

BENTUK MOLEKUL SENYAWA KOVALEN, PROBLEMA DAN PEMECAHANNYA DALAM PENGAJARAN ILMU KIMIA

Oleh
Sukardjo

Abstrak

Bentuk atau struktur molekul merupakan pokok bahasan yang sulit dalam pengajaran ilmu kimia, karena tidak dapat dipelajari secara eksperimen, dan molekul sendiri merupakan partikel yang tidak tampak. Sebenarnya bentuk molekul zat-zat padat dapat ditentukan dengan cara difraksi sinar-X, namun cara ini memerlukan alat yang hanya dijumpai di laboratorium yang sangat maju, dan tidak terdapat di laboratorium kimia SMA. Ada tiga teori yang dapat dipakai untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen sederhana dari unsur non transisi, yaitu : (1) teori hibridisasi, (2) teori overlap orbital atom, dan (3) teori penolakan pasangan elektron. Teori (1) dan (2) belum dapat diajarkan di SMA karena memerlukan teori atom modern yang berdasarkan kurikulum 1984 belum diberikan di SMA. Tulisan ini bertujuan memberikan cara mengajarkan bentuk molekul senyawa kovalen, berdasarkan teori penolakan pasangan elektron. Berdasarkan teori ini jumlah pasangan elektron di sekitar inti atom, baik yang dipakai maupun yang tidak dipakai untuk membentuk ikatan memegang peranan yang penting. Bila di sekitar inti atom terdapat 2, 3, atau 4 pasang elektron maka bentuk molekulnya linear, trigonal planar, atau tetrahedral. Bila di sekitar inti atom terdapat 5 atau 6 pasang elektron, maka bentuknya trigonal bipiramidal atau oktahedral. Cara ini dapat diterapkan pada senyawa-senyawa kovalen sederhana dari unsur non-transisi.

A. Pendahuluan

Ilmu kimia merupakan ilmu pengetahuan yang berlandaskan eksperimen dan bersifat kuantitatif. Konsep, prinsip, dan hukum ilmu kimia diperoleh melalui eksperimen. Bersifat kuantitatif berarti pengetahuan tersebut diperoleh melalui pengukuran yang akurat. Dalam hal eksperimen tidak dapat dilakukan, maka pengetahuan tersebut diperoleh dari segi teori. Dalam pengajaran ilmu kimia, sedapat mungkin siswa mempelajari konsep, prinsip, atau hukum melalui eksperimen. Walau demikian banyak gejala kimia yang tidak dapat dipelajari melalui eksperimen, misalnya gejala atomis dan gejala lain sebagai akibat dari gejala ini. Gejala demikian harus dipelajari dari segi lain, yaitu segi teoritis.

Bentuk atau struktur molekul senyawa kovalen sederhana

dari unsur non transisi, yang untuk selanjutnya disebut bentuk molekul senyawa kovalen, termasuk pokok bahasan yang cukup sulit untuk dipelajari. Hal ini disebabkan oleh karena: (1) bentuk molekul merupakan sesuatu yang tidak tampak, (2) gejala tentang bentuk molekul tidak dapat ditimbulkan dengan eksperimen di laboratorium kimia biasa, (3) bentuk molekul harus dipelajari secara teoritis.

Secara empiris, bentuk atau struktur molekul senyawa yang berbentuk padat, termasuk senyawa kovalen, dapat ditentukan dengan difraksi sinar-X. Namun demikian alat difraksi sinar-X hanya terdapat di laboratorium yang sangat maju. Oleh karena itu pengajaran bentuk molekul senyawa kovalen di SMA secara empiris tidak dapat dilaksanakan.

