

MISKONSEPSI BILANGAN KUANTUM DAN KONFIGURASI ELEKTRONIK PADA PESERTA DIDIK KELAS XI IPA, STUDI KASUS DI SMA KOTA BANJARMASIN

Fauzi Rahman¹⁾

¹ SMA Negeri 2 Banjarmasin Propinsi Kalimantan Selatan
(email: fauzismadabjm76@yahoo.com)

Abstrak. Miskonsepsi bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik telah teridentifikasi terhadap peserta didik SMA Negeri Kota Banjarmasin melalui studi deskriptif. Sebanyak 129 peserta didik kelas XI Ilmu Alam di 4 (empat) SMA Negeri Kota Banjarmasin menjadi responden dengan menggunakan Instrumen Uji Miskonsepsi yang telah divalidasi. Instrumen Uji Miskonsepsi terdiri atas 46 butir pertanyaan yang terdiri atas 10 butir soal berbentuk pilihan ganda tanpa alasan dan 36 butir soal berbentuk pilihan ganda dengan alasan setengah terbuka. Hasil penelitian menunjukkan telah terjadi miskonsepsi bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik pada peserta didik kelas XI Ilmu Alam di 4 (empat) SMA Negeri kota Banjarmasin. Berdasarkan data hasil implementasi, miskonsepsi tipe-1 dengan persentase lebih dari 20% terjadi pada subkonsep bilangan kuantum magnetik dan hubungannya dengan koordinat Cartesius (x, y, z), menentukan set bilangan kuantum, dan konfigurasi elektron unsur transisi. Sedangkan miskonsepsi tipe-2 dengan persentase lebih dari 50% terjadi pada subkonsep bilangan kuantum magnetik dan kaitannya dengan koordinat Cartesius (x, y, z), bilangan kuantum magnetik spin (terutama untuk elektron tak berpasangan dalam orbital), menentukan set bilangan kuantum suatu unsur, energi orbital $3d$ dan $4s$, dan penulisan konfigurasi elektron untuk unsur dengan nomor atom > 20 . Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya miskonsepsi bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik pada peserta didik adalah guru dan buku teks kimia yang digunakan dalam proses pembelajaran. Untuk menghilangkan atau memperkecil miskonsepsi secara teoretik khususnya untuk konsep bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik, direkomendasikan pentingnya sosialisasi atau suatu kegiatan untuk menegaskan konsep yang benar terkait konsep bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik tersebut.

Kata kunci : miskonsepsi, bilangan kuantum, konfigurasi elektronik.

PENDAHULUAN

Bilangan Kuantum

Pada tahun 1926, seorang fisikawan Austria, Erwin Schrödinger menggunakan teknik matematika yang rumit untuk menggambarkan perilaku dan energi partikel submikroskopis yang secara umum diungkapkan dalam bentuk fungsi gelombang (Ψ), yang bergantung pada posisinya dalam sistem ruang dan jika disederhanakan setelah ditransformasi ke dalam koordinat kutub-bola, yaitu: $\Psi(r, \theta, \phi) = R(r) \cdot \Theta(\theta) \cdot \Phi(\phi)$.

Persamaan menunjukkan produk dari tiga macam fungsi (R , Θ , dan Φ) dengan tiga macam variabel secara berurutan (r), (θ) dan (ϕ) yang tersusun secara terpisah. Pemeriksaan lebih lanjut menunjukkan adanya besaran-besaran tertentu yang mengontrol harga masing-masing, fungsi radial/jarak, $R(r)$, dan fungsi sudut, $\Theta(\theta)$ dan $\Phi(\phi)$. Besaran-besaran ini adalah n , ℓ , dan m_ℓ yang kemudian dikenal sebagai bilangan kuantum yang mengontrol harga-harga masing-masing fungsi:

$$\Psi_{n,\ell,m}(r, \theta, \phi) = R_{n,\ell}(r) \cdot \Theta_{\ell,m}(\theta) \cdot \Phi_m(\phi)$$

Penyelesaian persamaan fungsi gelombang di atas diringkas agar lebih terarah pada aspek kimiawi karena penjelasan penyelesaian secara lengkap bersifat terlalu matematis. Penyelesaian fungsi gelombang atom hidrogen dapat dituliskan dalam bentuk koordinat kutub-bola (r, θ, ϕ) dapat dilihat pada persamaan sebagai berikut.

$$\Psi_{n,\ell,m}(r,\theta,\phi) = \sqrt{\frac{(2\ell+1)(\ell-|m|)!(n-\ell-1)!Z^3}{\pi^4(\ell+|m|)!(n+\ell)!a_o^3}} e^{-Zr/na_o} \left(\frac{2Zr}{na_o}\right)^\ell L_{n+\ell}^{2\ell+1}\left(\frac{2Zr}{na_o}\right) P_\ell^{|m|}(\cos\theta) e^{im\phi}$$

Persamaan penyelesaian fungsi gelombang ini memberikan hasil terpenting yang perlu diketahui yakni faktorial $(n-\ell-1)!$, dan $(\ell \pm |m_\ell|)!$. Faktorial ini memberikan pembatasan-pembatasan terhadap harga-harga n , ℓ , m_ℓ dan kombinasinya yaitu, n dan ℓ merupakan bilangan *diskret*, positif bulat integer 1; harga-harga ini adalah, $n \geq (\ell + 1)$, $\ell \geq 0$, dan $m_\ell = \pm \ell$. Jadi, $n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \infty$; $\ell = 0, 1, 2, 3, 4, 5, \dots (n-1)$; $m_\ell = 0, \pm 1; \pm 2; \pm 3 \dots$; dan ada hubungan “unik” antar nilai ketiganya yang dimungkinkan.

