

Epistemologi Teknologi PCR Bagi *Millinéal Post Covid-19* Di Minggu Raya

Tanto Budi Susilo*¹, Oni Soesanto², Sri Cahyo Wahjono³, Tetti Novalina Manik³, Dewi Sri Susanti⁴, Gaudensius Bio Dares¹, Thresye Thresye², Krisdianto Krisdianto⁵, Yuyun Hidayat⁶

¹Program Studi Kimia, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

²Program Studi Matematika, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

³Program Studi Fisika, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

⁴Program Studi Statistika, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

⁵Program Studi Biologi, Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat

⁶Program Studi Statistika, Fakultas MIPA Universitas Padjadjaran

*Penulis korespondensi: tbsusilo@ulm.ac.id

Received: 16 Agustus 2023 / Accepted: 15 November 2023

Abstract

Counseling on polymerase chain reaction (PCR) technology has been carried out with the target of post-covid-19 millennials in Sunday Raya. The urgency of this activity is part of the appeal and socialization of healthy living in the post-covid-19 era. The reviews are as follows; After the genetic material (DNA) was successfully researched by Hershey, Oswald Avery and Chargaff, and the central dogma of life by Watson-Crick. After the explanation of the genetic code system (genetic code) works on polypeptides (amino acids) by Nirenberg. The subject matter is that there are 4 types of nitrogenous bases that make up DNA, if there are 4 combinations of nitrogenous bases (A, G, T, C) then there are 16 types of amino acids and if 3 combinations there are 64 types of amino acids. In reality there are 20 amino acids in nature. Nirenberg and George Gamow proposed that some amino acids are encoded by more than one combination of different nucleotides. The smallest unit of amino acid coding or codon consists of 3 nucleotide combinations or triplets. Kary Mullis concluded that all investigations run on in vivo replication conditions or inside the cell body while in vitro replication outside the cell body is PCR technology. The structural equation modeling (SEM) method was used for data collection and evaluation. The results of the pretest and post test were addressed to 32 respondents aged around 19 years and 12 respondents aged around 18 years, respectively as follows; very understand (1.03), understand (76.07), less understand (18.25) and do not understand (1.55); and very understand (1.38), understand (75), less understand (23.62) and do not understand (1.38). In general, respondents who were 19 years old understood the urgency of PCR better than those who were 18 years old, although the difference was not significant.

Keywords: genetic code, in vivo, in vitro, PCR

Abstrak

Penyuluhan teknologi polymerase chain reaction (PCR) telah dilakukan dengan sasaran millenéal post covid-19 di Minggu Raya. Urgensi kegiatan ini merupakan bagaian himbauan dan sosialisasi hidup sehat era post-covid-19. Adapun ulasanya sebagai berikut; Setelah materi genetika (DNA) sukses diteliti oleh Hershey, Oswald Avery dan Chargaff, dan dogma sentral kehidupan oleh Watson-Crick. Setelah penjelasan sistem kode genetika (genetic code) bekerja pada polipeptida (asam amino) oleh Nirenberg. Pokok persoalannya adalah terdapat 4 jenis basa nitrogen penyusun DNA, jika terdapat 4 kombinasi basa nitrogen (A, G, T, C) maka ada 16 jenis asam amino dan kalau 3 kombinasi terdapat 64 jenis asam amino. Pada kenyataannya terdapat 20 asam amino di alam. Nirenberg dan George Gamow mengusulkan beberapa ada asam amino dikode oleh lebih dari satu kombinasi nukleotida yang berbeda. Unit terkecil pengkode asam amino atau kodon yang terdiri 3 kombinasi nukleotida atau triplet. Kary Mullis berkesimpulan bahwa semua penyelidikan berjalan pada kondisi replikasi in vivo atau di dalam tubuh sel sedangkan replikasi in vitro di luar tubuh sel adalah teknologi PCR. Metode structural equation modelling (SEM) digunakan untuk koleksi dan evaluasi data. Hasil uji pretest dan post test ditujukan kepada 32 responden berumur kisaran 19 tahun dan 12 responden berumur kisaran 18 tahun, berturut-turut sebagai berikut; sangat mengerti (1,03), mengerti (76,07), kurang mengerti (18,25) dan tidak mengerti (1,55); dan sangat mengerti (1,38), mengerti (75), kurang mengerti (23,62) dan tidak mengerti (1,38). Secara umum, responden yang merumur 19 tahun lebih mengerti daripada responden yang berumur 18 tahun, terhadap urgensi PCR, walaupun perbedaannya tidak nyata.

Kata kunci: genetic code, in vivo, in vitro, PCR

1. PENDAHULUAN

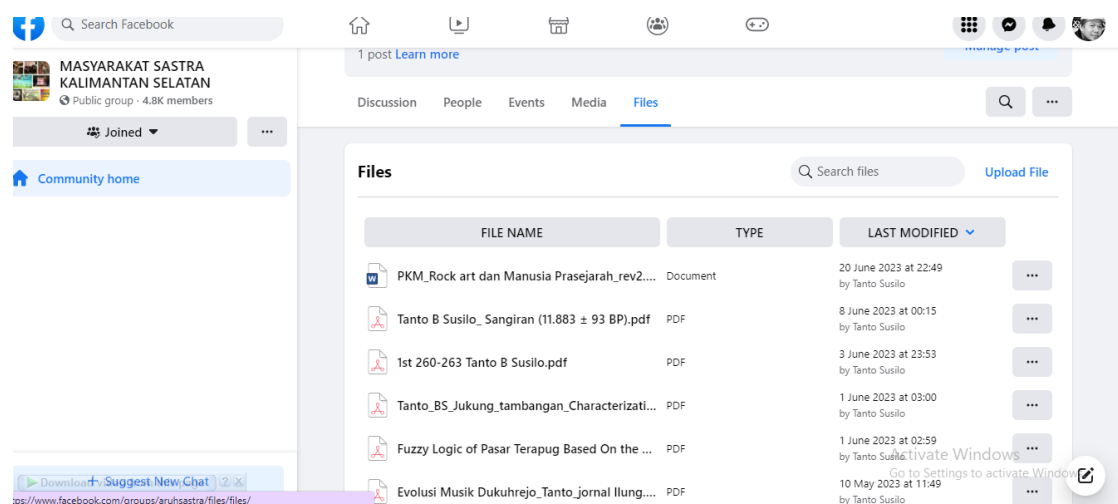
MINGGU RAYA

Minggu Raya, merupakan kawasan ternama di Banjarbaru. Tempat ini memiliki multifungsi antara lain pementasana seni, dialog berkebudayaan atau berkesenian. Terletak pada jalan Jendral Ahmad Yani, KM 32, Kota Banjarbaru, Kalimantan Selatan. Program kegiatan masyarakat (PKM) dilakukan di tempat ini, dengan cara menulis artikel epistemologi PCR. Para millenial memberi umpan balik lewat *google form* dan/atau *ipod broadcasting* (podcast). Pada beberapa dekade yang lalu, Minggu Raya, kawasan tempat kuliner tradisional, sebelum direlokasi, oleh pemerintah Banjarbaru. Tempat ini merupakan ruang publik, banyak pegiat sastra, seniman, pelukis, wartawan, fotografer, musisi, dan mahasiswa/millennial beraktifitas di sini.

