

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah medis

Limbah medis adalah semua limbah yang dihasilkan dari kegiatan medis dalam bentuk padat, cair, dan gas. Terbagi menjadi beberapa kriteria untuk limbah padat yaitu limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radioaktif, limbah container bertekanan, dan limbah dengan kandungan logam berat tinggi. Limbah cair adalah semua buangan air termasuk tinja yang kemungkinan mengandung mikroorganisme, bahan kimia beracun, dan radioaktif yang berbahaya bagi kesehatan. Limbah gas adalah semua limbah yang berbentuk gas yang berasal dari kegiatan pembakaran seperti insinerator, dapur, perlengkapan generator, anestesi, dan pembuatan obat sitotoksik (Kusumaningtiar dkk., 2021).

Limbah medis padat yaitu limbah padat yang terdiri atas limbah infeksius, limbah patologi, limbah benda tajam, limbah farmasi, limbah sitotoksis, limbah kimiawi, limbah radio aktif, dan limbah dengan kandungan logam berat (Kepmenkes RI Nomor 1204/Menkes/SK/X/2004). Sampah padat dapat berupa kemasan, alat kesehatan, kertas, plastik, APD, masker, dan lainnya (Kusumaningtiar dkk., 2021).



Gambar 2.1 Limbah medis (Sumber: Gozali, 2023)

Rumah sakit menghasilkan limbah yang secara umum dibagi menjadi dua kategori menurut tingkat bahayanya: medis dan non medis. Untuk pengelolaan limbah medis rumah sakit yang benar, limbah diklasifikasikan menurut ciri-cirinya sebagai berikut:

1. Limbah tidak tajam Misalnya, "jarum suntik, alat infus, pipet Pasteur, pecahan kaca dan pisau bedah", limbah yang ujungnya tajam . . . bagian yang menonjol pada salah satu atau seluruh sudut dan samping dan/atau ujungnya yang dapat melukai kulit karena tertusuk, tergores, atau terpotong.
2. Limbah Infeksius Kategori ini mencakup limbah atau barang yang tergolong limbah yang bersentuhan dengan organisme patogen yang mempunyai kemampuan menularkan penyakit kepada individu yang rentan.
3. Sisa jaringan tubuh Kategori ini mencakup sisa yang biasanya dihasilkan selama prosedur pembedahan atau otopsi, seperti "organ, anggota tubuh, darah dan cairan tubuh yang biasanya dihasilkan selama pembedahan atau otopsi".
4. Limbah sitotoksik Bahan yang terkontaminasi obat sitotoksik yang digunakan dalam kemoterapi kanker mempunyai kemampuan untuk membunuh sel hidup atau mencegah pertumbuhannya.
5. Limbah Farmasi Yang termasuk dalam golongan ini adalah "obat kadaluarsa, obat yang ditinggalkan pasien atau dibuang masyarakat, obat yang tidak diperlukan lagi oleh instansi terkait, dan sisa pembuatan obat".
6. Limbah Kimia Merupakan sisa penggunaan bahan kimia. Biasanya berasal dari operasi medis, laboratorium, proses sterilisasi dan penelitian.
7. Limbah Radioaktif Kategori ini mencakup semua bahan yang terkontaminasi radioisotop yang diperoleh selama penggunaan radionuklida atau penelitian medis.
8. Sampah plastik Kategori ini mencakup semua sampah plastik yang dihasilkan dan dibuang, seperti sampah sekali pakai serta kemasan dan peralatan plastik (Nur & Nisa, 2022)

2.2 Timbulan limbah medis

Terbatasnya jumlah jasa pengolah limbah medis dibandingkan dengan jumlah rumah sakit menyebabkan penumpukan limbah medis di sejumlah daerah. Berikut merupakan data Timbulan medis menurut beberapa penelitian di berbagai daerah.