Tabel 1 Kombinasi Harga-Harga n , ℓ , dan m_ℓ yang Diizinkan untuk Orbital s,p, dan d

n	ℓ (ada n macam)		m atau m_ℓ ada $(2\ell + 1)$ macam dan notasi orbital dalam sumbu Cartes			
	Harga	Notasi	0	± 1	± 2	± 3
1	0	1s	1s			
2	0	2s	2s			
	1	2p	2p _z	2p _x , 2p _y		
3	0	3s	3s			
	1	3p	3p _z	3p _x , 3p _y		
	2	3d	3d _{z²}	3d _{xz} , 3d _{yz}	3d _{xy} , 3d _{x²-y²}	
4	0	4s	4s			
	1	4p	4p _z	4p _x , 4p _y		
	2	4d	4d _{z²}	4d _{xz} , 4d _{yz}	4d _{xy} , 4d _{x²-y²}	
	3	4f	4f _{z³}	4f _{z²x} , 4f _{z²y}	4f _{z(x²-y²)} , 4f _{xyz}	4f _{x³} , 4f _{y³}

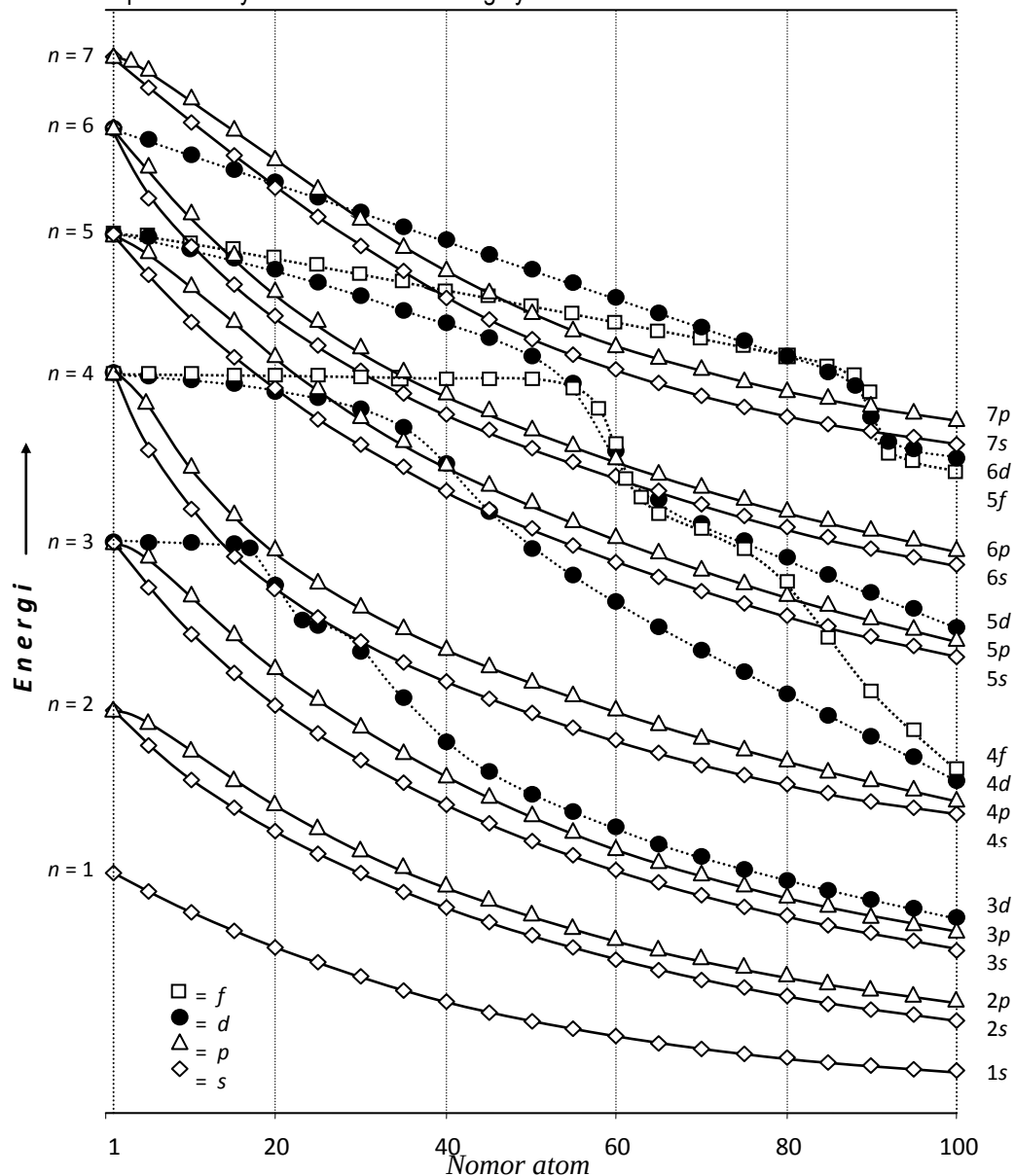
Menurut Ashkenazi (2005: 323), penulisan label orbital dengan menggunakan koordinat Cartesius dikarenakan lebih sederhana dan lebih mudah untuk menginterpretasi orientasi ruang dari orbital. Orbital p diberi label sesuai letaknya pada sumbu Cartesius (x,y,z) berturut-turut p_x , p_y , dan p_z . Tigadari lima orbital d , yaitu d_{xy} , d_{yz} , dan d_{xz} berturut-turut terletak antara sumbu $x-y$, $y-z$, dan $x-z$, sedangkan dua orbital lainnya, yaitu orbital d_{z^2} terletak pada sumbu z dan orbital $d_{x^2-y^2}$ terletak pada sumbu x dan y . Label yang diberikan pada setiap orbital sebenarnya bukan sembarangan tetapi memiliki arti matematik khusus yang merupakan bentuk angular(sudut) dari fungsi gelombang atom hidrogen (Ashkenazi, 2005: 323). Nilai positif dan negatif bilangan kuantum magnetik masing-masing menunjuk pada $\cos m\phi$ (atau sumbu x) dan $\sin m\phi$ (atau sumbu y). Selain itu, orbital d_{z^2} sesungguhnya merupakan singkatan dari orbital $d_{(3z^2-r^2)}$ atau $d_{(2z^2-x^2-y^2)}$ yang tidak lain merupakan hasil kombinasi penjumlahan dari orbital $d_{(z^2-y^2)}$ dan $d_{(z^2-x^2)}$.

