

Simulasi *Blood Type Inheritance* dengan Pemrograman Software Wolfram

Blood Type Inheritance Simulation with Wolfram Software Programming

Asep Komara Walkis Hayadri, Hermin Pancasakti Kusumaningrum dan Anto Budiharjo

Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

Jalan Prof. Soedarto, SH, Semarang, 50275

Corresponding Author ; asephayadri@live.co.uk

Abstract

Bioinformatics as an interdisciplinary science, combine biology, computer science, information technology, mathematics, and statistics in order to analyze and interpret biological data. Bioinformatics has been used for *in silico* analysis of biological questions using mathematical and statistical techniques. *In silico* analysis allows indirect simulation through a series of instructions put into a device, usually a computer. Nowadays, the simulation of biological aspects, especially genetics, with *in silico* method has been widely applied for several fields. The ABO blood type inheritance system in humans has rules that its mechanism can be applied into the Wolfram software programming, for example showing the possibility of blood groups being inherited from blood type O pairs with AB. The latest statistical data regarding the number of Indonesians who have reported their blood type has not yet reached 25% of the total population of Indonesia. Wolfram software is expected to be an accurate and fast blood type detector to record the entire population of Indonesia. The purpose of this study was to simulate Blood Type Inheritance with Wolfram Software Programming on ABO blood type inheritance data and see the suitability of the simulation results with real blood type inheritance data. The method used to simulate blood type inheritance is a survey of 12 families for the data of blood group, the next step is to enter the data one by one into the simulation model to observe the output results then matched with real data to determine the results of ABO blood type inheritance. Simulation of blood type inheritance can be done by programming the Wolfram Mathematica software and blood type data from 12 families can be simulated through the ABO blood inheritance system on Wolfram Mathematica, with details of the simulation predicting the blood groups of 2 families, simulation of 9 families according to real data, and simulation of 1 family does not match the real data.

Keywords: Bioinformatics, Simulation, Blood Type Inheritance, Wolfram Mathematica.

Abstrak

Bioinformatika sebagai bidang ilmu interdisipliner, memadukan biologi, ilmu komputer, teknik informasi, matematika dan statistika untuk menganalisis dan menginterpretasikan data biologi. Bioinformatika telah digunakan untuk analisis *in silico* dari pertanyaan biologis menggunakan teknik matematika dan statistik. Analisis *in silico* memungkinkan simulasi tidak langsung dengan melalui serangkaian instruksi yang dimasukkan ke dalam perangkat, umumnya berupa komputer. Dewasa ini, simulasi aspek Biologi khususnya Genetika dalam metode *in silico* sudah banyak diaplikasikan untuk beberapa hal besar. Sistem pewarisan golongan darah ABO pada manusia memiliki aturan yang dapat diterapkan mekanismenya ke dalam pemrograman software Wolfram, sebagai contoh menunjukkan kemungkinan golongan darah yang diturunkan dari pasangan bergolongan darah O dengan AB. Data statistik terbaru terkait jumlah penduduk Indonesia, yang sudah melaporkan golongan darahnya tercatat belum mencapai 25% dari total penduduk Indonesia. Software Wolfram diharapkan menjadi pendeteksi golongan darah secara akurat dan cepat untuk mendata seluruh penduduk Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan simulasi Blood Type Inheritance dengan Pemrograman Software Wolfram pada data pewarisan golongan darah ABO serta melihat kesesuaian hasil simulasi dengan data riil pewarisan golongan darah. Metode yang digunakan untuk melakukan simulasi blood type inheritance adalah survey data golongan darah sebanyak 12 keluarga, tahap selanjutnya adalah memasukkan data keluarga satu persatu ke dalam model simulasi untuk mengamati hasil output selanjutnya dicocokkan dengan data riil untuk mengetahui hasil pewarisan golongan darah ABO. Simulasi blood type inheritance dapat dilakukan dengan pemrograman software Wolfram Mathematica dan data survey golongan darah dari 12 keluarga dapat disimulasikan melalui sistem pewarisan darah ABO pada Wolfram Mathematica, dengan rincian simulasi memprediksi golongan darah 2 keluarga, simulasi 9 keluarga sesuai dengan data riil, serta simulasi 1 keluarga tidak sesuai dengan data riil.

