

BAB 2

KIMIA ATMOSFER

Kompetensi Dasar:

Menjelaskan komponen penyusun, sifat fisika dan sifat kimia di atmosfer

A. Definisi Atmosfer

Atmosfer berasal dari bahasa Yunani “Atmos” yang berarti uap air atau gas dan “Sphaira” yang berarti selimut. Jadi, atmosfer adalah lapisan udara yang menyelubungi bumi dan merupakan reaktor sangat besar tempat terjadinya berbagai reaksi antara berbagai unsur dan senyawa yang diemisikan dari berbagai kegiatan di bumi.

Atmosfer adalah lingkungan udara, yakni udara yang meliputi planet bumi. Atmosfer merupakan sumber oksigen bagi pernapasan dan sumber karbondioksida bagi reaksi fotosintesis. Sebagai komponen dasar dari siklus hidrologi, atmosfer menjadi media transport air dari lautan ke daratan.

Kimia atmosfer mempelajari komposisi kimia dari gas, cairan, dan padatan di atmosfer yang berinteraksi satu sama lain. Komposisi dan peranan kimia atmosfer penting karena interaksi antara atmosfer dan organisme hidup. Contoh masalah yang telah ditangani oleh kimia atmosfer termasuk hujan asam, smog fotokimia, dan pemanasan global. Kimia atmosfer mencari pemahaman penyebab masalah-masalah ini dengan memahami teori dibalik masalah-masalah tersebut dan akan mencari pemecahan yang memungkinkan untuk diuji dan sekaligus mengevaluasi perubahan pada kebijakan pemerintah.

B. Sifat dan Susunan Atmosfer

Atmosfer merupakan campuran berbagai macam gas yang bersifat homogen. Udara kering pada atmosfer mengandung gas nitrogen $\pm 78\%$, oksigen $\pm 21\%$, karbon dioksida $0,03\%$, argon $0,9\%$, metana, kalium, dan lain-lain $\pm 0,07\%$.

Gas-gas penyusun atmosfer dapat dikategorikan menjadi dua golongan, yaitu :

1. Gas-gas penyusun dengan konsentrasi relatif tetap (permanent gases) pada kondisi normal, yaitu nitrogen (N_2), oksigen (O_2), argon (Ar), neon (Ne), helium (He), hidrogen (H_2), xenon (Xe).
2. Gas-gas penyusun dengan konsentrasi bervariasi (variable gases) pada kondisi normal, tergantung latitude, dan kondisi atmosfer setiap saat. Gas-gas tersebut adalah uap air (H_2O) mulai 0-4 %, karbondioksida (CO_2) sekitar 0,038 %, metana (CH_4) sekitar 0,00017 %, dinitrogen oksida (N_2O), ozon (O_3), dan kloroflourokarbon (CFC) dalam kadar sangat kecil.

Atmosfer mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Tidak berwarna, tidak berbau, dan tidak dirasakan kecuali dalam bentuk angin.
2. Dinamis dan elastis sehingga dapat mengembang dan menyusut serta dapat bergerak atau berpindah.
3. Transparan dalam beberapa bentuk radiasi.
4. Mempunyai massa sehingga menimbulkan tekanan.

Karakteristik atmosfer sangat luas disebabkan oleh ketinggian. Faktor-faktor lain yang menyebabkan perbedaan karakteristik, yaitu iklim, waktu, garis lintang atau latitude dan aktivitas solar. Temperatur atmosfer sangat bervariasi mulai dari yang terendah $-138^\circ C$ – $1700^\circ C$. Tekanannya menurun tajam dari 1 atm pada permukaan air laut. Dengan adanya perbedaan temperatur dari tekanan tersebut maka sifat kimia dari atmosfer sangat berbeda disebabkan oleh perbedaan altitude atau ketinggian.

C. Pembagian Wilayah Atmosfer

Sifat- sifat kimia dan reaksi-reaksi di dalamnya sangat ditentukan oleh karakteristik fisik atmosfer seperti suhu, tekanan. Terjadinya perbedaan tekanan dan suhu atmosfer disebabkan oleh adanya perbedaan altitude dan latitude. Hal ini yang menyebabkan adanya pembagian wilayah atmosfer bumi.