Secara teoritis, bentuk atau struktur molekul senyawa kovalen dapat dijelaskan dengan tiga teori, yaitu teori *hibridisasi*, teori *overlap orbital atom*, dan teori *penolakan pasangan elektron*. Tiga teori ini memiliki kompleksitas berbeda-beda. Teori yang paling tepat untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen ialah teori hibridisasi, namun teori ini sangat kompleks dan memerlukan teori atom modern yang belum diberikan di SMA. Bentuk molekul senyawa kovalen juga dapat dijelaskan dengan teori *overlap orbital atom*, namun teori ini juga kompleks dan memerlukan teori atom modern. Teori yang lebih sederhana yang belum pernah dipakai untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen dalam pengajaran ilmu kimia di SMA ialah teori *penolakan pasangan elektron*.

Permasalahannya ialah dapatkah teori *penolakan pasangan elektron* dipakai untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen dalam pengajaran ilmu kimia hingga konsep ini dapat diterima dengan mudah oleh siswa SMA ?

Tujuan tulisan ini ialah memecahkan permasalahan tersebut, dengan memberikan alternatif cara mengajarkan bentuk molekul senyawa kovalen yang mendasarkan pada teori *penolakan pasangan elektron*. Pengajaran pokok bahasan ini dapat dipermudah dengan pemakaian model atom dan model molekul yang berupa bola-bola plastik kecil, dan sejenisnya.

B. Ciri Bentuk Molekul Senyawa Kovalen

Bentuk atau struktur molekul senyawa kovalen ialah susunan atom-atom dalam ruang dari molekul senyawa kovalen. Yang dimaksud dengan molekul senyawa kovalen ialah mole-

kul senyawa yang ikatan antara atom-atomnya berupa ikatan kovalen, seperti CH_4 , NH_3 , dan H_2O . Berikut adalah ciri dari molekul senyawa kovalen :

1. Bentuk molekul senyawa kovalen tetap, baik senyawa yang bersangkutan dalam fasa padat, cair, ataupun gas;
2. Dalam fasa padat molekul senyawa kovalen membentuk kristal molekuler dengan gaya tarik "van der Waals" antara molekul yang satu dengan molekul yang lain;
3. Bentuk kristal molekuler sama dengan bentuk satuan kisi kristalnya, yaitu bentuk kristal yang paling kecil, tetapi tidak sama dengan bentuk molekulnya, karena satuan kisi kristal tersusun dari beberapa molekul;
4. Sifat-sifat senyawa kovalen dipengaruhi oleh bentuk molekulnya;
5. Bentuk molekul senyawa kovalen diatomik selalu linear, tetapi bentuk molekul senyawa kovalen poliatomik bervariasi. Faktor yang menentukan ialah jumlah dan besarnya atom-atom penyusun, jumlah elektron, jenis sub kulit yang dipakai untuk pembentukan ikatan dari masing-masing atom, dan jumlah ikatan antara masing-masing atom.

Melihat faktor-faktor penentu bentuk molekul senyawa kovalen di atas, dapat difahami bahwa untuk mempelajari bentuk molekul senyawa kovalen diperlukan teori atom. Saat ini teori atom masih dalam perkembangan, hingga dikenal bermacam-macam teori atom dari yang paling sederhana sampai yang paling kompleks. Sejalan dengan hal ini, maka timbul berbagai teori untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen. Teori atom modern yang diberikan di SMA belum mampu menjangkau teori bentuk molekul yang mendasarkan pada teori ini, yaitu teori hibridisasi dan teori overlap orbital atom. Oleh karena itu teori hibridisasi dan teori overlap orbital atom kurang sesuai untuk menjelaskan bentuk molekul senyawa kovalen. Teori atom Rutherford-Bohr diberikan cukup mendalam, oleh karena itu bentuk molekul senyawa kovalen dapat dijelaskan dengan teori ini. Teori bentuk molekul yang mendasarkan pada teori tersebut ialah teori penolakan pasangan elektron.

