel 1,5 meter, dan perangkat lunak pengoperasian (*Data Grabber* dan *Projex Measurement Information System*). Kegiatan pengembangan ini dilaksanakan pada tahun 2012.

Metode Kegiatan

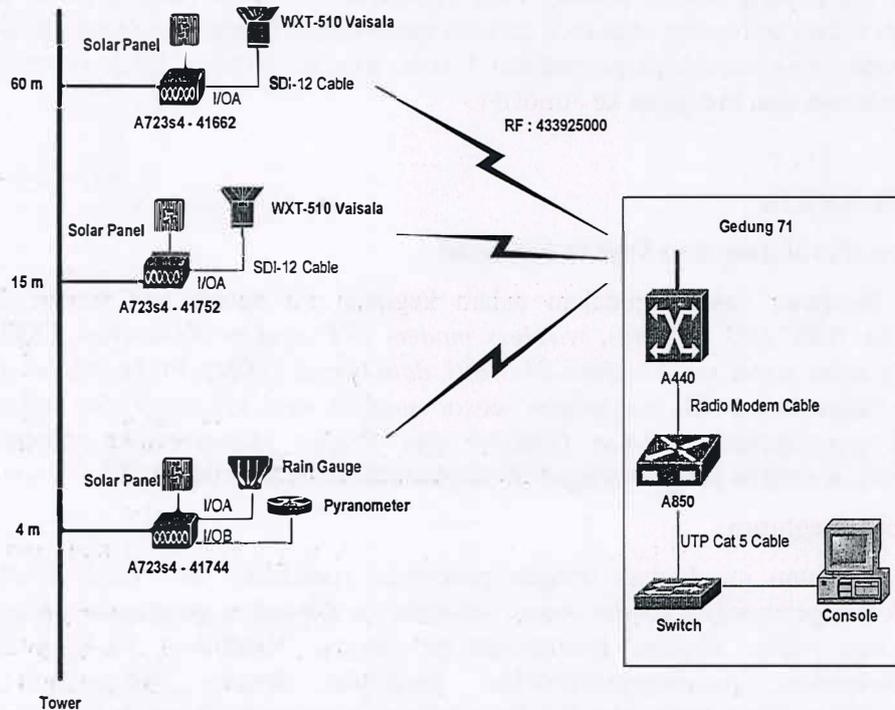
Kegiatan ini diawali dengan penentuan spesifikasi alat yang diperlukan untuk pengembangan sistem cuaca, selanjutnya dilakukan pengajuan pengadaan alat dan bahan melalui mekanisme pelelangan. Kemudian pihak pemasok melaksanakan pemasangan/instalasi peralatan dengan pengawasan dan pemeriksaan pihak pengguna. Setelah peralatan terpasang dilakukan uji fungsi dan selanjutnya data dievaluasi kemudian diserahkan. Peralatan yang terpasang dilengkapi dengan layanan purna jual selama satu tahun.

Sensor *Combo* dipasang di menara pada ketinggian 30 meter menggunakan lengan *stainless steel* sepanjang 2 meter. Satu daya sensor *Combo* dan *RF modem* menggunakan *solar cell 21 Watt*. Data cuaca seperti arah dan kecepatan angin, suhu udara, kelembaban relatif dan tekanan udara dikirim ke *Data Logger* yang terdapat di *shelter* gedung No.94, kemudian diteruskan pengirimannya ke server pengolah data yang berada di lantai 3 gedung No. 71 menggunakan radio modem tanpa kabel dengan frekuensi 900 MHz. Data cuaca pada ketinggian 4, 15 dan 30 meter dikirim dari data logger ke server setiap 10 menit, sedangkan data cuaca pada ketinggian 60 meter dikirim langsung dari sensor ke server pengolah data setiap 1 menit. Data cuaca dari seluruh ketinggian selanjutnya diolah menggunakan perangkat lunak *Projex Measurement Information System*. Data cuaca tersebut akan dilaporkan secara berkala setiap triwulan melalui laporan pemantauan radioaktivitas lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