Tabel 2.1 Pembagian Wilayah Atmosfer dan Karakteristiknya

Wilayah (Region)	Suhu (°C)	Altitude (Km)	Spesi Bahan Kimia
Troposfer	Sampai -56	0 sampai (10-16)*	N ₂ , O ₂ , CO ₂
Stratosfer	-56 sampai -2	(10-16) sampai 50	H ₂ O
Mesosfer	-2 sampai -92	50 sampai 85	O ₂ ⁺ , NO ⁺
Thermosfer	-92 sampai 1200	85 sampai 500	O ₂ ⁺ , O ⁺ , NO ⁺

*Batas troposfer dengan stratosfer bervariasi antara 10-16 Km.

Secara umum, atmosfer dibagi menjadi dua, yaitu regional bawah (*lower*) dan regional atas (*upper*). Regional bawah adalah atmosfer dari permukaan bumi sampai ketinggian kira-kira 50 km. Sedangkan regional atas adalah atmosfer dari permukaan bumi dengan ketinggian >50 km.

Dari total ketebalan atmosfer, kira-kira 500 km dari permukaan bumi, terdapat zona (sampai sekitar 90 km) dengan komposisi gas yang relatif tetap pada perbandingannya. Zona ini berisi gas-gas inert (N₂, O₂, He, Ar) yang berinteraksi dengan energi radiasi yang cukup lemah. Sedangkan bagian zona atas (>100 km) merupakan zona yang menerima radiasi dengan intensitas dan energi yang sangat tinggi. Energi spektrum ini memungkinkan terjadinya reaksi molekular untuk ionisasi, fotolisis, radikalisisasi. Pada zona ini komposisi menjadi tidak seragam baik karena perubahan altitude maupun latitude.

Berdasarkan kehomogenan komposisi dan kerapatan pada setiap ketinggian (altitude), atmosfer dibagi menjadi dua lapisan, yaitu :

1) Lapisan Homosfer

Merupakan lapisan bawah atmosfer (kurang dari 80 km) yang terdiri atas gas permanen 99,9 % massa atmosfer total dengan perbandingan komposisi tertentu yang tetap untuk setiap altitude. Secara kimia homogen/larutan homogen, pada ketinggian yang sama komposisi kimia dan sifat fisika gas-gas penyusunnya relatif homogen. Jadi lapisan homosfer ini tersusun atas lapisan-lapisan homogen yang tersusun sampai ketinggian 80 km. Lapisan ini terdiri atas troposfer, stratosfer, dan mesosfer.

2) Lapisan Heterosfer

Merupakan lapisan di atas lapisan homogen yang terdiri atas gas-gas lebih ringan (hidrogen dan helium). Dominasi gas-gas ini berubah karena perbedaan altitude sehingga perbandingan komposisi berubah-ubah. Komposisi yang kurang dari 0,1 % dari massa atmosfer, volume ruang yang

sangat besar, dan tekanan yang sangat rendah, menyebabkan distribusi gas-gas di lapisan ini sangat besar. Jarak antar gas relatif jauh, tidak banyak interaksi. Parsel gas-gas sangat besar dipengaruhi radiasi dan keadaan luar atmosfer. Pada lapisan heterosfer ini komposisi berubah/heterogen meskipun di altitude sama. Hal ini terjadi karena intensitas radiasi yang berfluktuasi sangat besar di siang dan malam, serta kapasitas panas yang rendah dari gas-gas yang mayoritas monoatomik, radikal, atau dalam keadaan tereksitasi.

Atmosfer bumi dibagi menjadi 7 lapisan, yaitu :

1) Troposfer

Lapisan ini berada pada level yang terendah, campuran gasnya paling ideal untuk menopang kehidupan di bumi. Dalam lapisan ini kehidupan terlindung dari sengatan radiasi yang dipancarkan oleh benda-benda langit lain. Dibandingkan dengan lapisan atmosfer yang lain, lapisan ini adalah yang paling tipis (< 15 kilometer dari permukaan tanah). Dalam lapisan ini, hampir semua jenis cuaca, perubahan suhu yang mendadak, angin tekanan dan kelembaban yang kita rasakan sehari-hari berlangsung. Dan Setiap kenaikan suhu berkurang 0,6 derajat celcius. Pada lapisan ini terjadi peristiwa cuaca seperti hujan, musim salju, kemarau, dsb.

Ketinggian yang paling rendah adalah bagian yang paling hangat dari troposfer, karena permukaan bumi menyerap radiasi panas dari matahari dan menyalurkan panasnya ke udara. Biasanya, jika ketinggian bertambah, suhu udara akan berkurang secara tunak (*steady*), dari sekitar 17°C -52°C. Pada permukaan bumi yang tertentu, seperti daerah pegunungan dan dataran tinggi dapat menyebabkan anomali terhadap gradien suhu tersebut. Diantara stratosfer dan troposfer terdapat lapisan yang disebut lapisan Tropopause).