Kedaruratan pandemi *covid-19*, telah dicabut oleh WHO (*World Health Organisation*) dan pemerintah Republik Indonesia. Ini bukan berarti secara akademis bahwa virus covid-19 itu tidak ada disekitar lingkungan. Komunalitas dan mobilitas *millennial* yang cenderung meninggi merupakan hal yang perlu tetap hati-hati. Mengapa demikian? Karena para *host* atau inang covid-19 adalah manusia, terutama *millennial* dengan mobilitas dan komunalitas yang tinggi rentan terpapar ulang. Mereka dapat menjadi agen pembawa (*carrier*) virus. Selanjutnya, penyebaran virus dapat dideteksi dengan PCR, suatu metode yang merupakan standart WHO. Oleh karena itu, pemahaman mengenai epistemologi PCR tetap relevan untuk sekarang dan masa datang. Artikel PKM ini menjadi tambahan literasi pada perpustakaan virtual pada Masyarakat Sastra Kalimantan Selatan (Gambar1.).

Sasaran

WHO (*World Health Organisation*), organisasi kesehatan dunia telah menetapkan PCR merupakan alat dengan panasea atau *eficacy* yang tinggi untuk mendeteksi berbagai virus, dan penggunaan pada bidang yang lebih luas lainnya. Atas dasar pengetahuan akdemis, pengetahuan asal (*epistemology cognitive*) PCR masih diperlukan sebagai bagian kewaspadaan kesehatan. Prinsip kerja PCR masih memiliki relevansi dengan keperluan kesehatan sampai hari ini. Oleh karena itu, target dan sasaran kegiatan PKM ditujukan pada *millennial*/mahasiswa yang merupakan pengguna aktif masa depan.



Gambar 1. Situs Masyarakat Sastra Kalimantan Selatan di Minggu Raya, Banjarbaru. Penulis ikut berpartisipasi dalam deposit literasi karya non fiksi dan fiksi pada perpustakaan virtual (*virtual library*) <https://www.facebook.com/groups/aruhsastra/files/files>

PCR

Polymerase Chain Reaction (PCR) adalah teknik biologi molekuler yang kuat yang digunakan untuk mengamplifikasi (membuat salinan) segmen DNA tertentu. Ini adalah alat yang mendasar dalam berbagai bidang, termasuk genetika, forensik, diagnostik medis, dan penelitian biologi. PCR dilakukan dengan menggunakan mesin thermal cycler dan melibatkan serangkaian perubahan suhu untuk memfasilitasi proses amplifikasi DNA. Berikut ini adalah gambaran umum dasar dari proses PCR dan kerangka kerjanya; *Denaturation*: Sampel DNA yang mengandung sekuens target dipanaskan pada suhu tinggi (biasanya sekitar 94-98°C). Hal ini menyebabkan DNA untai ganda terpisah (denaturasi) menjadi dua untai tunggal; *Annealing*: Suhu diturunkan ke kisaran 50-65°C. Selama langkah ini, primer DNA pendek yang komplementer dengan sekuens yang mengapit daerah target mengikat (anneal) ke untaian masing-masing. Primer ini memberikan titik awal untuk sintesis DNA. *Elongation* (Pemanjangan): Suhu dinaikkan menjadi sekitar 72°C. Enzim DNA polimerase mensintesis untai DNA komplementer baru dengan menambahkan nukleotida ke primer. Polimerase DNA yang digunakan dalam PCR stabil terhadap panas untuk menahan suhu tinggi yang digunakan dalam denaturasi. Ketiga langkah ini (denaturasi, annealing, dan ekstensi) merupakan satu siklus PCR. Setiap siklus menggandakan jumlah DNA, karena untaian yang baru disintesis dapat bertindak sebagai templat untuk siklus berikutnya.

Bagaimana PCR awal mula (epistemologi PCR) ditemukan? Adalah masih merupakan suatu hal yang relevan untuk dikaji sampai saat ini. Dan PCR mampu mendeteksi sebaran virus secara global. Serta menyelamatkan hampir 6 milyar manusia penghuni planet bumi ini. Berikut ini disampaikan tahapan dan proses temuan PCR; Diawali dari *fuzzy logic* (oto)biografi berarti bagaimana intuisi berupa *ethic*, *esthetic* dan *logic* ilmuwan dapat digali oleh pembaca. Membaca ulang teks dan konteks (oto)biografi ilmuwan, berarti ada peluang untuk meneladani karakter unggul sang tokoh. Historianya mengasuh batin dan pikiran pembacanya melalui pengalaman atau kisah hidupnya. (Oto)Biografi dapat menjadi petunjuk dan pengasuh mengenai hal-hal yang baik-suksesnya dan tidak baik-gagalnya untuk dijadikan pelajaran atau *lesson* atau *darasah* dalam kehidupan. Ucapan-ucapan (*malfuzhat* atau *quotes*) tokoh-tokoh terkait temuan (*discovery*) adalah cerminan atau kaca *benggala* atau *palindromic* pada sikap mentalnya (*affective*), pengetahuannya (*cognitive*), atau ketrampilan bekerja (*psychomotorics*) yang dapat meneguhkan dalam pengajaran dan pembelajaran sains.

2. Metode

Structural Equation Modeling (SEM) adalah teknik statistik yang memungkinkan peneliti untuk menilai hubungan yang kompleks antara variabel dalam model teoritis. Hal ini biasanya digunakan untuk menganalisis dan menguji hipotesis tentang hubungan antara variabel laten (tidak teramati) dan variabel teramati. SEM menyediakan kerangka kerja untuk mengevaluasi model pengukuran (seberapa baik variabel yang diamati mencerminkan konstruk laten) dan model struktural (bagaimana variabel terkait satu sama lain). Dalam SEM, variabel dibagi menjadi dua jenis utama; Variabel Laten: Ini adalah konstruk yang tidak dapat diamati yang ingin dipelajari oleh peneliti secara tidak langsung. Misalnya, "kecerdasan" atau "status sosial ekonomi" mungkin merupakan variabel laten. Variabel ini tidak diukur secara langsung, tetapi disimpulkan dari serangkaian variabel teramati. Variabel Teramati: Ini adalah titik data aktual yang dikumpulkan melalui pengukuran. Variabel ini digunakan untuk mewakili variabel laten. Misalnya, nilai ujian dan tingkat pendidikan dapat menjadi variabel teramati yang terkait dengan konstruk laten "kecerdasan". SEM melibatkan pembuatan model grafis yang mewakili hubungan teoritis antara variabel laten dan variabel teramati. Untuk mengetahui persepsi dan respon terhadap 44 milineal/mahasiswa menggunakan metode *Structural Equation Modelling* (SEM). Beberapa pertanyaan terhubung dengan pengetahuan (*cognitive*) dan sikap mental (*affective*) epistemologi PCR; Eksperimen Narenberg, Proposal *triplet* George Gamow; Data *X-ray* Watson-Crick; PCR/in vitro amplifikasi DNA; Sintesis oligopeptida dan NCBI, DDBJ dan EMBI (Susilo, *et. al.*, 2022a, 2022b, 2022c dan 2022d). Artikel ini bagian laporan pengabdian masyarakat yang telah dilakukan berupa *podcast* di Minggu Raya, Banjarbaru tahun 2021.

