

2.4 Regresi Linier Sederhana (RLS)

Regresi linier sederhana adalah suatu metode statistik yang berupaya memodelkan hubungan antara dua peubah acak dimana satu peubah acak memengaruhi peubah acak yang lainnya (Soleh, 2005), yang dimaksud dengan linier dalam RLS adalah bahwa variabel terikat (Y) memiliki hubungan yang linier berupa garis lurus terhadap parameter regresinya (dalam hal ini a_1 dan a_2). Sedangkan maksud sederhana dalam RLS menunjukkan bahwa dalam model regresi yang terbentuk hanya melibatkan satu variabel bebas (X) dan satu variabel terikat (Y).

2.4.1 Model Regresi Linier Sederhana (RLS)

Dapat diasumsikan Y simbol yang akan digunakan untuk menyatakan peubah terikat dan X untuk peubah bebas. Selanjutnya hal penting yang perlu diketahui dalam menaksir model RLS adalah mempelajari asumsi-asumsi dari model regresi sebagai berikut:

- Peubah bebas (X) mempengaruhi peubah terikat (Y) secara linier.
- Peubah terikat (Y) atau disebut juga respons bernilai kuantitatif dimana peubah tersebut memiliki distribusi normal.
- Peubah bebas (X) bernilai kuantitatif dan tidak memiliki distribusi.
- Nilai error atau kesalahan pengukuran model regresi (ε) memiliki distribusi normal.

Nilai dari kedua variabel X dan Y diukur dalam skala kuantitatif. Adapun rumusan model taksiran RLS adalah sebagai berikut :

$$Y = a_1 + a_2 X \quad (2.1)$$

Dimana:

- Y dan X berturut-turut menyatakan variabel terikat dan variabel bebas. a_1 dan a_2 menyatakan koefisien regresi linier sederhana.

2.4.2 Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi (R^2) adalah suatu besaran yang menyatakan kualitas dari model regresi yang terbentuk, yang dimaksud dengan kualitas dalam konteks koefisien determinasi adalah besarnya kontribusi dari peubah bebas dalam menjelaskan peubah terikat.

Nilai koefisien determinasi dapat dihitung melalui langkah-langkah berikut ini.

1. Hitung nilai jumlah kuadrat peubah bebas dan terikat (JK_{XY}), nilai jumlah kuadrat peubah bebas (JK_{XX}), dan nilai jumlah kuadrat peubah terikat (JK_{YY}) dengan rumus

$$JK_{XY} = \sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n} \quad (2.2)$$

$$JK_{XX} = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n} \quad (2.3)$$

$$JK_{YY} = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n} \quad (2.4)$$

2. Rumus koefisien determinasi (R^2) adalah:

$$R^2 = \left\{ \frac{JK_{XY}}{\sqrt{JK_{XX} \times JK_{YY}}} \right\}^2 \quad (2.5)$$

Atau apabila nilai koefisien regresi b_1 diketahui:

$$R^2 = b \sqrt{\frac{JK_{XX}}{JK_{YY}}} \quad (2.6)$$

$R^2 = 60\%$ dapat diartikan bahwa 60% informasi mengenai nilai peubah terikat (Y) telah dapat dijelaskan oleh nilai peubah bebas (X), sedangkan sisanya 40% informasi mengenai nilai peubah terikat (Y) dijelaskan peubah lain yang belum dimasukkan dalam model regresi, atau dengan kata lain kontribusi peubah bebas dalam menjelaskan nilai peubah terikat adalah sebesar 60%. Apabila nilai $R^2 = 100\%$, maka kita dapat menyimpulkan bahwa penjelasan mengenai peubah terikat (Y) dapat dengan tepat dihitung apabila nilai peubah bebasnya (X) diketahui.