Kata kunci: Bioinformatika, Simulasi, Blood Type Inheritance, Wolfram Mathematica.

PENDAHULUAN

Bioinformatika telah menjadi bagian penting dari berbagai bidang dalam ilmu biologi. Lesk (2013) menjelaskan bahwa Bioinformatika mencakup studi biologi yang menggunakan pemrograman komputer sebagai bagian dari metodologi, serta "pipeline" analisis spesifik yang berulang kali digunakan, terutama pada bidang genomik.

Bioinformatika sebagai bidang ilmu interdisipliner, memadukan biologi, ilmu komputer, teknik informasi, matematika dan statistika untuk menganalisis dan menginterpretasikan data biologi. Bioinformatika telah digunakan untuk analisis *in silico* dari pertanyaan biologis menggunakan teknik matematika dan statistik (Hogeweg *et al.* 2011).

Analisis *in silico* merupakan salah satu metode untuk memungkinkan penelitian tanpa melalui uji laboratorium. Analisis *in silico* memungkinkan simulasi tidak langsung dengan melalui serangkaian instruksi yang dimasukkan ke dalam perangkat, umumnya berupa komputer (Hameroff, 2014).

Wolfram sudah digunakan dalam penyusunan suatu simulasi beberapa aspek yang berkaitan dengan darah manusia. Sebuah penelitian dengan menggunakan software Wolfram telah dilakukan oleh Jamshidi (2001) dengan menciptakan simulasi dinamis terhadap jaringan metabolisme sel darah merah manusia. Penelitian tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memberikan model komprehensif dari metabolisme sel darah merah kepada komunitas ilmiah yang dapat diakses secara luas dan beroperasi pada sebagian besar platform komputasi standar.

Sistem pewarisan golongan darah ABO pada manusia memiliki aturan yang dapat diterapkan mekanismenya ke dalam pemrograman software Wolfram, sebagai contoh menunjukkan kemungkinan golongan darah yang diturunkan dari pasangan bergolongan darah O dengan AB. Fakrulloh (2021) memaparkan data statistik terbaru terkait jumlah penduduk Indonesia, yang sudah melaporkan golongan darahnya tercatat sebanyak 37.903.423 penduduk, jumlah tersebut belum mencapai 25% dari total penduduk Indonesia. *Software Wolfram* diharapkan menjadi pendeteksi golongan darah secara akurat dan cepat untuk mendata seluruh penduduk Indonesia. Sedlacek (2011) mengembangkan suatu demonstrasi mengenai pewarisan golongan darah dengan software Wolfram yang bertujuan

menentukan fenotip dan genotip hasil pewarisan golongan darah.

Berdasarkan hal di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk melakukan Simulasi *Blood Type Inheritance* dengan Pemrograman *Software Wolfram* pada data pewarisan golongan darah ABO, serta melihat kesesuaian hasil simulasi dengan data riil pewarisan golongan darah.

BAHAN DAN METODE

Sumber data golongan darah dari 12 keluarga, 10 di antaranya merupakan data yang disurvei secara acak. Source code simulasi *Blood Type Inheritance* yang berasal dari *Wolfram Demonstration Project*.

Data Survey

Data golongan darah diperoleh dari 12 keluarga yang berbeda dengan bertanya langsung disertai bukti berupa riwayat tes golongan darah, selanjutnya dibuat skema tabel golongan darah untuk tiap keluarga.

