

PROF. DR. HJ. YANI SURYANI, M.SI.

PEMANFAATAN MIKROBIOLOGI PANGAN

Buku *Pemanfaatan Mikrobiologi Pangan* merupakan buku referensi bagi mahasiswa dan dosen. Buku ini membahas tentang mikroba yang banyak berkaitan dengan bahan pangan, di antaranya tentang struktur dan sifat jasad renik, kerusakan jasad bahan pangan oleh jasad renik, serta dasar-dasar pengawetan pangan untuk mencegah kerusakan bahan pangan.



Prof. Dr. Hj. Yani Suryani, M.Si. lahir di Ciamis, 18 Mei 1972, adalah Guru Besar Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung dengan spesialisasi Mikrobiologi. Setelah menyelesaikan pendidikan dasar SDN Sukamulya Cihaurbeuti Ciamis (1985), SMPN Cihaurbeuti Ciamis (1988), SMAN 2 Tasikmalaya (1991), penulis melanjutkan studi pada Jurusan Pendidikan Biologi FPMIPA IKIP Bandung (1996) Program Magister Biologi Sekolah Pascasarjana ITB (2001) dengan predikat *cumlaude*. Program Doktor bidang Biologi pada prodi IPA Unpad (2014) dengan predikat *cumlaude*. Riwayat karier sebagai guru PNS pada SMAN 20 Bandung, dosen pada Jurusan Tadris FTK IAIN Sunan Gunung Djati Bandung, dan sejak 2006 dialih tugaskan pada Jurusan Biologi FST UIN Sunan Gunung Djati Bandung sampai sekarang.



Penerbit
Bimedia

info@bimediapustaka.com
www.bimediapustaka.com

Bimedia

PEMANFAATAN MIKROBIOLOGI PANGAN

PROF. DR. HJ. YANI SURYANI, M.SI.

PROF. DR. HJ. YANI SURYANI, M.SI.

PEMANFAATAN MIKROBIOLOGI PANGAN



Penerbit
Bimedia

PEMANFAATAN MIKROBIOLOGI PANGAN

PROF. DR. HJ. YANI SURYANI, M.SI.

Diterbitkan oleh:
Bimedia Pustaka Utama
2023

PEMANFAATAN MIKROBIOLOGI PANGAN

Penulis: Prof. Dr. Hj. Yani Suryani., M.Si.
Editor: Opik Taupiqurrahman, M. Biotek.
Desain Sampul:: Anang Solihin W.
Tata Letak: Beni Subarna

Diterbitkan oleh:

Bimedia Pustaka Utama
Jalan Babakan Loa Permai No. 13
Padalarang Bandung Barat 40533
email:bimediapustaka@gmail.com

Cetakan Pertama, Mei 2023
viii + 122 hlm. 15,5 cm x 23 cm
ISBN: 978-623-80800-52

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau
seluruh isi buku tanpa izin tertulis dari Penerbit

Kata Pengantar

Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat serta hidayat-Nya. Sehingga pada kesempatan kali ini penulis berhasil menyusun satu buku yang berjudul “Pemanfaatan Mikrobiologi Pangan”.

Mikrobiologi pangan merupakan salah satu mata kuliah yang diberikan pada mahasiswa program pendidikan S1 (Strata 1). Buku ini disusun sebagai salah satu buku referensi untuk mahasiswa yang mengambil mata kuliah Mikrobiologi Pangan. Di dalam buku ini dibahas tentang mikroba yang banyak berkaitan dengan bahan pangan baik tentang struktur dan sifat jasad renik, mengenai kerusakan bahan pangan oleh jasad renik, dasar-dasar pengawetan pangan untuk mencegah kerusakan terhadap bahan pangan.

Buku ini tidak akan sempurna tanpa ada kerjasama dari beberapa pihak. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada semua pihak, terutama di lingkungan Fakultas Sains dan teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung yang telah membantu dalam pembuatan buku ini. Semoga buku ini bisa bermanfaat bagi semua kalangan khususnya untuk mahasiswa yang mempelajari bidang kajian mikrobiologi pangan.

Penulis menyadari bahwa buku referensi ini masih banyak kekurangan, sehingga kritik, masukan dan saran-saran baru yang

sifatnya membangun, sesuai dengan perkembangan ilmu, teknologi dan masyarakat untuk penyempurnaan dan perbaikan buku ini untuk masa mendatang sangat penulis harapkan.