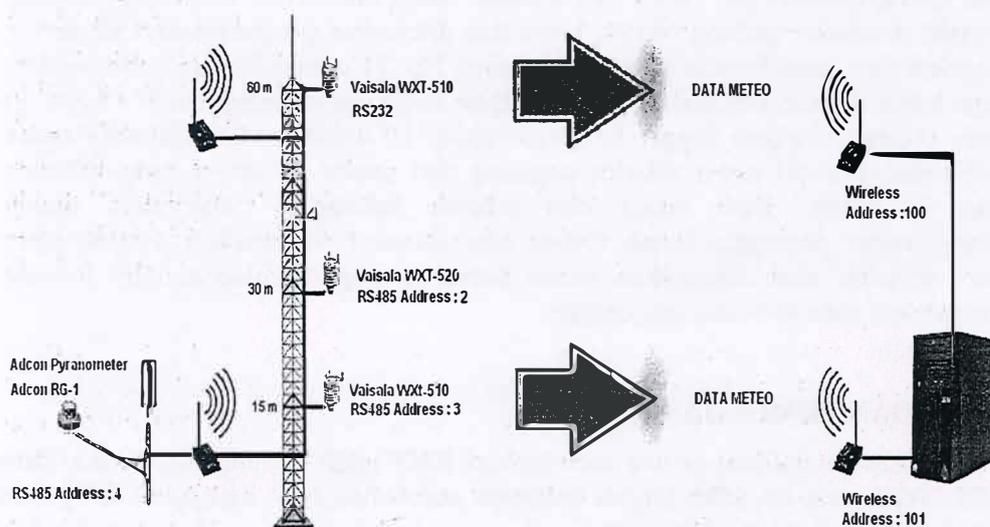
Proses revitalisasi sistem meteorologi KNS telah berlangsung sejak tahun 2009. Sejak saat itu telah terjadi beberapa perubahan baik meliputi konfigurasi sistem maupun kualitas datanya.

Pada revitalisasi tahun 2009, susunan jaringan antar komponen pada sistem meteorologi ditunjukkan pada Gambar 1.

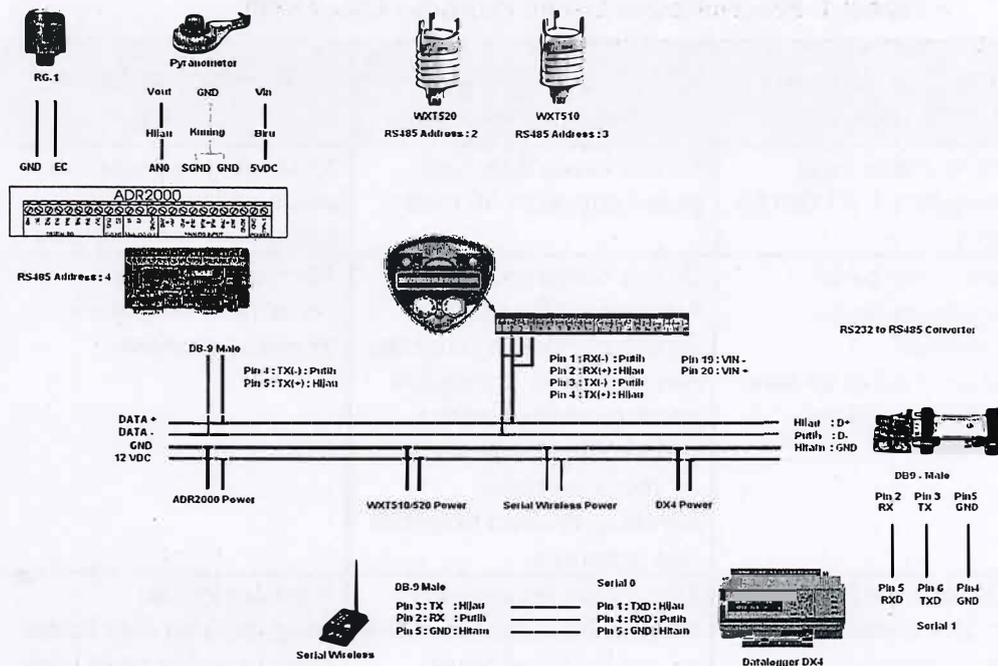


Gambar 1. Diagram sistem pemantau cuaca KNS sebelum pengembangan

Setelah proses pengembangan tahun 2012 ini, jaringan sistem meteorologi mengalami perubahan, seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3 [2,3].