Tabel 2.2 Komponen Renik dalam Lapisan Troposfer Normal

Senyawa	Rumus	Konsentrasi (mg/m ³)
Senyawa karbon		
Metana	CH ₄	900
Karbon monoksida	CO	70-230
Terpen	(C ₅ H ₈) _n	3-30
Formal dehid	CH ₂ O	<12

Senyawa	Rumus	Konsentrasi (mg/m ³)
Senyawa halogen		
Karbon tetraklorida	CH ₃ CL	1
Freon 12	CCL ₄	0.6-1.6
Freon 11	CF ₂ CL ₂	1
	CFCI ₃	0,7
Senyawa Oksigen		
Ozon	O ₃	20-60
Senyawa Nitrogen		
Dinitrogen oksida	-	600
Ammonia	NH ₃	4-14
Asam Nitrat	HNO ₃	7,5
Nitrogen oksida	NO/NO ₂	1,6
Senyawa Belerang		
Belerang dioksida	SO ₂	3-11
Hidrogen sulfida	H ₂ S	<0,3

2) Stratosfer

Perubahan secara bertahap dari troposfer ke stratosfer dimulai dari ketinggian sekitar 11 km. Suhu di lapisan stratosfer yang paling bawah relatif stabil dan sangat dingin yaitu - 57°C. Pada lapisan ini angin yang sangat kencang terjadi dengan pola aliran yang tertentu. Disini juga tempat terbangnya pesawat. Awan tinggi jenis *cirrus* kadang-kadang terjadi di lapisan paling bawah, namun tidak ada pola cuaca yang signifikan yang terjadi pada lapisan ini.

Dari bagian tengah stratosfer ke atas, pola suhunya berubah menjadi semakin bertambah semakin naik, karena bertambahnya lapisan dengan konsentrasi ozon yang bertambah. Lapisan ozon ini menyerap radiasi sinar ultra ungu. Suhu pada lapisan ini bisa mencapai sekitar 18°C pada ketinggian sekitar 40 km. Lapisan *stratopause* memisahkan stratosfer dengan lapisan berikutnya.

3) Mesosfer

Kurang lebih 25 mil atau 40 km diatas permukaan bumi terdapat lapisan transisi menuju lapisan mesosfer. Pada lapisan ini, suhu kembali turun ketika ketinggian bertambah, sampai menjadi sekitar -143°C di dekat bagian atas dari lapisan ini, yaitu kurang lebih 81 km diatas permukaan bumi. Suhu

serendah ini memungkinkan terjadi awan *noctilucent*, yang terbentuk dari kristal es.

4) Termosfer

Transisi dari mesosfer ke termosfer dimulai pada ketinggian sekitar 81 km. Dinamai termosfer karena terjadi kenaikan temperatur yang cukup tinggi pada lapisan ini yaitu sekitar 1982°C. Perubahan ini terjadi karena serapan radiasi sinar ultra ungu. Radiasi ini menyebabkan reaksi kimia sehingga membentuk lapisan bermuatan listrik yang dikenal dengan nama ionosfer, yang dapat memantulkan gelombang radio. Sebelum munculnya era satelit, lapisan ini berguna untuk membantu memancarkan gelombang radio jarak jauh.

Fenomena aurora yang dikenal juga dengan cahaya utara atau cahaya selatan terjadi disini.

5) Eksosfer

Adanya refleksi cahaya matahari yang dipantulkan oleh partikel debu meteoritik. Cahaya matahari yang dipantulkan tersebut juga disebut sebagai cahaya Zodiakal

6) Ionosfer

Gas dalam wilayah ini ditemukan dalam bentuk ion. Gas-gas yang terionisasi inilah yang menjadi nama dari lapisan ini.

7) Magnetosfer

Karena medan magnetik bumi terdapat pada lapisan ini, maka ia dinamai Magnetosfer. Lapisan ini, berfungsi seperti perisai dan terletak antara 3.000 – 30.000 km (1.850 - 18.500 mil) diatas permukaan bumi. Wilayah ini, yang melindungi bumi dari radiasi yang berasal dari antariksa, disebut Sabuk Van Allen.