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar.....	iii
Daftar Isi	v
Bab 1 Metabolisme Energi	1
A. Fermentasi	3
B. Fermentasi Karbohidrat.....	4
C. Fermentasi Asam Amino.....	6
D. Oksidasi Tidak Lengkap.....	7
E. Fotosintesis	8
F. Proses Fotosintesis pada Bakteri.....	9
Bab 2 Biosintesis Makromolekul.....	11
A. Struktur Makromolekul.....	11
B. Proses Sintesis Makromolekul	16
C. Biosintesis Protein.....	18
D. Proses Metabolisme Makromolekul.....	18
E. Proses Pembentukan Energi pada Makhluk Hidup.....	22
Bab 3 Genetika Jasad Renik.....	25
A. Kecepatan Mutasi.....	25
B. Pemindahan DNA Bakteri	27
C. Reproduksi Seksual pada Sel Eukariotik	29
D. Sifat Fenotif.....	30

Bab 4	Pertumbuhan Jasad Renik.....	31
	A. Faktor Pertumbuhan Mikroorganisme	32
	B. Group Bakteri pada Makanan.....	37
	C. Kapang pada Bahan Makanan.....	38
	D. Khamir pada Bahan Makanan.....	40
Bab 5	Analisa Kuantitatif Mikrobiologi pada Bahan Pangan	45
	A. Metode Analisa.....	45
	B. Batas Atas Kisaran Hitung.....	57
	C. Batas Bawah Kisaran Hitung.....	58
	D. Cara Menghitung	59
Bab 6	Sterilisasi dan Disinfeksi.....	63
	A. Pengertian	63
	B. Macam-Macam Sterilisasi	63
	C. Prinsip Cara Kerja Autoklaf.....	66
Bab 7	Bakteri.....	77
	A. Sejarah.....	78
	B. Ciri-Ciri Bakteri.....	78
	C. Pengaruh Lingkungan Terhadap Bakteri.....	82
	D. Pewarnaan Gram.....	83
	E. Peranan Bakteri	84
	F. Dekomposisi	88
Bab 8	Kapang.....	89
	A. Morfologi Kapang.....	90
	B. Sistem Reproduksi Kapang.....	90
	C. Sifat Fisiologi Kapang	91
	D. Klasifikasi Kapang.....	92
	E. Mikotoksin Kapang.....	93
	F. Beberapa Jenis Kapang.....	93
Bab 9	Khamir.....	95
	A. Spesifikasi Khamir dan Faktor-Faktor Lingkungannya.....	95
	B. Karakteristik Umum Khamir.....	96

C. Karakteristik Kultur	96
D. Morfologi Khamir.....	97
E. Sifat Fisiologi Khamir	97
F. Morfologi Membran dan Dinding Sel Khamir...	97
G. Klasifikasi Khamir.....	100
H. Produk Bioindustri Dan Khamir Yang Terlibat.	101
Bab 10 Bakteri.....	103
A. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pertumbuhan Mikroba	104
B. Mikroba Penyebab Penyakit	106
C. Tanda-Tanda Kerusakan Pangan.....	112
D. Tanda-Tanda Kerusakan pada Daging dan Produk Daging	114
E. Tanda-Tanda Kerusakan pada Ikan dan Produk Ikan.....	115
F. Tanda-Tanda Kerusakan pada Makanan Kaleng	116
G. Identifikasi Kerusakan Pangan	117
Daftar Pustaka.....	119
Tentang Penulis.....	121

Bab 1

Metabolisme Energi

Metabolisme di dalam sel mikroorganisme dapat dibagi menjadi katabolisme dan anabolisme. Katabolisme yaitu proses untuk menghasilkan energi dan anabolisme untuk menyusun komponen sel. Proses katabolisme pada mikroorganisme umumnya diawali dengan pemecahan makromolekul oleh enzim ekstraseluler yang bisa dihasilkan oleh mikroorganisme tersebut. Proses katabolisme bertujuan untuk mengekstrak energi yang dimiliki oleh nutrisi menjadi senyawa berenergi tinggi, seperti Adenosin TriPosfat (ATP).

Sebagian besar bakteri, khamir dan kapang adalah mikroorganisme kemoheterotrof yang dapat memanfaatkan senyawa organik sebagai sumber energi dan sumber karbonnya. Senyawa organik tersebut bisa berasal dari benda mati (saprofit) atau dari makhluk hidup lainnya (sebagai parasit).