Data Input

Sumber kode (*source code*) simulasi *blood type inheritance* diunduh melalui *website* <https://demonstrations.wolfram.com> sebagai referensi model pewarisan golongan darah ABO. Data hasil survey selanjutnya dimasukkan ke dalam model simulasi yang telah disusun di dalam *software Wolfram*. *Software Wolfram* memiliki kelebihan antara lain mendukung pemrosesan standar, mengakses database dari internet, serta pemeriksa ejaan secara *real-time*. Untuk memvisualisasikan model simulasi, diperlukan serangkaian instruksi yang dimasukkan. *Wolfram Mathematica* dijalankan, kemudian *new notebook* diklik, selanjutnya instruksi dimasukkan di dalam *blank notebook*.

Running Test

Serangkaian instruksi di dalam model pewarisan golongan darah ABO dievaluasi dan dijalankan dengan mengubah variabel-variabel tertentu berdasarkan hasil survey data yang didapat seperti alel ayah dan alel ibu, agar menghasilkan output yang berbeda. Model simulasi pewarisan golongan darah ABO dijalankan dengan *Evaluation > Evaluate Notebook* dipilih, Selanjutnya data hasil simulasi dikomparasi dengan data riil yang didapat dari hasil survey.

HASIL DAN PEMBAHASAN

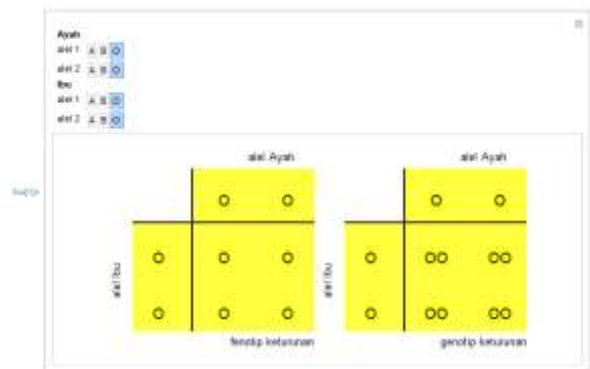
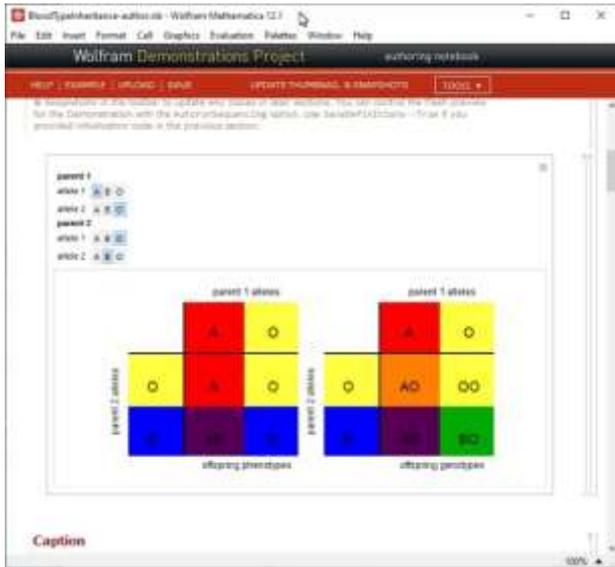
Data Survey

Data survey didapat dari hasil percakapan langsung maupun tidak langsung dengan 12

keluarga, di antaranya 10 keluarga dilakukan survey secara acak, dengan data golongan darah yang lengkap tiap anggota keluarganya, serta data 2 keluarga lainnya beberapa anggota keluarganya belum diketahui golongan darahnya. Hal tersebut disebabkan karena bukti tes golongan darah hilang atau karena belum mengikuti tes golongan darah. Data dari 10 keluarga yang dilakukan survey secara acak, diperoleh 7 keluarga dengan seluruh anggota keluarga memiliki golongan darah O.