Suatu kesimpulan penting yang dapat diambil dari penjelasan tersebut adalah bahwa orbital yang memiliki tingkat energi yang sama (*degenerate*) seperti orbital p yang terdiri atas 3 jenis orbital yaitu p_x , p_y , dan p_z yang sering direpresentasikan dengan menggunakan 3 buah kotak. Baik kotak pertama, kedua atau ketiga dapat dirujuk sebagai p_x , p_y , atau p_z . Tidak ada sebuah keharusan bahwa kotak pertama p_x , kotak kedua p_y dan kotak ketiga p_z seperti yang sering kita jumpai dalam buku teks kimia tingkat sarjana atau buku teks kimia SMA dan pendapat para guru kimia pada umumnya.

Konfigurasi Elektronik

Konfigurasi elektron adalah susunan elektron suatu atom atau ion yang memberikan energi terendah bagi spesies yang bersangkutan dalam keadaan dasar. Penulisan konfigurasi elektronik adalah berdasarkan urutan naiknya energi dan ini memerlukan metode yang bersifat mudah diingat (*mnemonic*). Diagram *aufbau* yang artinya membangun (*“building up”*) menurut urutan energi ($n+l$), menawarkan metode pengisian elektron yang sangat andal untuk mudah diingat. Konsep diagram *aufbau* sebenarnya bukan proses kimiawi yang selalu dipahami sebagai kebenaran proses yang terjadi dalam setiap atom unsur, melainkan sebaliknya yaitu proses pengeluaran elektron dari atomnya; elektron yang lebih mudah dikeluarkan adalah elektron yang mempunyai energi yang lebih tinggi. Oleh karena itu konfigurasi elektronik dipahami sebagai susunan elektron berdasarkan urutan energinya (bukan berdasarkan urutan pengisiannya) yang dituliskan mulai dari energi terendah hingga tertinggi.

Menurut Greenwood (1968: 36-37) penulisan konfigurasi elektron menurut diagram *aufbau* hanya tepat secara eksak untuk 20 atom pertama. Unsur dengan nomor atom lebih tinggi (nomor atom di atas 20) menunjukkan penyimpangan dari metode *aufbau* yang tentu saja menghasilkan konfigurasi elektronik yang berbeda cara penulisannya menurut urutan energinya.



Gambar 1 Diagram Energi Orbital Sebagai Fungsi Nomor Atom (Sugiyarto, 2012: 8)

Scerri (1989: 481) menyatakan bahwa miskonsepsi yang sering terjadi dalam konfigurasi elektronik adalah mengenai pemahaman metode *aufbau* atau “*building up*” pada unsur transisi dan energi ionisasi pertama dari unsur transisi tersebut. Pada umumnya sering dinyatakan bahwa energi orbital 4s lebih rendah daripada 3d. Kebanyakan buku teks kimia keliru menyatakan energi relatif dari orbital 4s dan 3d (Vanquickenborne, Pierloot, & Devoghel, 1994: 469). Gagasan energi orbital 4s lebih rendah daripada 3d jelas menyesatkan karena tidak berdasarkan teori kuantum ataupun hasil eksperimen.

Menurut Teorema Koopmans (Bills, 1998: 591; Melrose & Scerri, 1998: 498) perhitungan menurut metode SCF (*Self-Consistent Field*) atau metode medan swa-konsisten yang lebih dikenal dengan metode Hartree - Fock yang berdasarkan mekanika kuantum merupakan penjelasan secara teoritis akan fakta-fakta tersebut. Menurut metode ini, energi orbital 4s selalu lebih tinggi daripada energi orbital 3d dan energi ionisasi elektron dalam orbital 4s lebih rendah dibandingkan orbital 3d.

Slater memberikan penjelasan yang agak berbeda dengan pendekatan Hartree-Fock akan fenomena di atas mengenai energi orbital 4s. Menurut Slater pendekatan Hartree-Fock tidak memperhitungkan penetrasi orbital 4s terhadap inti (*core*). Menurut aturan Slater untuk atom K, energi orbital 4s memang di bawah orbital 3d, karena orbital 4s memberikan penetrasi yang lebih baik daripada 3d, akibatnya orbital 4s lebih stabil daripada orbital 3d sehingga akan terisi elektron lebih dahulu daripada orbital 3d. Sebagai konsekuensi, konfigurasi keadaan dasar dari atom K adalah $4s^1$ dan untuk atom Ca adalah $4s^2$ (Greenwood, 1968: 36; Vanquickenborne, Pierloot, & Devoghel, 1994: 469).

