

# Ikatan Hidrogen

Persembahan dari unsur paling kecil di alam

(*prananto@ub.ac.id*)

Semua orang yang belajar kimia tentunya sudah tidak asing lagi dengan ikatan yang satu ini. Informasi yang seringkali dibahas tentang ikatan ini salah satunya adalah hubungannya dengan titik didih suatu senyawa, misalnya ikatan hidrogen pada air sering digunakan untuk menjelaskan tingginya titik didih air apabila dibandingkan dengan asam sulfida ( $H_2S$ ). Alasan yang sama juga dipakai dalam menjelaskan perbedaan titik didih senyawa golongan alkohol dengan senyawa lain yang memiliki rumus molekul yang sama dari golongan eter. Tingginya titik didih asam fluorida (HF) dibandingkan dengan asam halida lainnya juga disebabkan oleh kemampuan senyawa HF dalam membentuk ikatan hidrogen.

## Apa sih Ikatan Hidrogen itu?

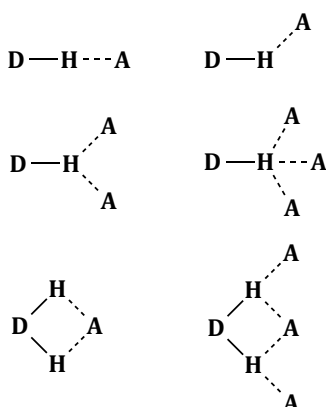
Menurut konsep yang digunakan oleh IUPAC, terminologi ikatan hidrogen digambarkan sebagai suatu bentuk interaksi elektrostatis antara atom hidrogen yang terikat pada atom elektronegatif dengan atom elektronegatif lainnya. Interaksi elektrostatis tersebut diperkuat oleh kecilnya ukuran atom hidrogen yang memudahkan terjadinya interaksi dipol – dipol antara atom donor proton (D) dengan atom akseptor proton (A).

Ikatan hidrogen ini, yang digambarkan dengan garis putus-putus, dapat terjadi antar-molekul maupun intra-molekul. Selain itu, kedua atom elektronegatif tersebut biasanya (tetapi tidak harus) berasal dari baris pertama Tabel Periodik Unsur, yaitu nitrogen, oksigen atau fluor.

Secara sederhana interaksi ini ditulis dengan  $D-H\cdots A$ . Donor proton (D) adalah atom elektronegatif yang mengikat hidrogen dan menyebabkan hidrogen memiliki parsial positif, sedangkan akseptor proton (A) merupakan atom elektronegatif lain yang berinteraksi dengan parsial positif dari atom hidrogen tersebut.

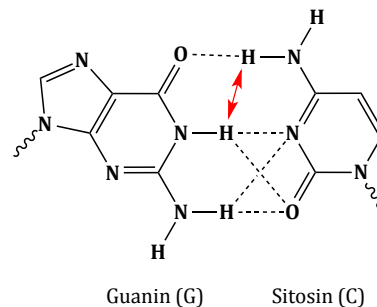
## Seberapa kuat ikatan hidrogen itu?

Kekuatan ikatan hidrogen bisa sangat berbeda antara berbagai sistem dan tidak selalu berkorelasi dengan keasaman Brønsted dari donor proton. Hal ini tergantung pada jenis atom elektronegatif yang mengikat atom hidrogen dan geometri yang diadopsi oleh atom hidrogen dalam struktur molekulnya. Biasanya, kekuatan ikatan hidrogen berkisar 4 – 120 kJ/mol, dengan sebagian besar berada di bawah 60 kJ/mol. Saat ini skala keasaman dan kebiasaan ikatan hidrogen sedang dikembangkan, sedangkan jenis-jenis geometri yang dapat diadopsi oleh atom hidrogen dalam struktur molekul senyawanya ditunjukkan di Gambar 1.



Gambar 1. Beberapa jenis geometri ikatan hidrogen

Terdapat dua jenis interaksi dalam ikatan hidrogen, yaitu interaksi primer dan interaksi sekunder. Geometri yang ditampilkan pada Gambar 1 merupakan interaksi ikatan hidrogen primer dimana interaksi terjadi secara langsung antara kelompok donor dan kelompok akseptor. Sedangkan interaksi antara kelompok donor atau akseptor yang saling bersebelahan membentuk interaksi ikatan hidrogen sekunder. Muatan parsial pada atom yang bersebelahan ini dapat memberikan dampak yang berbeda yaitu dapat meningkatkan kekuatan ikatan berdasarkan tarik-menarik antara muatan parsial yang berlawanan atau sebaliknya dapat juga mengurangi afinitas karena tolakan antara muatan parsial sejenis. Perbedaan kedua jenis ini tampak pada pasangan basa guanin – sitosin dalam DNA dan diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Interaksi primer (garis putus-putus) dan sekunder (panah dua arah warna merah) antara basa guanine dan basa sitosin dalam DNA