3. Hasil dan Pembahasan

Kajian fundamental berupa struktur DNA merupakan cikal bakal (embrio) rekayasa genetika saat ini. Revolusi metodologi rekayasa DNA menghasilkan informasi biologi (bioinformatika) yang meningkat secara eksponensial, sejak tahun 1980an. Bank-bank data tempat menyimpan informasi biologi atau urutan DNA/protein berdiri pada tahun itu juga, seperti NCBI, DDBJ dan EMBI. Ketiga bank data ini telah mengkoleksi kisaran 500 juta urutan atau *big* (bank) data DNA pada tahun 2020. Pengelolaan *big* data memerlukan *tool* untuk *artificial intelligent* (AI). Pengelolaan dan pengolahan tambang data (*mining*) pada *big* data dapat memproduksi atau menghasilkan ilmu baru atau informasi yang sebelum tidak ada (*specstacular*), seperti *rate mutation* dan *evolution* (Darwin 1871 dan 1865; Daris, 2022; Agustina, 2022; Jariyah, 2022; Sidabariba 2022), *drug design*, (Yahya; 2021); *migraton history*, (Capelli, C., et al., 2001), *gen musics* (Brown S, et al., 2014), *antropology dan forensics moleculer*, (Cavalli-Sforza L. L, Feldman M. W.,1981; Floresia; 2018) dan lainnya. Oleh karena itu, perlu untuk disampaikan pemikiran ulang tokoh-tokoh penyelidik struktur DNA yang utama Watson and Crick (1953). Kajian “sesuatu” penyebab trasfomasi sel menghasilkan DNA yang dikenal sekarang.

Hasil metode SEM dengan uji pretest dan post test ditujukan kepada 32 responden berumur kisaran 19 tahun dan 12 responden berumur kisaran 18 tahun, berturut-turut sebagai berikut; sangat mengerti (1,03), mengerti (76,07), kurang mengerti (18,25) dan tidak mengerti (1,55); dan sangat mengerti (1,38), mengerti (75), kurang mengerti (23,62) dan tidak mengerti (1,38). Terhadap urgensi epistemologi PCR, secara umum, responden yang merumur 19 tahun lebih mengerti daripada responden yang berumur 18 tahun, walaupun perbedaannya tidak signifikan.

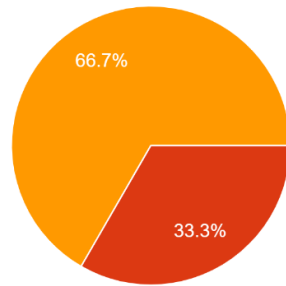
Tabel. 1. Hasil ringkasan *pretest* dan *post test* terkait dengan pengetahuan dan sikap mental PCR.

| No. | Pertanyaan | Prosentase (%) | | | | | | | |
|-----|--------------------------------------|--------------------------------------|----------|-----------------|----------------|--------------------------------------|----------|-----------------|----------------|
| | | <i>Millenneal</i> berumur 18 tahunan | | | | <i>Millenneal</i> berumur 19 tahunan | | | |
| | | Sangat mengerti | Mengerti | Kurang mengerti | Tidak mengerti | Sangat mengerti | Mengerti | Kurang mengerti | Tidak mengerti |
| 1. | Eksperimen Narenberg | 0 | 66,7 | 33,3 | 0 | 3,1 | 71,9 | 25 | 0 |
| 2. | Proposal <i>triplet</i> George Gamow | 0 | 75 | 16,7 | 8,3 | 3,1 | 75 | 18,8 | 3,1 |
| 3. | Data X-ray Watson-Crick | 0 | 75 | 25 | 0 | 0 | 75 | 18,8 | 6,2 |
| 4. | PCR/in vitro amplifikasi DNA | 8,3 | 66,7 | 25 | 0 | 0 | 71,9 | 18,8 | 9,4 |
| 5. | Sintesis oligopeptida | 0 | 83,3 | 16,7 | 0 | 0 | 81,3 | 15,6 | 3,1 |
| 6. | NCBI, DDBJ dan EMBI | 0 | 75 | 25 | 0 | 0 | 81,3 | 12,5 | 6,2 |
| | Rata-rata | 1,38 | 73,62 | 23,62 | 1,38 | 1,03 | 76,07 | 18,25 | 4,67 |

Disediakan data supplement di bawah ini sebagai deskripsi sikap *millenneal* dengan epistemologi PCR, yang perlu diketahui pasca pandemi 2022. Rekapitulasi *millennial*/mahasiswa yang berumur kisaran 18 tahun. Hasil sebagai berikut ini;

1. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Narenberg, setelah podcast?

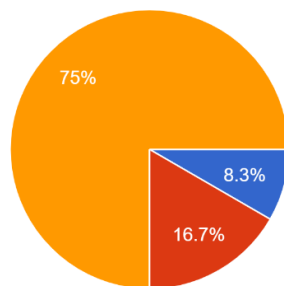
12 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

2. Apakah pendapat saudara tentang proposal triplet George Gamow?

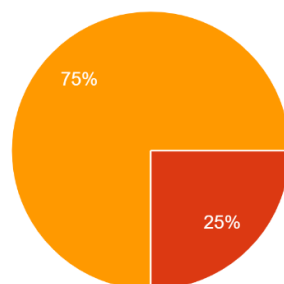
12 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

3. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Watson-Crick?

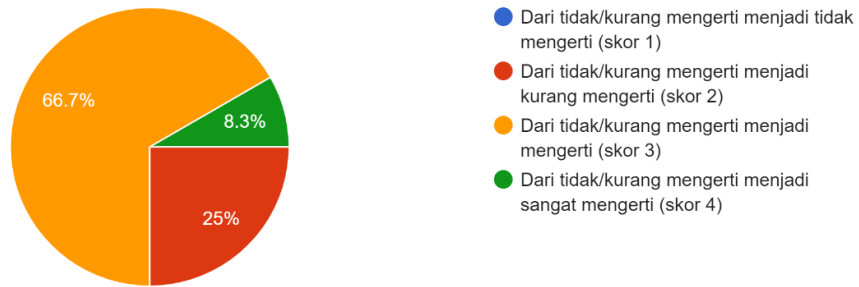
12 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

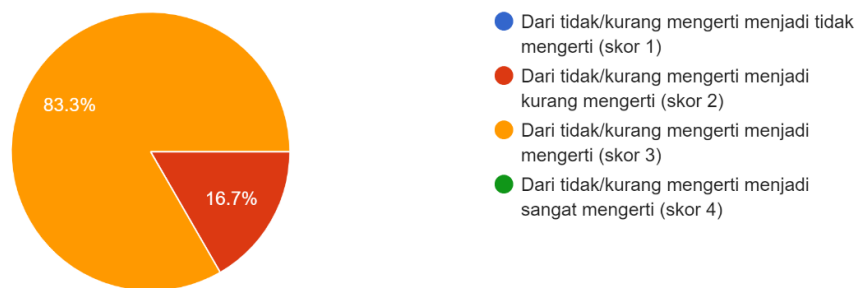
4. Apakah pendapat saudara tentang PCR ?

12 responses



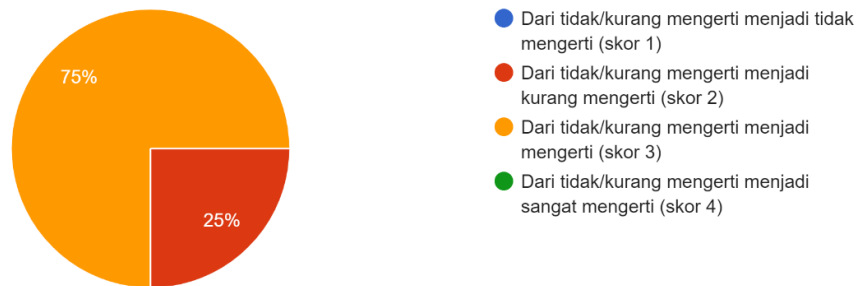
5. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Frederick Sanger?

