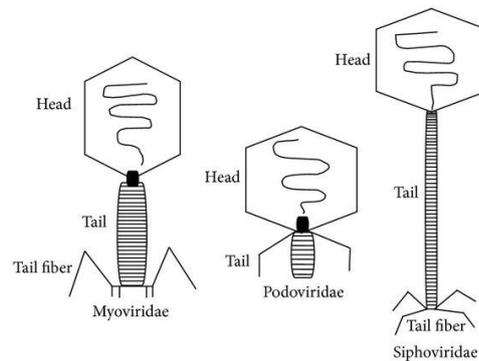


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Morfologi Bakteriofag

Banyak virus yang memiliki ukuran lebih kecil dari bakteri sehingga memerlukan bantuan mikroskop elektron agar dapat mengidentifikasi struktur dan morfologinya, salah satunya adalah bakteriofag (Richert-Pöggeler, 2019). Bakteriofag adalah virus yang secara spesifik menginfeksi bakteri, yang pada akhirnya menyebabkan kematian dan lisisnya sel bakteri yang terinfeksi. Fag memiliki ukuran nanometer, yaitu sekitar 24-400 nm (Moineau, 2013). Struktur bakteriofag terdiri dari protein dan materi genetik. Bakteriofag memiliki protein dan kepala kapsid yang memiliki fungsi untuk melindungi materi genetik yang terdiri dari DNA atau RNA (*double-stranded atau single-stranded*) (Iqbal, 2021).

Berdasarkan hasil taksonomi terbaru, bakteriofag di golongan menjadi 13 famili. Tiga diantaranya adalah 1) *Myoviridae*, famili bakteriofag ini memiliki ekor panjang yang dapat berkontraksi, tidak mempunyai *envelope* dan memiliki jenis asam nukleat DNA untai ganda (*double stranded*). 2) *Siphoviridae*, famili bakteriofag ini memiliki ekor yang panjang namun tidak berkontraksi, tidak mempunyai amplop dan memiliki jenis asam nukleat DNA untai ganda (*double stranded*). 3) *Podoviridae*, famili bakteriofag ini memiliki ekor yang pendek namun tidak dapat berkontraksi, tidak mempunyai *envelope* dan memiliki jenis asam nukleat DNA untai ganda (*double stranded*). Ketiga famili tersebut memiliki persamaan yaitu memiliki ekor sehingga digolongkan pada ordo yang sama yaitu ordo *Caudovirales* (Gambar 2.1) (Farid, 2018).



**Gambar 2.1** Bakteriofag dari ordo *Caudovirales* yang terdiri dari 3 Family yaitu *Myoviridae*, *Podoviridae*, *Siphoviridae* (Elbreki *et al.*, 2014).

Bakteriofag atau yang biasa disebut fag memiliki dua jenis infeksi yaitu bakteriofag litik dan lisogenik. Bakteri litik atau virulen dapat menyebabkan lisis dan kematian pada sel bakteri inang dengan cepat. Bakteriofag lisogenik memiliki fase kehidupan dimana beberapa fase kehidupannya dalam kondisi *dormant* disebut dengan *profage*. Siklus litik dimulai dari penempelan bakteriofag ke inang. Bakteriofag menempel pada reseptor yang terletak di kapsul bakteri. Proses ini disebut tahap adsorpsi. Setelah terjadi adsorpsi, bakteriofag akan menyuntikkan DNA atau RNA bakteriofag akan mengambil alih sel bakteri yang terinfeksi, yang dilanjutkan dengan produksi asam nukleat dan protein untuk pembuatan partikel virus baru. Setelah virus berkembang biak, virus ini melisis sel bakteri inang. Dalam satu tahap lisis, partikel bakteriofag terdapat sekitar 10-100 bakteriofag (Iqbal, 2021).

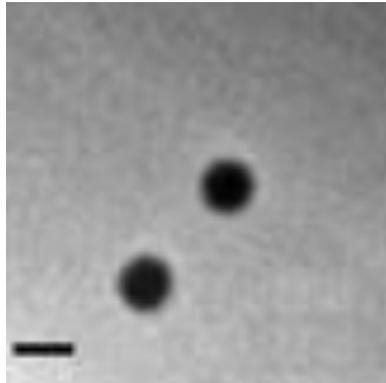
## 2.2 Tipe *Plaque* Morfologi Bakteriofag

*Plaque* adalah zona bening yang terbentuk dari isolat bakteriofag. Mekanisme pembentukan *plaque* diawali oleh sebuah fag yang menginfeksi dan melisiskan satu sel bakteri inang. Fag yang baru kemudian dilepaskan keluar dari sel yang telah mengalami lisis. Fag-fag ini kemudian menginfeksi sel bakteri inang di sekitarnya dan siklus ini terus berulang, hingga sel-sel bakteri inang di sekitar partikel fag awal terus mengalami lisis dan terbentuklah plak. Jenis fag yang berbeda juga akan membentuk plak dengan ukuran dan bentuk tepi yang berbeda-beda (Deshanda *et al.*, 2018).

