

# ANALISIS VIBRASI MOLEKUL PADA GAS RUMAH KACA

Fanny Aditya Putri

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

Jl. Dr. Djundjuna 133 Bandung 40173 Indonesia

email: fanny.adityaputri@gmail.com

## RINGKASAN

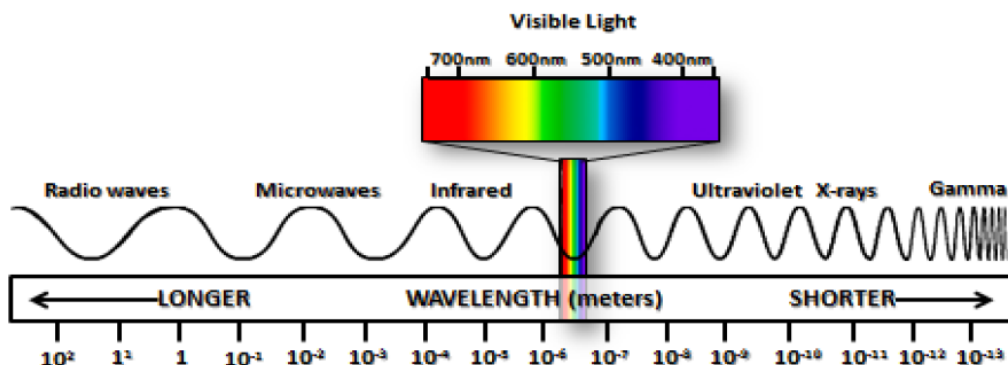
Matahari memancarkan radiasi ke bumi dalam berbagai panjang gelombang, sebagian besar dalam bentuk sinar tampak. Untuk menjaga kesetimbangan panas di bumi, maka bumi akan mengemisikan kembali radiasi yang telah diserap. Salah satu sinar yang diemisikan kembali oleh bumi (*outgoing radiation*) yaitu sinar inframerah (IR). Beberapa gas penyusun atmosfer dapat menyerap sinar IR. Gas-gas tersebut antara lain uap air (H<sub>2</sub>O), karbondioksida (CO<sub>2</sub>), metana (CH<sub>4</sub>), dan dinitrogen oksida (N<sub>2</sub>O). Gas-gas ini memerangkap sinar inframerah sehingga membuat lapisan yang berada di bawahnya hangat. Kejadian ini mirip dengan efek yang ditimbulkan oleh rumah kaca. Gas-gas rumah kaca tersebut dapat menyerap sinar inframerah karena mempunyai mode vibrasi normal yang menghasilkan perubahan momen dipol saat bervibrasi.

### 1 PENDAHULUAN

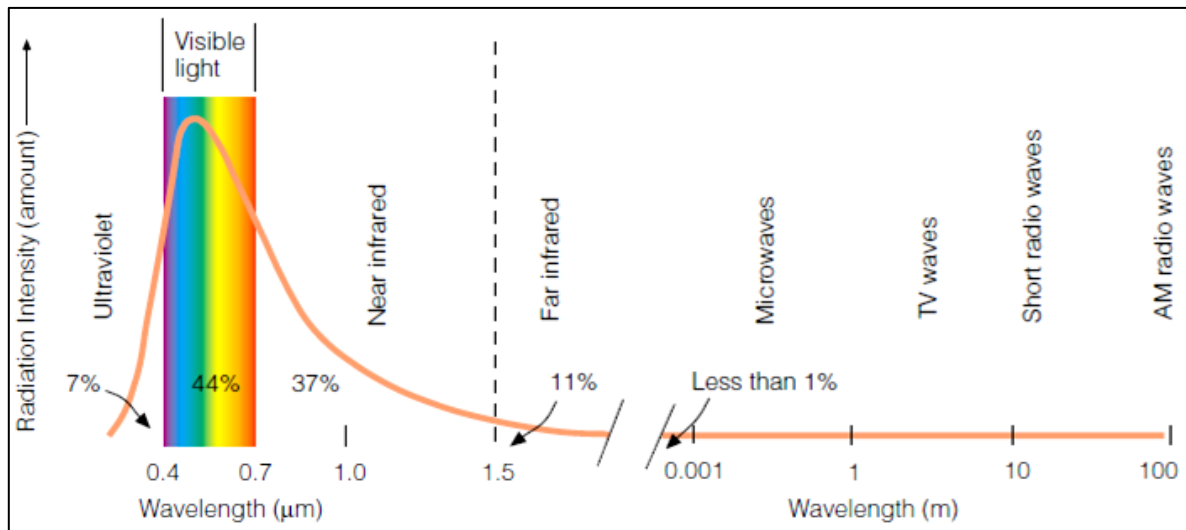
Bumi memiliki atmosfer dengan komposisi yang unik. Atmosfer bumi tersusun atas berbagai macam gas. Penyusun terbesarnya adalah gas nitrogen dan gas oksigen, masing-masing sekitar 78% dan 21%. Satu persen sisanya adalah gas argon, helium, xenon, neon, dan gas-gas lain yang jumlahnya bervariasi seperti uap air, karbondioksida, metana, dan dinitrogen oksida. Uap air dan karbondioksida merupakan zat-zat yang jumlahnya hanya sedikit di atmosfer, tetapi dapat menghangatkan atmosfer bumi sehingga sering disebut sebagai gas rumah kaca.

