

# Emissions of the Hydrogen Atom

## The Balmer Series

Level 6 → 2

Violet

Level 5 → 2

Blue

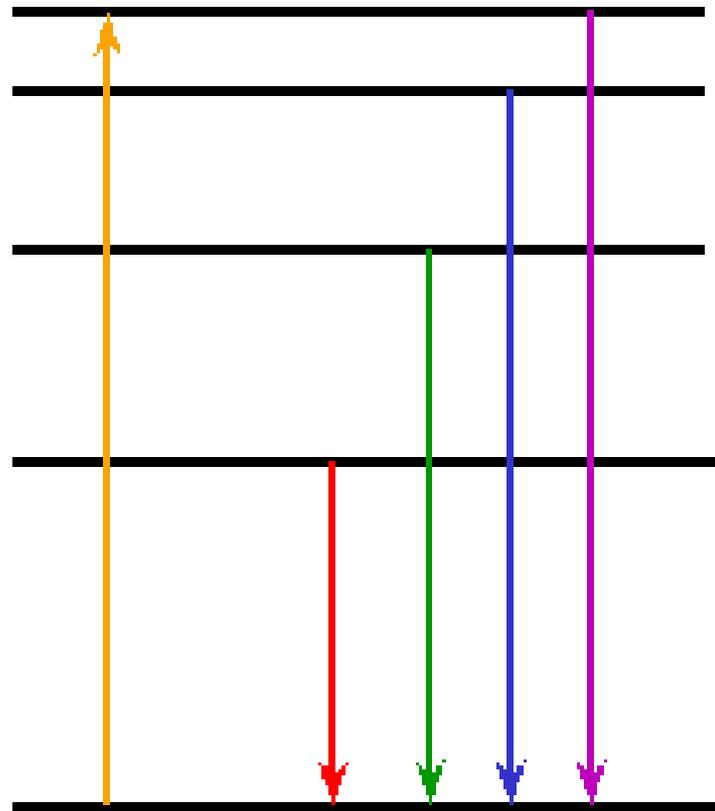
Level 4 → 2

Green

Level 3 → 2

Red

Level 2



Energy  
Absorbed

Energy  
Emitted

$$\hat{H}\psi = E\psi$$

Operator Hamiltonian untuk atom hidrogen:

$$H_{1\text{-elektron}} = \frac{-h^2}{8\pi^2m} \left( \sin\theta \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial\theta} \left( \sin\theta \frac{\partial}{\partial\theta} \right) + \frac{1}{\sin\theta} \frac{\partial^2}{\partial\phi^2} \right) - \frac{Ze^2}{r}$$

Operator Hamiltonian untuk atom polielektron dengan x elektron: (spin-orbit coupling diabaikan):

$$H_{x\text{-elektron}} = \frac{-h^2}{8\pi^2m} \sum_i^x \left( \sin\theta_i \frac{\partial}{\partial r_i} \left( r_i^2 \frac{\partial}{\partial r_i} \right) + \frac{\partial}{\partial\theta_i} \left( \sin\theta_i \frac{\partial}{\partial\theta_i} \right) + \frac{1}{\sin\theta_i} \frac{\partial^2}{\partial\phi_i^2} \right) - \sum_i^x \frac{Ze^2}{r_i} + \frac{1}{2} \sum_i^x \sum_{i \neq j}^x \frac{e^2}{r_{ij}}$$

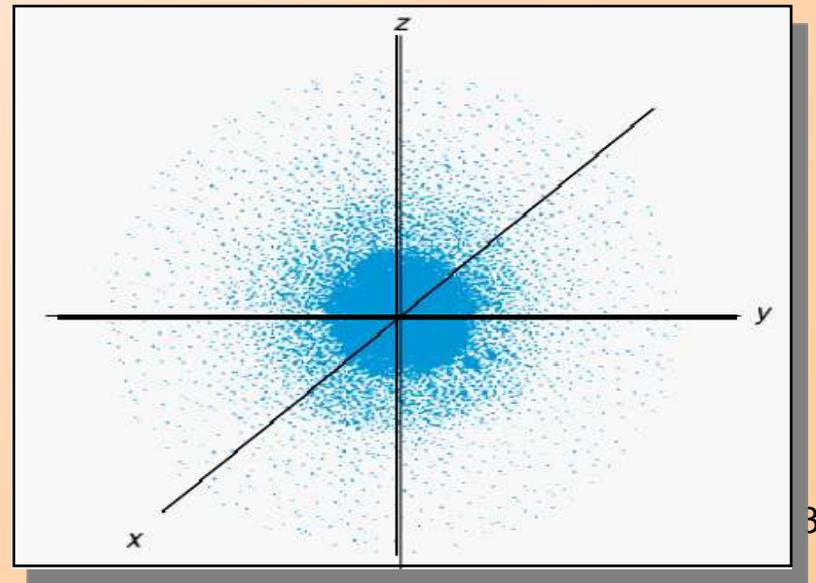
Persamaan Schrödinger untuk atom polielektron tidak dapat dipecahkan karena jarak antar elektron  $r_{ij}$  tidak diketahui