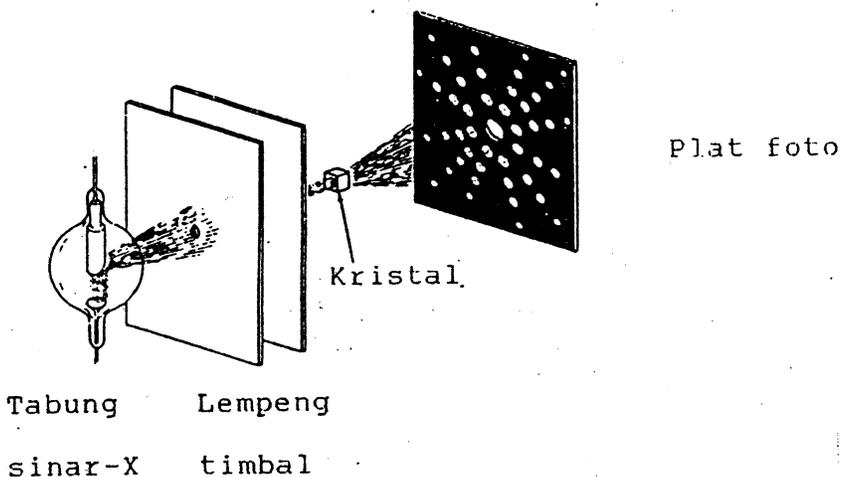
Bentuk molekul senyawa kovalen tidak dapat dijelaskan dengan eksperimen di laboratorium kimia biasa. Oleh karena sebenarnya bentuk molekul senyawa kovalen telah dapat ditetapkan dengan eksperimen oleh para ahli, dalam bagian berikut akan diberikan lebih dahulu penetapan bentuk molekul senyawa kovalen secara empiris. Bagian selanjutnya akan men-

jelaskan bentuk molekul senyawa kovalen secara teoritis.

C. Bentuk Molekul Senyawa Kovalen

1. Bentuk molekul hasil eksperimen

Bentuk molekul tidak dapat dilihat dengan alat apapun, lebih-lebih dengan mata telanjang. Bentuk molekul merupakan bentuk mikro, sedang yang dapat kita lihat adalah bentuk makro. Bagaimana bentuk molekul air ? Apakah bentuknya linear, atautkah menyudut ? Yang kita lihat adalah bentuk makronya, sedang ilmu kimia mempelajari zat dari segi makronya. Dengan cara yang disebut difraksi sinar-X sebenarnya telah dapat ditentukan bentuk molekul berbagai zat yang berbentuk kristal. Namun demikian alat difraksi sinar-X ini hanya dimiliki oleh laboratorium yang sangat maju, dan tidak ada pada sekolah menengah atas biasa, baik di negara maju dan lebih-lebih di negara berkembang.



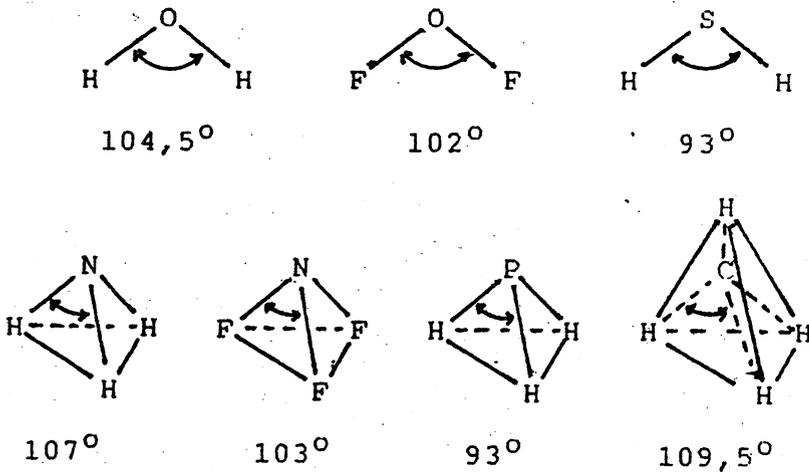
Gambar 1. Difraksi sinar-X

Dasar kerja difraksi sinar-X ialah kenyataan bahwa hampir semua zat membentuk kristal. Banyak zat berbentuk kristal pada suhu kamar, sedang zat yang berbentuk cair atau gas pada suhu kamar akan berbentuk kristal juga pada suhu yang sangat rendah. Air akan membentuk kristal dibawah suhu 0°C dan karbon dioksida akan membentuk kristal dibawah suhu -70°C . Hal yang sangat penting terdapat dalam kristal

ialah kenyataan bahwa atom, ion, atau molekul dalam kristal tersusun satu di atas yang lain secara teratur, yang disebut satuan kisi kristal. Bentuk kristal makro sama dengan bentuk mikro yang berupa satuan kisi kristal ini.