Katabolisme terdiri dari glikolisis di mana glukosa diubah menjadi asam piruvat dengan menghasilkan 2 ATP. Proses serupa glikolisis adalah lintasan pentosa fosfat yang hanya menghasilkan 1 ATP, tetapi juga menghasilkan senyawa berkarbon lima yang penting bagi sintesis asam nukleat, serta lintasan Eutner-Doudoroff yang menghasilkan dua molekul NADPH_2 . Hasil proses glikolisis dapat mengalami fermentasi jika kondisinya anaerobik. Fermentasi tidak menghasilkan banyak ATP, tetapi menghasilkan senyawa hasil fermentasi yang penting dalam bidang pangan, seperti

alkohol (industri bir, anggur, tape). Hasil proses glikolisis juga dapat mengalami respirasi dimana penerima elektron terakhir adalah senyawa anorganik. Jika senyawa anorganik tersebut adalah oksigen maka disebut respirasi aerobik jika selain oksigen maka dikenal sebagai respirasi anaerobik.

Respirasi aerobik terdiri dari siklus Krebs dan rantai transfer elektron. Siklus Krebs akan menghasilkan CO_2 , ATP, dan NADH_2 serta FADH_2 yang bisa menghasilkan ATP jika melewati rantai transfer elektron. Organisme anaerobik atau anaerob adalah setiap organisme yang tidak memerlukan oksigen untuk tumbuh. Anaerob obligat akan mati bila terpapar pada oksigen dengan kadar atmosfer.

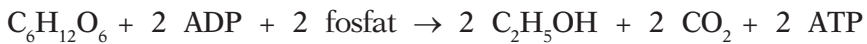
Anaerob fakultatif dapat menggunakan oksigen jika tersedia. Organisme aerotoleran dapat hidup walaupun terdapat oksigen di sekitarnya, tetapi mereka tetap anaerobik karena mereka tidak menggunakan oksigen sebagai terminal elektron akseptor (akseptor elektron terminal). Mikroaerofilik adalah organisme yang dapat menggunakan oksigen, tetapi hanya pada konsentrasi yang rendah (rentang mikromolar rendah), pertumbuhannya dihambat oleh level oksigen yang normal (sekitar 200 mikromolar). Anaerob adalah organisme yang tidak dapat tumbuh bila terdapat konsentrasi mikromolar oksigen, tetapi dapat tumbuh dan diuntungkan pada konsentrasi nanomolar oksigen.

Anaerob obligat dapat menggunakan fermentasi atau respirasi anaerobik. Jika terdapat oksigen, anaerob fakultatif menggunakan respirasi aerobik, tanpa oksigen beberapa diantaranya berfermentasi, beberapa lagi menggunakan respirasi anaerobik. Organisme aerotoleran hanya dapat berfermentasi. Mikroaerofil melakukan respirasi aerobik, dan beberapa diantaranya dapat juga melakukan respirasi anaerobik.

Terdapat beberapa persamaan kimia untuk reaksi fermentasi anaerobik. Organisme anaerobik fermentatif biasanya menggunakan jalur fermentasi asam laktat:



Energi yang dilepaskan pada persamaan ini sekitar 150 kJ per mol, yang disimpan dalam regenerasi dua ATP dari ADP per glukosa. Ini hanya 5% energi per molekul gula daripada yang dapat dihasilkan oleh reaksi aerobik. Tumbuhan dan jamur (contohnya ragi) biasanya melakukan fermentasi alkohol (etanol) ketika oksigen terbatas melalui reaksi berikut:



Energi yang dilepaskan sekitar 180 kJ per mol, yang disimpan dalam regenerasi dua ATP dari ADP per glukosa. Bakteri anaerobik dan archaea menggunakan jalur ini dan beberapa jalur lainnya dalam melakukan fermentasi seperti fermentasi asam propionat, fermentasi asam butirat, fermentasi pelarut, fermentasi asam campuran, fermentasi butanediol, asetogenesis atau metanogenesis.

Beberapa bakteri anaerobik menghasilkan toksin (racun) seperti toksin tetanus atau botulinum yang sangat berbahaya bagi organisme yang lebih besar, termasuk manusia. Anaerob obligat akan mati bila terdapat oksigen karena tidak adanya enzim superoksida dismutase dan katalase yang dapat mengubah superoksida berbahaya yang timbul dalam selnya karena adanya oksigen.

A. Fermentasi

Dalam keadaan normal, organisme melakukan pembongkaran zat dengan cara oksidasi biologi atau respirasi aerob, yaitu respirasi yang memerlukan oksigen bebas. Akan tetapi, pada saat kadar oksigen terlalu rendah, oksidasi biologi tidak dapat berlangsung. Misalnya, pada tumbuhan darat yang tanahnya tergenang air sehingga akar tidak dapat melakukan respirasi aerob karena kadar oksigen dalam rongga tanah sangat rendah.