12 responses



6. Bagaimana sikap mental saudara terhadap NCBI, DDBJ, dan EMBI?

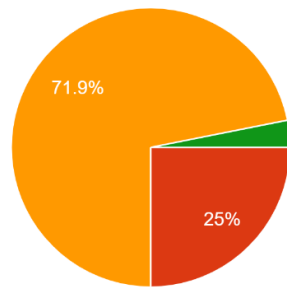
12 responses



Di bawah ini rekapitulasi millennial/mahasiswa yang berumur kisaran 19 tahun. Hasil sebagai berikut ini;

1. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Narenberg?

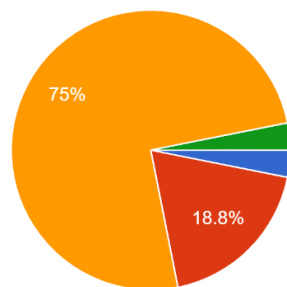
32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

2. Apakah pendapat saudara tentang proposal triplet George Gamow?

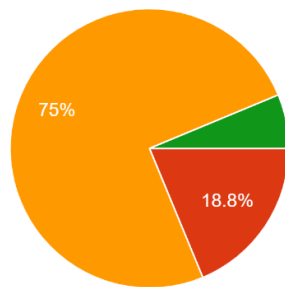
32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

3. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Watson-Crick?

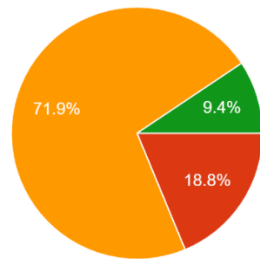
32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

4. Apakah pendapat saudara tentang PCR ?

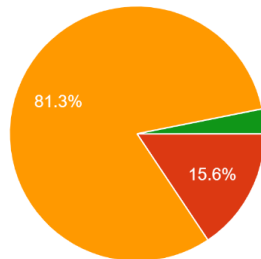
32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

5. Apakah pendapat saudara tentang eksperimen Frederick Sanger?

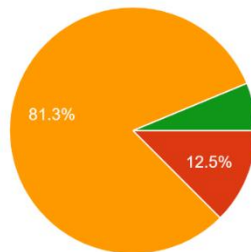
32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

6. Bagaimana sikap mental saudara terhadap NCBI, DDBJ, dan EMBI?

32 responses



- Dari tidak/kurang mengerti menjadi tidak mengerti (skor 1)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi kurang mengerti (skor 2)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi mengerti (skor 3)
- Dari tidak/kurang mengerti menjadi sangat mengerti (skor 4)

Epistemologi PCR

Epistemologi adalah studi asal mula tentang pengetahuan, kepercayaan, dan pembenaran. Ketika diterapkan pada teknik ilmiah tertentu seperti *Polymerase Chain Reaction* (PCR), epistemologi akan merujuk pada pemeriksaan tentang bagaimana mengetahui, memahami, dan membenarkan pengetahuan tentang PCR dan implikasinya. Dalam konteks PCR, epistemologi akan melibatkan eksplorasi pertanyaan-pertanyaan seperti; pertama, Pembentukan Pengetahuan: Bagaimana mengetahui dan memahami prinsip-prinsip di balik PCR? Hal ini dapat melibatkan investigasi sejarah perkembangan teknik ini, para ilmuwan yang terlibat, dan eksperimen-eksperimen penting yang mengarah pada pembentukannya. Kedua, pembenaran: Bukti dan alasan apa yang mendukung klaim yang dibuat tentang keakuratan, keandalan, dan keefektifan PCR? Hal ini dapat melibatkan pemeriksaan literatur ilmiah, studi yang ditinjau oleh rekan sejawat, dan hasil eksperimen yang memvalidasi teknik tersebut. Ketiga, kepercayaan dan penerimaan: Bagaimana PCR mendapatkan penerimaan yang luas di dalam komunitas ilmiah? Faktor-faktor apa saja yang berkontribusi terhadap kredibilitas dan reputasinya sebagai alat biologi molekuler yang mendasar? Ke empat; keterbatasan dan ketidakpastian: Apa saja keterbatasan PCR? Bagaimana para ilmuwan mengatasi ketidakpastian dan potensi sumber kesalahan dalam eksperimen PCR? Bagaimana ketidakpastian dalam hasil PCR dikomunikasikan dan dipahami? Ke lima, komunitas epistemik: Bagaimana komunitas ilmuwan berkolaborasi, berbagi pengetahuan, dan membangun

pekerjaan satu sama lain untuk memajukan pemahaman kita tentang PCR? Peran apa yang dimainkan oleh tinjauan sejawat dalam membentuk epistemologi PCR? Ke enam, pertimbangan etis: Bagaimana epistemologi PCR memengaruhi diskusi etis seputar penggunaannya? Hal ini dapat melibatkan pemeriksaan bagaimana pemahaman tentang PCR berdampak pada keputusan yang berkaitan dengan penelitian genetik, pengujian diagnostik, aplikasi forensik, dan banyak lagi. Terakhir, Perubahan dan Evolusi: Bagaimana pengetahuan dan pemahaman tentang PCR berkembang dari waktu ke waktu? Bagaimana kemajuan teknologi dan wawasan baru membentuk kembali cara mendekati dan memanfaatkan teknik ini?

Dengan menyelidiki pertanyaan-pertanyaan ini dan pertanyaan-pertanyaan terkait, epistemologi PCR bertujuan untuk memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang bagaimana pengetahuan ilmiah dihasilkan, divalidasi, dan digunakan dalam konteks teknik khusus ini. Hal ini juga menjelaskan implikasi yang lebih luas dari PCR di berbagai bidang dan cara-cara di mana pengetahuan ilmiah mempengaruhi pemahaman tentang dunia alamiah.

Dari Griffith ke Nirenberg

Berikut ini asal usul munculnya pengetahuan tentang PCR yaitu dimulai dari *agent transforming cell* sampai *dogma central* kehidupan oleh Karry Mullis, sebagai berikut; *Agent* transformasi sel ditemukan oleh Frederick Griffith. Temuan dilanjutkan materi genetik atau *deoxyribose nucleatide acids* (DNA). Suatu materi yang dapat diwariskan pada bakteri *patogen* (*Streptococcus pneumoniae*). DNA adalah bukanprotein atau lipid. Penemunya adalah Oswald Avery, Colin MacLeod dan Maclyn McCarty. *Enigma* akademis selanjutnya, adakah bagaimana mekanisme itu terjadi? Erwin Chargaff, Maurice Wilkins, Rosalind Franklin, James Watson dan Francis Crick menjawab soal yang maha penting ini. Pekerjaan Erwin Chargaff (1950) berhasil menemukan bahwa susunan DNA berbeda dari satu spesies ke spesies lainnya. Hasilnya menunjukkan perbandingan C(*cytocine*): G(*guanine*) dan T (*tymine*): A (*adenine*) adalah satu. Dan seklaigus mengkonfirmasi bahwa terdapat hubungan ikatan hidrogen rangkap tiga pada (C≡G) dan rangkap dua pada (AT=T). Eksperimen ini membantu membuka jalan bagi penemuan struktur DNA *double helix* oleh James Watson dan Francis, dengan bantuan Maurice Wilkins dan Rosalind Franklin sebagai kristalografer sinar-X untuk data difraksi DNA. Di sini, awal *central dogma of life*, diperkenalkan oleh Watson-Crick. Bahwa *phonem* (A, G, T, C) DNA meski ditranskripsi (bahasa Latin, *transire*: melewati, *scriptum*: tulis artinya menyalin) ke (A, G, U, C) *ribose nucleatide acids* (RNA) dan ditranslasi (bahasa Latin, *transire*: melewati; *slaterum*: batu tulis artinya: menterjemahkan) ke asam amino. Ada 20 asam amino yang diketahui. George Gamow menyarankan bahwa kode genetik terbuat dari tiga nukleotida unit pengkodenya per asam amino. Alasannya karena ada 64 kemungkinan kombinasi asam amino dan kalau empat basa unit pengkodenya, hanya ada 16 kombinasi asam amino. Maka unit pengkode genetic atau codon terdiri atas 3 unit RNA.