Data Input

Input data keluarga yang tercatat ke dalam model pewarisan golongan darah ABO pada Wolfram Mathematica satu demi satu keluarga, karena simulasi tidak mendukung input data secara keseluruhan. Simulasi diunduh melalui Wolfram Demonstration Project dan disusun ulang pada aplikasi Wolfram Mathematica



Gambar 1. (a) Simulasi pewarisan golongan darah pada Wolfram Demonstration Project, (b) Simulasi pewarisan golongan darah setelah disusun ulang pada Wolfram Mathematica

Running Test

Data hasil survey dilakukan input ke dalam model simulasi pewarisan golongan darah ABO yang telah disusun kemudian hasil simulasi diamati untuk mengetahui perbandingan data survey dengan data riil.

Hasil simulasi dengan data keluarga A, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga A, kemungkinan memiliki anak dengan golongan darah A atau B secara fenotip, $I^A i$ atau $I^B i$ secara genotip. Hal tersebut dapat terjadi karena I^A dan I^B merupakan alel dominan dibandingkan i , sehingga tidak memungkinkan memiliki anak dengan golongan darah O. Hartwell *et al.* (2018) menjelaskan dalam suatu pewarisan golongan darah, fenotip A dapat muncul dari dua genotip yaitu $I^A I^A$ atau $I^A i$. Begitu pula dengan golongan darah B yang bisa diproduksi oleh $I^B I^B$ atau $I^B i$.

Hasil simulasi dengan data keluarga B, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga B dengan dua kemungkinan yang dapat terjadi, dikarenakan

kurangnya data golongan darah Ibu. Kemungkinan pertama, jika golongan darah Ibu secara fenotip B homozigot ($I^B I^B$), maka anak-anak keturunannya akan memiliki golongan darah B dengan genotip $I^B i$. Hal tersebut dikarenakan alel I^B dominan terhadap alel i , sehingga keturunannya akan memiliki golongan darah B heterozigot (alel $I^B i$). Hartwell *et al.* (2018) menjelaskan lebih lanjut, bahwa alel tidak diwariskan secara dominan atau resesif; dominasi atau resesivitasnya selalu relatif terhadap alel kedua. Dengan kata lain, hubungan suatu dominasi unik untuk sepasang alel. Sebagai contoh, I^A dominan terhadap i , tetapi kodominan dengan I^B .

Kemungkinan kedua, jika golongan darah Ibu secara fenotip B heterozigot ($I^B i$), maka anak-anak keturunannya akan memiliki golongan darah B heterozigot dan O (ii). Hal tersebut dikarenakan golongan darah Ibu yang heterozigot dapat mewariskan 2 alel berbeda (I^B dan i) sehingga ketika berpasangan dengan Ayah dengan golongan darah O dapat menghasilkan keturunan dengan golongan darah O. Menurut Hoefnagels (2018), di

dalam pewarisan golongan darah, Alel *i* bersifat resesif, sehingga seseorang dengan genotip *ii* tidak menghasilkan molekul A maupun molekul B dan karenanya memiliki golongan darah O. Seseorang yang hanya menghasilkan molekul A (genotipe $I^A I^A$ atau $I^A i$) memiliki golongan darah A; demikian pula seseorang dengan hanya molekul B (genotipe $I^B I^B$ atau $I^B i$) memiliki golongan darah B.

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, kemungkinan yang mendekati hasil untuk keluarga B adalah kemungkinan kedua, karena Ibu dari

keluarga B merupakan anak pertama di keluarga A, sehingga Ibu dari keluarga B memiliki golongan darah B heterozigot. Berdasarkan pernyataan tersebut, golongan darah anak pertama dan kedua pada keluarga B akan memiliki alel $I^B i$. Solomon *et al.* (2019) lebih lanjut mengemukakan, bahwa meskipun golongan darah dapat menentukan seseorang sebagai orang tua dari anak tertentu, hal tersebut hanya menentukan bahwa mungkin saja seseorang tersebut sebagai orang tua dari anak tertentu.