Geometri ikatan hidrogen dan jenis donor dan kelompok akseptor menentukan kekuatan, panjang dan sifat interaksi. Interaksi ikatan hidrogen dapat dibagi menjadi tiga kategori besar yaitu kuat, sedang, dan lemah. Karakteristik ketiga interaksi tersebut disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Interaksi dan karakteristik ikatan hidrogen

Parameter	Kuat	Sedang	Lemah
D-H---A	umumnya kovalen	umumnya elektrostatik	elektrostatik
Energi ikat (kJ/mol)	120 – 60	60 – 16	< 12
Panjang H---A (Å)	1,2 – 1,5	1,5 – 2,2	2,2 – 3,2
Panjang D...A (Å)	2,2 – 2,5	2,5 – 3,2	3,2 – 4,0
Sudut ikatan (°)	175 – 180	130 – 180	90 – 150

Sebuah interaksi ikatan hidrogen yang kuat memiliki kemiripan dalam karakter dengan ikatan kovalen, dimana atom hidrogen mendekati dengan pusat-titik antara atom donor dan atom akseptor. Ikatan hidrogen yang kuat terbentuk antara dua basa kuat, misalnya dalam ion  $F_2H^-$ , yang praktis linier dengan atom hidrogen antara dua atom fluor  $F \cdots H \cdots F^-$ .

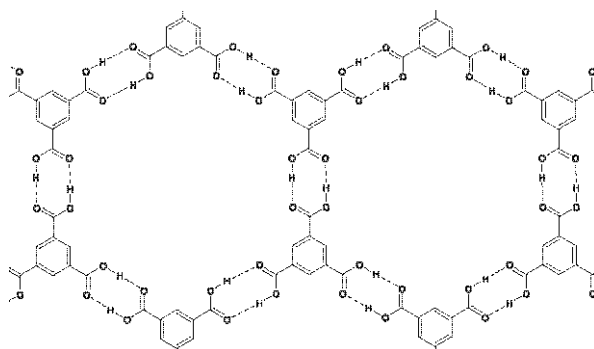
Ikatan hidrogen dengan kekuatan sedang terbentuk antara donor netral dan kelompok akseptor netral melalui pasangan elektron bebas, misalnya pada senyawa asam karboksilat. Interaksi ikatan hidrogen sedang memiliki geometri bengkok atau sedikit ditekuk. Pada umumnya, ikatan hidrogen menyimpang dari linieritas dan distribusi sudut D-H---A dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti *conical correction*. Sebuah ikatan hidrogen linier memerlukan posisi yang tetap (*fixed*) dari atom hidrogen pada saat berinteraksi dengan akseptor, sedangkan ikatan hidrogen non-linier memiliki banyak kemungkinan posisi yang membentuk semacam kerucut di sekitar posisi linier tersebut. Sudut ikatan yang lebih besar menghasilkan kerucut yang lebih besar, sehingga lebih banyak peluang terjadinya interaksi dan membentuk ikatan hidrogen.

Ikatan hidrogen lemah seringkali lebih tidak linier dan dalam beberapa kasus dapat membentuk interaksi tegak lurus, misalnya interaksi C–H⋯ dimana interaksi terjadi antara cincin benzena saat ikatan C–H menunjuk langsung terhadap sistem terkonjugasi benzena.

### Seberapa besar peran ikatan hidrogen?

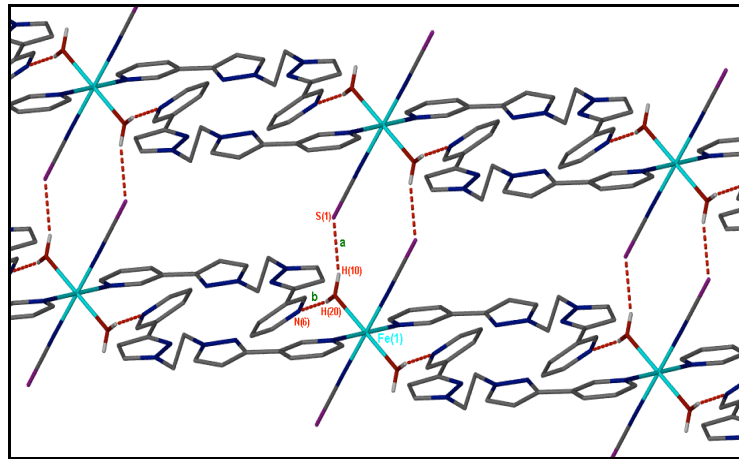
Meskipun kekuatan ikatan hidrogen tidak sebesar ikatan kovalen, namun keberadaannya dalam suatu molekul dapat memberikan kontribusi terhadap struktur dan sifat khas dari molekul tersebut. Selain mempengaruhi sifat suatu senyawa, misalnya dalam menaikkan titik didih, titik leleh, kelarutan dan viskositas, ikatan hidrogen berperan penting dalam bidang farmasi dan kedokteran khususnya dalam mempelajari desain dan interaksi molekular antara obat-obatan dengan sistem metabolisme tubuh. Bahkan secara alami, ikatan hidrogen terlibat aktif dalam menghubungkan asam-asam amino penyusun protein dan basa-basa penyusun DNA. Bersama dengan interaksi non kovalen lainnya, ikatan hidrogen berperan dalam pembentukan struktur *double-helix* dari DNA.