2.4.3 Regresi Linier Berganda/*Multiple*

Menurut (Soleh, 2005) apabila variabel bebas dari suatu persamaan regresi lebih dari satu (misal X_1, X_2, \dots, X_k) dan semuanya mempengaruhi dari variabel terikat (Y) maka model regresi yang terbentuk dinamakan model regresi linier berganda (*multiple*). Model populasi dari regresi linier berganda dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon \quad (2.7)$$

Dan model taksiran dari regresi linier berganda adalah:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_k X_k \quad (2.8)$$

Dimana:

- a. Y menyatakan variabel terikat.
- b. X_1, X_2, \dots, X_k masing-masing menyatakan variabel bebas ke-1,2, ..., k.
- c. $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ masing-masing menyatakan parameter regresi linier berganda.
- d. $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ masing-masing menyatakan taksiran dari parameter regresi linier berganda.

2.5 Faktor Meteorologi

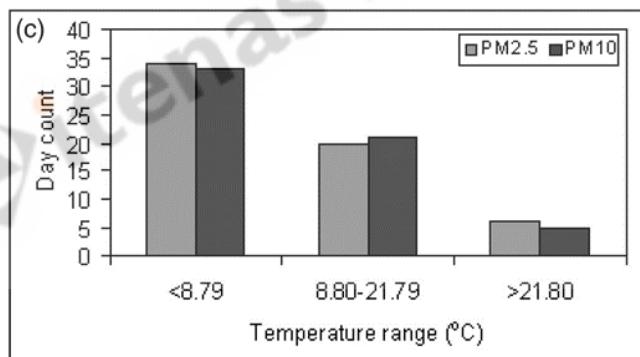
Mekanisme dispersi polutan dipengaruhi karakteristik meteorologi dan topografi setempat. Meteorologi terdiri dari temperatur, angin, serta kelembaban. Faktor meteorologi yang berpengaruh langsung terhadap penyebaran polutan adalah angin (meliputi arah dan kecepatan) serta stabilitas atmosfer yang berhubungan dengan temperatur. Sementara itu bentuk topografi akan turut mempengaruhi karakteristik meteorologi setempat (Turyanti, 2011). Pada subbab dibawah ini akan dijelaskan hasil penelitian-penelitian sebelumnya tentang pengaruh faktor meteorologi terhadap konsentrasi PM₁₀.

2.5.1 Kelembaban

Menurut (Turyanti, 2011) kelembaban memiliki pengaruh terhadap variasi harian konsentrasi PM₁₀ di mana korelasi antara kelembaban dengan konsentrasi PM₁₀ bernilai negatif yang artinya apabila kelembaban meningkat maka konsentrasi PM₁₀ menurun begitu pula sebaliknya. Hal ini dapat dijelaskan dengan banyaknya uap air di udara yang menyebabkan PM₁₀ bertumbukan yang memengaruhi partikulat untuk mengumpulkan massa dan jatuh ke tanah daripada terbawa udara sehingga menyebabkan proses *removal* PM₁₀ (Giri dkk., 2008). Kelembaban memiliki hubungan dengan curah hujan yang terjadi karena proses *removal* erat kaitannya dengan uap air yang terdapat di udara. Pada musim hujan kelembaban memiliki pengaruh yang signifikan terhadap proses *removal* PM₁₀ sementara saat musim kemarau kelembaban tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap konsentrasi PM₁₀ karena curah hujan yang terjadi sangat sedikit (Giri dkk., 2008).

2.5.2 Temperatur

Menurut (Turyanti, 2011) temperatur memiliki pengaruh terhadap variasi harian konsentrasi PM₁₀ di mana korelasi antara temperatur dengan konsentrasi PM₁₀ bernilai negatif yang artinya apabila temperatur meningkat maka konsentrasi PM₁₀ menurun begitu pula sebaliknya. Hal ini di karenakan temperatur memiliki pengaruh terhadap ketinggian *atmospheric boundary layer* (ABL) yang dapat memengaruhi proses difusi atau pengenceran partikulat. *Atmospheric boundary layer* adalah bagian terendah dari atmosfer yang secara langsung dipengaruhi oleh permukaan bumi (Saxena dan Naik, 2018). **Gambar 2.2** menjelaskan di mana pada siang hari saat temperatur meningkat, ketinggian ABL juga meningkat yang menyebabkan kondisi udara menjadi tidak stabil sehingga terjadi proses difusi konsentrasi PM₁₀ yang mengakibatkan konsentrasi PM₁₀ menjadi turun sedangkan pada malam hari saat temperatur menurun, ketinggian ABL juga menurun yang menyebabkan kondisi udara menjadi stabil sehingga konsentrasi PM₁₀ terakumulasi (Yadav dkk., 2014).