Gambar 2. Diagram sistem pemantau cuaca KNS setelah pengembangan



Gambar 3. Koneksi pengkabelan sensor pada ketinggian 4, 15 dan 30 meter.

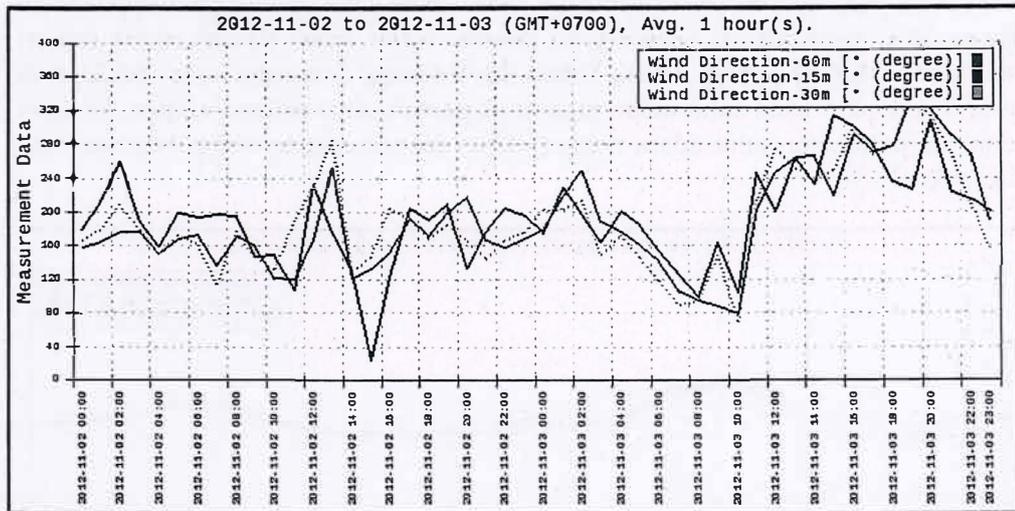
Perubahan sistem pemantau cuaca bertujuan untuk mengoptimalkan sistem dan meningkatkan kualitas data. Pada dasarnya, proses pengembangan yang utama adalah penambahan sensor cuaca pada ketinggian 30 meter. Hal ini dimaksudkan untuk melengkapi pengamatan cuaca pada variasi ketinggian berbeda serta meningkatkan kualitas dan validitas data cuaca. Pada awal instalasi, telah dipasang sensor cuaca pada ketinggian 15 dan 60 meter untuk mengamati parameter arah angin, kecepatan angin, suhu, tekanan dan kelembaban relatif. Ketinggian 60 meter dipilih dengan alasan kesesuaian dengan elevasi cerobong tertinggi di KNS. Sedangkan ketinggian 15 meter dipilih untuk mengamati kondisi cuaca bawah dekat permukaan tanah. Pada perkembangannya, perlu adanya ketinggian pembanding yang dapat digunakan untuk memvalidasi ketinggian sensor yang telah ada sehingga meningkatkan kualitas data cuaca. Selain itu, pemasangan sensor pada ketinggian 30 meter perlu dilakukan untuk melengkapi data cuaca di antara ketinggian 15 dan 60 meter. Dalam rentang 45 meter tersebut, dimungkinkan adanya perbedaan kondisi cuaca sehingga perilaku dispersi polutan juga berbeda. Selain penambahan sensor cuaca pada ketinggian 30 meter, ada beberapa pengembangan lain yang dilakukan pada tahun 2012. Komponen maupun sistem yang mengalami perubahan secara detail ditunjukkan pada Tabel 1.