Tabel 1. Hasil simulasi pewarisan golongan darah keluarga A

Keluarga A	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	<i>ii</i>	O	<i>ii</i>	Prediktif
Ibu	AB	$I^A I^B$	AB	$I^A I^B$	
Anak 1	-	-	A/B	$I^A i / I^B i$	
Anak 2	-	-	A/B	$I^A i / I^B i$	
Anak 3	-	-	A/B	$I^A i / I^B i$	

Tabel 2. Hasil simulasi pewarisan golongan darah keluarga B

Keluarga B	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	<i>ii</i>	O	<i>ii</i>	Prediktif
Ibu	-	-	B	$I^B I^B / I^B i$	
Anak 1	B	-	B	$I^B I^B / I^B i$	
Anak 2	B	-	B	$I^B I^B / I^B i$	
Anak 3	-	-	O/B	<i>ii</i> / $I^B i$	

Hasil simulasi dengan data keluarga C, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga C dengan kemungkinan yang terjadi, yaitu golongan darah Ibu secara fenotip B homozigot ($I^B I^B$), maka anak-anak keturunannya akan memiliki golongan darah B dengan genotip $I^B i$. Hal tersebut dikarenakan alel I^B dominan terhadap alel *i*, sehingga keturunannya akan memiliki golongan darah B heterozigot (alel $I^B i$).

Hasil simulasi dengan keluarga D – J, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga D, E, F, G, H, I, dan J dengan golongan darah O, serta hasil output simulasi pada Wolfram Mathematica sesuai dengan data yang sudah ada.

Hasil simulasi dengan keluarga K, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga K, diperoleh output berupa

keturunan dengan golongan yang diperkirakan diturunkan adalah A dan/atau B. Simulasi tidak menampilkan keturunan dengan golongan darah AB dari Ayah O dengan Ibu AB. Hal ini dikarenakan simulasi disusun dengan aturan sistem golongan darah ABO, di mana I^A dan I^B dominan terhadap *i*, sehingga keturunannya kemungkinan memiliki golongan darah A dan/atau B. Klug (2019) memaparkan secara sekilas bahwa I^A dan I^B dominan atas *i*, maka individu dengan $I^A i$ memiliki darah tipe A, dan individu dengan $I^B i$ memiliki tipe B.

Hasil simulasi dengan keluarga L, diperoleh golongan darah keturunan dari pasangan Ayah dan Ibu keluarga L dengan kemungkinan yang terjadi, yaitu golongan darah Ibu secara fenotip B heterozigot ($I^B i$), maka anak-anak keturunannya akan memiliki golongan darah B dengan genotip $I^B i$ dan golongan darah O. Hal

tersebut dikarenakan alel I^B dominan terhadap alel i , sehingga keturunannya akan memiliki golongan darah B heterozigot (alel $I^B i$). Lawler *et al.* (2006) menyimpulkan bahwa dikarenakan antigen sel

darah merah diwariskan sebagai sifat dominan, seorang anak tidak dapat memiliki antigen golongan darah yang tidak ada pada salah satu atau kedua orang tuanya

Tabel 3. Hasil simulasi pewarisan golongan darah keluarga C

Keluarga C	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	ii	O	ii	Sesuai
Ibu	B	$I^B I^B / I^B i$	B	$I^B I^B$	
Anak 1	B	$I^B I^B / I^B i$	B	$I^B i$	
Anak 2	B	$I^B I^B / I^B i$	B	$I^B i$	

Tabel 4. Hasil simulasi pewarisan golongan darah keluarga D – J (Keluarga J hanya sampai anak 2)

Keluarga D – J	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	ii	O	ii	Sesuai
Ibu	O	ii	O	ii	
Anak 1	O	ii	O	ii	
Anak 2	O	ii	O	ii	
Anak 3	O	ii	O	ii	