Sehingga penyelesaian persamaan Schrödinger untuk atom polielektronik hanya bisa diselesaikan dengan pendekatan melalui asumsi bahwa setiap elektron berdiri secara independen dan tidak dipengaruhi oleh elektron lain :  $\Psi = \Psi(1) \Psi(2) \dots \Psi(x)$ ,  $E = E(1)+E(2)+\dots+E(x)$

# Atom Hidrogen

- Persamaan Schrödinger menghasilkan seperangkat fungsi keadaan yang bergantung pada tiga bilangan kuantum  $n$ ,  $l$ ,  $m_l$ .
- $\Psi_{n,l,m_l}^2$  menunjukkan probabilitas lokasi elektron. Fungsi ini ditunjukkan sebagai orbital-orbital.

$$\Psi_{1,0,0}^2(x,y,z)$$



# Bilangan Kuantum Atom

## Bilangan Kuantum Utama

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

Energi orbital hanya bergantung pada n:

$$E_{n,l,m_l} = -\frac{R_H}{n^2}$$

Konstanta Rydberg :  $R_H = 2.18 \times 10^{-18} \text{ J}$

---

Ukuran orbital bertambah dengan kenaikan n.

# Bilangan Kuantum Atom

## Bilangan kuantum Azimuth

$$l = 0, 1, 2, \dots, n-1$$

$l$  menentukan bentuk orbital.

Harga  $l$  ditandai dengan suatu huruf:

$$l = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$$

s   p   d   f   g

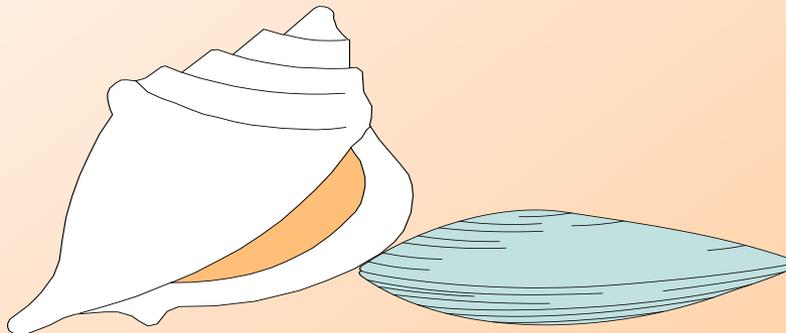
## Bilangan kuantum magnetik

$$m_l = -l, -l+1, \dots, l-1, l$$

$m_l$  menentukan orientasi orbital.

# Kulit Elektron

- Suatu kulit elektron adalah sekelompok orbital dengan tingkat energi sama ( $n$  sama).
- Suatu subkulit mengandung orbital-orbital dengan bentuk dan energi sama ( $n$  dan  $l$  sama).



# Kulit dan subkulit

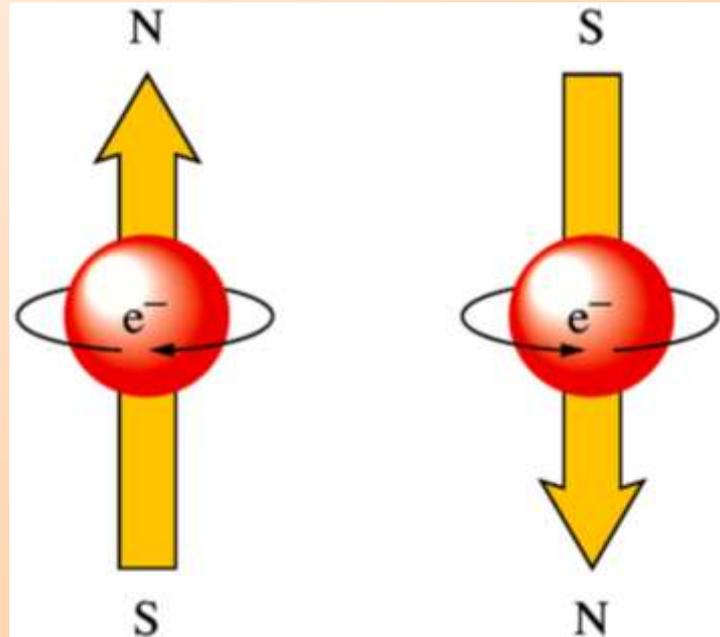
n	l	m	orbital	energi
1	0	0	1s	$-R_H$
2	0	0	2s	$-R_H/4$
2	1	-1,0,1	2p	$-R_H/4$
3	0	0	3s	$-R_H/9$
3	1	-1,0,1	3p	$-R_H/9$
3	2	-2,-1,0,1,2	3d	$-R_H/9$

# Spin Elektron

- Tahun 1928, ditemukan bahwa elektron memiliki momentum sudut intrinsik, atau spin.
- Dalam medan magnet, rotasi sumbu hanya memiliki 2 kemungkinan orientasi.