Sumber energi terbesar di bumi berasal dari sinar matahari. Matahari

memperoleh energi dari proses fusi inti. Energi dari reaksi fusi tersebut dipancarkan dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik menyebar melalui gelombang elektromagnetik. Gelombang ini mempunyai sifat elektrik dan magnetik, serta dapat merambat melalui gas, zat cair, zat padat, bahkan hampa udara. Gelombang elektromagnetik dibedakan berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya. Skema lengkap dari radiasi elektromagnetik ditunjukkan dalam spektrum elektromagnetik pada Gambar 1-1. Pada Gambar 1-1 terlihat bahwa radiasi gamma mempunyai panjang gelombang terpendek dan gelombang radio mempunyai panjang gelombang terpanjang.



Gambar 1-1: Spektrum elektromagnetik (Sumber: <http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/radiation-sun.php>)



Gambar 1-2: Jenis radiasi elektromagnetik yang dipancarkan matahari ke bumi (Sumber: Ahrens, 2012)

Radiasi matahari yang dipancarkan ke bumi sebagian besar dalam bentuk sinar tampak (Gambar 1-2). Dari total sinar matahari yang dipancarkan ke bumi, hanya sekitar 51% yang diserap oleh permukaan bumi. Atmosfer menyerap sinar matahari sebesar 19% dan sisanya sebesar 30% dipantulkan kembali ke angkasa.

Untuk menjaga kesetimbangan panas di bumi, maka bumi akan memancarkan kembali radiasi yang telah diserap. Radiasi yang dipancarkan bumi adalah radiasi dengan panjang gelombang tinggi (*long-wave radiation*) yang berenergi lebih rendah dibandingkan dengan sinar matahari yang sampai ke bumi. Salah satu sinar yang dipancarkan kembali oleh bumi (*outgoing radiation*) yaitu sinar inframerah.

## 2 RADIASI INFRA MERAH

Radiasi Inframerah (IR) pertama kali ditemukan oleh Sir William Herschel pada 1800. IR mempunyai panjang gelombang 700 nm – 1 mm. Sinar IR dapat membuat ikatan kimia dalam molekul lebih bervibrasi atau berpindah ke tingkat energi vibrasi yang lebih

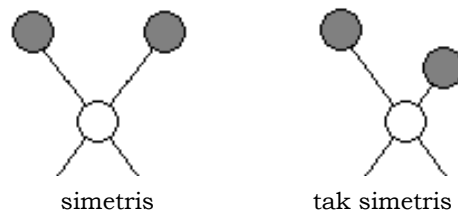
tinggi (Tabel 2-1). Untuk dapat mengabsorpsi sinar IR, molekul harus mempunyai perubahan momen dipol pada saat bervibrasi (Stuart, 2004).