Tabel 2. 1 Timbulan limbah medis

No	Peneliti	Lokasi	Timbulan Limbah	Satuan
1.	Prasetiawan, 2020	Hubei, Tiongkok	240	Ton/hari
2.	Prasetiawan, 2020	Jakarta, Indonesia	212	Ton/hari
3.	Rahno dkk., 2015	Puskesmas Borong Nusa Tenggara Timur, Indonesia	0,982	Kg/hari
4.	Amelia, 2019	Mamuju, Indonesia	1.500	Kg/tahun
5.	Wulansari dkk., 2020	Bantul, Indonesia	35,75	Gram/pasien
6.	Rachmawati, 2018	Jawa Timur, Indonesia	506,3	Kg/hari
7.	Arisma, 2021	Rumah Sakit Hi Muhammad Yusuf, Indonesia	2,4	Kg/hari

Berdasarkan pada tabel 2.1 dapat dilihat bahwa timbulan limbah medis diberbagai daerah berkisar 0,982-506,3 Kg/hari ,212-240 ton/hari,35,75 gram/pasien,dan 1.500 Kg/tahun.Perbedaan ini dikarenakan jenis rumah sakit yang berbeda dan letak suatu daerah yang dapat mempengaruhinya. Dari angka timbulan diatas menunjukkan limbah medis yang tersebar di penjuru dunia sangat besar nilainya.

2.3 Dampak limbah medis

Dampak dari limbah padat medis yang tidak diolah dengan baik adalah dapat menyebar melalui udara, air, rantai, makanan dan peralatan medis serta lainnya serta menimbulkan bakteri di lingkungan fasilitas kesehatan. Limbah medis dalam jumlah besar juga dapat menyebabkan infeksi yang didapat di rumah sakit. Infeksi nosokomial adalah infeksi yang terjadi di rumah sakit. Limbah medis juga dapat mempengaruhi kualitas udara lingkungan (Rahim dkk., 2023).

2.4 Potensi Limbah Medis Tanpa Jarum Suntik untuk Bahan Bakar Alternatif

Pemanfaatan Limbah Medis Limbah medis seperti jarum suntik, bekas darah, dan lainnya dapat dimanfaatkan kembali sebagai bahan bakar alternatif. Limbah medis ini harus diolah dan dimurnikan terlebih dahulu agar aman digunakan. Jarum suntik dan limbah medis lainnya dapat digunakan sebagai bahan bakar minyak dengan cara mengolahnya menjadi bahan bakar minyak melalui proses pirolisis. Dalam proses ini, jarum suntik dan limbah medis lainnya diolah menjadi bahan bakar minyak yang dapat digunakan sebagai alternatif bahan bakar untuk kendaraan bermotor (Setiawan, 2018).

2.5 Pengelolaan Limbah Medis

Bahwa fasilitas pelayanan kesehatan sebagai tempat untuk menyelenggarakan upaya pelayanan Kesehatan menghasilkan limbah medis yang berpotensi menimbulkan risiko penularan penyakit dan gangguan kesehatan lainnya serta pencemaran lingkungan hidup, sehingga perlu dilakukan pengelolaan limbah medis; bahwa pengelolaan limbah medis fasilitas pelayanan kesehatan belum optimal karena jumlah dan kapasitas pengelola limbah medis fasilitas pelayanan Kesehatan masih terbatas dan tidak seimbang dengan jumlah fasilitas pelayanan kesehatan yang menghasilkan limbah medis sehingga perlu dukungan pemerintah daerah untuk memfasilitasi pengelolaan limbah medis di wilayahnya (Rahno dkk., 2015)

Tahapan pengelolaan limbah padat medis di rumah sakit pada dasarnya dimulai dari pengurangan dan pemilahan, penyimpanan, pengangkutan, pengolahan, penguburan dan penyimpanan atau pemusnahan. Beberapa aspek penting dalam pengelolaan limbah rumah sakit adalah pengurangan limbah, pelabelan dan pengemasan, transportasi, penyimpanan, pengolahan, dan pembuangan limbah. Dalam proses pengelolaan ini harus digunakan metode yang tepat dan memperhatikan kesehatan, ekonomi dan perlindungan lingkungan (Hutajulu dkk., 2022).. Namun kini, semakin banyak orang yang menggunakan metode konversi termokimia untuk mengolah limbah medis padat. Konversi termokimia dapat mengubah limbah menjadi bahan bakar gas, cair atau padat, termasuk bahan kimia. Metode yang paling umum adalah pembakaran, pirolisis, gasifikasi, dan pencairan.

Di antara semua teknologi termokimia, pirolisis merupakan salah satu teknologi yang paling banyak dikembangkan dan digunakan karena lebih efisien dan ramah lingkungan (Athala dkk., 2022).