Hal yang menjadi pokok permasalahan adalah mengenai konfigurasi elektronik untuk atom Sc (nomor atom 21). Setelah orbital 4s terisi 2 elektron, elektron berikutnya akan mengisi orbital 3d. Akan tetapi pada saat yang bersamaan, energi orbital 3d lebih rendah daripada energi orbital 4s. Jika energi orbital 4s lebih besar daripada 3d, seharusnya konfigurasi keadaan dasar dari atom Sc adalah $3d^3 4s^0$, diperoleh dengan melepaskan 2 buah elektron dari orbital dengan energi yang lebih tinggi 4s ke orbital 3d. Tetapi fakta menyatakan bahwa alasan orbital 4s yang telah terisi seperti pada atom K dan Ca, benar-benar tidak relevan untuk atom Sc.

Secara umum untuk konfigurasi $3d^p 4s^q$, energi orbital 3d dan 4s masing-masing dapat dinyatakan: $\epsilon_{3d} = \omega_{3d} + (p - 1)(3d, 3d) + q(3d, 4s)$; $4s, \epsilon_{4s} = \omega_{4s} + (q - 1)(4s, 4s) + p(3d, 4s)$ dengan keterangan ω adalah energi elektron efektif dari elektron valensi yang bergerak dalam medan inti; $(3d, 3d)$ adalah tolakan rata-rata dari dua buah elektron dalam orbital d; $(3d, 4s)$ adalah tolakan rata-rata dari satu elektron dalam orbital 3d dengan satu elektron dari orbital 4s; $(4s, 4s)$ adalah tolakan rata-rata dari dua elektron dalam orbital 4s; $q = 0, 1$ atau 2 untuk persamaan (8) dan $q = 1$ atau 2 untuk persamaan (9). Untuk elektron valensi tertentu, nilai $p+q$ adalah konstan, sehingga jika didefinisikan: $n = p + q - 2$; akan terdapat tiga buah kemungkinan konfigurasi yaitu $3d^n 4s^2$, $3d^{n+1} 4s^1$ dan $3d^{n+2} 4s^0$. Jadi untuk kasus $_{23}\text{Sc}$, kemungkinan konfigurasi elektroniknya adalah $3d^1 4s^2$, $3d^2 4s^1$ dan $3d^3 4s^0$.

Berdasarkan penjelasan di atas, permasalahan konfigurasi elektron untuk atom Sc dan unsur transisi selanjutnya dapat dijelaskan dengan melihat kenyataan bahwa ukuran orbital 4s lebih besar dan lebih menyebar daripada orbital 3d. Sebagai konsekuensi, dua buah elektron yang didistribusikan ke dalam lima orbital 3d akan saling tolak-menolak dengan lebih kuat dibandingkan dua elektron dalam orbital 4s (Vanquickenborne, Pierloot, & Devoghel, 1994: 470). Berdasarkan pendekatan Hartree-Fock untuk beberapa atom atau ion dari unsur transisi dapat dinyatakan: $(4s, 4s) < (4s, 3d) < (3d, 3d)$.

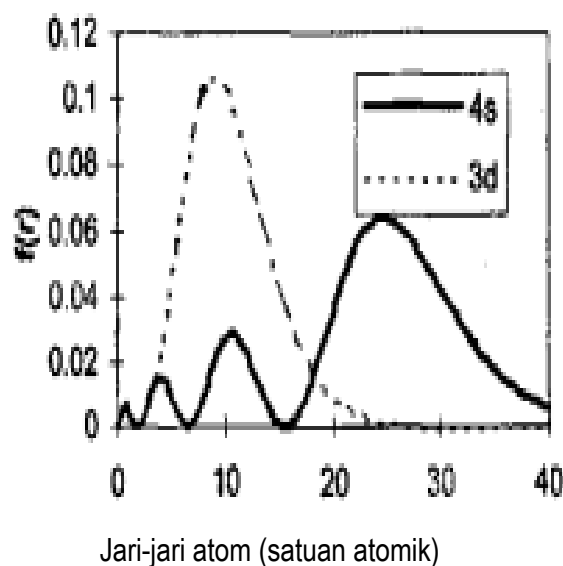
Sehingga sebagai konsekuensi dari persamaan-persamaan tersebut

$$\epsilon_{3d}(3d^n 4s^2) < \epsilon_{3d}(3d^{n+1} 4s^1) < \epsilon_{3d}(3d^{n+2} 4s^0)$$

$$\epsilon_{4s}(3d^n 4s^2) < \epsilon_{4s}(3d^{n+1} 4s^1)$$

Dari pertidaksamaan (12) dan (13), konfigurasi elektronik stabil untuk $_{21}\text{Sc}$ adalah $[\text{Ar}] 3d^1 4s^2$. Sebagai konsekuensi, konfigurasi elektronik untuk atom K, Ca, dan unsur transisi dari Sc sampai dengan Zn dapat diselesaikan.

Untuk menggambarkan muatan inti efektif yang berlaku terhadap elektron tertentu adalah konsep penetrasi (penembusan atau penekanan) terhadap inti. Daya penetrasi orbital ke arah inti atom secara umum mengikuti urutan $s > p > d > f$. Sebagai contoh penetrasi dari orbital 3d dan 4s dapat dilihat dari Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Probabilitas Fungsi Radial yang Melukiskan Tingkat Penetrasi Orbital 3d dan 4s
(Moss, 2003: 1)

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa orbital 4s mampu menembus ke dalam orbital 3d dan lebih mengarah ke inti, artinya beberapa bagian rapatan elektron 4s terletak di dalam daerah rapatan orbital 3d dan ada bagian kecil dekat inti. Hal ini akan berakibat elektron dalam orbital 4s akan sedikit kurang terlindungi (*deshielded*) daripada rapatan elektron dalam orbital 3d sehingga orbital 4s lebih stabil dibanding orbital 3d, tetapi energi ionisasi elektron dalam orbital 4s lebih kecil daripada orbital 3d. Jadi dapat dikatakan bahwa daya penetrasi orbital 4s lebih besar daripada orbital 3d.