Setelah proses instalasi, sensor cuaca pada ketinggian 30 meter diperiksa kinerja pengumpulan datanya. Pada tanggal 6 Juli 2012, sensor 30 meter telah berhasil melakukan pengumpulan data. Hasil pengamatan masing-masing parameter cuaca dievaluasi menggunakan kriteria penyaringan data seperti yang disarankan oleh *Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications, U.S. Environmental Protection Agency* [4]. Hasil pengukuran parameter cuaca seperti arah angin, kecepatan angin, suhu, tekanan dan kelembaban relatif ditunjukkan pada Gambar 4 hingga Gambar 8.

Tabel 1. Pengembangan Sistem Pemantau Cuaca KNS

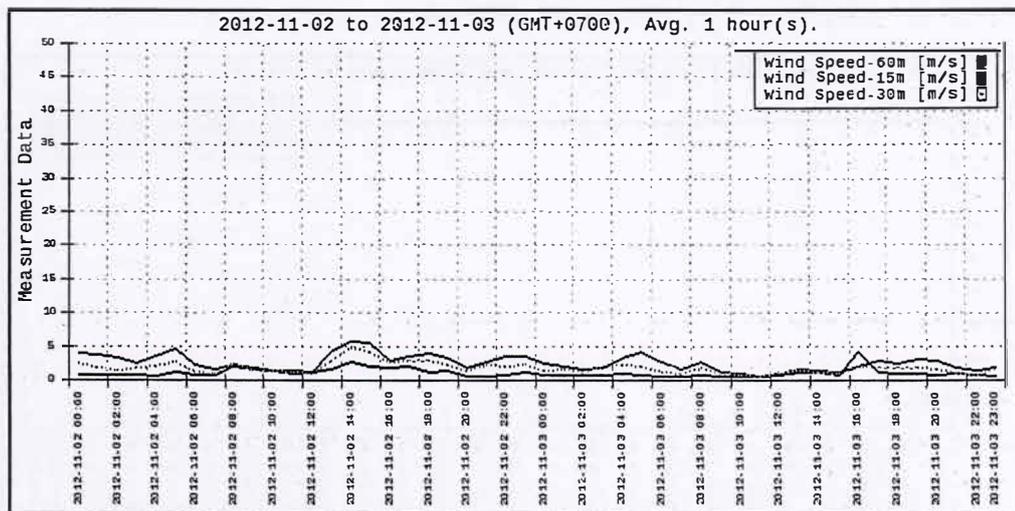
Sistem sebelum pengembangan	Sistem setelah pengembangan	Tujuan perubahan sistem
Sensor cuaca pada ketinggian 4, 15 dan 60 meter	Sensor cuaca ditambah pada ketinggian 30 meter	Melengkapi pengamatan cuaca pada variasi ketinggian yang berbeda
Data cuaca pada masing-masing ketinggian ditransmisikan ke satu modem penerima	Sensor cuaca pada ketinggian 60 memiliki sepasang modem pengirim dan penerima, sedangkan gabungan sensor cuaca pada ketinggian 4, 15 dan 30 meter memiliki sepasang modem pengirim dan penerima	Mengurangi beban penerimaan data pada modem penerima
Data cuaca dikirim dari modem penerima ke server menggunakan <i>telemetry gateway</i>	Data cuaca dikirim dari modem penerima ke server secara langsung tanpa <i>gateway</i>	Memungkinkan pengumpulan data dalam rentang waktu yang lebih pendek untuk memenuhi standar sistem meteorologi
Kapasitas hardisk server 512 GB	Kapasitas hardisk server 1 TB	Mengoptimalkan kinerja server dan memungkinkan masa penyimpanan data yang lebih panjang
Database dalam format Microsoft Access	Database dalam format Microsoft SQL	Memerlukan kapasitas penyimpanan yang lebih sedikit
Tampilan cakra angin dibuat dengan <i>Windrose Promis</i>	Tampilan cakra angin dibuat dengan <i>Windrose Plot</i>	Mengakomodasi perubahan format database, memungkinkan pembuatan cakra angin dengan data dari luar server, serta tampilan lebih sesuai standar

Kriteria penolak yang digunakan untuk parameter arah angin antara lain kurang dari nol atau lebih besar dari 360 derajat, tidak mengalami perubahan lebih dari 1 derajat selama lebih dari 3 jam, dan tidak mengalami perubahan lebih dari 10 derajat selama lebih dari 18 jam. Dari grafik pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa data arah angin tidak kurang dari nol derajat atau lebih besar dari 360 derajat. Selain itu, data arah angin juga sangat dinamis dalam rentang waktu tidak lebih dari 1 jam, bahkan 18 jam, yang ditunjukkan adanya *slope* atau kemiringan grafik dari waktu ke waktu. Berdasarkan penyaringan data pada dokumen EPA, parameter arah angin menunjukkan pemenuhan terhadap kriteria yang disarankan.