Pada 1960-an, Marshall Warren Nirenberg dan George Gamow, punya *enigma* atas *central dogma of life*. Bagaimana sistem kode (A, G, T, C) DNA bisa disalin ke *codon* (A, G, U, C) RNA dan diterjemahkan ke 20 jenis asam amino? Ini adalah misteri utama DNA. Tahap pertama, Nirenberg memecahkan teka-teki T sama dengan U (urasil), melalui percobaan polyUrasil (*uracil* adalah demetilisasi *tymin*). Eksperimen Khoran, H. G., (1954), dan Moffatt, J. G. and Khorana, H. G., (1961), menjelaskan sintesis oligopeptida ini; yaitu Bahwa bila 2 unit RNA yang berulang (**UCUCUCU** → **UCU CUC UCU**) memproduksi 2 unit asam amino yaitu serin (UCU) dan leusin (CUC). Ini merupakan gabungan eksperimen Nirenberg dan Leder. Dan apabila 3 unit RNA yang berulang (**UACUACUA** → **UAC UAC UAC**, atau **ACU ACU ACU**, atau **CUA, CUA, CUA**) menciptakan 3 unit asam amino yang berbeda. Dan apabila 4 unit RNA yang berulang termasuk **UAG, UAA**, atau **UGA**, hanya memproduksi dipeptida dan tripeptida hingga mengungkapkan bahwa UAG, UAA dan UGA merupakan *stop codon*. Ini membuktikan bahwa beberapa codon RNA dapat ditranslasikan menjadi ke asam amino yang sama dan/atau *stop codon*. Holley, R. W., *et. al.*, (1965) dengan gamblang menjelaskan sistem urutan penterjemahan tRNA pada *yeast* (khamir/jamur). Selanjutnya Bernfield, M. R. dan Nirenberg, M. W., (1965), mengeneralisasi sistem *genetic code* RNA, yang juga

dapat retranskripsi menjadi *genetic code* DNA. Sebelumnya Hoagland, M. B., dan Zamecnik, (1958) telah menemukan struktur tRNA, 5 tahun sesudah temuan struktur DNA.

Frederick Sanger

Karya Sanger sangat menonjol pada pendefinisian informasi genetik adalah tidak lain dan bukan merupakan urutan nukleotida, dan urutan nukleotida adalah cetak biru atau *blue print* kehidupan. Sehingga ucapannya dibawah ini diawali dengan phrase "DNA sequence atau urutan DNA".

"A DNA sequence for the genome of bacteriophage Φ X174 of approximately 5,375 nucleotides has been determined using the rapid and simple 'plus and minus' method. The sequence identifies many of the features responsible for the production of the proteins of the nine known genes of the organism, including initiation and termination sites for the proteins and RNAs. Two pairs of genes are coded by the same region of DNA using different reading frames" Urutan DNA untuk genom bakteriofag Φ X174 sekitar 5.375 nukleotida telah ditentukan dengan menggunakan metode 'plus dan minus' yang cepat dan sederhana. Urutan mengidentifikasi banyak fitur yang bertanggung jawab untuk produksi protein dari sembilan gen organisme yang diketahui, termasuk situs inisiasi dan terminasi untuk protein dan RNA. Dua pasang gen dikodekan oleh wilayah DNA yang sama menggunakan kerangka pembacaan yang berbeda."

Marshall Nirenberg

Nirenberg memberikan pemikiran bahwa pembacaan urutan DNA mengikuti pola triplet atau pola tiga nukleotida atau pola codon, temuan ini merupakan urutan codon kode genetik. Informasi genetik adalah membaca kode genetik. Begini apa yang diucapkan Nirenberg, dalam suatu ketika;

In this building, Marshall Nirenberg and Heinrich Matthaei discovered the key to breaking the genetic code when they conducted an experiment using a synthetic RNA chain of multiple units of uracil to instruct a chain of amino acids to add phenylalanine. The uracil (poly-U) served as a messenger directing protein synthesis. This experiment demonstrated that messenger RNA transcribes genetic information from DNA, regulating the assembly of amino acids into complex proteins. Nirenberg would go on to decipher the code by demonstrating the correspondence of various trinucleotides to individual amino acids. He was a co-winner of the Nobel Prize in 1968. Di gedung ini, Marshall Nirenberg dan Heinrich Matthaei menemukan kunci untuk memecahkan kode genetik ketika mereka melakukan percobaan menggunakan rantai RNA sintetik dari beberapa unit urasil untuk menginstruksikan rantai asam amino untuk menambahkan fenilalanin. Urasil (poli-U) berfungsi sebagai pembawa pesan yang mengarahkan sintesis protein. Eksperimen ini menunjukkan bahwa messenger RNA menyalin informasi genetik dari DNA, mengatur perakitan asam amino menjadi protein kompleks. Nirenberg akan menguraikan kode dengan menunjukkan korespondensi berbagai trinukleotida dengan masing-masing asam amino. Dia adalah salah satu pemenang Hadiah Nobel pada tahun 1968.

One individual alone creates only a note or so that blends with those produced by others. Is there a basic chemical reason for [the genetic code], or is it to some degree a matter of historical chance? My personal belief is that there is an underlying meaning for this and that it will be found. Satu individu sendiri hanya menciptakan satu nada atau lebih yang menyatu dengan yang dihasilkan oleh orang lain. Apakah ada alasan kimia dasar untuk [kode genetik], atau apakah ini masalah kebetulan sejarah? Keyakinan pribadi saya adalah bahwa ada makna yang mendasari untuk ini dan itu akan ditemukan.

After Matthaei's departure from the NIH in 1962, Nirenberg continued his work on the genetic code with a team of postdoctoral fellows and research technicians. By 1966, Nirenberg had deciphered all the RNA "codons"--the term used to describe the "code words" of messenger RNA--for all twenty major amino acids. Two years later, in 1968, Nirenberg received the Nobel Prize in Physiology or Medicine for "interpretation of the genetic code and its function in protein synthesis." He shared the award with Robert W. Holley of Cornell University and Har Gobind Khorana of the University of Wisconsin at Madison. Setelah kepergian Matthaei dari NIH pada tahun 1962, Nirenberg melanjutkan

pekerjaannya pada kode genetik dengan tim postdoctoral fellow dan teknisi penelitian. Pada tahun 1966, Nirenberg telah menguraikan semua "kodon" RNA—istilah yang digunakan untuk menggambarkan "kata kode" dari messenger RNA—untuk semua dua puluh asam amino utama. Dua tahun kemudian, pada tahun 1968, Nirenberg menerima Hadiah Nobel dalam Fisiologi atau Kedokteran untuk "penafsiran kode genetik dan fungsinya dalam sintesis protein". Dia berbagi penghargaan dengan Robert W. Holley dari Cornell University dan Har Gobind Khorana dari University of Wisconsin di Madison.