B. Fermentasi Karbohidrat

Karbohidrat merupakan substrat utama yang dipecah dalam proses fermentasi. Polisakarida terlebih dahulu akan dipecah menjadi gula sederhana sebelum difermentasi, misalnya hidrolisis pati menjadi unit-unit glukosa. Glukosa kemudian akan dipecah menjadi senyawa-senyawa lain tergantung dari jenis fermentasinya.

Pada bakteri paling sedikit terdapat tujuh proses fermentasi yang berbeda terhadap glukosa. Masing-masing proses menghasilkan produk-produk yang berbeda dan masing-masing spesifik terjadi pada grup bakteri tertentu.

Fermentasi glukosa pada prinsipnya terdiri dari dua tahap yaitu:

1. Pemecahan rantai karbon dari glukosa dan pelepasan paling sedikit dua pasang atom hidrogen, menghasilkan senyawa karbon lainnya yang lebih teroksidasi daripada glukosa.
2. Senyawa yang teroksidasi tersebut direduksi kembali oleh atom hidrogen yang dilepaskan dalam tahap pertama, membentuk senyawa-senyawa lain sebagai hasil fermentasi. Reaksi oksidasi tidak dapat berlangsung tanpa reaksi reduksi yang seimbang. Oleh karena itu, jumlah atom hidrogen yang dilepaskan dalam tahap pertama fermentasi selalu seimbang dengan jumlah yang digunakan dalam tahap kedua.

Dalam tahap pertama fermentasi glukosa selalu terbentuk asam piruvat. Pada jasad renik dikenal paling sedikit empat jalur pemecahan glukosa menjadi asam piruvat, yaitu:

1. Jalur Embden-Meyerhoff-Parnas (EMP) atau glikolisis, ditemukan pada fungi dan kebanyakan bakteri serta pada hewan dan manusia.
2. Jalur Eutner-Doudoroff (ED) hanya ditemukan pada beberapa bakteri.
3. Jalur Heksosamonofosfat (HMF), ditemukan pada berbagai organisme.
4. Jalur Fosfoketolase (FK), hanya ditemukan pada bakteri yang tergolong laktobasili heterofermentatif.

Pada tahap kedua fermentasi, asam piruvat akan diubah menjadi produk-produk akhir yang spesifik untuk berbagai proses fermentasi, menggunakan atom hidrogen yang diproduksi pada tahap pertama fermentasi. Produk-produk tersebut terbentuk oleh reaksi-reaksi yang dikatalis oleh enzim-enzim tertentu. Salah satu contoh adalah fermentasi glukosa oleh khamir melalui jalur EMP, menghasilkan alkohol.

Proses glikolisis menghasilkan asam piruvat. Jika cukup oksigen, glikolisis akan dilanjutkan dengan siklus Krebs. Bila kondisi anaerob (kurang oksigen) yang terjadi, asam piruvat akan diubah menjadi asam laktat. Akibatnya, rantai transpor elektron tidak terjadi karena tidak lagi menerima elektron dari NADH dan FADH₂ yang dalam keadaan aerob dihasilkan oleh siklus Krebs. Karena tidak terjadi penyaluran elektron, maka NAD⁺ dan FAD yang mutlak diperlukan dalam siklus Krebs juga tidak terbentuk sehingga daur Krebs terhenti. Reaksi ini merupakan suatu pemborosan, karena hanya 7% dari energi yang terdapat pada asam piruvat yang dibebaskan. Meskipun fermentasi asam laktat menghasilkan senyawa yang merugikan otot, tetapi proses ini menghasilkan ATP bagi sel yang tidak dapat melakukan respirasi secara aerob. Pada fermentasi asam laktat ini, dari satu molekul glukosa dihasilkan **ATP sebanyak 2 molekul**. Secara sederhana, fermentasi asam laktat berlangsung sebagai berikut:



Didalam fermentasi asam laktat dapat dihasilkan energi. Molekul asam piruvat tidak lebih teroksidasi daripada molekul glukosa. Jika rumus molekulnya diperhatikan C₃H₄O₃ maka seakan-akan apa yang terjadi pada glikolisis hanyalah pemecahan molekul glukosa (C₆H₁₂O₆) menjadi dua bagian (C₃H₆O₃), yang kemudian kehilangan 2 elektronnya dalam bentuk 2 atom hidrogen. Hal ini memang benar. Tetapi, penelitian lebih lanjut mengungkapkan bahwa apa yang terjadi bukan sekedar itu. Satu

ujung dari molekul asam piruvat ($-\text{CH}_3$) sekarang lebih tereduksi daripada yang terdapat pada glukosa, sedangkan pada ujung lainnya ($-\text{COOH}$) lebih teroksidasi. Reaksi reduksi dan oksidasi inilah yang kemudian membebaskan energi yang sedikit tersebut.