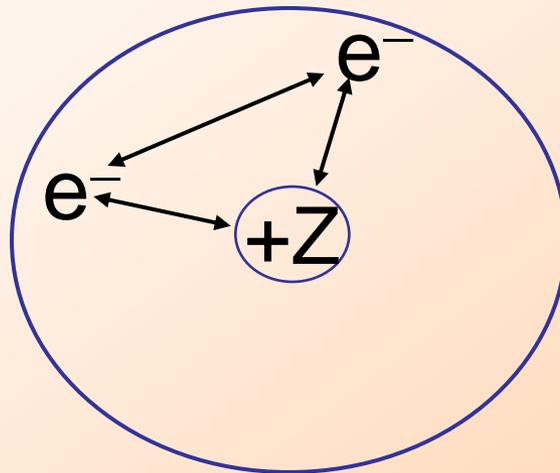
Bilangan  
Kuantum spin

$$m_s = +\frac{1}{2} \text{ dan } -\frac{1}{2}$$



# Atom Helium

Ditinjau atom dua-elektron dengan muatan inti  $Z$ .



He:  $Z = 2$

Dengan mengabaikan tolakan antar elektron, tiap elektron memiliki energi seperti orbital hidrogen :

$$E_n = -R_H \frac{Z^2}{n^2}$$

# Muatan Inti Efektif

- Karena muatan positif inti biasanya sedikit banyak dilawan oleh muatan negatif elektron dalam (dibawah elektron valensi), muatan inti yang dirasakan oleh elektron valensi suatu atom dengan nomor atom  $Z$  akan lebih kecil dari muatan inti,  $Z_e$ . Penurunan ini diungkapkan dengan **konstanta perisai**  $s$ , dan muatan inti netto disebut dengan **muatan inti efektif**.

$$Z_{\text{eff}} = Z - S$$

# Aturan Slater

Untuk orbital s dan p

- e-di kulit yang sama memberikan efek perisai sebesar 0,35
- e-di kulit lebih dalam memberikan efek perisai sebesar 0,85
- e-di kulit lebih dalam lagi memberikan efek perisai sebesar 1,00

- $s = (1,00 \times N_2) + (0,85 \times N_1) + (0,35 \times N_0)$ 
  - $N_0 = \sum e\text{-valensi lain di kulit terluar yang sama}$
  - $N_1 = \sum e\text{-di kulit lebih dalam (n-1)}$
  - $N_2 = \sum e\text{-di kulit lebih dalam lagi (n-2)}$

Untuk orbital d dan f

- e-di kulit yang sama memberikan efek perisai sebesar 0,35
- e-di kulit lebih dalam memberikan efek perisai sebesar 1,00

## Contoh: Atom ber-elektron 1 (1H)

- $N_0 = 0$  (tidak ada elektron valensi lain di kulit yang sama)
- $N_1 = 0$  (tidak ada kulit lebih dalam)
- $N_2 = 0$  (tidak ada kulit lebih dalam lagi)

Sehingga

$$s = (1,00 \times 0) + (0,85 \times 0) + (0,35 \times 0)$$

$$Z_{\text{eff}} = Z^* = Z - s$$

$$= 1 - 0$$

$$= 1$$

Jadi muatan efektif inti yang diterima e pada atom hidrogen

$$= \text{muatan inti} = 1$$

- Atom helium (2He)

– $N_0 = 1$

– $N_1 = 0$

– $N_2 = 0$

–Maka  $s = (0,35 \times 1) = 0,35$

–Sehingga

- muatan efektif inti yang dialami oleh e-valensi pada atom He adalah  $2 - 0,35 = 1,65$

- e-memberikan efek perisai sebesar 0,35

- e-mengurangi muatan inti yang diterima e-valensi sebesar 0,35

- 24Cr: [18Ar] 3d<sup>5</sup>4s<sup>1</sup>
- 42Mo: [36Kr] 4d<sup>5</sup>5s<sup>1</sup>
- 74W: [54Xe] 4f<sup>14</sup>5d<sup>4</sup>6s<sup>2</sup>

Untuk Cr

$$\begin{aligned} -S &= (0 \times 0,35) + (13 \times 0,85) + (10 \times 1,0) \\ &= 0 + 11,05 + 10 = 21,05 \end{aligned}$$