Tabel 5. Hasil simulasi pewarisan golongan darah keluarga K

Keluarga K	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	ii	O	ii	Tidak sesuai
Ibu	AB	$I^A I^B$	AB	$I^A I^B$	
Anak 1	AB	$I^A I^B$	A/B	$I^A i / I^B i$	
Anak 2	B	$I^B I^B / I^B i$	A/B	$I^A i / I^B i$	
Anak 3	B	$I^B I^B / I^B i$	A/B	$I^A i / I^B i$	

Tabel 6. Hasil Simulasi pewarisan golongan darah keluarga L

Keluarga L	Golongan Darah				Hasil
	Data Survey		Simulasi		
	Fenotip	Genotip	Fenotip	Genotip	
Ayah	O	ii	O	ii	Sesuai
Ibu	B	$I^B i$	B	$I^B i$	
Anak 1	O	ii	O	ii	
Anak 2	B	$I^B i$	B	$I^B i$	

Keluarga A dan keluarga B menghasilkan output prediktif dikarenakan data riil yang tidak lengkap, keluarga C, D, E, F, G, H, I, J dan L menghasilkan output yang sesuai dengan data riil pada data survey. Hasil dari keluarga K menghasilkan output yang tidak sesuai dengan data riil pada data survey, di mana pada data survey, terdapat anak dengan golongan darah AB dari Ayah golongan darah O dengan Ibu golongan darah AB, sedangkan output simulasi menunjukkan golongan darah A dan/atau B.

Simulasi *blood type inheritance* dapat dilakukan dengan pemrograman software Wolfram Mathematica dengan model berupa simulasi pewarisan golongan darah ABO, baik dengan data survey yang belum lengkap maupun dengan integrasi data survey yang lengkap sebagai pembanding. Model simulasi pada Wolfram Mathematica dapat memprediksi kemungkinan golongan darah yang diwariskan, dengan catatan data yang tersedia minimal satu dari pihak orang tua (Ayah ataupun Ibu), dan satu dari pihak anak.

Simulasi ini tetap tidak disarankan sebagai acuan utama dalam memprediksi kemungkinan pewarisan golongan darah. Sedlacek (2011) menjelaskan dalam deskripsi simulasinya, bahwa demonstrasi pewarisan darah dengan pemrograman software Wolfram Mathematica dapat menggambarkan kemungkinan fenotip dan genotip golongan darah keturunan berdasarkan genotip kedua orang tua.

Tiandho (2017) menjelaskan bahwa Wolfram Mathematica merupakan perangkat lunak komputasi matematik simbolik yang menyediakan dukungan mendalam pada pemrosesan dan analisis citra. Keunggulan perangkat lunak ini adalah ia menggunakan bahasa Wolfram Language yang telah dikenal luas sebagai bahasa pemrograman yang relatif sederhana dan mudah dipahami, sehingga tingkat keberhasilan simulasi sangat tinggi.

KESIMPULAN

Simulasi *blood type inheritance* terhadap data survey golongan darah dapat dilakukan dengan pemrograman software Wolfram dengan sistem pewarisan darah ABO, serta dapat pula memprediksi kemungkinan golongan darah yang diwariskan dan dapat pula membandingkan hasil outputnya dengan data riil. Data survey golongan darah dari 12 keluarga dapat disimulasikan melalui sistem pewarisan darah ABO pada Wolfram Mathematica, dengan rincian simulasi memprediksi golongan darah 2 keluarga, simulasi 9 keluarga sesuai dengan data riil, serta simulasi 1 keluarga tidak sesuai dengan data riil.