Analisis spektroskopi menunjukkan adanya penyimpangan atau pengecualian dari konfigurasi elektronik menurut diagram *aufbau* yaitu bagi atom kromium dan tembaga. Konfigurasi elektronik 24Cr adalah $[\text{Ar}]3d^54s^1$ bukan $[\text{Ar}]3d^44s^2$. Ini menunjukkan bahwa energi konfigurasi $[\text{Ar}]3d^54s^1$ lebih rendah atau lebih stabil daripada energi konfigurasi $[\text{Ar}]3d^44s^2$. Hal ini sering dikaitkan dengan stabilitas konfigurasi elektronik setengah penuh baik untuk orbital 3d maupun 4s. Elektron-elektron yang terdistribusi secara merata di sekeliling inti mengakibatkan energi tolakan antar elektron menjadi minimum sehingga energi total konfigurasi menjadi lebih rendah. Demikian pula halnya untuk konfigurasi elektronik 29Cu adalah $[\text{Ar}]3d^{10}4s^1$ bukan $[\text{Ar}]3d^94s^2$ (Sugiyarto, 2012: 9).

Berdasarkan penjelasan di atas, perlu ditekankan bahwa dari diagram *aufbau* model Madelung: (1) hanya valid secara eksak untuk 20 atom pertama; (2) valid untuk menyatakan jumlah elektron tiap-tiap orbital bagi hampir semua atom unsur dengan beberapa pengecualian; dan (3) urutan energi orbitalnya menyimpang bagi atom-atom dengan Z (nomor atom) lebih dari 20, yakni mengikuti urutan nilai n saja.

Konfigurasi elektronik pada gas mulia merupakan konfigurasi yang paling stabil, dan ini dipakai sebagai patokan atau acuan bagi konfigurasi unsur lain. Jadi untuk atom unsur dengan $Z = 19$ sampai $Z = 30$ misalnya, konfigurasinya adalah $18 + n = [\text{Ar}] + n$, dengan $n = 1 - 11$. Sebagai contoh untuk ^{21}Sc , konfigurasi adalah $18 + 3$, bukan $20 + 1$, dan ^{24}Cr , konfigurasinya adalah $18 + 6$, bukan $20 + 4$, dan seterusnya.

Untuk kasus atom Cr ($Z = 24$), konfigurasinya adalah $[\text{Ar}] + 6$, dapat dipahami bahwa keenam elektron menjadi stabil ketika masing-masing keenam orbital 3d dan 4s terisi sebuah elektron sehingga diperoleh konfigurasi elektronik $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$. Demikian juga untuk atom Cu ($Z = 29$), konfigurasinya adalah $[\text{Ar}] + 11$, dapat dipahami bahwa 11 elektron menjadi lebih stabil jika orbital 3d terisi penuh dan orbital 4s terisi sebuah elektron (setengah penuh). Sebagai konsekuensinya, atom Zn ($Z = 30$) mempunyai konfigurasi elektronik $[\text{Ar}]3d^{10} 4s^2$.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif, tidak ada perlakuan atau manipulasi selama penelitian dilakukan. Subjek penelitian 129 peserta didik kelas XI Ilmu Alam di 4 (empat) SMA Negeri yang lain di kota Banjarmasin. Instrumen pengumpulan data adalah butir soal instrumen uji miskonsepsi yang telah divalidasi oleh ahli materi dan ahli pendidikan kimia serta telah diujicobakan, instrumen wawancara peserta didik, angket respon guru, dan lembar analisis miskonsepsi buku teks kimia. Teknik pengumpulan data menggunakan metode tes, wawancara, kuesioner observasi, dan dokumentasi. Data penelitian ini dikumpulkan melalui kuesioner dari para ahli dan guru kimia, respon peserta didik terhadap butir soal instrumen uji miskonsepsi, wawancara peserta didik, dan identifikasi miskonsepsi pada buku teks kimia. Data yang diperoleh dianalisis secara deskriptif.

Respon peserta didik terhadap 37 butir tes instrumen uji miskonsepsi dianalisis pada setiap butir dengan menggunakan kategori tingkat pemahaman dalam Tabel 2 yang dibuat berdasarkan tingkat pemahaman yang dikembangkan oleh Abraham, *et al* (Calik & Ayas, 2005: 33; Akgun, 2009: 29; Sendur, Toprak, & Pekmez, 2010: 3; Sukisman Purtadi & Lis Permana Sari, 2011: 5).

Tabel 2 Kemungkinan Pola Jawaban Responden dan Kategorinya Terhadap Instrumen Uji Miskonsepsi

No	Kategori Tingkat Pemahaman	Kemungkinan Pola Jawaban
1	Memahami	1. Jawaban inti tes benar dan alasan benar
2	Memahami sebagian tanpa miskonsepsi	1. Jawaban inti tes benar dan alasan tidak diisi 2. Jawaban inti tes tidak diisi dan alasan benar
3	Miskonsepsi tipe 1	1. Jawaban inti tes benar dan alasan salah 2. Jawaban inti tes salah dan alasan benar
4	Miskonsepsi tipe 2	1. Jawaban inti tes atau alasan salah menurut konsep sebenarnya, tetapi jawaban atau alasan itu benar menurut pemahaman guru atau buku teks yang menunjukkan miskonsepsi
5	Tidak Memahami	2. Jawaban inti tes salah dan alasan salah 3. Jawaban inti tes salah dan alasan tidak diisi 4. Jawaban inti tes tidak diisi dan alasan salah 5. Jawaban inti tes dan alasan keduanya tidak diisi