Vibrasi molekul ada dua jenis yaitu vibrasi ulur (*stretching vibrations*) dan vibrasi tekuk (*bending vibrations*). Pada vibrasi ulur terdapat perubahan jarak yang terus-menerus antara dua atom yang bervibrasi. Terdapat dua tipe vibrasi ulur yaitu vibrasi ulur simetris dan vibrasi ulur tak simetris (Gambar 2-1). Pada vibrasi tekuk terjadi perubahan sudut antara dua ikatan kimia. Terdapat empat tipe vibrasi tekuk yaitu *scissoring*, *rocking*, *wagging*, dan *twisting* (Gambar 2-2). Pada tipe *scissoring*, atom-atom bervibrasi mendekati satu sama lain seperti gerakan gunting, tipe *rocking*, atom-atom bervibrasi ke arah yang sama. Sedangkan tipe *wagging*, atom-atom bervibrasi ke arah luar bidang molekul dan tipe *twisting*, atom-atom bervibrasi ke arah luar bidang molekul dengan arah yang berlawanan. Keempat tipe vibrasi ulur tersebut hanya dapat terjadi pada molekul yang memiliki atom lebih dari dua.

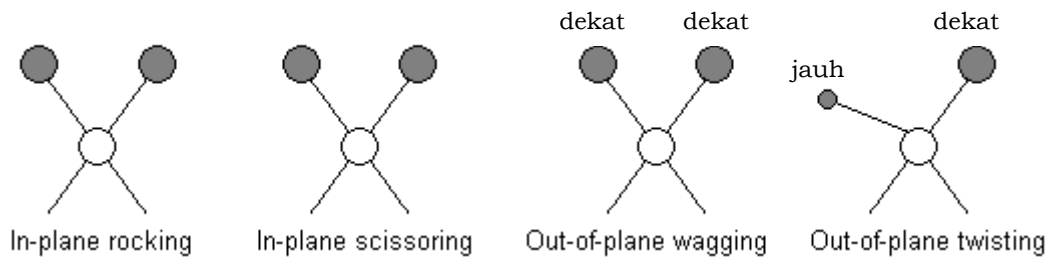
Tabel 2-1: JENIS TRANSISI DARI BERBAGAI RADIASI ELEKTROMAGNETIK

Panjang Gelombang	Radiasi	Transisi
10-50 nm	sinar-X	elektron inti
50-1000 nm	UV-Visible	elektron valensi
1000-20.000 nm	inframerah dekat	vibrasi
20.000-100.000 nm	inframerah jauh	rotasi
1-100	gelombang mikro	rotasi
100-1000	gelombang radio	spin inti

Sumber : Stuart, 2004.



Gambar 2-1: Dua tipe vibrasi ulur (<http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/irspec1.htm>)



Gambar 2-2: Empat tipe vibrasi tekuk (<http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/irspec1.htm>)

### 3 GAS RUMAH KACA

Beberapa gas penyusun atmosfer dapat menyerap sinar IR. Gas-gas tersebut antara lain uap air, karbondioksida, metana, dan dinitrogen oksida. Gas-gas ini memerangkap sinar IR sehingga membuat lapisan yang berada di bawahnya hangat. Kejadian ini mirip dengan kejadian di rumah kaca, dimana panas dalam rumah kaca terperangkap dan tidak dapat keluar. Oleh karena itu, gas-gas yang dapat menyerap sinar IR disebut gas rumah kaca (GRK). Mengapa hanya uap air, karbondioksida, metana, dan dinitrogen oksida yang termasuk dalam GRK?

Seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, bumi mengemisikan kembali sinar matahari dalam bentuk sinar IR. Sinar IR diabsorpsi oleh molekul ketika molekul tersebut mengubah gerakan rotasi-vibrasinya.