$$-S^* = 24 - 21,05 = 2,95$$

- Untuk Mo

$$-S = (0 \times 0,35) + (1 \times 41) = 41$$

$$-S^* = 42 - 41 = 1$$

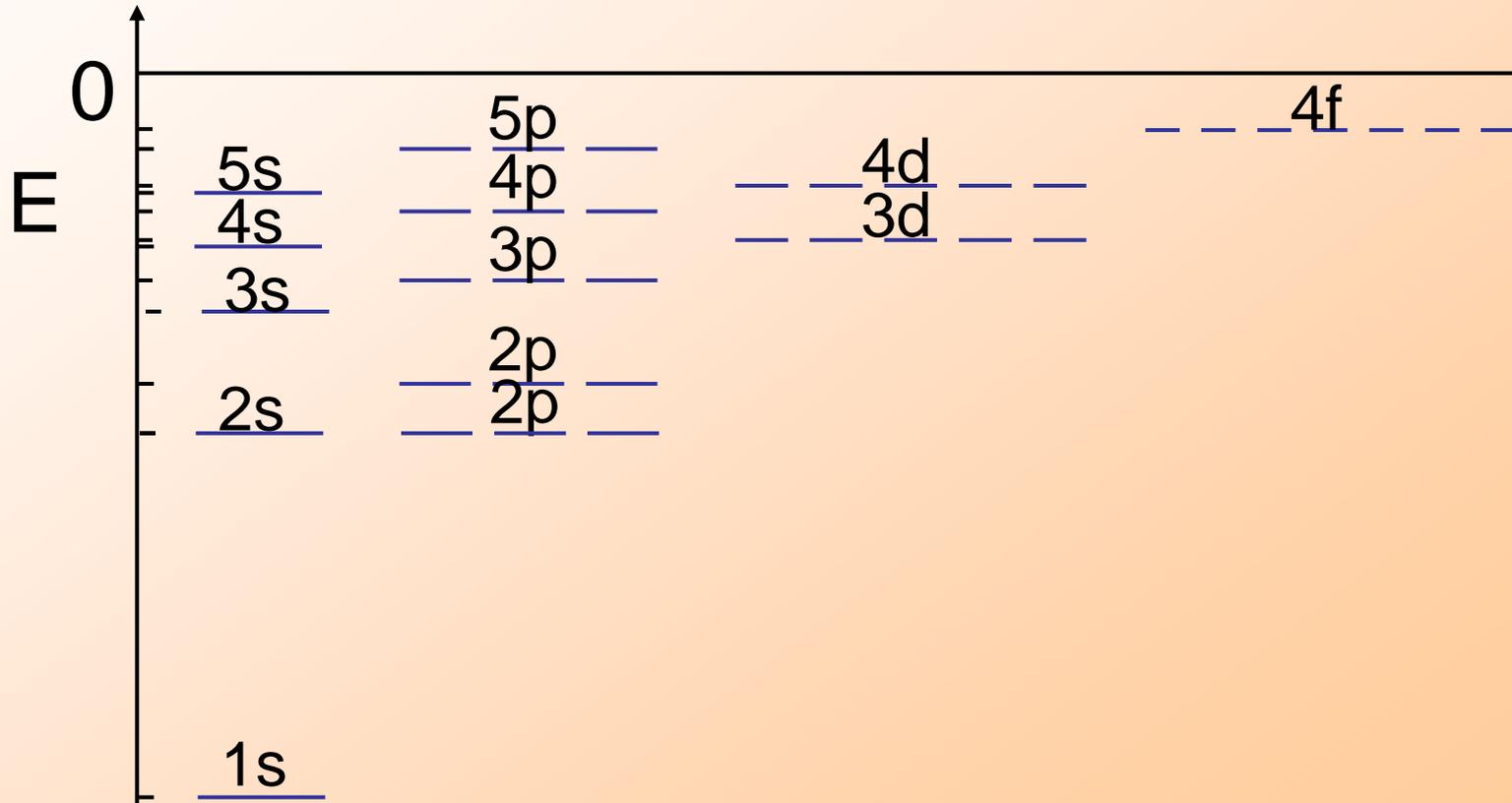
- Untuk W

$$-S = (1 \times 0,35) + (1 \times 72) = 72,35$$

$$-S^* = 74 - 72,35 = 1,65$$

# Energi Elektron

Karena terlindung, subkulit yang berbeda memiliki energi yang berbeda, bertambah sesuai aturan:  $s < p < d < f$