2.6 Metode Pirolisis

Metode pirolisis ini menghasilkan proses kimia yang ramah lingkungan dan dapat digunakan dimana saja dan kapan saja. Produk bahan bakar yang dihasilkan melalui pirolisis dapat digunakan sesuai kebutuhan. Pirolisis dapat mengubah limbah menjadi bahan bakar dalam fasa padat (batubara), fasa cair (tar) dan gas dalam fasa mudah terbakar (CH_4 , CO_2 dan H_2) yang selanjutnya dapat mengubah kembali menjadi bahan bakar. Listrik energi atau energi panas (Selpiana dkk., 2021)

2.6.1 Pirolisis

Pirolisis adalah proses di mana bahan terurai di bawah pengaruh suhu. Proses pirolisis dimulai pada suhu tinggi dan tanpa O_2 . Produk cair yang diuapkan mengandung tar dan hidrokarbon polimatik. Produk pirolisis biasanya terdiri dari tiga jenis yaitu gas (H_2 , CO , CO_2 , H_2O dan CH_2), tar (minyak pirolitik) dan arang. Bahan untuk proses pirolisis dapat berupa bahan tumbuhan alami, biomassa atau polimer. Dalam proses pirolisis, biomassa dan polimer terurai membentuk molekul dengan ukuran dan struktur yang lebih kompak. Pirolisis biomassa universal merupakan penguraian bahan organik sehingga menghasilkan padatan berupa karbon aktif, gas, uap, dan aerosol. Gas yang dapat terkondensasi sebagai cairan stabil pada suhu kamar adalah senyawa hidrokarbon yang dikenal sebagai biofuel atau bio-oil (Riandis dkk., 2021).

Pirolisis bermanfaat untuk memperoleh bahan bakar alternatif dari limbah, dan cara ini juga sangat menjanjikan karena memiliki beberapa keunggulan, seperti kemungkinan mengurangi jumlah sampah secara signifikan. Keunggulan pirolisis dibandingkan pembakaran adalah mampu mereduksi emisi hingga 20 kali lipat. Di sisi lain, produk pirolisis dapat digunakan lebih fleksibel dan lebih mudah penanganannya (Wijayanti dkk., 2013).

2.6.2 Proses pirolisis

Dalam proses pirolisis, molekul polimer rantai panjang diubah menjadi molekul yang lebih kecil dan tidak terlalu kompleks di bawah pemanasan yang

intens, pada suhu sekitar 500-800°C dan tanpa oksigen. Pada proses pirolisis ini, rantai panjang dipecah menjadi molekul yang lebih kecil menjadi tiga bentuk yaitu padat, cair dan gas. Proses pirolisis juga bergantung pada parameter proses pirolisis yaitu suhu, biomassa, laju pemanasan, tekanan, konfigurasi reaktor, bahan baku, dll (Mirkarimi dkk., 2022). Pada proses pirolisis terdapat faktor atau kondisi yang mempengaruhi dihasilkannya proses pirolisis sebagai berikut :

1. Waktu, semakin lama proses pirolisis. Produk yang dihasilkan (limbah padat, tar, gas dan minyak) meningkat.
2. Suhu, sangat mempengaruhi produk yang diperoleh, karena menurut persamaan Arrhenius, suhu dekomposisi termal yang tinggi dengan nilai konstanta konsekuensi yang lebih tinggi meningkatkan laju pirolisis dan meningkatkan konversi.
3. Hasil ukuran partikel, semakin besar luas partikel per 4 maka semakin kecil luas per 4 satuannya. berat untuk memperlambat proses.
4. Berat partikel, semakin banyak bahan yang ditambahkan maka semakin banyak cairan hasil pembakarannya (tar) (Fatimura dkk., 2019).

2.6.3 Hasil pirolisis

Produk yang dihasilkan dari pirolisis sampah plastik adalah gas, minyak cair dan padatan atau karbon yang mempunyai nilai tambah dalam berbagai industri. Gas yang dihasilkan pada proses pirolisis mengandung H₂O, CH₄, CO₂ dan H₂. Cairan yang dihasilkan selama pirolisis (minyak pirolisis) berasal dari kondensasi bahan bakar gas yang mengandung hidrokarbon poliaromatik. Residu akhir pirolisis berupa sedimen padat berupa residu karbon atau dikenal dengan istilah karbonisasi (Damayanti dkk., 2023). Residu (*char*) dari hasil proses pirolisis limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis Bahan Bakar Padat. Residu hasil pirolisis terdapat di dalam reaktor ketika proses pirolisis berakhir. proses pirolisis plastik sebagian besar mengandung unsur karbon (Selpiana dkk., 2021). Dengan metode ini, minyak cair yang dihasilkan dari sampah plastik dapat digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel, boiler, tungku dan turbin. Oleh karena itu, produk yang diperoleh melalui pirolisis sampah plastik menghasilkan produk berharga

