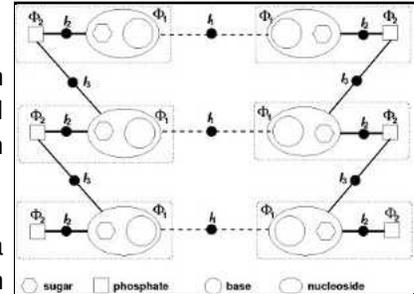


Deskripsi dinamika biomaterial elementer sebagai fenomena fisika non-linier ?

L. T. Handoko (Fisika LIPI)

Apakah itu biomaterial elementer ? Mengapa hal tersebut penting dikaji dan diteliti ? Seberapa jauh efek lingkungan terhadap dinamika biomaterial elementer tersebut ? Banyak sekali pertanyaan seputar misteri elemen pembentuk dasar makhluk hidup yang belum diketahui hingga saat ini.

Biomaterial adalah istilah penulis untuk 'materi-materi hayati' alias semua materi yang secara organik 'hidup' alias mampu melakukan replikasi dan memiliki dinamika mandiri. Elementer adalah sesuatu yang menjadi 'pembentuk paling dasar'. Sehingga biomaterial elementer dimaksudkan sebagai materi yang menjadi pembentuk paling dasar dari sebuah makhluk hidup. Saat ini yang termasuk kategori ini adalah DNA (*deoxyribonucleic acid*) yang berwujud dalam bentuk misalnya untaia yang mampu melakukan replikasi seperti ditunjukkan di gambar. Sebagai ilustrasi, untaia ganda DNA seperti gambar di samping membentuk molekul dengan ukuran lebih kurang 2 x 8 nanometer ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Sehingga tidak berlebihan bila dikatakan 'teknologi hayati' terkait rekayasa biologi molekular termasuk nanoteknologi. Sebenarnya, jauh sebelum popularitas istilah nano dan nanoteknologi, rekayasa bioteknologi selalu berurusan dengan fenomena skala nano !



Dilain pihak, dalam skala yang lebih besar sudah lebih dahulu dikenal beragam protein sebagai unsur dasar pembentuk makhluk hidup. Namun berbeda dengan level DNA, fenomena di level protein jauh lebih makroskopik dari skala DNA. Tidak mengherankan rekayasa teknologi di level protein jauh lebih maju karena telah banyak eksperimen yang berhasil dilakukan untuk melakukan aneka rekayasa dan atau pengamatan atas sifat dan karakteristik protein. Sudah tidak terhitung berapa banyak protein yang telah berhasil diidentifikasi dan dikenal, semuanya terangkum dalam database online terbuka di PDB (*Protein Data Bank*) [1] yang juga disimpan di ARSIP LIPI dan bisa diakses publik secara cuma-cuma [2].

Apa kesulitan mengobservasi DNA yang 'hanya' di level nanometer, padahal saat ini manusia telah mampu 'mengamati' tumbukan partikel elementer yang berskala 10^{-18} m ? Partikel elementer seperti elektron, kuark, foton dan sebagainya adalah materi non-hayati alias makhluk mati dan statis tanpa ada interaksi dengan materi lain. Sebaliknya DNA, seperti juga protein, adalah makhluk hidup dan memiliki makna bisa ada dalam kondisi 'hidup'. Sehingga pengamatan mempergunakan 'nano'-skop berbasis mesin akselerator seperti selama ini dilakukan dengan menembakkan partikel nuklir mengakibatkan biomateri langsung 'mati' dalam waktu sangat singkat. Tidak heran, eksperimen untuk mengetahui dinamika biomateri elementer saat ini dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu mencari teknologi alternatif untuk melihat dinamika biomateri pada skala nano secara waktu riil tanpa memakai akselerator, atau mengembangkan detektor berkemampuan tinggi untuk 'memotret' dengan resolusi waktu yang setara dengan masa hidup biomateri yang dibombardir dengan partikel nuklir di akselerator [3,4]. Teknologi alternatif yang banyak dikembangkan selain radiasi synchrotron yang berbasis akselerator adalah sinar X [3]. Sayangnya sinar X juga memiliki dampak mematikan bagi obyek meski menjanjikan waktu hidup yang lebih lama.