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Miskonsepsi bilangan kuantum

Miskonsepsi yang terjadi pada peserta didik terhadap konsep bilangan kuantum, secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi miskonsepsi terhadap 3 uraian konsep (subkonsep), yaitu bilangan kuantum magnetik dan hubungannya dengan koordinat Cartesius, bilangan kuantum magnetik spin, dan menentukan set bilangan kuantum. Miskonsepsi pada set bilangan kuantum, pada dasarnya merupakan miskonsepsi lanjut sebagai akibat miskonsepsi terhadap kedua subkonsep sebelumnya dan juga miskonsepsi terhadap konfigurasi elektronik.

Berdasarkan hasil implementasi instrumen dan wawancara, nampaknya konsep bilangan kuantum dalam struktur pengetahuan atau pikiran peserta didik lebih dianggap sebagai numerik atau harga terkait dengan urutan penempatan elektron dalam orbital atau urutan penomoran ruang orbital. Padahal konsep sebenarnya bukan seperti itu, melainkan harga-harga dari bilangan kuantum merupakan simbol/lambang yang menggambarkan posisi relatif elektron dalam ruang atom. Pelabelan simbol orbital dengan sumbu Cartesius terkait dengan orientasi orbital dalam ruang, bukan sebagai urutan menurut *alphabetic*. Label yang diberikan kepada setiap orbital sebenarnya memiliki arti matematik khusus yang merupakan bentuk angular (sudut) dari fungsi gelombang atom hidrogen (Ashkenazi, 2005: 323; Sugiyarto, Heru Pratomo, & Gultom, 2011: 18). Seperti yang disarankan oleh Ohno (2007: 84), bagian angular atau bentuk sudut yang terkait dengan bilangan kuantum azimut dan magnetik harus dipelajari

secara hati-hati. Hal ini disebabkan bentuk sudut tersebut terkait dengan mekanisme dan sifat arah dalam pembentukan ikatan kimia.

Berdasarkan hasil penyelesaian fungsi gelombang atom hidrogen, untuk orbital p dengan harga $l = 1$, harga $m_l = \pm 1$ menunjuk pada orbital p_x atau p_y dan $m_l = 0$ menunjuk pada orbital p_z . Sedangkan untuk orbital d dengan harga $l = 2$, harga $m_l = \pm 2$ menunjuk pada orbital d_{xy} dan $d_{x^2-y^2}$, $m_l = \pm 1$ menunjuk pada orbital d_{xz} dan d_{yz} , dan harga $m_l = 0$ menunjuk pada orbital d_{z^2} (Sugiyarto, 2000: 1.38). Jadi menurut data ini, untuk diagram orbital yang energinya setingkat, urutan harga m_l tidak harus disusun dari negatif ke positif atau sebaliknya. Hal ini disebabkan energi orbital setingkat (*degenerate*) untuk l yang sama. Tanda negatif, positif, dan nol terkait dengan orientasi orbital dalam ruang yang menyangkut sumbu Cartesius.

Jadi untuk diagram orbital p yang sering direpresentasikan dengan tiga buah kotak bujur sangkar, kotak pertama tidak harus menunjuk orbital p_x , kotak kedua tidak harus menunjuk orbital p_y , dan kotak ketiga tidak harus menunjuk orbital p_z . Padapenataan elektron ke dalam orbital p , tidak ada sebuah keharusan bahwa elektron pertama menempati orbital p_x , kemudian elektron berikutnya menempati orbital p_y , dan elektron berikutnya menempati orbital p_z . Konsep seperti ini sering dijumpai dalam buku teks kimia SMA dan kebanyakan pendapat guru kimia. Konsep yang benar adalah elektron pertama dapat menempati salah satu dari tiga orbital p , yaitu mungkin p_x atau p_y atau p_z .

Selanjutnya dalam hal bilangan kuantum magnetik spin, kebanyakan peserta didik memiliki anggapan bahwa elektron tunggal dalam suatu orbital harus memiliki bilangan kuantum magnetik spin $+\frac{1}{2}$, sebagai akibat pemahaman ini, penataan elektron ke dalam orbital juga harus dimulai dari spin elektron dengan harga $m_s = +\frac{1}{2}$ dahulu, kemudian elektron berikutnya akan mengisi orbital tersebut dengan spin yang memiliki harga $m_s = -\frac{1}{2}$. Jadi menurut mereka, aturan Hund dipahami sebagai sebuah aturan untuk mengisi elektron pada orbital-orbital *degenerate* yang dimulai dari spin elektron dengan $m_s = +\frac{1}{2}$ sampai semua orbital-orbital terisi setengah penuh, kemudian elektron berikutnya akan mengisi dengan spin elektron yang memiliki $m_s = -\frac{1}{2}$. Proses pemikiran seperti inilah yang menyebabkan munculnya istilah "elektron terakhir" ataupun "elektron ke-...", selain keliru dalam memahami diagram *aufbau* (Sugiyarto, Heru Pratomo, & Gultom, 2011: 16).

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, harga $+\frac{1}{2}$ dan $-\frac{1}{2}$ hanyalah simbol untuk menyatakan bahwa dua buah elektron dalam satu orbital memiliki arah rotasi yang berlawanan sesuai dengan prinsip Pauli. Tidak ada sebuah kepastian bahwa elektron tunggal harus memiliki $m_s = +\frac{1}{2}$, yang benar adalah sebuah kemungkinan, yaitu mungkin bernilai $+\frac{1}{2}$ atau $-\frac{1}{2}$ (Greenwood, 1968: 24).