Beberapa organisme seperti *Saccharomyces* dapat hidup, baik dalam kondisi lingkungan cukup oksigen maupun kurang oksigen. Organisme yang demikian disebut aerob fakultatif. Dalam keadaan cukup oksigen, *Saccharomyces* akan melakukan respirasi biasa. Akan tetapi, jika dalam keadaan lingkungan kurang oksigen *Saccharomyces* akan melakukan fermentasi.

Dalam keadaan anaerob, asam piruvat yang dihasilkan oleh proses glikolisis akan diubah menjadi asam asetat dan CO_2 . Selanjutnya, asam asetat diubah menjadi alkohol. Proses perubahan asam asetat menjadi alkohol tersebut diikuti pula dengan perubahan NADH menjadi NAD^+ . Dengan terbentuknya NAD^+ , peristiwa glikolisis dapat terjadi lagi. Dalam fermentasi alkohol ini, dari satu mol glukosa hanya dapat dihasilkan 2 molekul ATP. Fermentasi alkohol, secara sederhana, berlangsung sebagai berikut:



Sebagaimana halnya fermentasi asam laktat, reaksi ini merupakan suatu pemborosan. Sebagian besar dari energi yang terkandung di dalam glukosa masih terdapat di dalam etanol, karena itu etanol sering dipakai sebagai bahan bakar mesin. Reaksi ini, seperti fermentasi asam laktat, juga berbahaya. Ragi dapat meracuni dirinya sendiri jika konsentrasi etanol mencapai 13% (hal ini menjelaskan kadar maksimum alkohol pada minuman hasil fermentasi seperti anggur).

C. Fermentasi Asam Amino

Asam amino berupa senyawa di samping karbohidrat yang dapat difermentasi oleh bakteri, terutama yang tergolong dalam jenis Clostridia adalah bakteri berbentuk batang yang tergolong gram positif dan dapat membentuk spora. Clostridia mula-mula akan

menghidrolisis protein menjadi asam amino, kemudian asam amino akan difermentasi menghasilkan senyawa-senyawa lain terutama asam. Asam amino yang difermentasi dapat berupa sepasang asam amino, satu asam amino akan berfungsi sebagai oksidan, sedangkan yang lainnya berfungsi sebagai reduktan. Sebagai contoh misalnya fermentasi campuran asam amino alanin dan glisin menjadi asam asetat dan CO_2 . Oksidasi satu molekul alanin menghasilkan dua pasang atom hidrogen, sedangkan reduksi glisin hanya membutuhkan sepasang hidrogen. Oleh karena itu, dalam fermentasi ini dibutuhkan glisin dalam jumlah dua kali lebih banyak daripada jumlah alanin.

Fermentasi asam amino belum banyak diketahui dibandingkan dengan fermentasi karbohidrat dan jumlah ATP yang diproduksi dalam fermentasi asam amino juga belum jelas, tetapi telah terbukti bahwa bakteri jenis Clostridia dapat tumbuh dengan cara fermentasi menggunakan asam amino sebagai satu-satunya sumber energi, hal ini membuktikan bahwa ATP juga diproduksi selama fermentasi asam amino.

D. Oksidasi Tidak Lengkap

Pada proses respirasi, oksidasi bahan organik berlangsung secara sempurna, yaitu menghasilkan produk akhir berupa CO_2 , air dan komponen sel. Pada beberapa bakteri dan kebanyakan fungi, oksidasi berlangsung tidak lengkap dan menghasilkan produk-produk akhir berupa senyawa organik. Respirasi semacam ini disebut fermentasi aerobik atau fermentasi oksidatif. Perbedaan antara proses oksidasi tidak lengkap dengan fermentasi adalah sebagai berikut:

1. Pada proses oksidasi tidak lengkap, produk akhir selalu berupa komponen organik yang teroksidasi, sedangkan pada fermentasi terbentuk produk akhir baik yang teroksidasi maupun yang tereduksi.
2. Oksidasi tidak lengkap selalu memerlukan oksigen, sedangkan proses fermentasi merupakan proses anerobik, yaitu tidak membutuhkan oksigen.