Menghadapi eksperimen yang semakin maju dan suatu saat akan berhasil melakukan pengamatan menyeluruh atas dinamika biomateri, apa yang harus dilakukan oleh para peneliti, khususnya di bidang teori ? Seperti diketahui, kajian sains teori hanya ada di dua bidang ilmu dasar yaitu fisika dan matematika. Dan keduanya merupakan satu kesatuan yang tidak terpisahkan sejak awal peradaban manusia. Fisika memerlukan matematika sebagai alat bantu untuk mendeskripsikan penjelasan fisika secara kuantitatif, sebaliknya perkembangan matematika dipicu dan

diinisiasi oleh kebutuhan di bidang fisika. Teori-teori fisika kemudian 'diaplikasikan' dalam berbagai kajian lain seperti kimia, teknik dan sebagainya.

Mengapa teori fisika diharapkan untuk memberikan kontribusi di kajian biomaterial elementer ? Khususnya di level DNA, diyakini efek reaksi kimia semakin kecil, karena skala nano hanya mengandung beberapa atom (ukuran 1 atom lk. 1 Amstrong = 10^{-10} m). Sehingga dibandingkan dengan reaksi kimia antar atom dari unsur yang berbeda sebagai pembentuk biomateri, 'dinamika fisis' antar atom pembentuk tersebut jauh lebih dominan. Pemodelan fisis dinamika DNA berbasis interaksi fisika ini dipelopori oleh Davydov, Peyrard dan Bishop tiga dekade lampau.

Namun aneka model yang diajukan untuk menggambarkan interaksi antar materi pembentuk sebuah untai ganda DNA yang secara skema di gambar di samping lebih bersifat fenomenologis dan mayoritas berbasis model yang dikembangkan oleh Davydov, Peyrard dan Bishop. Salah satu contoh adalah model yang grup penulis kembangkan untuk menjelaskan fenomena pelipatan protein dikaitkan dengan perusakan simetri [5]. Yang dimaksud dengan fenomenologis adalah sekedar ditujukan untuk menjelaskan hasil pengamatan eksperimen, dan tidak untuk menjawab 'mengapa' mekanisme tersebut terjadi. Padahal filosofi fisikawan teori adalah menjelaskan mengapa sesuatu terjadi, sedangkan hasil eksperimen lebih ditujukan untuk melakukan klarifikasi atas teori-teori yang telah diajukan sebelumnya.

Untuk itu grup penelitian penulis mencoba melakukan kajian terkait dinamika biomateri ini berbasis interaksi fisika dengan memanfaatkan pengetahuan di fisika partikel elementer. Mengikuti logika di fisika partikel, kajian dimulai dengan mendeskripsikan 'materi elementer' yang terkait dalam sebuah fenomena. Mengapa 'elementer' ? Dari pengalaman di fisika partikel, akan jauh lebih mudah untuk membangun sebuah teori dasar secara konsisten bila materi terkait berjumlah seminimal mungkin. Sehingga tidak mengherankan bahwa teori fisika yang sudah baku berbasis pada interaksi di level partikel elementer dan bukan di level nuklir. Karena di level nuklir terdapat ratusan jenis materi nuklir, dibandingkan dengan 16 jenis partikel elementer ditambah 1 partikel hipotetik Higgs yang belum diketemukan ! Logika yang sama diaplikasikan pada biomateri. Dibandingkan dengan membangun teori di level protein yang bisa mencakup ribuan jenis, akan jauh lebih mudah mendeskripsikan dinamika di level DNA. Misalnya untuk kasus untai ganda DNA di gambar di samping, cukup diwakili dengan ikatan antara nukleoside dan fosfat dengan 3 jenis interaksi : 1) ikatan basa antara 2 untai, 2) ikatan nukleoside dan fosfat dalam satu nukleotide, serta 3) ikatan nukleoside dan fosfat dalam satu untai [6]. Teori ini dikembangkan sebagai salah satu aplikasi pemodelan plasma sebagai fluida relativistik sebelumnya [7].