Robert W. Holley

Holley, dia yang mempelajari RNA suatu materi yang tercipta akibat penerjemahan DNA, yang sekarang dikenal dengan transkripsi (trans: antar, skripsi: tulisan). Setiap transkripsi memerlukan codon DNA yang akan diterjemahkan ke codon RNA. Transkripsi merupakan bagian penting dalam dogma sentral kehidupan. Holley dengan sukses menjelaskan peran strategis codon RNA ini. Berikut pemikiran Holley, lewat ucapannya;

The work on RNA was made more difficult by the fact that there are only four different nucleotides, compared with twenty amino acids, and this created a lot of ambiguities in the relative positioning of the different fragments. Another unexpected difficulty was the existence of bases with a modified structure and unusual properties, such as the lack of absorption of ultra-violet light, the structure of which had to be characterized. These modifications occur after the synthesis of the tRNA from DNA, at a posttranscriptional stage. Pekerjaan pada RNA dipersulit oleh fakta bahwa hanya ada empat nukleotida yang berbeda, dibandingkan dengan dua puluh asam amino, dan ini menimbulkan banyak ambiguitas dalam posisi relatif dari fragmen yang berbeda. Kesulitan tak terduga lainnya adalah adanya basa dengan struktur yang dimodifikasi dan sifat yang tidak biasa, seperti kurangnya penyerapan sinar ultra-violet, yang strukturnya harus dikarakterisasi. Modifikasi ini terjadi setelah sintesis tRNA dari DNA, pada tahap posttranskripsi.

The seeds of Holley's interest in transfer RNA (tRNA) were planted during his sabbatical at the California Institute of Technology where he studied protein synthesis. In particular, he sought to identify the molecule accepting activated amino acids that were to be incorporated into a protein. This work led to the discovery of the alanine tRNA. The following 10 years were spent working with this RNA, first concentrating on the isolation of the RNA, and then working on the determination of the structure of the RNA. The nucleotide sequence was completed at the end of 1964 and was a key discovery in explaining the synthesis of proteins from messenger RNA. In particular, the work led Holley's team to speculate on the folding of the tRNA molecule that exposed the anti-codon for the amino acid alanine. The structure of tRNA molecules for other amino acids were rapidly elucidated in other labs and showed sequences capable of the same folding pattern. It was for this work that Holley was awarded the Nobel Prize for Physiology or Medicine in 1968. His later work was concerned with factors that control cell division in mammalian cells. Benih minat Holley dalam transfer RNA (tRNA) ditanam selama cuti panjang di California Institute of Technology di mana ia mempelajari sintesis protein. Secara khusus, dia berusaha mengidentifikasi molekul yang menerima asam amino aktif yang akan dimasukkan ke dalam protein. Pekerjaan ini mengarah pada penemuan tRNA alanin. 10 tahun berikutnya dihabiskan bekerja dengan RNA ini, pertama berkonsentrasi pada isolasi RNA, dan kemudian bekerja pada penentuan struktur RNA. Urutan nukleotida selesai pada akhir tahun 1964 dan merupakan penemuan kunci dalam menjelaskan sintesis protein dari messenger RNA. Secara khusus, penelitian tersebut membuat tim Holley berspekulasi tentang pelipatan molekul tRNA yang memaparkan anti-kodon untuk asam amino alanin. Struktur molekul tRNA untuk asam amino lain dengan cepat dijelaskan di laboratorium lain dan menunjukkan urutan yang mampu melakukan pola lipat yang sama. Untuk pekerjaan inilah Holley dianugerahi Hadiah Nobel untuk Fisiologi atau Kedokteran pada tahun 1968. Karyanya selanjutnya berkaitan dengan faktor-faktor yang mengontrol pembelahan sel dalam sel mamalia.

Har Gobind Khorana

Khorana, karyanya berupa DNA ukuran pendek dapat disintesis di laboratorium, temuan ini mengantarkan pada suatu "polynucleotide pendek" atau primer yang memberikan kontribusi

besar pada latar belakang pemikiran Karry Mullis, yaitu primer pada *polymerase chain reaction* (PCR). Berikut ini apa yang disampaikan Korana, terkait dengan motivasi dan gagasannya;

Never underestimate yourself. My strangest auditioning experience was when I was reading for a TV show, and right when I started the audition, the casting director left the room and yelled at me from the hallway to keep reading. You can understand why a system would seek information - but why in hell does it offer information? Why do we strive to be understood? Why is a refusal to accept communication so painful? Trust is not a request, Trust is earned. Fashion moves so quickly that, unless you have a strong point of view, you can lose integrity. - One of these days they'll be making a film where the whole human race gets wiped out in a nuclear war, but everything works out in the end. My hair does get really frizzy, so I use a de-frizzing serum from Bumble and Bumble, and also Moroccan Oil is some really good stuff. Plus, I can't live without my Burt's Bees lip balm! Jangan pernah meremehkan diri sendiri. Pengalaman audisi saya yang paling aneh adalah ketika saya sedang membaca untuk acara TV, dan tepat ketika saya memulai audisi, direktur casting meninggalkan ruangan dan berteriak kepada saya dari lorong untuk terus membaca. Anda dapat memahami mengapa suatu sistem akan mencari informasi tetapi mengapa ia menawarkan informasi? Mengapa kita berusaha keras untuk dipahami? Mengapa penolakan untuk menerima komunikasi begitu menyakitkan? Kepercayaan bukanlah permintaan, Kepercayaan diperoleh. Fashion bergerak begitu cepat sehingga, kecuali Anda memiliki sudut pandang yang kuat, Anda bisa kehilangan integritas. - Suatu hari nanti mereka akan membuat film di mana seluruh umat manusia musnah dalam perang nuklir, tapi semuanya berjalan lancar pada akhirnya. Rambut saya benar-benar kusut, jadi saya menggunakan serum penghilang kusut dari Bumble and Bumble, dan juga Moroccan Oil adalah bahan yang sangat bagus. Plus, saya tidak bisa hidup tanpa lip balm Burt's Bees saya!

The dissatisfaction and internal conflict that I had felt throughout my life wasn't due to my husband or my marriage or my career. It was because for the majority of my life I had been trying to be something that I wasn't. I was not true to myself. A life form which can't adapt doesn't last very long. I do not often get lonely, and I never get bored. Ketidakpuasan dan konflik internal yang saya rasakan sepanjang hidup saya bukanlah karena suami saya atau pernikahan saya atau karier saya. Itu karena untuk sebagian besar hidup saya, saya telah berusaha menjadi sesuatu yang bukan diri saya. Saya tidak jujur pada diri saya sendiri. Bentuk kehidupan yang tidak dapat beradaptasi tidak akan bertahan lama. Saya tidak sering kesepian, dan saya tidak pernah bosan.