Selanjutnya dapat diduga, jika peserta didik mengalami miskonsepsi terhadap kedua hal di atas, maka mereka juga akan mengalami miskonsepsi dalam menentukan set bilangan kuantum bagi suatu orbital atau elektron yang berada dalam suatu orbital. Mereka beranggapan, set bilangan kuantum untuk elektron tak berpasangan dalam orbital $3s$ adalah $n = 3$, $l = 0$, $m_l = 0$, dan $m_s = +\frac{1}{2}$, sedangkan untuk elektron berikutnya dalam orbital $3s$ hanya berbeda pada harga m_s yaitu $-\frac{1}{2}$. Hal ini mereka anggap sudah sesuai dengan prinsip Pauli. Padahal di balik itu semua, ada proses pemahaman yang keliru.

Selanjutnya kebanyakan peserta didik sepakat bahwa set bilangan kuantum untuk elektron terluar dari ${}^{26}\text{Fe}$ adalah $n = 3$, $l = 2$, $m_l = -2$, dan $m_s = -\frac{1}{2}$. Mereka menganggap elektron tersebut adalah elektron yang berada dalam kotak orbital pertama dari diagram orbital d dengan spin $-\frac{1}{2}$ (arah panah ke bawah). Hal ini menunjukkan terjadinya miskonsepsi yang kompleks. Di satu sisi, mereka mengalami miskonsepsi bilangan kuantum magnetik dan bilangan kuantum magnetik spin, di sisi lain mereka mengalami miskonsepsi konfigurasi elektron, sehingga memunculkan pemikiran atau stuktur pengetahuan seperti itu.

Untuk elektron tak berpasangan yang berada dalam orbital ns , memiliki dua kemungkinan set bilangan kuantum, yang diperoleh dari masing-masing satu kemungkinan harga n , l , dan m_l dan dua kemungkinan harga m_s atau 1 elektron $1 \times 1 \times 1 \times 2 = 2$ kemungkinan. Sedangkan elektron berikutnya juga memiliki 2 kemungkinan set bilangan kuantum. Setiap elektron dalam orbital p akan memiliki $1 \times 1 \times 3 \times 2 = 6$ kemungkinan set bilangan kuantum. Sebagai contoh set bilangan kuantum yang mungkin untuk

elektron dalam orbital $3p^1$ adalah: (1) $n = 3, l = 1, m_l = +1, m_s = -\frac{1}{2}$; (2) $n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$; (3) $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = -\frac{1}{2}$; (4) $n = 3, l = 1, m_l = +1, m_s = +\frac{1}{2}$; (5) $n = 3, l = 1, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$; dan (6) $n = 3, l = 1, m_l = -1, m_s = +\frac{1}{2}$. Sedangkan dalam orbital d , sebuah elektron akan memiliki $1 \times 1 \times 1 \times 5 \times 2 = 10$ kemungkinan set bilangan kuantum. Sebagai contoh, untuk orbital $3d^5$, set bilangan kuantum yang mungkin untuk masing-masing elektron adalah: (1) $n = 3, l = 2, m_l = +2, m_s = -\frac{1}{2}$; (2) $n = 3, l = 2, m_l = +1, m_s = -\frac{1}{2}$; (3) $n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = -\frac{1}{2}$; (4) $n = 3, l = 2, m_l = -1, m_s = -\frac{1}{2}$; (5) $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = -\frac{1}{2}$; (6) $n = 3, l = 2, m_l = +2, m_s = +\frac{1}{2}$; (7) $n = 3, l = 2, m_l = +1, m_s = +\frac{1}{2}$; (8) $n = 3, l = 2, m_l = 0, m_s = +\frac{1}{2}$; (9) $n = 3, l = 2, m_l = -1, m_s = +\frac{1}{2}$; dan (10) $n = 3, l = 2, m_l = -2, m_s = +\frac{1}{2}$.

Miskonsepsi konfigurasi elektronik

Hasil implementasi menunjukkan bahwa lebih dari 50% peserta didik mengalami miskonsepsi dalam menuliskan atau menyatakan konfigurasi elektronik untuk unsur dengan nomor atom lebih dari 20. Sebagai contoh, konfigurasi elektron atom ${}_{26}\text{Fe}$ adalah $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^6$. Akibatnya mereka beranggapan bahwa elektron dengan tingkat energi tertinggi berada dalam orbital $3d$, lebih parah lagi mereka menganggap elektron terluar juga berada dalam orbital $3d$. Sehingga apabila atom Fe membentuk ion, sebagian besar peserta didik menyatakan elektron yang dilepaskan berasal dari orbital $3d$. Berdasarkan konfigurasi tersebut, peserta didik juga menyatakan bahwa energi orbital $3d$ lebih tinggi dibandingkan $4s$.

Sugiyarto (2012: 7) menyarankan bahwa energi orbital $3d$ yang terisi elektron selalu lebih rendah dibandingkan dengan energi orbital $4s$ yang juga sudah terisi elektron. Perbedaan tingkat energi keduanya semakin besar dengan bertambahnya elektron pada orbital $3d$, sehingga urutan penulisan dalam konfigurasi elektroniknya juga mendahuluinya.