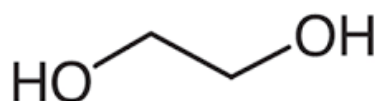
yang dapat mengatasi dampak negatif sampah plastik terhadap lingkungan, namun juga menghemat bahan bakar fosil sebagai sumber energi generasi berikutnya (Mirkarimi dkk., 2022).

2.6.4 Katalisator Pirolisis

Katalis adalah suatu zat atau zat kimia yang meningkatkan kecepatan suatu reaksi kimia tanpa mengalami perubahan atau konsumsi secara permanen dalam reaksi, sehingga mempercepat reaksi kimia tanpa adanya perubahan pada akhir reaksi. Kehadiran katalis memegang peranan penting dalam proses pirolisis karena dapat mengurangi kebutuhan energi dibandingkan tanpa katalis. Katalis juga dapat mempersingkat waktu reaksi awal dan meningkatkan kuantitas dan kualitas produk akhir. Katalis yang digunakan pada proses pirolisis ada dua yaitu etilen glikol dan N-Heksan (Wijayanti dkk., 2013).

2.6.4.1 Etilen glikol

Etilen glikol atau yang disebut Monoetilen Glycol, dihasilkan dari reaksi etilen oksida dengan air, merupakan anti beku yang digunakan pada mesin-mesin, juga digunakan untuk bahan baku produksi polietilen terephthalate (PET) dan sebagai cairan penukar gas (Laela and Hairunnisa 2021). Etilen glikol dengan rumus molekul $C_2H_6O_2$ adalah senyawa organik yang menurunkan titik beku pelarutnya dengan mengganggu pembentukan kristal es pelarut (Simorangkir dkk., 2023).



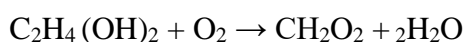
Gambar 2. 2 Struktur Etilen Glikol (Saito, 2022)

Etilen glikol berupa cairan jenuh, tidak bewarna, tidak berbau, berasa manis, dan larut sempurna dalam air, secara komersial etilen glikol di Indonesia digunakan sebagai bahan baku industri polyester (tekstil) sebesar 97,34% (Z. S. Nugroho., dkk 2022). Berikut sifat-sifat fisik dan kimia dari etilen :

Tabel 2. 2 Karakteristik Etilen Glikol

Karakteristik	Syarat
Massa molekul	62,07 g/mol
Bentuk	cair
Densitas (20°C)	1,1155 g/cm ³
warna	Tidak berwarna
Titik beku	-13°C
Titik didih	197,6 °C

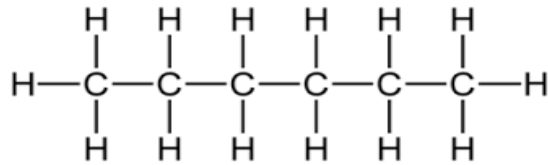
Monoetilen glikol merupakan cairan yang jernih, tidak berwarna tidak berbau dengan rasa manis, dapat menyerap air dan dapat dicampur dengan beberapa pelarut polar seperti air, alkohol, glikol eter dan aseton. Kelarutan dalam larutan nonpolar rendah seperti benzena, toluen, dikloroetan, dan kloroform. Etilen glikol dapat dengan mudah dioksidasi menjadi bentuk aldehid dan asam karboksilat oleh oksigen dan asam nitrit. Kondisi reaksi yang bervariasi dapat mempengaruhi formasi dari hasil oksidasi yang diinginkan. Oksidasi fase gas dengan udara membentuk glioksal, dengan penambahan katalis Cu.



Etilen glikol bereaksi dengan etilen oksida membentuk di-, tri-, tetra-, dan polietilen glikol (Nugroho dkk.,2022).