Kary Mullis

Karry, dia kampium dan penemu pada *polymerase chain reaction* (PCR), suatu metode duplikasi DNA secara cepat dengan sistem *in vitro* (di luar sel) atau dalam mesin mekanik, atau mesin elektrik sekarang. Temuannya ini memanfaatkan temuan polynucleotida karya Korana dan mengaplikasikan pada sistem kerja DNA polymerase menjadi sistem "*mimic*" atau tiruan replikasi DNA. Dengan temuan ini Karry, membuka revolusi bidang biology molecular, berkatnya setiap hasil PCR meski didepositkan pada Bank data NCBI, DDBJ atau EBI untuk digunakan bersama atau publik. Itu semua tidak terlepas dari karyanya. Berikut ini ucapan-ucapannya terkait motivasi atas temuannya itu;

Scientists are doing an awful lot of damage to the world in the name of helping it. I don't mind attacking my own fraternity because I am ashamed of it. Science grows like a weed every year. Art is subject to arbitrary fashion. Religion is inwardly focused and driven only to sustain itself. Science has not been successful by making up explanations of things that fit with the current social fabric. Law shuttles between freeing us and enslaving us. Each of us have things and thoughts and descriptions of an amazing universe in our possession that kings in the 17th Century would have gone to war to possess. Para ilmuwan melakukan banyak sekali kerusakan pada dunia atas nama membantunya. Saya tidak keberatan menyerang persaudaraan saya sendiri karena saya malu karenanya. Sains tumbuh seperti rumput liar setiap tahun. Seni tunduk pada mode yang sewenang-wenang. Agama terfokus ke dalam dan didorong hanya untuk menopang dirinya sendiri. Sains belum berhasil mengarang penjelasan tentang hal-hal yang sesuai dengan tatanan sosial saat ini. Hukum bolak-balik antara membebaskan kita dan memperbudak kita. Masing-masing dari kita memiliki hal-hal,

pemikiran, dan deskripsi tentang alam semesta yang menakjubkan yang kita miliki yang akan dimiliki oleh raja-raja di abad ke-17 untuk berperang.

Here's a bunch of people practising a new set of behavioural norms. Apparently it didn't work because a lot of them got sick. That's the conclusion. You don't necessarily know why it happened. But you start there. I'm not politically correct. I've been writing about my boyhood, when I was a little kid back on my grandfather's farm where we didn't know about black widow spiders or all that stuff. But writing about that is so easy. People realize this man knows what the hell's going on and nobody else does. The mystery of that damn virus has been generated by the \$2 billion a year they spend on it. We are the recipients of scientific method. We can each be a creative and active part of it if we so desire. Inilah sekelompok orang yang mempraktikkan seperangkat norma perilaku baru. Ternyata tidak berhasil karena banyak yang sakit. Itulah kesimpulannya. Anda belum tentu tahu mengapa itu terjadi. Tapi Anda mulai dari sana. Saya tidak benar secara politis. Saya telah menulis tentang masa kecil saya, ketika saya masih kecil di pertanian kakek saya di mana kami tidak tahu tentang laba-laba janda hitam atau semua itu. Tapi menulis tentang itu sangat mudah. Orang-orang menyadari bahwa pria ini tahu apa yang sedang terjadi dan tidak ada orang lain yang tahu. Misteri virus sialan itu dihasilkan oleh \$2 miliar per tahun yang mereka habiskan untuk itu. Kami adalah penerima metode ilmiah. Kita masing-masing dapat menjadi bagian yang kreatif dan aktif jika kita menginginkannya.

I'm not driven by being understood. I like writing about biology, not doing it. You make observations, write theories to fit them, try experiments to disprove the theories and, if you can't, you've got something. I went to high school in Columbia. I met my first wife, Richards, whom I married while I was working on a B.S. in chemistry at Georgia Tech. She bore Louise, and I studied. I learned most of the useful technical things - math, physics, chemistry - that I now use during those four years. You can't ask your pharmacist to stock larger quantities of potassium nitrate because you want to make a bigger rocket. Saya tidak terdorong untuk dipahami. Saya suka menulis tentang biologi, bukan mengerjakannya. Anda melakukan pengamatan, menulis teori yang cocok dengannya, mencoba eksperimen untuk menyangkal teori dan, jika tidak bisa, Anda punya sesuatu. Saya pergi ke sekolah menengah di Columbia. Saya bertemu dengan istri pertama saya, Richards, yang saya nikahi saat saya bekerja di B.S. dalam kimia di Georgia Tech. Dia melahirkan Louise, dan aku belajar. Saya mempelajari sebagian besar hal teknis yang berguna - matematika, fisika, kimia - yang sekarang saya gunakan selama empat tahun itu. Anda tidak dapat meminta apoteker Anda untuk menyimpan potasium nitrat dalam jumlah yang lebih besar karena Anda ingin membuat roket yang lebih besar.

Natural DNA is a tractless coil, like an unwound and tangled audiotape on the floor of the car in the dark. Do we care about these people that are HIV-positive whose lives have been ruined? Those are the people I'm the most concerned about. Every night I think about this. PCR made it easier to see that certain people are infected with HIV. People don't realize that molecules themselves are somewhat hypothetical, and that their interactions are more so, and that the biological reactions are even more so. Science consistently produces a new crop of miraculous truths and dazzling devices every year. My mother often mailed me articles from 'Reader's Digest' about advances in DNA chemistry. No matter how I tried to explain it to her, she never grasped the concept that I could have been writing those articles, that something I had invented made most of those DNA discoveries possible. People don't realize that molecules themselves are somewhat hypothetical, and that their interactions are more so, and that the biological reactions are even more so. DNA alami adalah kumparan tanpa saluran, seperti kaset audio yang terlepas dan kusut di lantai mobil dalam kegelapan. Apakah kita peduli dengan orang-orang yang HIV-positif yang hidupnya telah hancur? Mereka adalah orang-orang yang paling saya khawatirkan. Setiap malam saya memikirkan hal ini. PCR memudahkan untuk melihat bahwa orang tertentu terinfeksi HIV. Orang-orang tidak menyadari bahwa molekul itu sendiri agak hipotetis, dan interaksi mereka lebih dari itu, dan bahwa reaksi biologis bahkan lebih. Sains secara konsisten menghasilkan tanaman baru dari kebenaran ajaib dan perangkat yang mempesona setiap tahun. Ibu saya sering mengirim saya artikel dari 'Reader's Digest' tentang kemajuan dalam kimia DNA. Tidak peduli bagaimana saya mencoba menjelaskannya kepadanya, dia tidak pernah memahami konsep bahwa saya dapat menulis artikel

itu, bahwa sesuatu yang saya temukan memungkinkan sebagian besar penemuan DNA itu. Orang-orang tidak menyadari bahwa molekul itu sendiri agak hipotetis, dan interaksi mereka lebih dari itu, dan bahwa reaksi biologis bahkan lebih.

Dokumentasi

Pada gambar 2. menunjukkan sebagian kegiatan program kreativitas masyarakat yaitu merakit alat PCR (gambar 2A) dan podcast di Minggu Raya (gambar 2B). Perakitan alat PCR ini merujuk pada karya Karry Mullis tahun 1980an, dengan prinsip kerja denaturasi, *annealling* dan *elongation*. Peralatan ini sebagai salah satu media penyuluhan pentingnya menjaga kebersihan *post* Covid-19 atau endemi. Urgensi PCR tidak hanya berguna untuk bidang kesehatan saja tetapi berguna juga dalam bidang lain, seperti pembelajaran sains, bioteknologi dan dasar bioinformatika. Diharapkan PKM ini menambah wahana pengetahuan akan pentingnya kesehatan bagi masyarakat dan millennial.



Gambar 2. Perakitan alat PCR dan aktivitas di Minggu Raya. Perakitan alat PCR sederhana bersama responden (A). Podcast di Minggu Raya (B).