Bila sinar-X dikenakan kristal, sinar-X akan dihamburkan oleh atom atau ion, membentuk suatu pola tertentu dan teratur. Hamburan sinar-X ini dapat ditangkap dengan plat foto dan membentuk titik-titik yang mempunyai dua karakteristik: (1) titik-titik membentuk suatu pola tertentu dan teratur, (2) titik-titik mempunyai intensitas berbeda. Dari pola ini para ahli dapat menentukan susunan atom, ion, atau molekul dalam kristal. Setelah diketahui kedudukan relatif atom atau ion satu terhadap yang lain dalam molekul yang menyusun kristal, para ahli dapat menentukan jarak antara atom-atom atau ion-ion, dan besarnya sudut ikatan.

Dengan difraksi sinar-X di atas telah dapat ditentukan bentuk molekul berbagai senyawa kovalen. Molekul-molekul air H_2O , oksigen difluorida OF_2 , dan hidrogen sulfida H_2S , bentuknya tidak linear tetapi menyudut. Molekul-molekul amoniak NH_3 , nitrogen trifluorida NF_3 , dan fosfin PH_3 bentuknya piramida dengan atom N dan P sebagai puncak piramida. Molekul metan CH_4 berbentuk tetrahedral dengan atom C sebagai pusat tetrahedron. Besarnya masing-masing sudut ikatan molekul-molekul tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Sudut ikatan beberapa molekul senyawa kovalen

2. Bentuk Molekul menurut Teori Penolakan Pasangan Elektron

Setelah dijelaskan bahwa bentuk molekul secara eksperimen memang dapat ditentukan, marilah kita lihat bagaimana bentuk-bentuk molekul tersebut dijelaskan secara teori. Bentuk molekul senyawa kovalen dapat dijelaskan dengan tiga teori, yaitu :

1. Teori hibridisasi;
2. Teori overlap orbital atom;
3. Teori penolakan pasangan elektron.

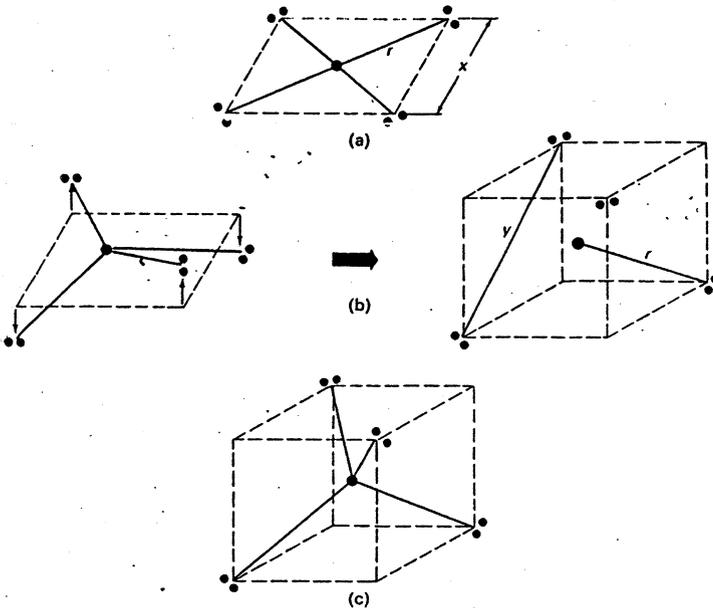
Teori (1) dan (2) ada pada Kurikulum SMA Tahun 1975 dan para guru sudah terbiasa dengan keduanya untuk mengajarkan bentuk molekul senyawa kovalen. Karena pada Kurikulum SMA Tahun 1984 kedua teori tersebut tidak ada, maka perlu dicari alternatif lain untuk mengajarkan bentuk molekul senyawa kovalen. Untuk keperluan ini guru dapat memakai teori (3). Pada tulisan ini, teori (1) dan (2) tidak dibicarakan, sedang teori (3) akan dibicarakan secara mendalam.