Gambar 2.2 Hubungan antara partikulat dan temperatur

Sumber: (Tecer dkk., 2008)

2.5.3 Kecepatan Angin

Menurut (Turyanti, 2011) kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap variasi harian konsentrasi PM₁₀ di mana korelasi antara kecepatan angin dengan konsentrasi PM₁₀ bernilai negatif yang artinya apabila kecepatan angin meningkat maka konsentrasi PM₁₀ menurun begitu pula sebaliknya. Hal ini di karenakan kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap proses dispersi partikulat. Berdasarkan (Karaca dkk., 2009) konsentrasi partikulat (PM₁₀) dipengaruhi oleh

long range transport (LRT) yang artinya dapat berpindah secara jauh dan dapat mencemari daerah lain selain sumber asalnya, hal tersebut disebabkan oleh angin.

2.6 Trayektori Polutan

Trayektori secara bahasa dapat diartikan sebagai lintasan. Trayektori polutan berarti lintasan yang dilalui oleh polutan jika pada suatu daerah terdapat polutan yang dilepaskan ke atmosfer. Dalam bahasa yang lebih sederhana, trayektori dapat dianalogikan dengan jalan raya sedangkan polutan dianalogikan dengan kendaraan. Ada ataupun tidak ada kendaraan melintas, jalan raya tetep ada. Tetapi jika ada kendaraan yang keluar dari tempat parkirnya, maka akan bergerak melintasi jalan raya tersebut. Demikian pula dengan trayektori polutan, ada atau tidak ada polutan, trayektori polutan tetap ada dan jika ada polutan yang dilepaskan ke atmosfer maka polutan akan bergerak mengikuti trayektori tersebut (Sumaryati, 2019).

Trayektori ini ditentukan oleh parameter meteorologi, terutama angin. Trayektori polutan tidak mempertimbangkan *lifetime* polutan. Meskipun polutan telah musnah dari atmosfer, trayektori terus berjalan tidak berhenti. Oleh karena itu, *lifetime* polutan dapat digunakan untuk memperkirakan kapan trayektori polutan yang diemisikan dari suatu sumber akan berakhir. Salah satu model polusi udara yang dapat menggambarkan trayektori adalah model HYSPLIT (*Hybrid Single Particle Langrangian Integrated Trajectory*). Model HYSPLIT dikembangkan oleh ARL (*Air Resources Laboratory*), NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*).

Input data meteorologi untuk model HYSPLIT tergantung wilayahnya. Resolusi data meteorologi yang digunakan termasuk rendah, untuk wilayah global termasuk Indonesia dapat menggunakan data GDAS dan GFS dengan resolusi $0,5^\circ$ dan 1° . GDAS (*Global Data Assimilation System*) adalah sistem data yang mendekati *near real time* yang sudah terjadi di masa lalu, sedangkan GFS (*Global Forecast System*) adalah model data perkiraan atau prediksi yang akan terjadi di masa depan yang berasal dari data GDAS. GDAS sendiri berbasis pada pengamatan dengan balon, *wind profiler*, pesawat pengamatan, radar, dan satelit.