Beberapa proses oksidasi tidak lengkap terhadap bahan organik mempunyai arti penting dalam industri, misalnya produksi cuka dari minuman anggur oleh bakteri asam asetat, dimana terjadi oksidasi etanol menjadi asam asetat. Bakteri tersebut juga mengoksidasi secara tidak lengkap glukosa menjadi asam glukonat dan asam ketoglukonat.

Fermentasi asam cuka merupakan satu contoh fermentasi yang berlangsung dalam keadaan aerob. Fermentasi ini biasa dilakukan oleh bakteri asam cuka (*Acetobacter*) dengan substrat etanol. Jika diberikan oksigen yang cukup, bakteri-bakteri ini dapat memproduksi cuka dari bermacam-macam bahan makanan yang beralkohol. Bahan makanan yang biasa digunakan yaitu sari buah apel, anggur, biji-bijian fermentasi, malt, beras, atau bubur kentang. Dari proses fermentasi asam cuka, energi yang dihasilkan lima kali lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh fermentasi alkohol.

Organisma yang melakukan oksidasi tidak lengkap masih membutuhkan sistem metabolisme yang diperlukan untuk oksidasi lengkap terhadap suatu substrat. Sebagai contoh, kapang *Aspergillus niger* dapat mengoksidasi asam sitrat, tetapi juga tumbuh menggunakan energi dari respirasi di mana asam sitrat digunakan sebagai substrat.

E. Fotosintesis

Fotosintesis merupakan proses pemanfaatan energi matahari oleh tumbuhan hijau yang terjadi pada kloroplas. Dalam fotosintesis terdapat dua tahap, yaitu reaksi terang dan reaksi gelap (siklus Calvin). Reaksi terang terjadi pada grana (granum), sedangkan reaksi Calvin terjadi di dalam stroma. Dalam reaksi terang, terjadi konversi energi cahaya menjadi energi kimia dan menghasilkan oksigen (O_2). Sedangkan dalam siklus Calvin terjadi seri reaksi siklik yang membentuk gula dari bahan dasar CO_2 dan energi (ATP dan NADPH). Energi yang digunakan dalam siklus Calvin diperoleh dari reaksi terang.

Dari semua radiasi matahari yang dipancarkan, hanya panjang gelombang tertentu yang dimanfaatkan tumbuhan untuk proses fotosintesis, yaitu panjang gelombang yang berada pada kisaran cahaya tampak (380-700 nm). Cahaya tampak terbagi atas cahaya merah (610 - 700 nm), hijau kuning (510 - 600 nm), biru (410 - 500 nm) dan violet (< 400 nm). Masing-masing jenis cahaya berbeda pengaruhnya terhadap fotosintesis. Hal ini terkait pada sifat pigmen penangkap cahaya yang bekerja dalam fotosintesis. Pigmen yang terdapat pada membran grana menyerap cahaya yang memiliki panjang gelombang tertentu. Pigmen yang berbeda menyerap cahaya pada panjang gelombang yang berbeda. Kloroplas mengandung beberapa pigmen. Sebagai contoh, klorofil a terutama menyerap cahaya biru-violet dan merah. Klorofil b menyerap cahaya biru dan oranye dan memantulkan cahaya kuning-hijau. Klorofil a berperan langsung dalam reaksi terang, sedangkan klorofil b tidak secara langsung berperan dalam reaksi terang.

F. Proses Fotosintesis pada Bakteri

Bakteri yang melakukan fotosintesis dapat dibedakan atas dua grup bakteri hijau dan bakteri ungu. Pigmen yang digunakan untuk menangkap sinar pada bakteri hijau adalah klorofil, yaitu menyerupai klorofil pada tanaman. Klorofil yang terdapat pada bakteri ungu mempunyai sifat-sifat yang berbeda dari klorofil tanaman dan disebut bakterioklorofil. Bakterioklorofil tidak berwarna hijau, melainkan berwarna biru abu-abu pucat. Warna bakteri ungu disebabkan oleh adanya pigmen karotenoid yang berwarna kuning dan merah. Pigmen karotenoid pada bakteri ini juga dapat menyerap energi matahari, energi tersebut kemudian dipindahkan ke bakterioklorofil. Hal ini merupakan salah satu kelebihan proses fotosintesis yang dilakukan oleh jasad renik.