Di antara tiap-tiap dua lapisan atmosfer, terdapat lapisan antara (transisi) yang merupakan batas antar muka kedua lapisan. Lapisan batas (antara) berfungsi utama untuk menjaga eksistensi masing-masing lapisan yang tidak bercampur. Ada 3 lapisan transisi di atmosfer, yaitu :

- 1) Tropopause merupakan lapisan transisi antara troposfer dan stratosfer.
- 2) Stratopause merupakan lapisan transisi antara stratosfer dan mesosfer.
- 3) Mesopause merupakan lapisan transisi antara mesosfer dan termosfer.

D. Reaksi-reaksi Kimia dalam Atmosfer

1) Reaksi Fotokimia

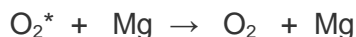
Reaksi fotokimia adalah reaksi-reaksi kimia yang terjadi di atmosfer sebagai akibat dari penyerapan foton cahaya oleh molekul-molekul. Reaksi-reaksi fotokimia meskipun pada keadaan tanpa katalis dapat berlangsung pada suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan reaksi lainnya. Beberapa reaksi fotokimia yang dipengaruhi radiasi matahari, memegang peranan penting dalam menentukan sifat dan batas perjalanan zat-zat kimia dalam atmosfer.

Nitrogen dioksida (NO_2) merupakan jenis senyawa kimia yang secara fotokimia paling efektif dalam atmosfer tercemar, dan merupakan komponen utama dalam proses pembentukan kabut. Suatu spesi seperti NO_2 dapat mengabsorpsi cahaya dari energi $h\nu$ dalam suatu reaksi yang menghasilkan suatu molekul dengan sebuah elektron tereksitasi yang dinyatakan dengan tanda *.



Molekul-molekul dengan elektron tereksitasi adalah salah satu dari tiga jenis spesi yang relatif reaktif dan tidak stabil yang jumlahnya sangat banyak di atmosfer dan banyak berperan dalam proses-proses kimia atmosfer. Dua jenis lainnya adalah atom-atom atau fragman-fragmen molekuler dengan elektron tidak berpasangan, yang disebut radikal bebas, dan atom-atom terionisasi atau fragmen-fragmen molekuler.

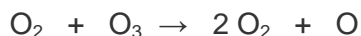
Sebuah molekul yang memperoleh energi dari penyerapan cahaya akan kehilangan energi dengan sejumlah proses. Jenis tereksitasi seperti O_2^* memberikan energinya ke molekul atau atom-atom yang dinyatakan dengan Mg, oleh suatu proses yang dikenal sebagai pemadaman fisik.



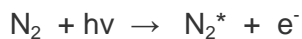
Akibat proses yang terjadi ini, terjadilah kenaikan kalor di sekelilingnya, spesi dalam keadaan tereksitasi dapat mengalami disosiasi, suatu proses yang dominan terjadi pada atom oksigen dalam atmosfer dengan altitude yang lebih tinggi.



Spesi yang tereksitasi juga dapat melalui suatu reaksi, seperti :



Penyerapan radiasi yang sangat energetik dapat menyebabkan pelepasan sebuah elektron,



Suatu proses yang disebut **fotokimia**. Fotokimia sering digolongkan ke dalam sub kategori dimana sebuah disosiasi menghasilkan elektron.

2) Ion-Ion Dan Radikal Dalam Atmosfer

Suatu karakteristik dari atas atmosfer yang tidak dapat terjadi di laboratorium adalah kehadiran elektron-elektron dan ion positif secara signifikan. Oleh karena kondisi dengan media yang sangat jarang di bagian atmosfer yang lebih tinggi, maka ion-ion ini akan terdapat dalam jangka waktu yang cukup lama sebelum bergabung kembali menjadi spesi yang netral.

Pada altitude kurang lebih 50 Km dan di atasnya, ion-ion sangat umum terdapat di daerah tersebut sehingga dinamakan ionosfer (lapisan ion-ion). Adanya lapisan tersebut telah diketahui sejak tahun 1901, setelah ditemukan bahwa gelombang radio dapat ditransmisikan melalui jarak jauh.

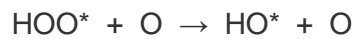
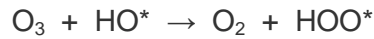
Cahaya ultraviolet merupakan pembentuk utama dari ion-ion dalam ionosfer. Dalam keadaan gelap, ion-ion perlahan bergabung dengan elektron bebas. Proses ini berlangsung cepat terutama di daerah yang lebih rendah dari ionosfer.