Ketidakmampuan bakteriofag dalam melisiskan inangnya dapat terjadi karena adanya perbedaan kondisi lingkungan, pertumbuhan inang yang lebih cepat, sistem pertahanan terhadap infeksi bakteriofag secara alami. Jumlah plak juga dipengaruhi oleh spesifitas bakteri itu sendiri. Virus yang tidak mampu menginfeksi bakteri dapat disebabkan karena partikel bakteriofag yang dihasilkan selama infeksi memiliki beberapa bagian yang tidak sempurna (Saefunida *et al.*, 2016).

### 2.2.1 Tipe *Clear*

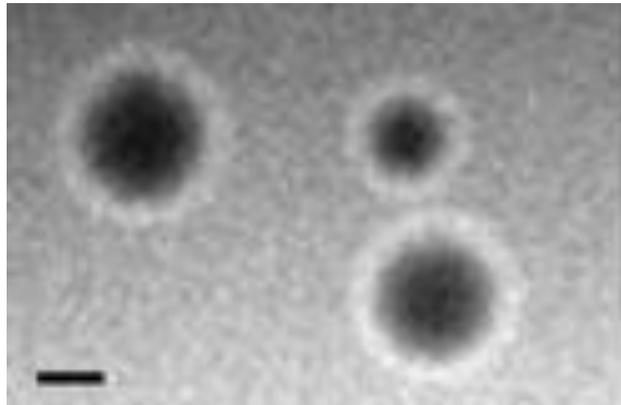
Menurut Yulianto (2020), *clear* plak terjadi karena bakteriofag sedang melakukan siklus litik. Selama siklus litik, fag menggunakan protein inang untuk mengambil dan menerjemahkan gen fag yang diperlukan untuk replikasi dan pembuatan fag baru. Genom fag baru terbentuk ke dalam badan fag yang baru, yang kemudian keluar dari sel dan membunuh serta menginfeksi sel di dekatnya. Fag litik membentuk tipe *clear* karena fag bisa melisiskan atau membunuh semua sel bakteri yang mereka infeksi (Gudlavalleti, 2020).



**Gambar 2.2** Tipe *clear* plak (Jurczak-Kurek *et al.*, 2016)

### **2.2.2 Tipe *Clear Halo***

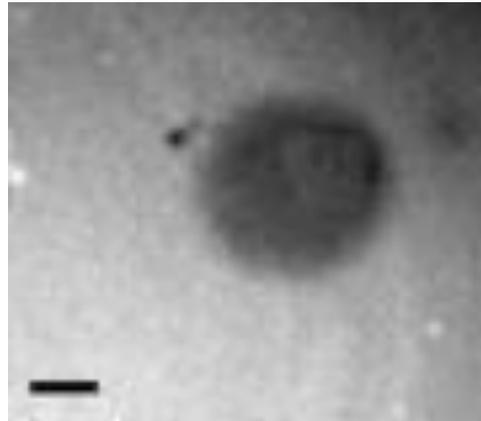
*Clear halo* merupakan zona semi-transparan di sekitar plak. Hal ini terjadi karena difusi dari enzim yang diproduksi oleh fag yang dapat larut (tidak terkait dengan virion) yang menghancurkan selubung sel (Jurczak-Kurek *et al.*, 2016). Pada tipe ini, fag tidak dapat melisis sel bakteri inang, tetapi hanya memperlambat pertumbuhannya (Martin, 2016). *Clear halo* tidak terlalu keruh dibandingkan dengan area sekitar bakteri, namun lebih keruh dibandingkan dengan plak utama. Halo biasanya berbeda dan bukan merupakan pengurangan kekeruhan secara umum dan terjadi secara bertahap pada pinggiran plak (van Charante, 2019).



**Gambar 2.3** Tipe plaques with halo (Jurczak-Kurek *et al.*, 2016)

### 2.2.3 Tipe *Turbid*

*Turbid* plak biasanya dihasilkan oleh fag lisogenik. Pada beberapa sel, fag hanya sampai pada tahap lisogenik dan tidak lanjut ke tahap litik. Jika hal ini terjadi dengan frekuensi yang cukup tinggi, plak akan terlihat *turbid* (keruh) (Martin, 2016). Selama fase lisogenik, genom fag berintegrasi ke dalam genom inang. Genom fag disalin bersama dengan fag inang, tetapi tidak terjadi pembentukan fag yang baru. Hal ini terjadi karena fag tidak dapat melisiskan sel bakteri yang mereka infeksi (Gudlavalleti, 2020). Morfologi ini merupakan konsekuensi dari penurunan efisiensi litik yang disebabkan oleh penuaan bakteri atau fenomena penghambatan lisis (Jurczak-Kurek *et al.*, 2016).