Gambar 4. Pengukuran arah angin untuk tiga ketinggian

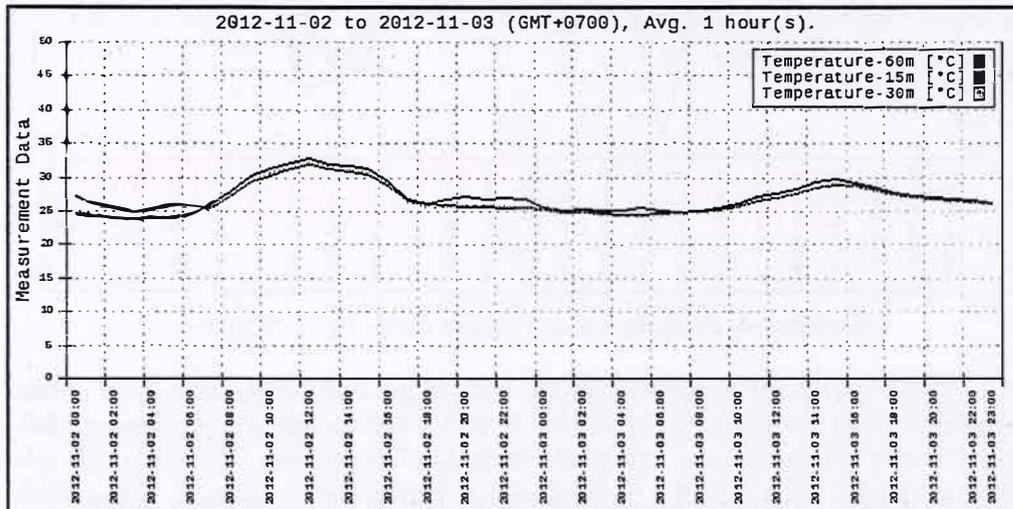
Untuk parameter kecepatan angin, kriteria penolak yang digunakan antara lain kurang dari nol atau lebih besar dari 25 m/s, tidak mengalami perubahan lebih dari 0,1 m/s selama 3 jam, dan tidak mengalami perubahan lebih dari 0,5 m/s selama 12 jam. Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa data kecepatan angin tidak kurang dari nol m/s. Kecepatan angin maksimum berkisar pada 5 hingga 6 m/s, tidak lebih besar dari 25 m/s. Selain itu, data arah angin juga sangat dinamis dalam rentang waktu tidak lebih dari 1 jam, atau bahkan 12 jam, yang ditunjukkan oleh naik turunnya grafik dari waktu ke waktu. Berdasarkan penyaringan data, parameter kecepatan angin menunjukkan pemenuhan terhadap kriteria yang disarankan.