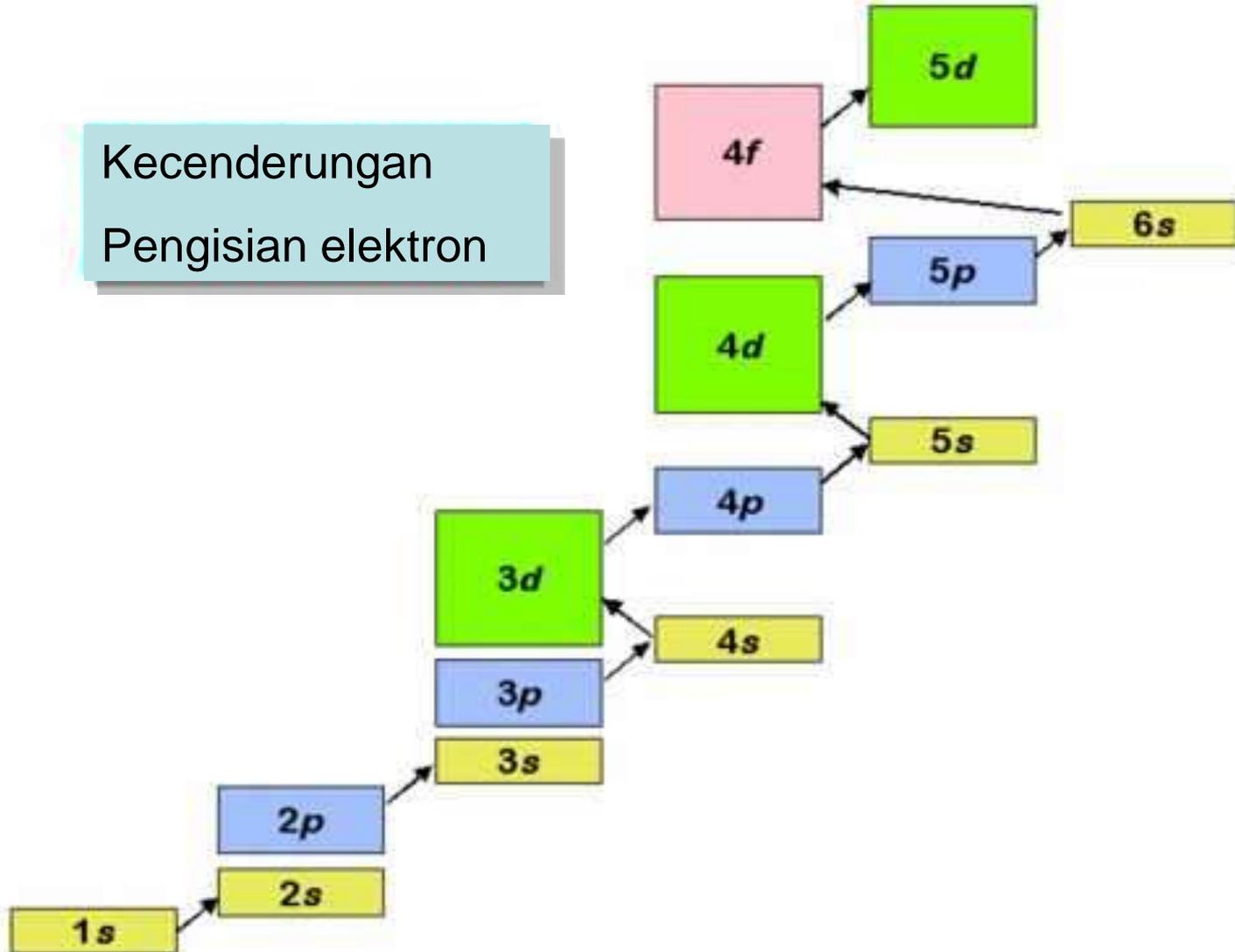
# Penempatan elektron: Prinsip Aufbau

- Untuk setiap atom netral, jumlah elektron sama dengan nomor atomnya
  - Prinsip Aufbau : untuk menyusun atom dan menggambarkan konfigurasi elektronnya
  - Pengisian dimulai dari orbital dengan tingkat energi terendah ke tertinggi
- Li:  $\begin{array}{|c|} \hline \uparrow\downarrow \\ \hline \end{array} \quad \begin{array}{|c|} \hline \uparrow \\ \hline \end{array} \quad \text{atau} \quad [\text{He}] \begin{array}{|c|} \hline \uparrow \\ \hline \end{array}$   
 $1s \quad 2s \quad \quad \quad 2s$
- Konfigurasi elektron hanya memperlihatkan jumlah elektron yang menempati tiap subkulit