Karbondioksida mempunyai rumus molekul  $\text{CO}_2$ . Karbondioksida mempunyai bentuk molekul yang linier ( $\text{O}=\text{C}=\text{O}$ ). Molekul ini mempunyai empat mode vibrasi normal yaitu vibrasi ulur simetris, vibrasi ulur tak simetris, dan dua vibrasi tekuk yang memiliki tingkat energi yang sama. Dari keempat jenis vibrasi yang dimiliki karbondioksida, hanya tiga jenis yang aktif terhadap sinar IR. Vibrasi ulur simetris tidak aktif/tidak menyerap IR karena tidak terjadi perubahan momen dipol pada saat terjadinya vibrasi.

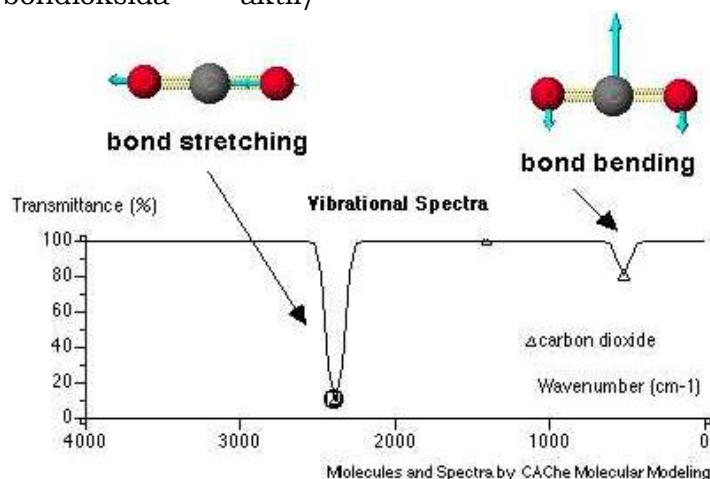
Dalam ilmu kimia, ikatan antara atom C dan atom O pada molekul karbondioksida disebut sebagai ikatan kovalen (kovalen rangkap,  $\text{C}=\text{O}$ ) dan karena dua ikatan  $\text{C}=\text{O}$  tersebut simetri maka molekul karbondioksida disebut sebagai molekul non polar. Pada ikatan kovalen non polar, pasangan elektron

ikatan ditarik secara seimbang oleh atom-atom sehingga tidak terbentuk momen dipol. Pada kasus karbondioksida, gaya tarik elektron ikatan antara atom C dengan atom O yang sebelah kiri sama besar dengan gaya tarik antara atom C dengan atom O yang di sebelah kanan. Pada saat karbondioksida bervibrasi ulur simetris, atom-atom O meregang dari atom C dengan jarak yang sama, sehingga atom C tetap berada di tengah. Akibatnya tidak terjadi perubahan momen dipol dan vibrasi ulur simetris tidak aktif terhadap sinar IR.

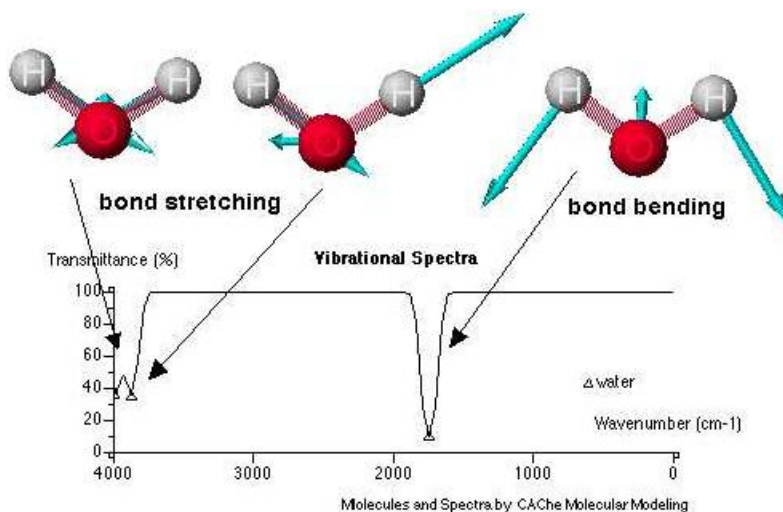
Pada saat vibrasi ulur tak simetris, terjadi perbedaan jarak antara O=C dan C=O karena atom-atom O meregang dengan jarak yang tidak sama. Hal ini mengakibatkan terjadinya perubahan momen dipol sehingga membuat karbondioksida aktif/