Gambar 5. Pengukuran kecepatan angin untuk tiga ketinggian

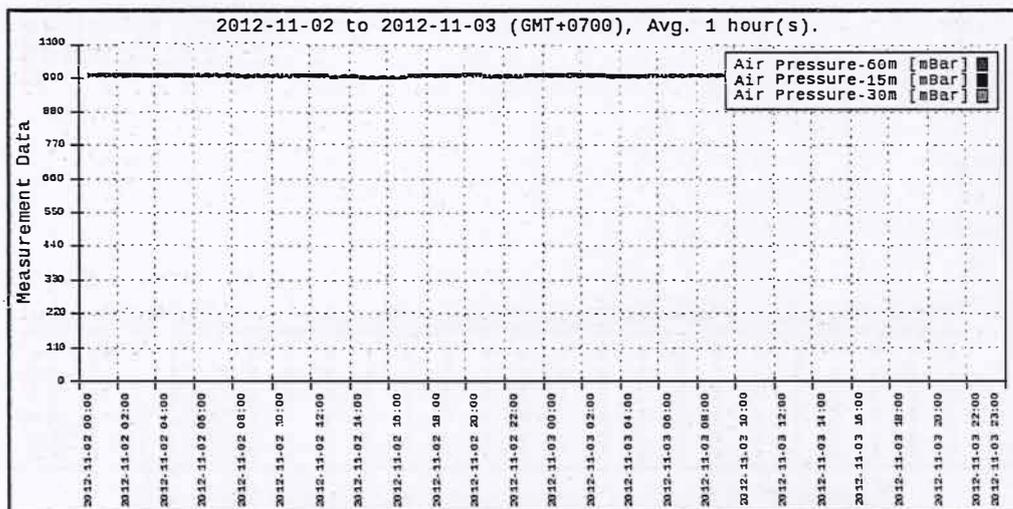
Kriteria penolak yang digunakan untuk parameter suhu udara antara lain lebih besar dari batas atas setempat yang pernah tercatat, kurang dari batas bawah suhu setempat yang pernah tercatat, mengalami perubahan sebesar 5°C selama 1 jam, dan tidak mengalami perubahan lebih dari 0,5°C selama 12 jam.

Dari grafik pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa data suhu udara berkisar antara 24 hingga 34°C yang berarti berada pada kondisi wajar untuk daerah tropis seperti Indonesia, terutama daerah urban. Selain itu, fluktuasi data suhu udara tidak lebih dari 5°C per jam. Data suhu udara juga tidak pernah statis selama 12 jam. Dengan demikian parameter suhu udara menunjukkan pemenuhan terhadap kriteria yang disarankan.



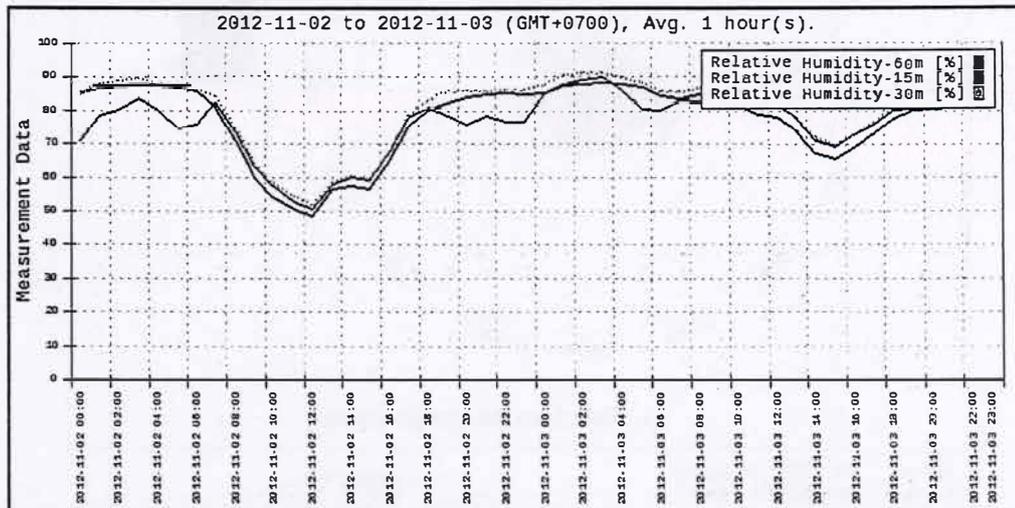
Gambar 6. Pengukuran suhu udara untuk tiga ketinggian

Untuk parameter tekanan udara, kriteria penolak yang digunakan antara lain lebih besar dari 1060 mbar, kurang dari 940 mbar, dan mengalami perubahan lebih dari 6 mbar selama 3 jam. Pada Gambar 7 dapat dilihat bahwa data tekanan udara cukup statis pada 990 mbar dalam kurun waktu 24 jam, yang berarti parameter ini memenuhi kriteria yang disarankan.