Untuk molekul-molekul atau ion-ion kovalen sederhana dari unsur non-transisi, bentuknya dapat ditentukan secara kualitatif dengan meneliti banyaknya pasangan elektron di sekitar inti atom, baik yang dipakai untuk membentuk ikatan ataupun yang tidak. Menurut teori penolakan pasangan elektron (*electron pair repulsion theory*), maka : "Pasangan-pasangan elektron dalam orbital-orbital valensi dari suatu atom akan cenderung mengatur dirinya sehingga penolakan antar elektron menjadi minimal".

Telah diketahui bahwa elektron di sekitar inti atom saling berpasangan. Tiap pasang elektron terdiri dari dua elektron yang pintalnya berlawanan. Bila di sekitar inti atom sudah ada sepasang elektron, maka pasangan elektron pada kulit atom yang sama akan menjauhi pasangan elektron tersebut karena adanya gaya tolak listrik. Gaya tolak pasangan elektron yang tidak dipakai untuk membentuk ikatan lebih besar daripada yang dipakai untuk membentuk ikatan. Oleh karena itu pasangan-pasangan elektron akan terdistribusi di sekitar inti atom pada jarak yang sebesar-besarnya. Namun demikian, pasangan-pasangan elektron ini tidak dapat sangat jauh dari inti karena ditarik oleh muatan positif inti.

Andaikan ada empat pasang elektron dalam satu bidang akan menempati tempat yang sejauh-jauhnya satu terhadap yang lain, dan sama jauhnya dari inti atom, maka pasangan

elektron ini akan terdapat pada sudut bujur sangkar (gambar 3a). Bila pasangan elektron tersebut terdapat dalam ruang, maka jaraknya dapat lebih jauh lagi satu terhadap yang lain. Hal ini dapat dicapai dengan menggeser dua pasang elektron yang berseberangan ke atas, dan dua pasang lainnya ke bawah (Gambar 3b). Susunan yang paling baik dicapai bila jarak keempat pasang elektron tersebut sama. Hal ini terjadi bila pasangan elektron itu terdapat pada sudut-sudut kubus (Gambar 3c). Bila semua pasangan elektron dihubungkan dengan garis, diperoleh bentuk tetrahedron dan susunan ini disebut susunan tetrahedral. Susunan demikian mempunyai gaya tolak pasangan elektron minimal.



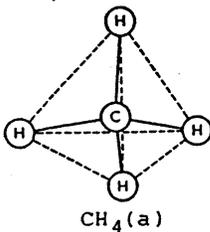
Gambar 3. Susunan empat pasang elektron di sekitar inti atom

a. Distribusi empat pasang elektron

Dari uraian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa bila ada empat pasang elektron di sekitar inti atom, maka bentuk molekul yang paling mungkin ialah bentuk tetrahedral. Molekul demikian terdapat pada CH_4 dan senyawa-senyawa karbon

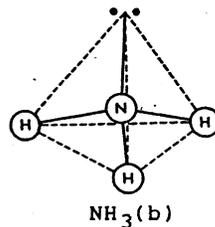
lain yang berikatan kovalen tunggal. Sudut ikatan tetrahedron besarnya $109,5^\circ$ (Gambar 4a).