menyerap sinar IR. Begitu pula saat vibrasi tekuk, terjadi perubahan jarak yang mengakibatkan perubahan momen dipol. Spektrum IR dari karbondioksida ditunjukkan pada Gambar 3-1. Pada gambar tersebut terlihat bahwa pada saat vibrasi ulur tak simetris, karbondioksida menyerap IR pada bilangan gelombang sekitar  $2349\text{ cm}^{-1}$ . Saat vibrasi tekuk menyerap IR pada bilangan gelombang sekitar  $667\text{ cm}^{-1}$ .

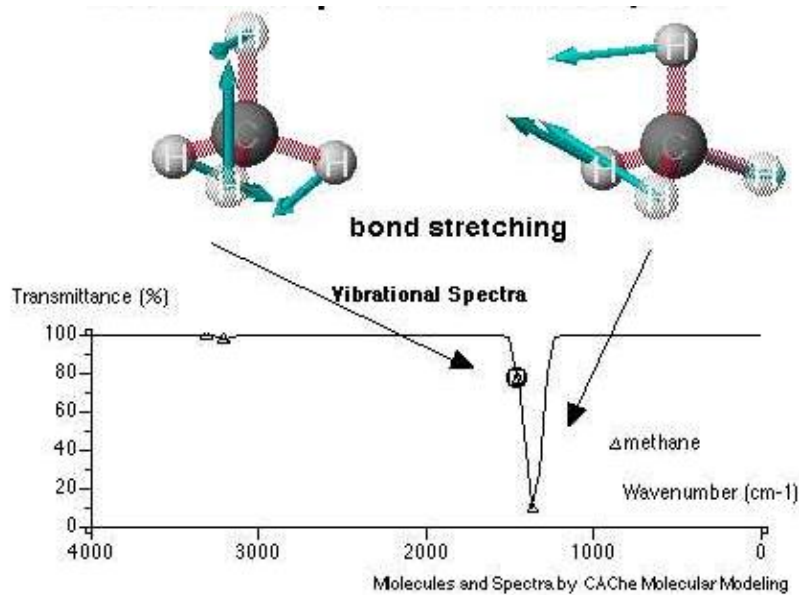
Uap air juga termasuk gas rumah kaca. Air memiliki rumus molekul  $\text{H}_2\text{O}$ . Air memiliki bentuk molekul V. Uap air memiliki tiga jenis vibrasi yaitu vibrasi ulur simetris (di  $3685\text{ cm}^{-1}$ ), vibrasi ulur tak simetris (di  $3506\text{ cm}^{-1}$ ), dan vibrasi tekuk *scissoring* (di  $1885\text{ cm}^{-1}$ ). Spektrum IR dari uap air ditunjukkan pada Gambar 3-2.



Gambar 3-1: Penyerapan sinar IR oleh karbondioksida ((Sumber : <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/images/irCO2.JPEG>))



Gambar 3-2: Penyerapan sinar IR oleh uap air ((Sumber: <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/images/irwater.JPEG>))



Gambar 3-3: Penyerapan sinar IR oleh metana (Sumber: <http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/images/irmethane.JPG>)