Medan magnet bumi sangat memberikan pengaruh kepada ion-ion dalam atmosfer bagian yang lebih tinggi. Manifestasi dan fenomena ini dikenal dengan *Van Allen Belts* (sabuk Van Alen), yang ditemukan pada tahun 1958, daerah ini terdiri dari dua sabuk dari partikel-partikel dalam bentuk ion yang mengelilingi bumi. Di bagian dalam, yaitu daerah ionisasi energetik tinggi terdiri dari proton-proton dan bagian luar terdiri dari elektron-elektron.

Di bagian lebih atas atmosfer, radiasi elektromagnetik dapat menghasilkan radikal bebas sebagai salah satu bentuk lain dari pembentukan ion-ion fotoionisasi.

Radikal bebas merupakan spesi yang sangat penting dalam atmosfer karena terlihat secara signifikan dalam fenomena kimia atmosfer. Spesi tersebut bisa dalam bentuk atom atau kelompok atom-atom dengan elektron tidak berpasangan dan sangat bersifat reaktif. Di atmosfer bagian atas, radikal bebas

memiliki waktu paroh yang hanya beberapa menit saja meskipun ada yang lebih lama. Radikal bebas dapat terlibat dalam reaksi dimana radikal bebas yang lain terbentuk dari reaksi tersebut, contoh :



Dari reaksi di atas tampak radikal bebas hidroksil, HO^* yang sangat reaktif dalam reaksinya dengan ozon, O_3 , menghasilkan radikal lain, HOO^* dan radikal pada reaksi lebih lanjut menghasilkan kembali radikal bebas HO^* .

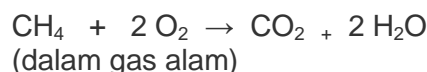
Reaksi lain dari radikal bebas adalah terjadinya penghancuran radikal yang satu oleh radikal bebas lainnya sehingga reaksi rantai yang terjadi bisa berhenti. Reaksi ini disebut reaksi terminasi rantai ("chain-terminating-reaction"). Reaksi-reaksi yang melibatkan radikal bebas bertanggung jawab terhadap pembentukan kabut asap (*smog*).

Radikal bebas sangat reaktif oleh karena itu secara umum mempunyai waktu paroh yang sangat singkat. Sangat penting untuk membedakan antara kereaktifan dengan kestabilan. Untuk radikal bebas disamping sangat reaktif juga sangat stabil. Oleh karena itu radikal bebas dan atom-atom "single" yang berasal dari molekul-molekul gas dengan dua atom cenderung tetap berada di daerah dengan altitude yang sangat tinggi. Sedangkan spesi yang tereksitasi secara elektronik mempunyai waktu paroh yang secara umum sangat singkat karena energi yang hilang melalui radiasi.

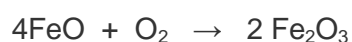
3) Reaksi-Reaksi Oksigen Atmosfer

Siklus oksigen merupakan hal yang sangat penting dalam kimia atmosfer, perubahan/transformasi geokimia dan proses-proses kehidupan.

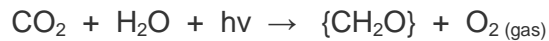
Oksigen dalam troposfer memegang peranan yang sangat penting pada proses-proses yang terjadi di permukaan bumi. Oksigen atmosfer mengambil bagian dalam reaksi yang menghasilkan energi. Seperti pada pembakaran bahan bakar fosil,



Oksigen atmosfer digunakan oleh organisme aerobik dalam proses degradasi bahan organik. Proses-proses oksidasi oleh udara membutuhkan oksigen atmosfer seperti :



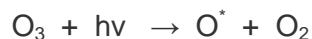
Oksigen memasuki udara melalui reaksi fotosintesis tanaman :



Semua bentuk oksigen dalam bentuk molekul yang sekarang ada dalam atmosfer bermula dari kegiatan fotosintesis oleh organisme, yang memperlihatkan pentingnya fotosintesis tersebut dalam keseimbangan oksigen dalam atmosfer. Artinya meskipun pembakaran dari bahan bakar fosil membutuhkan banyak oksigen, hal ini tidak membahayakan kontinuitas oksigen dalam atmosfer.

Oksigen di atmosfer yang lebih tinggi berbeda dengan oksigen yang lebih rendah karena adanya pengaruh dari radiasi ionisasi. Dalam daerah ini oksigen terdapat dalam bentuk oksigen atom, O, molekul oksigen tereksitasi, O_2^* , dan ozon, O_3 . Kurang dari 10% oksigen dalam bentuk O_2 terdapat dalam atmosfer pada altitude kurang lebih 400 Km.