Senyawa-senyawa NH_3 , H_2O , dan HF mempunyai bentuk molekul yang dapat diturunkan dari bentuk molekul CH_4 . Inti-inti atom N, O, dan F masing-masing juga memiliki empat pasang elektron, jadi molekulnya mempunyai bentuk tetrahedral. Adanya satu pasangan elektron bebas pada molekul NH_3 menyebabkan sudut ikatan pada molekul ini lebih kecil daripada sudut ikatan pada molekul CH_4 , karena gaya tolak yang lebih besar daripada gaya tolak pasangan elektron pada CH_4 . Bentuk molekul NH_3 tidak berupa tetrahedral murni, tetapi berbentuk piramidal dengan atom N dipuncaknya, dan atom H di alasnya (Gambar 4b). Adanya dua pasangan elektron bebas pada molekul H_2O menyebabkan sudut ikatan yang lebih kecil lagi. Molekul H_2O tidak lurus tetapi menyudut (Gambar 4c). Bentuk molekul HF dengan sendirinya linear atau lurus (Gambar 4d).



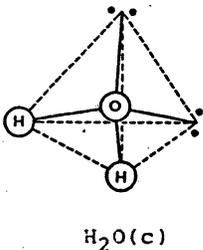
Sudut ikatan $109,5^\circ$

Tanpa pasangan elektron bebas



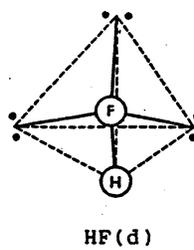
Sudut ikatan 107°

Satu pasangan elektron bebas



Sudut ikatan $104,5^\circ$

Dua pasangan elektron bebas



Tiga pasangan elektron bebas

Gambar 4. Bentuk molekul dengan empat pasang elektron

Sudut ikatan $109,5^\circ$

Tanpa pasangan elektron bebas

Sudut ikatan 107°

Satu pasangan elektron bebas

Sudut ikatan $104,5^\circ$

Dua pasangan elektron bebas

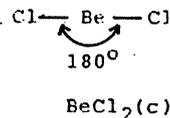
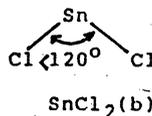
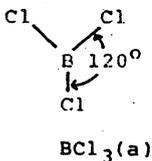
Tiga pasangan elektron bebas

b. Distribusi tiga pasang elektron

Atom boron mempunyai tiga elektron valensi. Dalam molekul kovalen BX_3 , atom boron dikelilingi oleh tiga pasang elektron. Pasangan elektron ini saling tolak menolak, dan tolakan maksimal terjadi bila molekul membentuk sudut ikatan 120° pada bidang datar. Oleh karena itu molekul boron triklorida BCl_3 dan trimetil boron $B(CH_3)_3$ berbentuk trigonal planar (Gambar 5a). Pada molekul stanum (II) klorida, atom stanum dikelilingi oleh tiga pasang elektron, dua pasang membentuk ikatan dan lainnya berupa pasangan elektron bebas. Adanya pasangan elektron bebas ini yang menyebabkan sudut ikatan lebih kecil dari 120° (Gambar 5b).

c. Distribusi dua pasang elektron

Atom berilium mempunyai dua elektron valensi. Dalam molekul berilium klorida $BeCl_2$, ada dua pasang elektron yang saling tolak menolak. Gaya tolak keduanya maksimal bila jarak antara keduanya 180° , hingga bentuk molekul $BeCl_2$ linear (Gambar 5c).

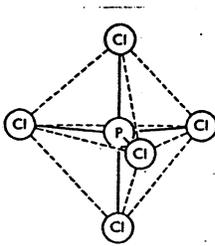


Gambar 5. Bentuk molekul dengan tiga dan dua pasang elektron

d. Distribusi lima pasang elektron

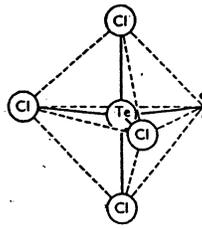
Molekul dengan lima pasang elektron mempunyai bentuk trigonal bipiramidal. Bentuk demikian adalah bentuk yang paling mungkin agar lima pasang elektron terletak pada jarak yang paling jauh. Bentuk molekul trigonal bipiramidal terdapat pada senyawa fosfor pentaklorida, PCl_5 . Molekul kovalen lain dengan lima pasang elektron misalnya telurium klorida TeCl_4 , klor trifluorida ClF_3 , dan iod diklorida ICl_2 .