Selain itu, ikatan hidrogen dalam suatu senyawa juga dapat mempengaruhi struktur suatu molekul dalam fase padatnya, baik itu senyawa organik maupun senyawa anorganik, yang pada akhirnya juga mempengaruhi sistem kristal, parameter sel, grup titik serta sifat keseluruhan dari senyawa tersebut. Di dalam kisi kristal, ikatan hidrogen seringkali teramati pada senyawa organik yang memiliki gugus fungsi amida, alkohol, maupun karboksilat, misalnya asam trimesik (Gambar 3) yang membentuk struktur dua dimensi heksagonal (*hexagonal sheets*). Meskipun banyak faktor yang mempengaruhi kepolaran suatu molekul dan bersifat lebih dominan, adanya gugus-gugus fungsi tersebut mampu membentuk dipol dengan gugus atom disekitarnya dan sekaligus membentuk ikatan hidrogen, sehingga secara tidak langsung ikatan hidrogen juga ikut berperan dalam menentukan derajat kepolaran suatu senyawa.



Gambar 3. Struktur dua dimensi asam trimesik dengan adanya ikatan hidrogen

Dalam rangka sintesis dan desain arsitektur senyawa supramolekul maupun polimer koordinasi, ikatan hidrogen juga menjadi salah satu faktor utama karena kekuatan yang dimilikinya (dibandingkan interaksi non-kovalen lainnya) dan memiliki kemampuan pengarah yang baik. Ikatan hidrogen berpeluang untuk menghubungkan satu molekul senyawa koordinasi dengan molekul lainnya sehingga dapat membentuk struktur yang lebih kompleks, baik itu struktur rantai (*1D chains*), lembaran (*2D sheets*) maupun jaringan (*3D networks*). Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4, dengan adanya dua jenis ikatan hidrogen yaitu antara H<sub>2</sub>O---3py3pz-et dan H<sub>2</sub>O---SCN, struktur senyawa kompleks [Fe(3py3pz-et)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>(SCN)<sub>2</sub>] berkembang menjadi rantai 1D dan akhirnya membentuk lembaran 2D.



Gambar 4. Struktur kompleks  $[\text{Fe}(\text{3py3pz-et})_2(\text{H}_2\text{O})_2(\text{SCN})_2]$  yang memiliki dua jenis ikatan hidrogen (garis putus-putus merah) dengan panjang ikatan  $a = 22.51(6)\text{\AA}$  dan  $b = 1.88(10)\text{\AA}$

Meskipun hidrogen merupakan atom paling kecil dengan komposisi paling sederhana yang ada di alam, namun keberadaannya cukup mampu memberikan warna dalam menjelaskan interaksi – interaksi non-kovalen. Konsep ikatan hidrogen ini terus berkembang hingga kini khususnya mengenai derajat karakter kovalen yang dapat dimiliki suatu ikatan hidrogen. Dengan bantuan NMR, beberapa ikatan hidrogen dalam protein yang teramati mengindikasikan ikatan yang bersifat kovalen. Meskipun demikian, konsep mengenai sifat kinetika dan dinamika ikatan hidrogen dalam sistem yang dinamis relatif tidak berubah dari sejak awal konsep ini diusulkan oleh Linus Pauling.

#### Pustaka:

- [1]. Batten, S.R., Neville, S.M. and Turner, D.R. (2009). *Coordination Polymers, Design, Analysis and Application*. RSC Publications. UK.
- [2]. Cordier, F., Rogowski, M., Grzesiek, S. and Bax, A. (1999). *Observation of Through-Hydrogen-Bond  $^2hJ_{HC}$  in a Perdeuterated Protein*. *Journal of Magnetic Resonance*, 140 (2), 510 – 512.
- [3]. Desiraju, G.R. (1989). *Crystal Engineering: The Design of Organic Solids*. Elsevier. Amsterdam.
- [4]. Isaacs, E.D., Shukla, A., Platzman, P.M., Hamann, D.R., Barbiellini, B. and Tulk, C.A. (1999). *Covalency of the Hydrogen Bond in Ice: A Direct X-ray Measurement*. *Physical Review Letters*, 82 (3), 600 – 603.
- [5]. Jeffery, G. A. (1997). *An Introduction to Hydrogen Bonding*. Oxford University Press. Oxford. UK.
- [6]. McNaught, A.D. and Wilkinson, A. (1997). *IUPAC Compendium of Chemical Terminology (The Gold Book)*, 2<sup>nd</sup> ed. Blackwell Scientific Publications. Oxford.
- [7]. Prananto, Y.P. (2009). *Synthesis and Structure of Metal Complexes and Coordination Polymers of 3-Pyrazol-1-yl Based Ligands*, MSc Thesis, Monash University, Australia.