Model HYSPLIT sering digunakan untuk memodelkan dalam skala regional dan sering digunakan untuk membahas kasus *transboundary pollution* dan *long range transport air pollution*. Jenis polutannya melibatkan polutan dengan *lifetime* panjang atau polutan yang tidak reaktif di atmosfer. Tipe trayektori dan pemanfaatannya berdasarkan arahnya, trayektori dapat dibedakan menjadi trayektori maju (*forward trajectory*) dan trayektori mundur (*backward trajectory*). Trayektori maju adalah pergerakan (penyebaran) polutan ke depan, sedangkan trayektori mundur adalah melacak posisi sumber polutan sebelumnya. Berdasarkan *input* data meteorologinya, trayektori dibedakan menjadi *forecast trajectory* yaitu menggunakan data meteorologi prediksi yang akan datang, cocok untuk di *input* dalam *forward trajectory* dan *archive trajectory* yaitu menggunakan data meteorologi yang sudah terjadi, cocok untuk di *input* dalam *backward trajectory*. Jadi jika ingin memodelkan *forward trajectory* maka data meteorologi yang cocok untuk model ini adalah *forecast trajectory*, sementara jika ingin memodelkan *backward trajectory* maka data meteorologi yang cocok untuk model ini adalah *archive trajectory*.

2.6.1 Trayektori Mundur

Trayektori mundur adalah melacak posisi sumber polutan sebelumnya yang dapat membantu untuk mengetahui dari mana polutan yang mencemari suatu lokasi berasal. Untuk melacak sumber polutan yang jauh ini digunakan data GDAS dengan pemilihan menu trayektori mundur. Jika sumber polutan tersebut adalah sumber antropogenik maka perlu dilakukan pengelolaan sumber tersebut. Tetapi jika ternyata sumber tersebut adalah sumber alami, maka yang perlu dilakukan adalah adaptasi dengan kondisi yang ada.

Trayektori mundur membutuhkan data meteorologi sejak kasus terjadi dan berjalan mundur. Data GFS untuk trayektori mundur kurang efektif. Data GFS adalah data prediksi berdasarkan data GDAS, sehingga keakuratan data GFS masih perlu dipertanyakan. Namun data GDAS yang tersedia telah mendekati *near real time*, karena trayektori mundur bukan kebutuhan yang urgent atau harus diselesaikan saat kejadian, maka dengan menggunakan data GDAS sudah

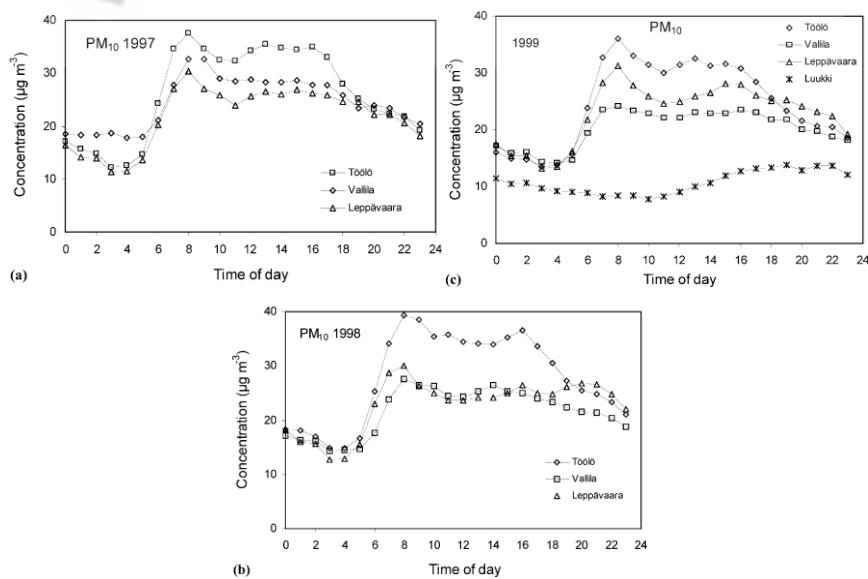
memenuhi kebutuhan, di mana data meteorologi yang tersedia telah didapatkan 6 jam setelah kejadian.

2.7 Distribusi Temporal

Pada subbab ini akan dijelaskan penelitian-penelitian sebelumnya terkait distribusi temporal dengan variasi harian konsentrasi PM₁₀ di berbagai negara.