DAFTAR PUSTAKA

- Blakeslee, B., Cope, D. & McCourt, M.E. 2016. The Oriented Difference of Gaussians (ODOG) model of brightness perception: Overview and executable Mathematica notebooks. *Behavioral Research*. 48: 306–312.
- Brooker, Robert J. 2018. *Genetics Analysis & Principles (6th Edition)*. McGraw-Hill, New York.
- Fakrulloh, Z. A. 2021. *Dirjen Dukcapil: Indonesia Miliki Bank Data 37,9 Juta Golongan Darah*. <https://dukcapil.kemendagri.go.id/berita/baca/725/dirjen-dukcapil-indonesia-miliki-bank-data-379-juta-golongan-darah.html>. 2 November 2021.
- Hameroff, S. R. 2014. *Ultimate Computing: Biomolecular Consciousness and NanoTechnology*. Elsevier, Amsterdam.
- Hartwell, et al. 2018. *Genetics: From Genes to Genomes (6th Edition)*. McGraw-Hill, New York.
- Hoefnagels, Marielle. 2018. *Biology Concepts and Investigations (4th Edition)*. McGraw-Hill, New York.
- Hogeweg, P. 2011. "The Roots of Bioinformatics in Theoretical Biology". *PLOS Computational Biology*. 7(3).
- Human Biology Project. 2004. *Blood Type Calculator*. http://www.biology.arizona.edu/human_bio/problem_sets/blood_types/inherited.html. 11 Maret 2021.
- Jamshidi, N.; Edwards, Jeremy S.; Fahland, Tom; Church, George M.; Palsson, Bernhard O. 2001. Dynamic simulation of the human red blood cell metabolic network. *Bioinformatics Applications Note*. 17(3): 286–287.
- Joyce, A. P.; Zhang, C.; Bradley, P.; Havranek, J. J. 2015. Structure-based modeling of protein: DNA specificity. *Briefings in Functional Genomics*. 14(1): 39–49.
- Klug, W., Cummings, M., Spencer, C. 2019. *Concepts of Genetics (12th Global Edition)*. Pearson, New Jersey.
- Lawler, et al. 2006. *Paternity Testing*. <https://www.britannica.com/science/blood-group/Paternity-testing>. 7 Juni 2021.
- Lesk, A. M. 2013. *Bioinformatics*. Encyclopaedia Britannica, Inc., Chicago.
- Musyirifah, E.; Rabbani, H.; Sobiruddin, D.; Khairunnisa. 2021. Development of wolfram mathematica application-assisted learning module on derivative in high school. *Journal of Physics: Conference Series*: 1836.
- Ranganathan, Shoba et al. 2019. *Encyclopedia of Bioinformatics and Computational Biology*. Elsevier, Amsterdam.
- Sedlacek, Q. 2011. *Blood Type Inheritance*. <https://demonstrations.wolfram.com/BloodTypeInheritance/>. 13 Agustus 2020.
- Sim, A. Y. L.; Minary, P.; Levitt, M. 2012. Modeling nucleic acids. *Current Opinion in Structural Biology*. 22 (3): 273–278.
- Servedio, Maria R.; Brandvain, Yaniv; Dhole, Sumit; Fitzpatrick, Courtney L.; Goldberg, Emma E.; Stern, Caitlin A.; Van Cleve, Jeremy; Yeh, D. Justin. 2014. Not Just a Theory—The Utility of Mathematical Models in Evolutionary Biology. *PLOS Biology*. 12 (12): e1002017.
- Solomon, Eldra P. et al. 2019. *Biology (11th Edition)*. Cengage, Boston.

Szyk, Bogna. 2020. *Blood Type Calculator*. <https://www.omnicalculator.com/health/blood-type>. 16 Maret 2021.

Tiandho, Yuan. 2017. Analisis Kuantitatif Pori Berdasarkan Pengolahan Citra Menggunakan Wolfram Mathematica. *Kumpulan jurnal Ilmu Komputer (KLIK)*. 04 (01): 15–23.

Wolfram, S. 2019. *Scientific and Technical Data*. <http://reference.wolfram.com/mathematica/guide/ScientificAndTechnicalData.html>. 13 Agustus 2020.

Wong, K. C. 2016. *Computational Biology and Bioinformatics: Gene Regulation*. CRC Press/Taylor & Francis Group, Florida