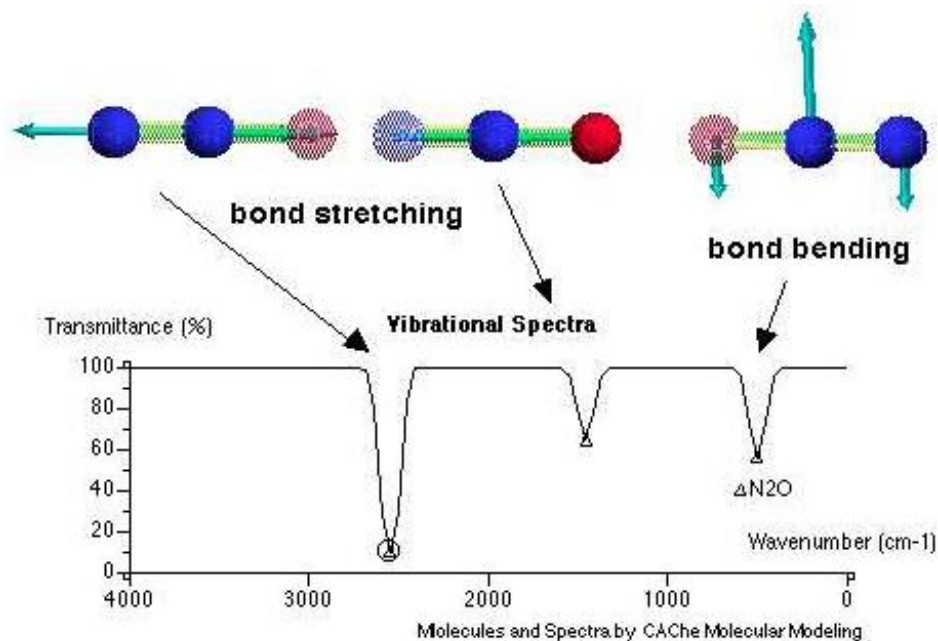
Gas  $N_2$  dan  $O_2$  yang merupakan penyusun terbesar atmosfer tidak menyerap sinar IR karena hanya mempunyai satu jenis vibrasi yaitu vibrasi ulur simetris. Vibrasi ulur simetris tidak menyebabkan perubahan momen dipol. Oleh karena itu,  $N_2$  dan  $O_2$  tidak aktif terhadap sinar IR.

Selain  $H_2O$  dan  $CO_2$ , gas lain yang diketahui mempunyai efek rumah kaca yaitu gas metana dan gas dinitrogen oksida. Metana mempunyai rumus molekul  $CH_4$ . Metana mempunyai bentuk molekul tetrahedral. Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), kenaikan konsentrasi metana sebesar 1060 ppb (150%) selama kurun waktu 1750-2000 menyebabkan *radiative forcing*  $\approx 0,48$  Watts/ $m^2$ . Metana mempunyai sembilan jenis mode vibrasi normal tetapi hanya dalam empat frekuensi yaitu vibrasi ulur di 2916 dan 3019  $cm^{-1}$  serta vibrasi tekuk di 1533 dan 1311  $cm^{-1}$ . Namun, hanya dua vibrasi yang aktif terhadap IR yaitu vibrasi ulur di 3019  $cm^{-1}$  dan vibrasi tekuk di 1311  $cm^{-1}$ , dimana atom hidrogen dan atom karbon sama-sama bergerak. Spektrum IR dari metana ditunjukkan pada Gambar 3-3.

Gas lain yang terdapat dalam atmosfer yang termasuk juga dalam GRK adalah gas dinitrogen oksida.

Dinitrogen oksida mempunyai rumus kimia  $N_2O$  dan bentuk molekul yang linier seperti bentuk molekul  $CO_2$ . Menurut IPCC, kenaikan konsentrasi  $N_2O$  sebesar 46 ppb (17%) selama 1750-2000 menyebabkan *radiative forcing*  $\approx 0,15$  Watts/ $m^2$ .  $N_2O$  mempunyai tiga jenis vibrasi yang aktif terhadap sinar IR, yaitu dua vibrasi ulur di 1285  $cm^{-1}$  dan 2224  $cm^{-1}$  serta satu vibrasi tekuk di 598  $cm^{-1}$ . Spektrum IR dari  $N_2O$  ditunjukkan pada Gambar 3-4.