2.7.1 Helsinki, Finlandia (Eropa)

Konsentrasi PM₁₀ di Kota Helsinki menunjukkan variasi harian yang jelas, konsentrasi meningkat secara terus menerus selama jam sibuk pada pagi hari, yaitu pada pukul 06.00 sampai 08.00 waktu setempat, kemudian konsentrasi menurun secara perlahan selama siang hari, dan kembali naik selama jam sibuk sore hari antara pukul 15.00 sampai 18.00 waktu setempat yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**. Jika konsentrasi PM₁₀ dibandingkan dengan meningkatnya arus lalu lintas, hal ini bisa disebabkan oleh resuspensi PM atau terlepasnya PM dari permukaan jalan di karenakan terjadinya gesekan antara ban kendaraan dengan permukaan jalan. Namun, hal itu bisa mencapai keadaan jenuh, yang mana peningkatan lalu lintas lebih lanjut tidak dapat menyebabkan resuspensi lagi. Pada beberapa kasus konsentrasi PM₁₀ pada malam hari lebih tinggi daripada biasanya, hal ini sebagian disebabkan oleh difusi atmosfer yang kurang menguntungkan pada malam hari, misalnya kecepatan angin yang rendah (Pohjola dkk., 2002)



Gambar 2.3 Variasi Harian Konsentrasi PM₁₀ di Helsinki

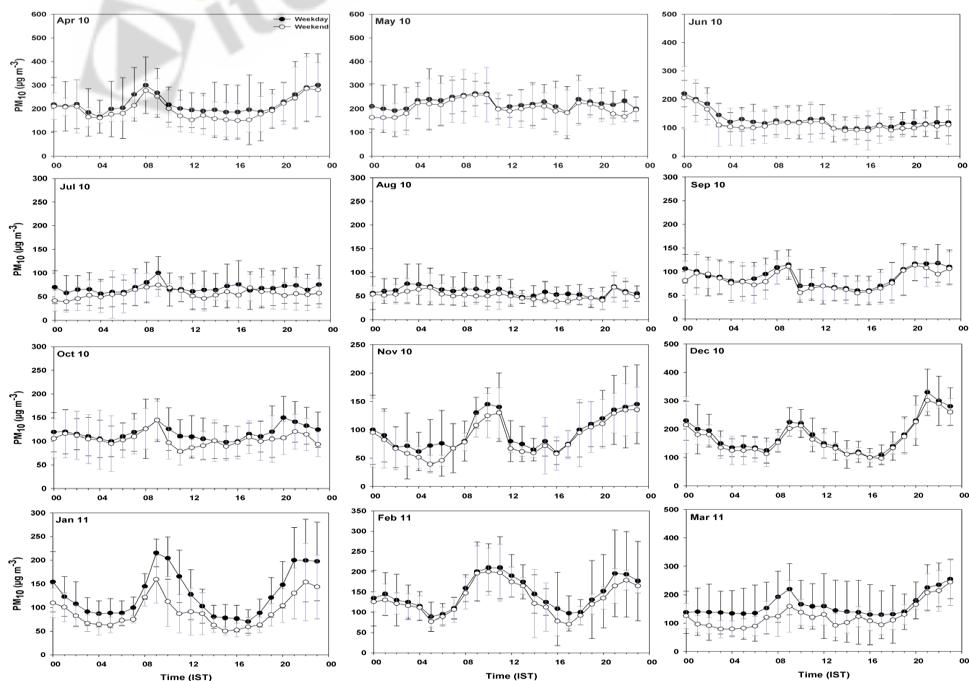
Sumber: (Pohjola dkk., 2002)

2.7.2 China (Asia Timur)

Konsentrasi PM₁₀ di China diamati di sebagian besar lokasi perkotaan, dengan puncak pada pagi hari terjadi sekitar pukul 07.00 sampai 08.00 waktu setempat dan penurunan pada pukul 14.00 sampai 16.00 waktu setempat. Di beberapa stasiun pemantau terjadi puncak malam sekitar pukul 19.00 sampai 21.00 waktu setempat. Pada daerah perkotaan puncak pagi dan sore hari disebabkan oleh aktivitas antropogenik yang meningkat selama jam sibuk, dan penurunan pada siang hari terutama disebabkan oleh pencampuran atmosfer (*atmospheric mixing layer*) yang tinggi, yang juga bermanfaat untuk difusi polusi udara (Wang dkk., 2015).