Pada molekul senyawa ini terdapat masing-masing satu, dua, dan tiga pasangan elektron bebas, hingga bentuk molekulnya tidak tepat trigonal bipiramidal tetapi telah mengalami sedikit perubahan. Sudut-sudut ikatannya juga tidak sama dengan yang ada pada PCl_5 , karena adanya pengaruh elektron bebas tersebut. Bentuk molekul senyawa-senyawa di atas terdapat pada gambar 6.



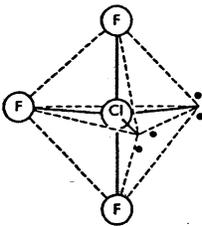
PCl_5 (a)

Tanpa pasangan elektron bebas



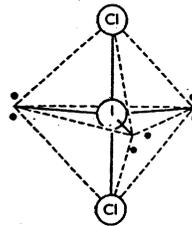
TeCl_4 (b)

Satu pasangan elektron bebas



ClF_3 (c)

Dua pasangan elektron bebas



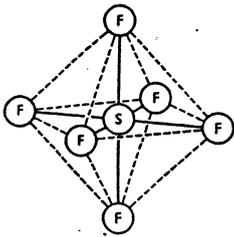
ICl_2 (d)

Tiga pasangan elektron bebas

Gambar 6. Bentuk molekul dengan lima pasang elektron

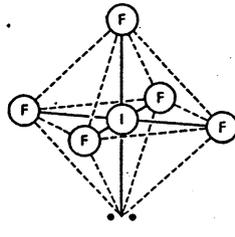
e. Distribusi enam pasang elektron

Molekul senyawa kovalen dengan enam pasang elektron di sekitar intinya mempunyai bentuk molekul oktahedral. Senyawa ini misalnya sulfur heksafluorida, SF_6 . Molekul senyawa lain dengan lima pasang elektron di sekitar intinya ialah iodium pentafluorida IF_5 dan iodium tetraklorida ICl_4 . Bentuk molekul senyawa-senyawa tersebut terdapat pada gambar 7.



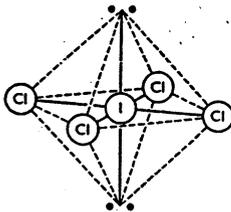
SF_6 (a)

Tanpa pasangan elektron bebas



IF_5 (b)

Satu pasangan elektron bebas



ICl_4 (c)

Dua pasangan elektron bebas

Gambar 7. Bentuk molekul SF_6 , IF_5 , dan ICl_4

Apa yang telah dibicarakan di atas dapat diikhtisarkan dalam tabel

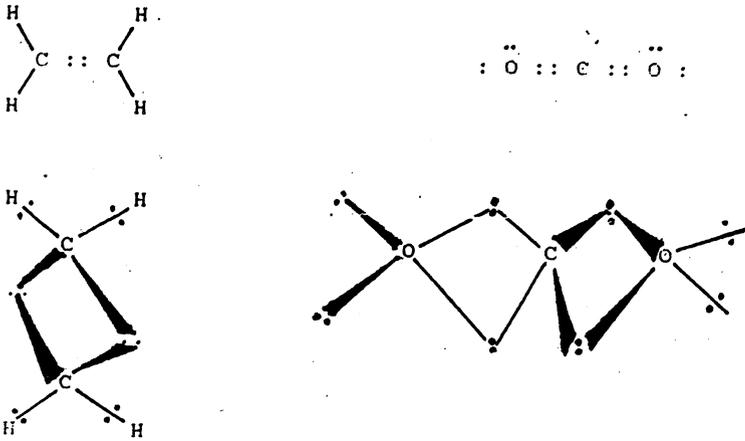
Tabel I

HUBUNGAN ANTARA JUMLAH PASANGAN ELEKTRON
DI SEKITAR INTI DENGAN BENTUK MOLEKUL

No.	Pasangan elektron di sekitar inti	Bentuk molekul	Contoh senyawa
1	2	linear	BeCl ₂
2	3	trigonal planar	BCl ₃ , SnCl ₂
3	4	tetrahedral	CCl ₄ , NH ₃ , H ₂ O, HF, PH ₃ , H ₂ S, HCl
4	5	trigonal bipi- ramidal	PCl ₅ , TeCl ₄ , ClF ₃ , ICl ₂
5	6	oktahedral	SF ₆ , IF ₅ , ICl ₄