**Gambar 2.4** Tipe turbid (keruh) (Jurczak-Kurek *et al.*, 2016)

### 2.3 Sarang Burung Walet

Sarang burung walet adalah hasil dari air liur burung walet tanpa campuran lainnya yang berfungsi sebagai tempat untuk bersarang dan bertelur. Sarang ini memiliki beberapa jenis, di antaranya adalah sarang burung walet hitam, sarang burung walet merah, dan sarang burung walet putih. Sarang burung walet putih memiliki ciri berupa bentuk seperti mangkuk dibelah, berwarna putih, bening, kristal, utuh, tidak retak ataupun cacat, bersih dari bulu dan kotoran lipas atau kepinding dengan ukuran sekitar 6-10 cm dan tinggi mangkuk sekitar 4-5 cm (Balai Besar Karantina Pertanian Surabaya, 2022). Jenis sarang ini paling banyak dikonsumsi manusia yang dihasilkan dari spesies burung walet *Collocalia Fuciphaga* (Ningrum *et al.*, 2023).



**Gambar 2.5** Gambar sarang burung walet putih (Ningrum, 2023)

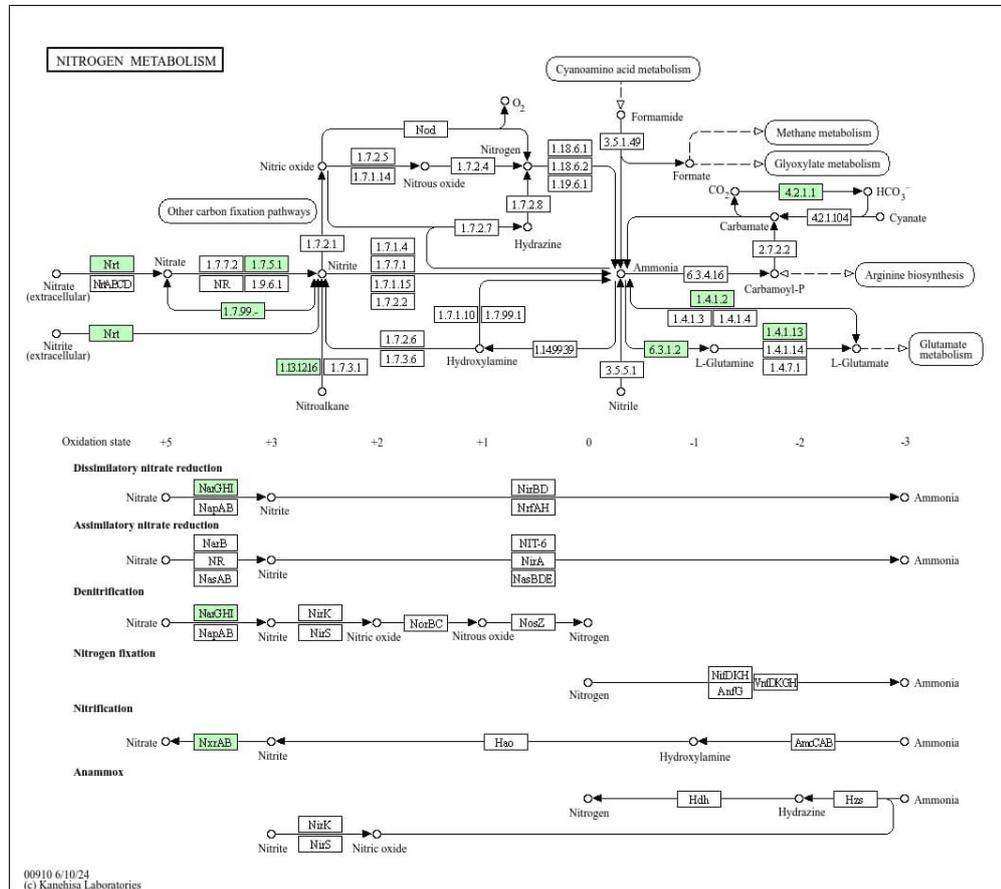
Manfaat sarang burung walet salah satunya yaitu dapat membantu mengatasi gizi buruk, meningkatkan sistem kekebalan tubuh dan metabolisme manusia. Terdapat 20 macam asam amino yang terkandung dalam sarang burung walet. Sarang burung walet juga mengandung mineral penting seperti kalsium, mangan, dan tembaga (Mulyadi *et al.*, 2021).