Empat spektrum IR dari keempat GRK yang ditampilkan pada gambar sebelumnya merupakan plot transmitan terhadap bilangan gelombang. Transmitan menunjukkan jumlah radiasi yang ditransmisikan oleh molekul. Jika semua radiasi diserap oleh molekul, maka transmitannya bernilai nol. Sebaliknya, jika tidak ada radiasi yang diserap maka transmitannya bernilai 1 atau 100%. Bilangan gelombang adalah bentuk besaran lain untuk menunjukkan frekuensi radiasi. Frekuensi radiasi memiliki satuan Hz dan nilainya sangat besar. Untuk menyederhanakan, maka digunakanlah bilangan gelombang. Bilangan gelombang diperoleh melalui pembagian frekuensi oleh kecepatan cahaya. Bilangan gelombang yang mencakup radiasi IR oleh permukaan bumi bernilai 0-2500  $cm^{-1}$ .



Gambar 3-4: Penyerapan sinar IR oleh nitrogen oksida ((Sumber: [http:// www. elmhurst. edu/ ~chm/ vchembook/ images/ irN2O. JPEG](http://www.elmhurst.edu/~chm/vchembook/images/irN2O.JPEG))

#### 4 PENUTUP

Gas-gas di atmosfer yang termasuk ke dalam gas rumah kaca diantaranya ialah H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, dan CH<sub>4</sub>. Gas-gas tersebut mempunyai mode vibrasi normal yang menghasilkan perubahan momen dipol pada saat bervibrasi. Oleh karena itu, gas-gas tersebut dapat menyerap sinar inframerah yang dipancarkan oleh bumi. Gas rumah kaca dalam kadar yang normal, sebenarnya sangat penting untuk bumi kita. Jika tidak ada gas rumah kaca, maka sinar matahari akan langsung dipantulkan keluar atmosfer bumi sehingga bumi akan menjadi sangat dingin dan tertutupi es.

Yang menjadi masalah belakangan ini adalah efek rumah kaca yang berlebihan. Efek rumah kaca yang berlebihan dapat membahayakan bumi dan lingkungan kita, seperti meningkatnya suhu bumi yang langsung berpengaruh terhadap ekosistem. Banyak cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi gas rumah kaca. Salah satunya adalah dengan mengurangi penggunaan kendaraan pribadi dan menggunakan kendaraan umum. Penurunan penggunaan kendaraan bermotor akan menurunkan emisi gas rumah kaca.

Mencegah penebangan dan kebakaran hutan juga dapat dilakukan untuk mengurangi gas rumah kaca. Pohon-pohon di hutan dapat menyerap gas karbondioksida sehingga mengurangi jumlahnya di atmosfer.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Lilik Slamet dan Erma Yulihastin, M.Si. atas diskusi dan masukannya serta kepada Suhata, S.Si, MM. dan Ir. Ediwan, M.T. yang telah membantu proses perbaikan karya tulis ini.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Ahrens, C.D., 2012. *Essentials of Meteorology: An Invitation to the Atmosphere*, United State of America: Brooks/Cole.
- Barret, J., 2005. *Greenhouse Molecules, Their Spectra and Function in the Atmosphere*, Energy & Environment, 16 (6), 1037-1045.
- Energy: The Driver of Climate. ([http:// www. ces. fau. edu/ nasa/ module-2/](http://www.ces.fau.edu/nasa/module-2/), diakses 5 Januari 2015).
- <http://teaching.shu.ac.uk/hwb/chemistry/tutorials/molspec/irspec1.htm> (diakses 21 April 2015).
- [http://www2.ess.ucla.edu/~schauble/molecular\\_vibrations.htm](http://www2.ess.ucla.edu/~schauble/molecular_vibrations.htm) (diakses 5 Januari 2015).

National Aeronautics and Space Administration, Science Mission Directorate, 2010. *The Earth's Radiation Budget*, Retrieved November 26, 2014, from Mission: Science. ([http://missionscience.nasa.gov/ems/13\\_radiationbudget.html](http://missionscience.nasa.gov/ems/13_radiationbudget.html), diakses 5 Januari 2015).

Stuart, B. H., 2004. *Infrared Spectroscopy: Fundamental and Applications*, John Wiley and Son. ISBN: 978-0-470-85428-0.