D. Ikatan Rangkap Dua Dan Rangkap Tiga

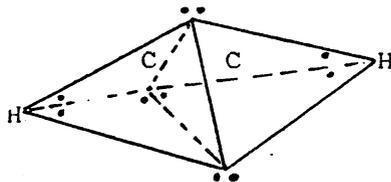
Pengetahuan tentang bentuk molekul yang berdasarkan pada jumlah pasangan elektron di sekitar inti dengan ikatan kovalen tunggal, dapat dipakai untuk menentukan bentuk molekul senyawa kovalen dengan ikatan rangkap dua dan ikatan rangkap tiga. Kebanyakan molekul senyawa mengikuti aturan oktet, artinya jumlah elektron di sekitar inti ada empat pasang atau delapan elektron yang terbagi dalam pasangan dua-dua. Bila ada empat pasang elektron dalam orbital-orbital valensi dari atom, maka kita mengharapkan bahwa susunannya adalah tetrahedral. Untuk menentukan bentuk molekul berikatan rangkap, pertama harus dituliskan dahulu rumus elektronnya. Kemudian elektron di sekitar atom tersebut disusun dalam bentuk empat pasang elektron. Masing-masing gabungan empat pasang elektron membentuk tetrahedral, dan dari sini dapat ditentukan bentuk molekulnya. Untuk etana C₂H₄ dan karbon dioksida CO₂ yang mempunyai ikatan rangkap dua, rumus elektron dan bentuk molekulnya adalah seperti berikut (Gambar 8).



Gambar 8. Bentuk molekul C₂H₄ dan CO₂
 2 4 2

Pada molekul etana, empat atom H dan dua atom C terletak pada satu bidang datar. Satu pasang elektron bebas terdapat di belakang bidang, dan satu pasang elektron bebas terdapat di muka bidang datar tersebut.

Asetilena merupakan molekul senyawa dengan ikatan rangkap tiga. Untuk menentukan bentuk molekulnya pertama digambarkan rumus elektronnya. Tiga pasang elektron menjadi milik bersama kedua atom karbon, sehingga pada bentuk tetrahedral ketiga pasang elektron ini bersatu dalam satu bidang datar di antara kedua atom karbonnya (Gambar 9).



Gambar 9. Bentuk molekul C₂H₂

E. Kesimpulan

Bentuk atau struktur molekul senyawa kovalen sederhana dari unsur non-transisi, dapat diajarkan berdasarkan teori penolakan pasangan elektron dengan meneliti jumlah pasangan elektron di sekitar inti atomnya. Bila di sekitar inti atom masing-masing terdapat 2, 3, atau 4 pasang elektron maka bentuknya linear, trigonal planar, atau tetrahedral. Bila di sekitar inti atom terdapat 5 atau 6 pasang elektron, maka bentuk molekulnya trigonal bipiramidal atau oktahedral. Cara ini cukup sederhana, namun telah dapat memberi gambaran yang memadai tentang bentuk atau struktur molekul senyawa-senyawa kovalen.

Untuk senyawa kovalen dengan ikatan rangkap dua atau rangkap tiga, bentuk molekulnya dapat diturunkan dari molekul senyawanya yang berikatan tunggal. Misalnya bentuk molekul C_2H_4 dan C_2H_2 , bentuk molekulnya dapat diturunkan dari bentuk molekul C_2H_6 .

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, G. I., *A New Guide to Modern Valency Theory*, William Clowes and Sons Limited, London and Beccles, 1970.
- Cotton, F. A., et. al., *Chemistry, An Investigative Approach*, Revised Edition, Houghton Mifflin Company, Boston, 1976.