Atom oksigen dalam keadaan “*ground state*” (elektron tidak tereksitasi) biasanya dinyatakan sebagai O. Adapun atom-atom oksigen yang elektronnya tereksitasi dinyatakan sebagai O^* . Spesi ini dihasilkan dari fotosintesis ozon pada panjang gelombang dibawah 308 μm .

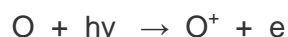


Atau oleh reaksi kimia dengan energi tinggi, seperti

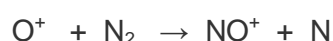
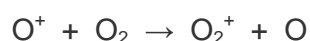


Atom oksigen tereksitasi memancarkan cahaya tampak pada panjang gelombang 636 μm 630 μm , dan 558 μm . Hal ini juga merupakan penyebab dari suatu fenomena yang dikenal dengan “*air glow*”.

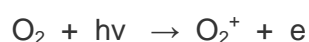
Ion-ion oksigen, O^+ , dapat dihasilkan bila atom oksigen terkena radiasi ultraviolet.



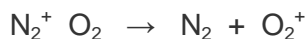
Ion oksigen yang bermuatan positif ini merupakan ion positif yang utama yang terdapat dibebberapa bagian ionosfer. Ion ini selanjutnya akan bereaksi lebih lanjut membentuk ion-ion positif penting lainnya :



Di bagian tengah ionosfer, seperti O_2^+ dihasilkan oleh oksidasi radiasi ultraviolet pada panjang gelombang 17 – 103 μm ,

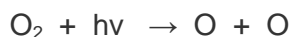


Reaksi ini juga dapat terjadi dengan adanya sinar X berenergi rendah. Reaksi dibawah ini.



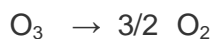
Juga menghasilkan O_2^+ di bagian tengah ionosfer.

Ozon, O_3 , suatu senyawa oksigen yang sangat signifikan ditemukan di stratosfer. Ozon mengabsorpsi radiasi ultra violet yang berbahaya yang berfungsi sebagai pelindung makhluk hidup di bumi dan sejumlah pengaruh radiasi tersebut. Ozon dihasilkan dari reaksi fotokimia berikut :



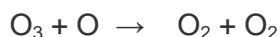
dimana M adalah spesi lain, seperti molekul N_2 atau O_2 yang mengabsorpsi kelebihan energi yang dilepaskan reaksi dan memungkinkan molekul-molekul ozon tinggal bersama-sama. Daerah dimana ozon ditemukan dalam konsentrasi maksimum berkisar antara 25-30 km dalam stratosfer, konsentrasinya dapat mencapai 10 ppm.

Sinar ultraviolet yang diabsorpsi ozon secara intensif di daerah 220-230 μm . Bila sinar tersebut tidak diabsorpsi oleh ozon, maka berbagai kerusakan terjadi terhadap kehidupan di permukaan bumi. Ozon dapat mengurai menjadi O_2 :

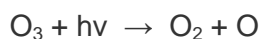


dan ini terjadi di stratosfer yang dikatalis oleh sejumlah bahan kimia baik secara alamiah maupun polutan, seperti NO, NO_2 , N_2O , HO, HOO, ClO, Cl, Br dan BrO.

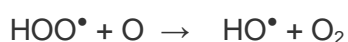
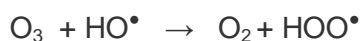
Reaksi penguraian ozon yang terbaur diketahui adalah reaksi ozon dengan atom oksigen,



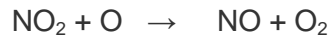
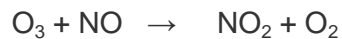
Dimana atom oksigen yang diperlukan berasal dari reaksi pemisahan ozon yang lain,



Reaksi ini dapat menguraikan ozon hanya kira-kira 20 %. Reaksi lain yang dapat menguraikan kira-kira 10 % ozon adalah reaksi dengan radikal hidroksil, OH^\bullet yang dihasilkan dari reaksi-reaksi fotokimia dari H_2 , O_2 dan H_2O di stratosfer. Reaksi yang masuk akal urutannya sebagai berikut:



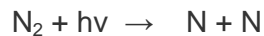
Penyebab kerusakan ozon di stratosfer telah diketahui juga yaitu NO, yang menyebabkan terjadinya reaksi rantai sebagai berikut :



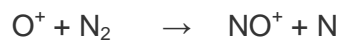
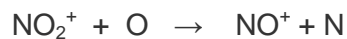
Gas NO merupakan bahan pencemar dikeluarkan oleh pesawat supersonik yang sedang terbang tinggi.