#### **2.4 *Stenotrophomonas maltophilia***

*Stenotrophomonas maltophilia* adalah bakteri basil gram negatif non-fermenter yang memiliki flagela, bersifat aerobik. Bakteri dapat ditemukan di berbagai sumber lingkungan termasuk tanah, tumbuhan, hewan, pada makanan dan beberapa mikrobiota lainnya. Suhu optimum untuk bakteri ini tumbuh yaitu 37 °C selama 48 jam dengan pH optimum berkisar antara 6-11. *Stenotrophomonas maltophilia* merupakan satu-satunya spesies dari *Stenotrophomonas* genus yang dapat menyebabkan infeksi pada manusia (Wardoyo, 2016).

*Stenotrophomonas maltophilia* sering diidentifikasi sebagai bagian dari *Pseudomonas* dan pernah diberi nama *Pseudomonas maltophilia* dan *Xanthomonas maltophilia* sebelum digolongkan secara terpisah. Bakteri ini memiliki resistensi intrinsik terhadap antibiotik diantaranya antibiotik golongan betalaktam, *fluoroquinolone*, aminoglikosida, erithromisin, kloramfenikol, dan tetrasiklin. Bakteri ini juga tahan terhadap beberapa jenis desinfektan dan logam berat seperti tembaga, platinum, merkuri, emas, kadmium, timbal, kromium, perak, dan garam selenium. Hal ini karena bakteri ini memiliki pili dan fimbriae yang memudahkannya untuk adhesi serta pembentukan biofilm juga banyaknya tipe

*efflux pump* yang dimiliki oleh *Stenotrophomonas maltophilia* (Layanto *et al.*, 2022).

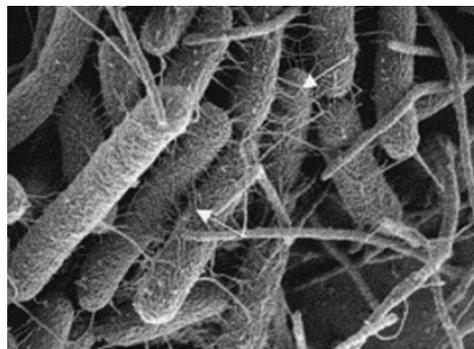


**Gambar 2.6** Pathway *Stenotrophomonas maltophilia* (NarGHI, NxrAB)

*Stenotrophomonas maltophilia* merupakan bakteri denitrifikasi yang mengubah nitrat menjadi nitrit dan sebagai nitrite oxidoreductase yang mengubah nitrit menjadi nitrat. Denitrifikasi merupakan proses mengubah nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) menjadi gas nitrogen ( $\text{N}_2$ ) atau gas nitrogen oksida ( $\text{N}_2\text{O}$ ) (Yosmaniar *et al.*, 2017). Nitrite oxidoreductase (NXR) adalah enzim yang terlibat dalam proses nitrifikasi. Proses ini terjadi dalam dua tahap yaitu oksidasi amonia menjadi nitrit dan oksidasi nitrit menjadi nitrat. NXR mengubah nitrit menjadi nitrat dan menghasilkan energi yang digunakan oleh bakteri dalam proses respirasi (Daims *et al.*, 2016).

Bakteri ini dapat menyebabkan penyakit pada manusia diantaranya seperti pneumonia, infeksi jaringan ikat seperti otot dan tulang, infeksi saluran kemih seperti pielonefritis, demam, kelelahan, sakit kepala, bronkitis, dan infeksi organ lain seperti hati, ginjal dan limpa. *Stenotrophomonas maltophilia* dapat menginfeksi manusia melalui beberapa cara seperti melalui kontaminasi lingkungan yaitu air, tanah, dan objek yang terkontaminasi. Kontaminasi makanan yang tidak disimpan dengan baik, kontaminasi limbah, serta penyebaran melalui manusia yang terjangkit melalui udara (Wardoyo, 2016).

*S. maltophilia* dapat diklasifikasikan sebagai berikut, Kingdom: *Bacteria*; Filum: *Proteobacteria*; Class: *Gammaproteobacteria*; Ordo: *Xanthomonadales*; Famili: *Xanthomonadaceae*; Genus: *Stenotrophomonas*; Species: *Stenotrophomonas maltophilia* (Mallombasi, 2018).



**Gambar 2.7** *Stenotrophomonas maltophilia* (Brooke J.S, 2012)