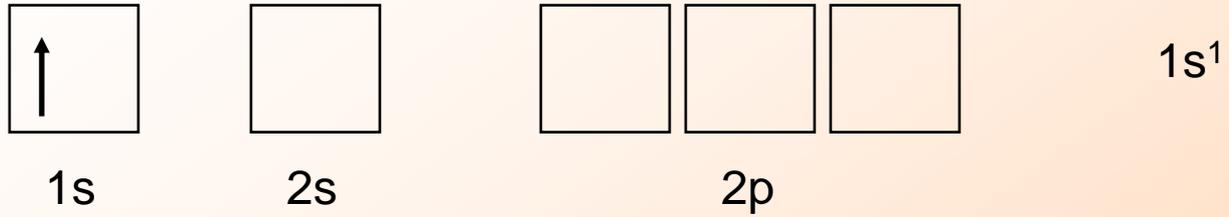


# Urutan Pengisian Elektron

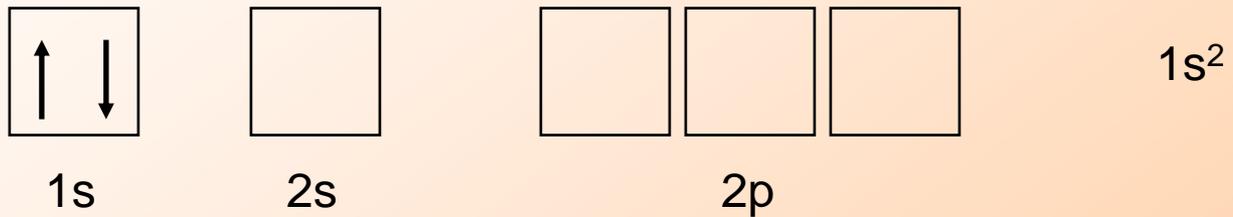
Kecenderungan  
Pengisian elektron



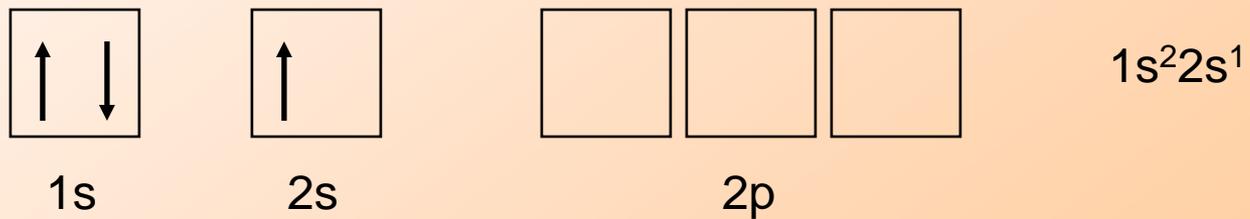
- Contoh: Hydrogen



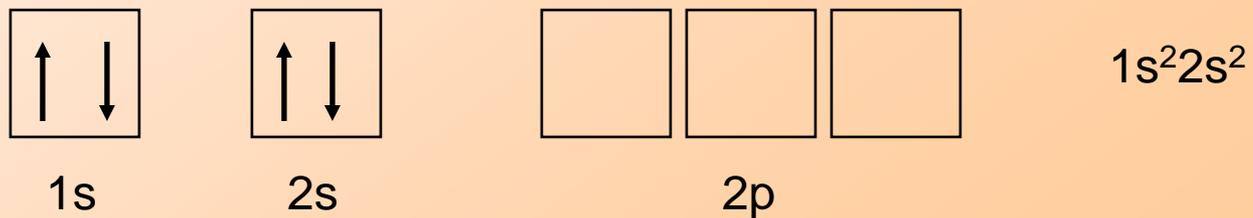
- Contoh: Helium ( $Z = 2$ )



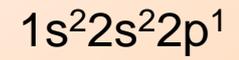
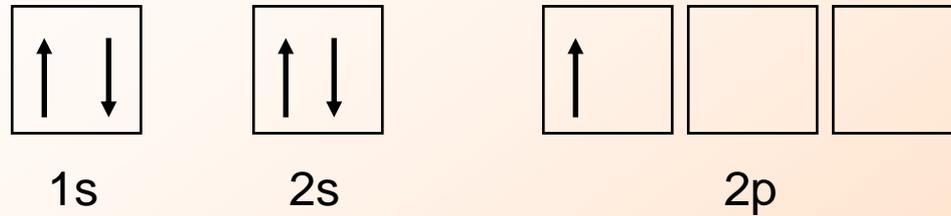
- Lithium ( $Z = 3$ )



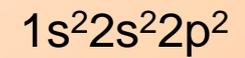
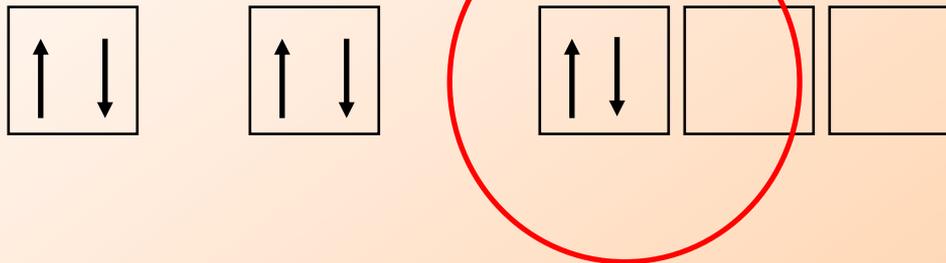
- Berillium ( $Z = 4$ )



- Boron ( $Z = 5$ )



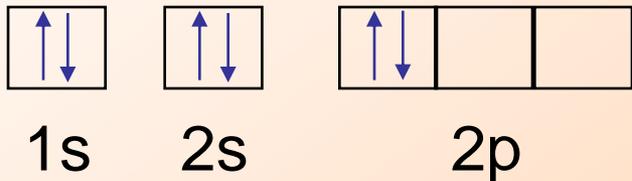
- Carbon ( $Z = 6$ )



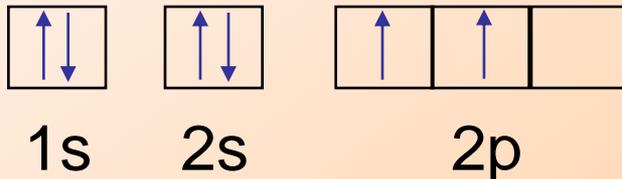
# Penempatan elektron: Aturan Hund

Aturan Hund: *Keadaan energi terendah adalah yang memiliki elektron tak berpasangan yang paling banyak.*

Karbon:

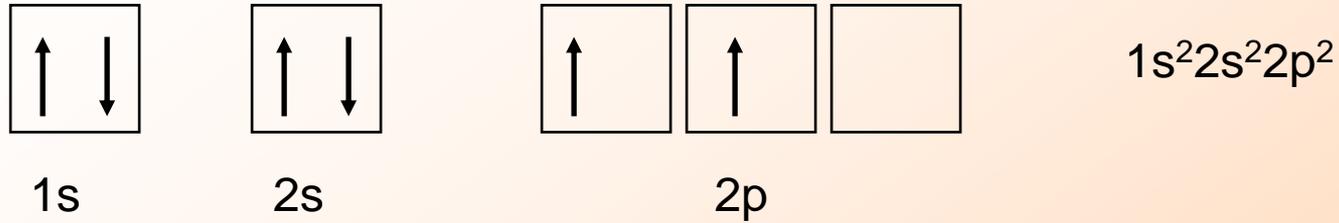


Energi lebih tinggi

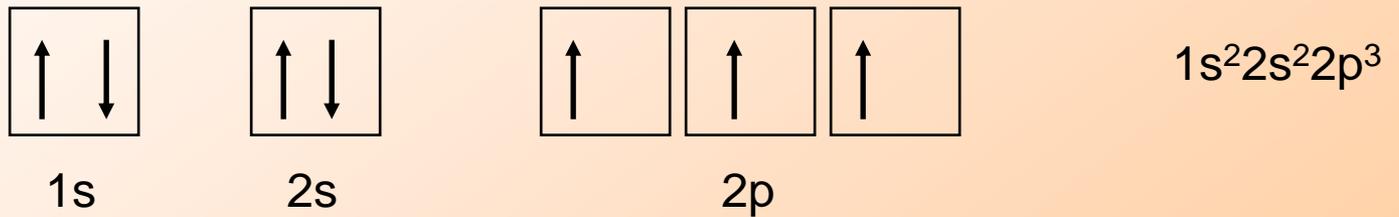


Energi lebih rendah

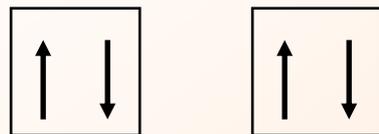
- Carbon ( $Z = 6$ )



- Nitrogen ( $Z = 7$ )

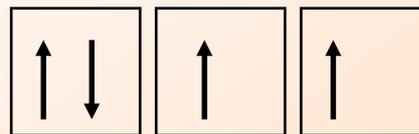


- Oxygen ( $Z = 8$ )

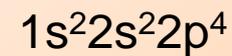


1s

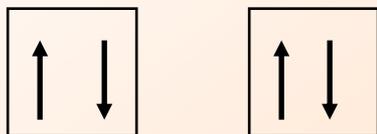
2s



2p

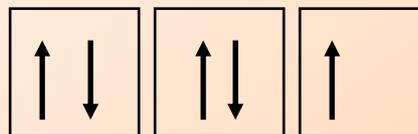


- Fluorine ( $Z = 9$ )



1s

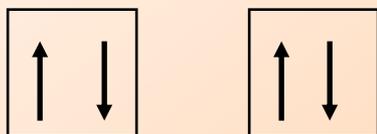
2s



2p

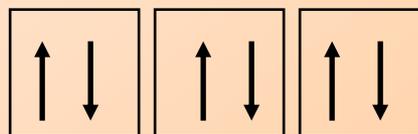


- Neon ( $Z = 10$ )



1s

2s



2p



**full**



- Elements Z=19 and Z= 20:

Z= 19, Potassium:  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^1 = [\text{Ar}]4s^1$

Z= 20, Calcium:  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^2 = [\text{Ar}]4s^2$

- Elements Z=21to Z=30 have occupied d orbitals:

Z= 21, Scandium:  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^1 = [\text{Ar}] 4s^23d^1$