4) Reaksi-reaksi dari Nitrogen Atmosfer

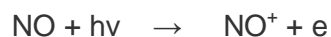
Nitrogen merupakan salah satu pengukur atmosfer dengan kandungan yang paling tinggi. Tidak seperti oksigen yang mengalami disosiasi hampir sempurna menjadi mono atom di daerah atmosfer dengan altitude yang lebih tinggi, molekul Nitrogen terdisosiasi secara langsung oleh radiasi ultraviolet. Tetapi, pada altitude melebihi 100 km, atom Nitrogen dihasilkan oleh reaksi fotokimia.



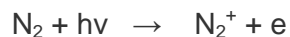
Reaksi-reaksi lainnya yang dapat menghasilkan Nitrogen mono atom adalah



Di lapisan ionosfer, yang disebut daerah E, NO^+ merupakan ion yang dominan. Ionosfer terendah, yaitu daerah D, yang mempunyai ketinggian lebih kurang 50 km sampai lebih kurang 80 Km, NO^+ dihasilkan langsung dari radiasi ionisasi :

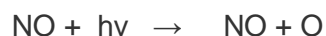


Pada daerah lebih rendah dari daerah D, terbentuk ion N^{2+} melalui kerja sinar kosmik galactic melalui reaksi :



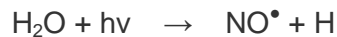
Zat-zat pencemar oksida nitrogen, terutama NO_2 , merupakan jenis pencemar utama dalam pencemaran udara dan pembentukan kabut fotokimia.

Sebagai contoh, NO_2 mudah terdisosiasi secara fotokimia menjadi NO dan oksigen atomik yang reaktif :



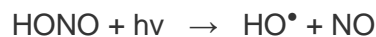
5) Radikal Hidroksil dan Hidroperoksil di Atmosfer

Akhir-akhir ini pentingnya radikal hidroksil HO[•] dalam atmosfer merupakan fenomena kimia yang mendapat pengakuan yang makin meningkat. Radikal ini dapat terbentuk melalui berbagai proses. Pada altitude lebih tinggi, reaksi pembentukan radikal hidroksil yang umum adalah fotolisis dari air, yang juga memberikan kontribusi yang cukup besar dari hydrogen atomik dalam atmosfer.

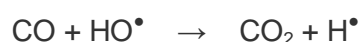


Dalam kehadiran bahan organik, radikal hidroksil dihasilkan dalam jumlah yang cukup banyak sebagai bahan **intermediate** pada pembentukan **fotochemical smog**.

Untuk tujuan eksperimen di laboratorium, sangat tepat untuk menghasilkan radikal hidroksil dengan jalan fotolisis uap asam nitrat seperti reaksi berikut ini :



Radikal hidroksil sering dapat dihilangkan dari lapisan troposfer melalui reaksi dengan gas metana atau karbon monoksida :

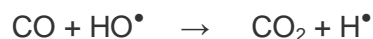


Selanjutnya radikal metil yang mempunyai kereaktifan tinggi, H₃C[•], bereaksi dengan oksigen

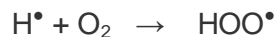


Membentuk radikal metil peroksil, H₃COO[•].

Radikal hidroperoksil terbentuk ketika hydrogen atomi yang dihasilkan dari reaksi :



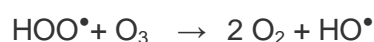
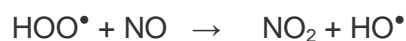
Bereaksi dengan oksigen



Radikal hidroperoksil dapat mengalami reaksi rantai terminasi seperti berikut ini :



Hydrogen peroksida, H₂O₂ yang terbentuk dapat keluar dari atmosfer dengan jalan pengendapan. Radikal hidroperoksil dapat bereaksi lebih lanjut yang menghasilkan kembali radikal HO[•] ketika bereaksi dengan NO, atau ozon, O₃.



Radikal hidroperoksil bereaksi lebih lambat dengan spesi lain daripada radikal hidroksil. Sukar untuk mempelajari radikal ini karena tidak mudah untuk memperoleh radikal hidroksil secara bebas.

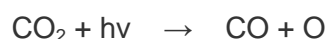
6) Karbon Dioksida Atmosfer

Komponen karbon dioksida, CO₂, hanya 0,034% volume sebagai gas penyusun atmosfer. Hampir sama dengan uap air, karbon dioksida merupakan komponen-komponen yang mempunyai fungsi utama untuk mengabsorpsi energi infra merah yang dipancarkan kembali oleh bumi. Para ilmuwan mengkhawatirkan bahwa tingkat konsentrasi karbon dioksida yang berubah meningkat tajam akan menyebabkan terjadinya perubahan iklim di bumi sebagai akibat dari terjadinya efek rumah kaca.