Berdasarkan penjelasan di atas bahwa miskonsepsi atas konsep konfigurasi elektronik terjadi sebagai konsekuensi atas pemahaman diagram *aufbau* model Madelung yang dianggap berlaku secara umum dan sesuai dengan fakta ilmiah kimia. Padahal diagram *aufbau* model Madelung hanya tepat dengan eksak untuk menyatakan energi orbital bagi 20 atom pertama (Greenwood, 1968: 36-37). Sedangkan unsur-unsur setelah itu mengalami penyimpangan sebagai akibat penambahan jumlah elektron dan proton. Penyimpangan tersebut terkait dengan urutan energi orbital. Untuk unsur-unsur dengan nomor atom lebih dari 20, urutan energi orbital tidak lagi mengikuti urutan $n + l$, akan tetapi mengikuti urutan n saja. Hal ini telah terbukti secara empiris.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penulisan konfigurasi elektron dengan pola $(n - 1)d^x ns^y$ adalah sangat penting untuk pemahaman energi ionisasi dalam struktur pengetahuan peserta didik. Karena memang konsep kimia sebenarnya mengenai urutan energi orbital, terkait dengan proses ionisasi. Sebagai contoh, untuk kasus unsur ${}_{26}\text{Fe}$, jika melepaskan elektron untuk membentuk ion Fe^{3+} , maka elektron yang dilepaskan berasal dari orbital $4s$ lebih dahulu, kemudian baru elektron dalam orbital $3d$ (Sugiyarto, 2012: 7).

KESIMPULAN

Telah terjadi miskonsepsi bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik pada peserta didik kelas XI Ilmu Alam di 4 (empat) SMA Negeri di kota Banjarmasin, baik miskonsepsi tipe-1 maupun tipe-2 yang terkait dengan konsep bilangan kuantum, yaitu: bilangan kuantum magnetik dan hubungannya dengan koordinat Cartesius, bilangan kuantum spin, menentukan set bilangan kuantum, dan konsep konfigurasi elektron, yaitu: energi orbital $3d$ dan $4s$ pada unsur transisi, dan penulisan konfigurasi elektronik untuk unsur dengan nomor atom lebih dari 20. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penyebab utama terjadinya miskonsepsi bilangan kuantum dan konfigurasi elektronik pada peserta didik adalah guru dan buku teks kimia yang digunakan dalam proses pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

Ashkenazi, G. (2005). The meaning of d-orbital labels. *Journal of Chemical Education*, 82(2), 323-324.

- Bills, J.L.(1998). Experimental 4s and 3d energies in atomic ground states. *Journal of Chemical Education*, 75(5), 589-593.
- Calik, M., & Ayas, A.(2005). A cross-age study on the understanding of chemical solution and their component. *International Education Journal*, 6(1), 30-41.
- Chang, R. (2011). *General chemistry : the essential concept, sixth edition*. New York : The McGraw-Hill Companies.
- Day, M.C., Selbin, J.(1987). *Kimia anorganik teori*. (Terjemahan Wisnu Susetyo). Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. (Buku asli terbit tahun 1984)
- Greenwood, N.N. (1968). *Principles of atomic orbitals*. London: The Royal Institute of Chemistry.
- Jensen, W.B.(2007). The origin of the s, p, d, f orbital labels. *Jurnal of Chemical Education*, 84, 757-758).
- K.H. Sugiyarto.(2000). *Kimia anorganik I: dasar-dasar kimia anorganik nonlogam*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- K.H Sugiyarto, Heru Pratomo, & Gultom, T.(2011). *Miskonsepsi Atas Pokok Bahasan Bilangan Kuantum dan Konfigurasi Elektron Pada Berbagai Buku Ajar Kimia SMA dan Para Guru Penggunaanya*. Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Kimia : Peranan Pendidikan Kimia, Penelitian dan Industri Dalam Pembentukan Karakter, di FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta .
- K.H.Sugiyarto.(2012). *Dasar-dasar kimia anorganik transisi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Melrose, M.P., Scerri, E.R.(1998). Why the 4s orbital is occupied before the 3d. *Journal of Chemical Education*.
- Moss, A.(2003). Transition metals notes. *Characteristics of transition metals*. Diambil pada tanggal 29 Mei 2012, dari www.alchemyst.f2o.org.
- Nakiboglu, C.(2003). Instructional Misconceptions of Turkish Prospective Chemistry Teachers About Atomic Orbitals and Hybridization. *Journal of Chemistry Education: Research & Practice*, 4(2), 171 – 188.
- Ohno, K. (2007). *Kimia kuantum: buku teks online*. (Terjemahan Bambang Prijamboedi). Tokyo : Iwanami Shoten. (Buku asli diterbitkan tahun 2004).
- Ozmen, H. (2011). Turkish primary students' conception about the particulate nature of matter. *International Journal of Environmental & Science Education*, 6(1), 99-121.
- Pedrosa, M.A., & Dias, M.H.(2000). Chemistry textbook approaches to chemical equilibrium and student alternative conceptions. *Journal of Chemistry Education : Research and Practice in Europe*, 1(2), 227 – 236.
- Pekmez, E.S.(2010). Using analogies to prevent misconceptions about chemical equilibrium. *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 11(2).
- Scerri, E.R. (1989). Transition metal configurations and limitations of the orbital approximation. *Journal of Chemical Education*, 66(6), 481.
- Sendur, G., Toprak, M., & Pekmez, E. S. (2010) Analyzing of students' misconceptions about chemical equilibrium. *International Conference on New Trends in Education and Their Implications*. Antalya-Turkey.
- Sukisman Purtadi dan Rr. Lis Permana Sari. (2011). *Analisis miskonsepsi konsep laju reaksi dan kesetimbangan kimia pada siswa SMA*. Yogyakarta: FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Vanquickenborne, L.G., Pierloot, K., & Devoghel, D.(1994). Transition metals and the aufbau principle. *Journal of Chemical Education*, 71(6), 469-471).