2.7.3 Udaipur, India (Asia Selatan)

Konsentrasi PM₁₀ di Kota Udaipur diamati dengan distibusi harian, konsentrasi tertinggi pada pukul 07.00 sampai 10.00 dan pukul 19.00 sampai 23.00 waktu setempat yang dapat dilihat pada **Gambar 2.4** yang juga bertepatan dengan periode lalu lintas puncak di Udaipur Kota. Kemudian tingkat sedang terjadi dari malam sampai dini hari. Setelah periode puncak pagi pada pukul 07.00 sampai 10.00 (puncak primer), konsentrasi menurun dengan cepat menjadi terendah pada pukul 10.00 sampai 16.00.



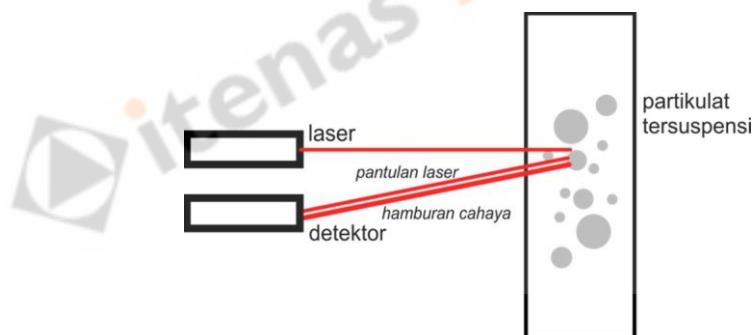
Gambar 2.4 Variasi Harian Konsentrasi PM₁₀ di Udaipur

Sumber: (Yadav dkk., 2014)

Pada pagi dan sore hari merupakan puncak dari konsentrasi PM₁₀ yang mana bertepatan dengan aktivitas tertinggi emisi antropogenik yang terkait dengan arus lalu lintas Udaipur. Ketinggian *Planetary Boundary layer* (PBL) relatif rendah pada pagi dan sore hari, adapun PBL merupakan bagian terendah dari atmosfer dan karakteristiknya secara langsung dipengaruhi oleh kontak dengan permukaan bumi, sehingga tingkat kekasaran dan aktivitas yang berlangsung dipermukaan bumi sangat mempengaruhi tinggi PBL. Perkembangan *Nocturnal Boundary Layer* (NBL) mendukung stagnasi yang menyebabkan peninggian konsentrasi PM₁₀ pada malam dan dini hari, meskipun emisi lalu lintas tidak tertinggi (Yadav dkk., 2014).

2.8 Prinsip Kerja Alat Particle Plus EM-10000

Particle Plus EM-10000 merupakan alat pengukur partikulat dan meteorologi yang baru digunakan di Indonesia. Terdapat 6 *channel* pengukuran partikulat mulai dari 0,3 mikrometer sampai 25 mikrometer (Plus, 2020). Alat ini menggunakan metode *light scattering*, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 di bawah ini.



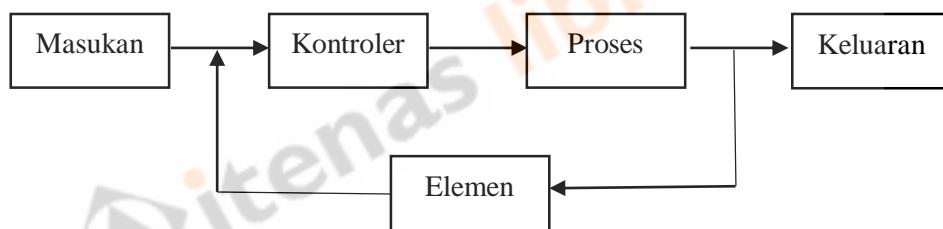
Gambar 2.5 *Light Scattering* Pada Prinsip Pembacaan Partikulat