Z = 24, Chromium:  $[\text{Ar}] 4s^13d^5$  **exception**

Z= 30, Zinc:  $1s^22s^22p^63s^23p^64s^23d^{10} = [\text{Ar}] 4s^23d^{10}$

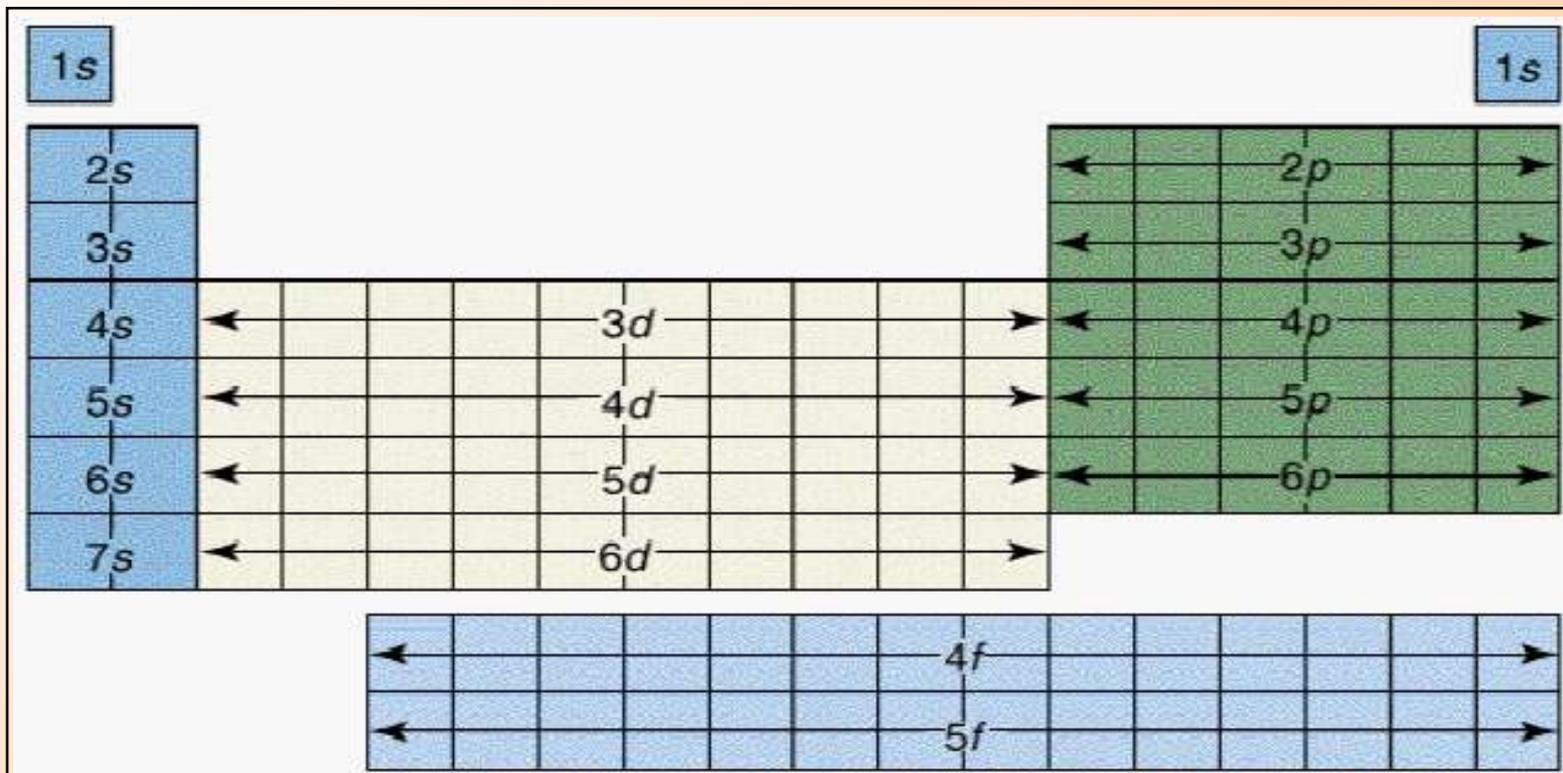
# Penempatan elektron: Larangan Pauli

- ◆ Berapa banyak elektron dapat terikat, atau menempati suatu orbital?
- ◆ Prinsip Larangan Pauli menyatakan: *tidak ada 2 elektron dalam suatu atom dapat memiliki ke-4 bilangan kuantum sama.*
- ◆ Helium pada keadaan dasar memiliki 2 elektron dalam orbital 1s, tetapi dengan spin yang berlawanan

	<u>n</u>	<u>l</u>	<u>m<sub>l</sub></u>	<u>m<sub>s</sub></u>
elektron 1	1	0	0	+1/2
elektron 2	1	0	0	-1/2

# Konfigurasi Elektron dan Tabel Periodik

- Dari konfigurasi elektron suatu atom dapat diperkirakan letak unsur dalam Tabel Periodik.
- Konfigurasi sesungguhnya harus ditentukan dengan percobaan.



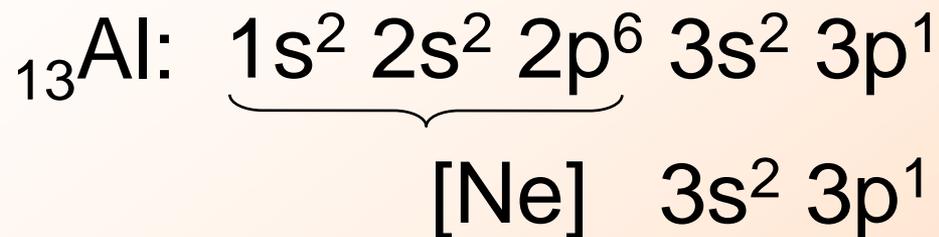
# Konfigurasi Elektron dan Tabel Periodik

- ◆ Mencari letak unsur dalam SPU dari konfigurasi elektron
- ◆ Periode sesuai dengan nomor kulit terluar
- ◆ Golongan dapat dilihat dari jumlah serta orbital terakhir yang ditempati elektron

Orbital	Jumlah elektron	Golongan
s	1-2	IA - IIA
p	1-6	IIIA - VIIIA
d	1- 5	IIIB - VIIB
d	6 - 8	VIIIB
f	1 - 14	lantanida atau aktinida

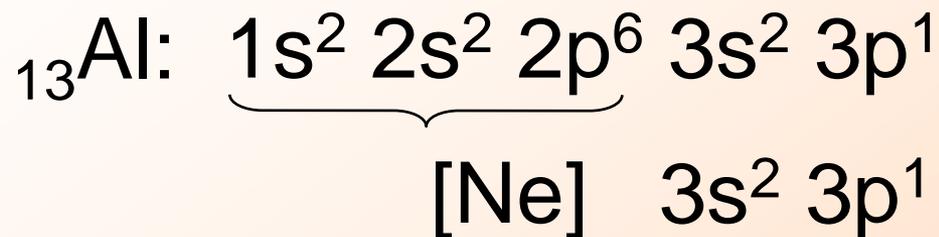
# Konfigurasi Elektron dan Tabel Periodik

Tuliskan konfigurasi elektron untuk:



# Konfigurasi Elektron dan Tabel Periodik

Tuliskan konfigurasi elektron untuk:



Kulit terluar nomor 3, berarti terletak pada periode 3  
Elektron terakhir pada 3p, berarti golongan IIIA



Carilah untuk unsur-unsur lain