Gambar 7. Pengukuran tekanan udara untuk tiga ketinggian

Untuk parameter kelembaban relatif, tidak ada kriteria khusus untuk menilai validitas data karena parameter ini memiliki korelasi dengan suhu dan tekanan udara. Namun secara sederhana, dapat dikatakan bahwa kelembaban udara tidak mungkin lebih besar dari 100%. Gambar 8 menunjukkan bahwa kelembaban udara berkisar antara 50 dan 90%. Jika diperhatikan lebih detail, kecenderungan kelembaban relatif berbanding terbalik dengan kecenderungan suhu udara pada Gambar 6 karena tekanan udara relatif stabil. Semakin tinggi suhu udara, maka kelembaban relatifnya semakin rendah. Dengan demikian parameter ini dapat dikatakan memenuhi kriteria validitas.

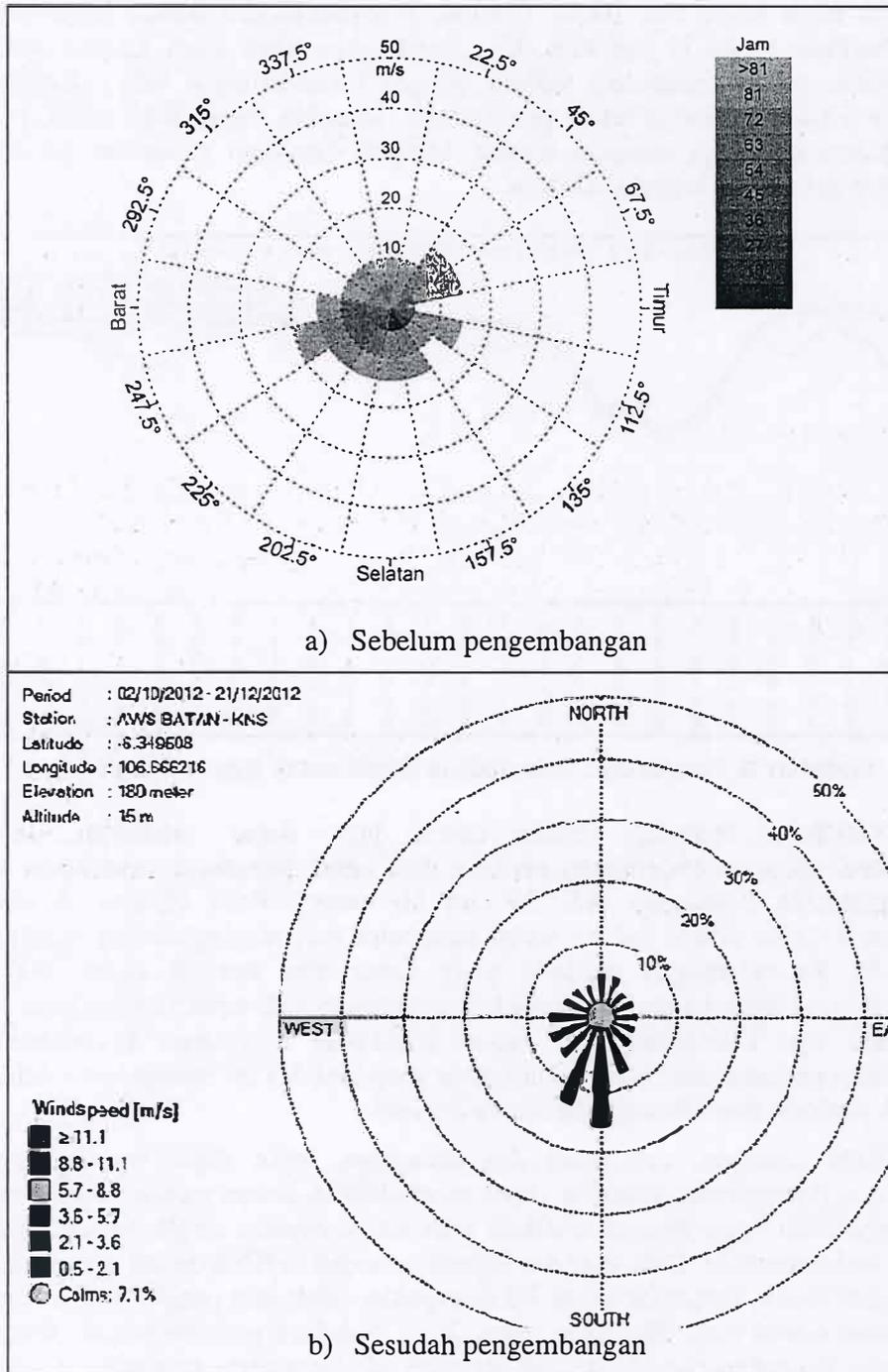


Gambar 8. Pengukuran kelembaban relatif untuk tiga ketinggian

Verifikasi terhadap sensor cuaca juga dapat dilakukan dengan membandingkan kecenderungan perilaku data untuk parameter yang sama pada masing-masing ketinggian (15, 30 dan 60 meter). Pada Gambar 4 hingga Gambar 8 dapat dilihat bahwa setiap parameter dari masing-masing ketinggian memiliki kecenderungan perilaku yang sama atau hampir sama. Hal ini ditunjukkan dengan hampir samanya kecenderungan naik turun ketiga garis yang mewakili tiga ketinggian pada setiap grafiknya. Komparasi kecenderungan perubahan perilaku pada ketinggian sensor yang berbeda ini merupakan salah satu bentuk evaluasi dan validasi data secara internal.

Pada dasarnya, data arah dan kecepatan angin dapat diolah menjadi *windrose*. Penggunaan *windrose* dapat memudahkan dalam analisis secara visual sehingga lebih cepat mengidentifikasi arah dan kecepatan angin dominan dalam kurun waktu tertentu. Data arah dan kecepatan angin di KNS diolah menggunakan perangkat lunak. Perangkat lunak ini merupakan salah satu pengembangan sistem pemantau cuaca yang dilakukan tahun 2012. Sebelum pengembangan, tampilan *windrose* kurang memenuhi standar tampilan *windrose* pada umumnya. Tidak ada informasi mengenai periode pembuatan, nama stasiun, koordinat lokasi stasiun, ketinggian pengukuran, serta data yang ditunjukkan belum merepresentasikan frekuensi kejadian. Pada tampilan baru yang dibuat dengan *Windrose Plot*, kekurangan-kekurangan tampilan lama telah dapat diperbaiki. Perbandingan