Sumber: (Fatkhurrahman dkk., 2016)

Metode *light scattering* memperoleh kuantitas materi partikulat dengan menggunakan prinsip bahwa ketika cahaya dilemparkan pada materi partikulat (PM) yang tersuspensi di atmosfer, cahaya dihamburkan oleh partikel dan ketika cahaya dilemparkan pada materi partikulat dengan fisik yang sama, sifat dan jumlah cahaya yang tersebar sebanding dengan konsentrasi massa materi partikulat. Untuk partikel yang lebih besar dari ukuran tertentu, sebagian besar cahaya tersebar melalui difraksi. Cahaya yang tersebar berada pada intensitas yang relatif tinggi dan sudut rendah untuk partikel yang lebih besar. "Ukuran tertentu" ditentukan sebagai

kelipatan panjang gelombang cahaya yang digunakan untuk pengukuran dan biasanya diperkirakan pada 20 mikron. Partikel yang lebih besar dari ukuran ini mengkomunikasikan informasi ukuran yang berguna melalui difraksi dan bukan pembiasan. Ini berarti pengukuran tidak akan mendapatkan keuntungan dari penggunaan indeks bias untuk secara akurat menafsirkan cahaya yang dibiaskan (Choi dan Cho, 2020).

Terdapat perbedaan fitur pada Alat Particle Plus EM-10000 dengan alat pengukur berbasis sensor pada umumnya. Particle Plus EM-10000 memiliki kontrol lup tertutup untuk kelembaban sehingga memberikan ukuran partikulat yang lebih akurat (Plus, 2020). Sistem kontrol lup tertutup dapat berupa sinyal keluarannya sendiri atau fungsi dari sinyal keluaran dan turunannya disajikan ke kontroler sedemikian rupa untuk mengurangi kesalahan dan membawa keluaran sistem ke nilai yang dikehendaki



Gambar 2.6 Diagram Blok Sistem Kontrol Lup Tertutup

Sumber: (Sulistyawan, 2011)

Diagram blok di atas menjelaskan bahwa dalam sebuah proses sistem kontroler pasti membutuhkan sebuah isyarat masukan, sebab proses kontrol untuk menuju keluaran sangat memperhitungkan nilai masukan. Apabila keluaran masih belum seperti yang diinginkan maka hasil keluaran itulah sebagai masukan lagi, begitu seterusnya sampai memenuhi keluaran yang diinginkan. Untuk mengetahui keluaran yang belum tercapai, maka dalam hal ini untuk umpan balik membutuhkan elemen ukur keluaran (Sulistyawan, 2011).

2.9 Alat Pemantau Kualitas Udara Kota Bandung

Kota Bandung memiliki 5 alat yang digunakan untuk pemantauan kualitas udara selama 24 jam atau secara kontinu yang terletak di Dinas Kesehatan, Dago, Ujung Berung, Pajajaran dan Gedebage. Stasiun pemantau kualitas Udara di Dinas

Kesehatan berasal dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) yang dikelola oleh Dinas Lingkungan Hidup dan Kebersihan Kota Bandung. Cara kerja alat tersebut hampir sama dengan Particle Plus EM-10000 yaitu menggunakan metode *light scattering*. Pembacaan partikulat berdasarkan *light scattering* memanfaatkan fenomena hamburan cahaya jika partikulat dilewati berkas cahaya, berkas hamburan cahaya tergantung dari intensitas cahaya yang melewati partikulat dan dimensi partikulat yang dilewati berkas cahaya. Adanya hamburan cahaya ke seluruh penjuru akan menimbulkan penceran energi yang korelatif dengan dimensi partikulat yang terlewati. Besarnya penceran energi tersebutlah yang diamati dan di korelasi sebagai konsentrasi partikulat tiap periode waktu tertentu (Fatkhurrahman dkk., 2016).