Salah satu aspek yang menarik secara teoritis sejak awal teori biofisika adalah fenomena non-linieritas di dinamika biomateri. Saat ini fenomena non-linier di biomateri telah menjadi pengetahuan baku, dan banyak sekali kajian terkait selama 2 dekade terakhir. Salah satunya adalah efek osilasi pada monomer protein yang memicu fenomena 'aneh' berupa kapasitas panas (*heat capacity*) yang bisa bernilai negatif untuk ruang parameter tertentu. Grup penulis juga melakukan kajian ini dengan memakai metoda yang baru, yaitu *path integral* untuk menghitung osilasi amide-I dan amide-site murni sebagai sebuah sistem kuantum [8,9]. Prediksi anomali berbasis teori semacam inilah yang kelak akan dikonfirmasi kebenaran / kesalahannya melalui eksperimen di masa depan. **Era teori sebagai penunjuk arah eksperimen di kajian hayati**

Apakah makna dari uraian diatas ? Ini menunjukkan bahwa (bahkan) kajian hayati sekalipun telah memasuki era *theory driven experiments*. Yaitu era dimana eksperimen akan dipicu dan diinisiasi oleh penemuan teoritik. Hal yang sama telah dialami komunitas fisika dasar di awal tahun 1930-an. Sebelumnya eksperimen dilakukan berbasis pengamatan dan hipotesa eksperimen sebelumnya. Tetapi memasuki era 1930-an, eksperimen yang bisa dilakukan berbasis pengamatan fisis langsung telah habis. Eksperimen tidak bisa dilakukan hanya berbasis coba-coba (*try and error*), karena sedemikian banyaknya kemungkinan dan ruang parameter yang terkait. Selain juga semakin besarnya dana yang diperlukan seiring dengan semakin kompleksnya eksperimen yang harus dilakukan.

Secara umum, dengan memasuki ranah elementer yang jelas-jelas tidak kasat mata, sangat mustahil untuk

menemukan sesuatu yang baru tanpa bimbingan teori, baik secara analitik maupun numerik dengan komputasi. Tidak terkecuali di kajian berbasis protein maupun DNA. Tidaklah mengherankan bahwa salah satu topik hangat secara global adalah biofisika seperti diatas dan bioinformatika. Berbeda dengan biofisika yang berbasis model dan deskripsi kuantitatif, bioinformatika melakukan pendekatan fenomenologis dengan memproses dan mensintesa kemungkinan kombinasi yang relevan dari lautan data (protein dsb) memakai teknologi informasi khususnya teknik-teknik penambangan data (*data mining*). Salah satu anggota grup penulis di kajian komputasi (**Zaenal Akbar**) juga aktif dalam topik ini dengan mengaplikasikan teknik komputasi dan data terdistribusi di Universitas Konstanz di Jerman.

Bagaimana peneliti Indonesia bisa berkontribusi di kajian ini ? Sebenarnya dengan masuknya era elementer di kajian hayati, peneliti Indonesia memiliki lebih banyak peluang untuk berkompetisi secara global. Tidak hanya berkompetisi dengan mengandalkan *local competitiveness* (modal kelokalan) seperti selama ini...;-) Referensi :

1. Protein Data Bank RCSB, <http://www.rcsb.org/pdb/>.
2. ARSIP LIPI - Server mirror data ilmiah global, <http://www.arsip.lipi.go.id>.
3. Spring-8, <http://www.spring8.or.jp>.
4. HASYLAB DESY, <http://www.hasyllab.desy.de>.
5. M. Januar, A. Sulaiman, L.T. Handoko, "Conformation changes and protein folding induced by ϕ^4 interaction", *International Journal of Modern Physics A* (2010) in press
6. A. Sulaiman, L.T. Handoko, "The effects of bio-fluid on the internal motion of DNA", *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience* (2010) in press
7. A. Sulaiman, A. Fajarudin, T.P. Djun, L.T. Handoko, ""Magnetofluid Unification in Yang Mills Lagrangian", *International Journal of Modern Physics A* **24** (2009) 3630-3637 (DOI [10.1142/S0217751X09047284](https://doi.org/10.1142/S0217751X09047284))
8. A. Sulaiman, F.P. Zen, H. Alatas, L.T. Handoko, "Anharmonic oscillation effect on the Davydov-Scott monomer in thermal bath", *Physical Review E* **81** (2010) 061907 (DOI [10.1103/PhysRevE.81.061907](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.81.061907))
9. A. Sulaiman, F.P. Zen, H. Alatas, L.T. Handoko, "Statistical mechanics of Davydov-Scott's protein model in thermal bath", *International Journal of Modern Physics A* (2010) in press

revisi terakhir : 15 Juni 2010