4. KESIMPULAN

Milennial dapat mengerti atas tahapan epistemologi PCR antara lain; Pemikiran Griffith, Narenberg, sampai Karry Mullis dan Bank DNA. Rata-rata pemahaman epistemologi PCR berupa hasil uji pretest dan post test ditujukan kepada 32 responden berumur 19 tahunan dan 12 responden berumur 18 tahunan, berturut-turut sebagai berikut; sangat mengerti (1,03), mengerti (76,07), kurang mengerti (18,25) dan tidak mengerti (1,55); dan sangat mengerti (1,38), mengerti (75), kurang mengerti (23,62) dan tidak mengerti (1,38). Secara umum, responden yang merumur 19 tahun lebih mengerti daripada responden yang berumur 18 tahun, terhadap urgensi epistemologi PCR, walaupun perbedaannya tidak terlalu nyata.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Bangku Akadamis, Minggu Raya; Muhammad Yamani sebagai fotografer profesional, dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Lambung Mangkurat (LPPM ULM) sebagai pemberi hibah, dengan perjanjian kontrak no.: 137.180/UN8.2/AM/2021.

DAFTAR PUSTAKA

Agustina, N., (2022), Penentuan Laju Mutasi dan Pusat Sebaran *Cytochrome C Oxidase* Subunit I (CoI) mtDNA Auroch dari GenBank NCBI, *Skripsi*, FMIPA, ULM. (unpublish).

- Bernfield, M. R. & Nirenberg, M. W., (1965), RNA Codewords and Protein Synthesis, *Science*, vol. 147, no. 3657, pp. 479–84,
- Brown, S., Savage, P. E., Ko AM-S, Stoneking M, Ko Y-C, Loo J-H, Trejaut, J. A., (2014) Correlations in the population structure of music, genes and language. *Proc R Soc Lond B Biol Sci* 281(1774):1–7. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2072>
- Capelli, C., Wilson, J. F., Richards, M., Stumpf, M. P. H. Gratrix, F., Oppenheimer, S., Underhill, P., Pascali, V. L., Ming Ko, T., & Goldstein, D. B., (2001), A Predominantly Indigenous Paternal Heritage for the Austronesian Speaking Peoples of Insular Southeast Asia and Oceania, *Am. J. Hum. Genet.* 68:432–443, 2001.
- Cavalli-Sforza L. L, Feldman M ,W., (1981) Cultural transmission and evolution: a quantitative approach. *Princeton University Press*, Princeton
- Dares, G. B., (2022), Analisis Laju Mutasi Dan Sebaran D-Loop MtDNA Anjing (*Canis Lupus Familiaris*) Dari Genbank NCBI, *Skripsi* , FMIPA, ULM. (unpublish).
- Darwin C (1859) The origin of species by means of natural selection, *John Murray*, London.
- Darwin C (1871) The descent of man, and selection in relation to sex, *John Murray*, London.
- Florensia, R., (2018), Analisis Populasi Sekuen *Genom* DNA Mitokondria Manusia (*Homo Sapiens*) Dari *Genbank* NCBI Dalam Upaya Membangun Database Dna Forensik, *Skripsi* , FMIPA, ULM. (unpublish).
- Hershey, A. D., & Chase, M., (1952), Independent functions of viral protein and nucleic acid in growth of bacteriophage, *Journal of General Physiology* 36: 39-56
- Hoagland, M. B., Stephenson, M. L., Scott, J. F., Hecht, L. I., & Zamecnik, P. C., (1958), A Soluble Ribonucleic Acid Intermediate In Protein Synthesis, *J Biol Chem*, 231(1):241-57.
- Holley, R. W., Everett, G. A., Madison, J. T., & Zamir, A., (1965), Nucleotide Sequences in the Yeast Alanine Transfer Ribonucleic Acid, *The Journal Of Biology Chemistry* Vol. 240, No. 5.
- Jariyah, A.,(2022), Penentuan Mutasi dan Laju Pusat Sebaran *Cytochrome C Oxidase* Subunit I (*Co I*) mtDNA *Auroch* dari GenBank NCBI, *Skripsi* , FMIPA, ULM. (unpublish).
- Khoran, H. G., (1954), Carbodiimides. Part V.I A Novel Synthesis of Adenosine Di- and Triphosphate P1,P2-Diadenosine-5'-pyrophosphate, *J. Am. Chem. Soc.* 76, 13, 3517–3522.
- Moffatt, J. G. & Khorana, H. G., (1961), Nucleoside Polyphosphates, XI.I The Total Synthesis of Coenzyme A, *J. Am. Chem. Soc.* 83, 3, 663–67.
- Oswald T. Avery, M.D., Colin M. Macleod, M.D., & Maclyn Mccarty, (1943), Studies On The Chemical Nature Of The Substance Inducing Transformation Of Pneumococcal Types, *Journal Of Experimental Medicine* Vol 13. 136-159 p
- Sidabariba, G. I. D. S., (2022), Analisis Fragmen *Co I* MtDNA *Homo Sapiens* Dari Genbank NCBI, *Skripsi* , FMIPA, ULM. (unpublish).
- Susilo, T. B, Rizki Fitria, Grace Indah Debora S. Sidabariba, Shofi Ainur Mufidhah, Ainun Jariyah, Nadila Agustina, Tazkia Safarina, (2022d), Penyimpan Gas Cair Khusus, *Jurnal Pengabdian Ilung*, Vol. 2, No. 2 November 2022, Hal. 330-336 DOI: <https://doi.org/10.20527/ilung.v2i2>
- Susilo, T. B., & Soesanto, O., (2022a), *Fuzzy Logic* (Bagian 1): Senandung Lukisan Cadas Dari Situs Bukit Bangkai Untuk Pendidikan Wisata Masyarakat, *Jurnal Pengabdian Ilung*, Vol. 2, No. 1 Juli 2022, Hal. 122-130 DOI: <https://doi.org/10.20527/ilung.v2i1>
- Susilo, T. B., Irwan, A., Yunus, R., Bianchi, P. A. E., Sugiyanto, B. S., & Soesanto, O.,(2022b), *Fuzzy Logic* (Bagian 2): Bersenandung Dari Lukisan Cadas Ke Taman Perguruan Tinggi Kalimantan, *Jurnal Pengabdian Ilung*, Vol. 2, No. 2 November 2022, Hal. 244-253 DOI: <https://doi.org/10.20527/ilung.v2i2>
- Susilo, T. B., Kamilia M., Nor Sobah., & Rani S., (2022c), Studi biogeografis ikan kihung berbasis berat dan jenis molekul protein, dari Situs Bukit Bangkai, *Bioscientiae*, Volume 19, Nomor 1, Halaman 11-30 <https://ppjp.ulm.ac.id/journals/index.php/bioscientiae>.
- Vischer, E. and Chargaff, E. (1948), The Separation and Quantitative Estimation of Purines and Pyrimidines in Minute Amounts, *J. Biol. Chem.* 176, 703–714)
- Watson, J. D., and Crick, F. H. C., (1953), Molecular Structure of Deoxypentose Nucleic Acids, *Nature*, Vol. 171.
- Yahya, Y., (2021), Kajian Molecular Docking Turunan Kalkon Pada Enzim *Plasmodium falciparum Dihydrofolate Reductase–Thymidylate Synthase* (PfDHFR-TS) Dan *Plasmodium Vivax*

Dihydrofolate Reductase-Thymidylate Synthase (PvDHFR-TS), Sebagai Kandidat Obat Antimalaria, *Skripsi*, FMIPA, ULM. (unpublish).