tampilan *windrose* sebelum dan sesudah pengembangan ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan *windrose* a) sebelum dan b) sesudah pengembangan

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah diuraikan di atas, dapat disimpulkan bahwa pengembangan sistem pemantau cuaca KNS diperlukan untuk meningkatkan kualitas pengamatan meteorologi. Pengembangan sistem pemantau cuaca KNS meliputi penambahan sensor cuaca pada ketinggian 30 m, penambahan kapasitas hardisk server, penggantian format database dari Microsoft Access menjadi Microsoft SQL, serta pengembangan perangkat lunak pengolah data arah dan kecepatan angin untuk tampilan cakra angin.

Hasil evaluasi terhadap pengembangan sistem pemantau cuaca KNS menunjukkan bahwa seluruh komponen yang dikembangkan telah bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Data cuaca tersebut dapat digunakan untuk penentuan kelas kestabilan udara dan dalam penanggulangan kedaruratan radiasi/nuklir di KNS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ANONIM, "Pemutakhiran Data Meteorologi Kawasan Nuklir Serpong", *Bagian A: Analisis Meteorologi*, BMKG Wilayah II Ciputat, 2007.
- [2]. ANONIM, "Laporan Instalasi Pekerjaan Pengadaan Kapitalisasi Sistem Pemantauan Lingkungan (Sistem Meteorologi)", CV. Alphamas Mandiri, Jakarta, 2012.
- [3]. ANONIM, "User Guide Vaisala Weather Transmitter", WXT520, Helsinki-Finland, 2010.
- [4]. ANONIM, "Meteorological Monitoring Guidance for Regulatory Modeling Applications", EPA-454/R-99-005, *Environmental Protection Agency*, U.S., 2000.
- [5]. ANONIM, "Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation", World Meteorological Organization No.8 Seventh edition, ISBN 978-92-63-10008-5, Geneva, 2008.