Terjadinya peningkatan karbon dioksida ini terutama disebabkan oleh meningkatnya pembakaran bahan bakar fosil yang makin hari makin bertambah. Pengukuran yang pernah dilakukan terhadap CO₂ di atmosfer secara kontinu mulai tahun 1960 sampai 1985 di beberapa wilayah atmosfer seperti di Antartika ternyata terjadi peningkatan kurang lebih 1 ppm per tahun. Diperkirakan adanya peningkatan suhu global dengan kenaikan suhu rata-rata antara 1,5 sampai 4,5 °C. Akibat dari meningkatnya konsentrasi CO₂ atmosfer juga memberikan efek yang potensial terhadap terjadinya kerusakan lingkungan yang bersifat irreversible bahkan melebihi akibat yang ditimbulkan oleh senjata nuklir.

Peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer yang sebagian besar disebabkan oleh pembakaran bahan bakar fosil, juga disebabkan oleh perusakan hutan seperti pembakaran hutan akan melepaskan gas CO₂ yang cukup signifikan ke atmosfer.

Oleh karena itu konsentrasi CO₂ alam sangat kecil di atmosfer dan tidak cukup aktif dalam reaksi kimia maka dalam studi reaksi-reaksi kimia atmosfer spesi ini relatif kurang signifikan. Namun demikian didasarkan kepada tingkat/konsentrasi CO₂ dan intensitas radiasi ultraviolet matahari di lapisan teratas atmosfer.



Reaksi ini merupakan sumber utama dari gas CO pada altitude yang lebih tinggi. Meskipun CO₂ mengabsorpsi radiasi infra merah cukup kuat, tetapi radiasi ini tidak cukup energik untuk menyebabkan terjadinya reaksi Kimia.

7) Air Dalam Atmosfer

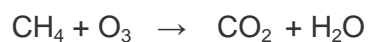
Uap air dalam atmosfer terdapat dalam konsentrasi yang cukup luas variasinya terutama di atmosfer paling bawah. Secara normal kandungan uap air atmosfer berkisar antara 1-3 % volume, meskipun udara ada yang hanya mengandung 0,1 % tetapi dapat juga mencapai 5%. Persentase dari kandungan uap air ini menurun dengan cepat dengan bertambahnya altitude di atmosfer.

Air menyerap radiasi infra merah bahkan lebih kuat dari gas CO₂. Awan terbentuk dari uap air yang memantulkan cahaya yang berasal dari matahari dan memberikan pengaruh kepada penurunan suhu. Sebaliknya pada malam hari uap berfungsi sebagai selimut karena menahan panas dari permukaan bumi dengan menyerap radiasi infra merah.

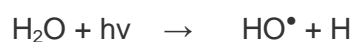
Di atmosfer yang lebih tinggi air dalam bentuk gas terlihat pada pembentukan radikal hidroksil, HO[•], dan radikal hidroperoksil, HOO[•]. Salah satu efek yang berbahaya dari beberapa bahan pencemaran udara adalah proses perkaratan dari alat-alat logam yang terjadi karena adanya uap air di atmosfer. Kehadiran uap air di atmosfer menyebabkan pencemaran dalam bentuk fog (asap kabut) di bawah suatu kondisi tertentu.

Ketika partikel-partikel es di atmosfer berubah menjadi tetes-tetes air, atau ketika tetes-tetes air ini menguap, panas diambil dari sekitarnya. Kebalikan dari proses –proses ini menyebabkan panas yang dilepaskan ke atmosfer sebagai panas laten. Hal ini dapat terjadi pada jarak beberapa mil dari tempat dimana panas diabsorpsi dan hal ini merupakan suatu model dari transfer atau perpindahan energi ke atmosfer. Hal ini merupakan model utama dari transisi energi yang terdapat pada peristiwa angin ribut, angin topan dan tornado.

Seperti telah dikemukakan sebelumnya bahwa dinginnya di lapisan **tropopause** merupakan karier kepada pergerakan air untuk memasuki lapisan stratosfir. Sumber utama dari air di stratosfir adalah oksidasi fotokimia dari metana :



Air yang terbentuk inilah yang menjadi sumber dari radikal hidroksil di stratosfir melalui reaksi :



dimana radikal hidroksil merupakan suatu fenomena Kimia atmosfer yang meningkat akhir-akhir ini.