2.6.4.2 N-Heksana

N-heksana adalah hidrokarbon alkana rantai lurus dengan 6 atom karbon dan rumus molekul C₆H₁₄. Isomer n-heksana bersifat non-reaktif dan banyak digunakan sebagai pelarut inert dalam reaksi organik karena n-heksana bersifat non-polar. N-heksana diperoleh dengan menyuling minyak bumi, dimana produk industrinya berupa fraksi yang mendidih pada suhu 65-70 °C. N-heksana sering digunakan untuk mengekstraksi minyak dan lemak dengan polaritas yang sama. n-heksana merupakan pelarut yang baik untuk ekstraksi senyawa non-polar. Dalam kondisi standar, senyawa ini berupa cairan tidak berwarna yang tidak larut dalam air (Utomo, 2016).



Gambar 2. 3 Struktur N-Heksana (Utomo, 2016)

Tabel 2. 3 Karakteristik N-Heksan

karakteristik	Syarat
Bobot molekul	86,2 gram/mol
Warna	Tidak bewarna
Wujud	Cair
Titik lebur	95°C
Titik didih	69°C
Densitas	0,6603 gram/ml pada 20°C

2.7 Bakteri Hidrokarbonoklastik

Bakteri yang mampu mendegradasi senyawa hidrokarbon disebut bakteri hidrokarbon. Tentu saja mikroorganisme ini memiliki kemampuan untuk mengikat, mengemulsi, mengangkut dan memecah hidrokarbon. Bakteri ini memecah senyawa hidrokarbon dengan cara memotong rantai hidrokarbon menjadi lebih pendek menggunakan berbagai enzim. Kromosom atau plasmid yang mengkode sintesis enzim ini, tergantung pada jenis bakterinya (Fakultas dkk., 2010)

2.8 Potensi bakteri yang bersifat hidrokarbonoklastik

Sebagian besar mikroba adalah bakteri yang hidup dan mempengaruhi lingkungan hidrokarbon minyak bumi. Bakteri hidrokarbonoklastik adalah bakteri yang memiliki kemampuan fisiologi dan metabolik untuk menghancurkan bahan pencemar (Susanti, 2020). Berikut merupakan beberapa penelitian yang menggunakan bakteri hidrokarbonoklastik.

Tabel 2. 4 Potensi bakteri yang bersifat hidrokarbonoklastik

No	Peneliti	sampel	bakteri	Hasil
1.	Hardestyariki, 2013	Tanah di sekitar rhizosfe	<i>Proteus, actinobacillus</i> , dan <i>flavobacterium</i>	kelimpahan jumlah bakteri <i>rhizosfer</i> tergantung dari jenis eksudat akar yang dikeluarkan tanaman.
2.	Sayuti & Suratni, 2015	Minyak bumi	<i>Enterobacter, pseudomonas</i> dan <i>klebsiella</i>	Ditemukan 3 isolat bakteri hidrokarbonoklastik dari limbah cair minyak bumi adalah <i>Enterobacter, pseudomonas</i> dan <i>klebsilla</i>
3.	Najiyah, 2013	Minyak bumi	<i>Halobacillus trueperi</i> dan <i>Rhodobacteraceae bacterium</i>	kelimpahan jumlah bakteri rhizosfer tergantung dari jenis eksudat akar yang dikeluarkan tanaman.R. bacterium dengan sumber karbon minyak jelantah lebih berpotensi memproduksi biosurfaktan dibandingkan dengan bakteri <i>H. truperi</i> .
4.	Gofar, 2012	Tanah	<i>Pseudomonas alcaligenes</i> dan <i>Alcaligenes faecalis</i>	<i>P. alcaligenes</i> dan <i>A. faecalis</i> menurunkan TPH berturut-turut sebesar 63 dan 70%. Kemampuan kedua isolate dalam mendegradasi.

Pada tabel 2.3 terdapat beberapa bakteri hidrokarbonoklastik yang bisa menguraikan minyak dan residu diantaranya bakteri *Proteus, actinobacillus, flavobacterium, Enterobacter, pseudomonas, klebsiella, Halobacillus trueperi, Rhodobacteraceae bacterium, Pseudomonas alcaligenes* dan *Alcaligenes faecalis*, sedangkan untuk bakteri non hidrokarbonoklastik menurut Asmi dkk., (2022) tidak bisa menguraikan minyak dan residu karena bakteri non hidrokarbonoklastik tidak mempunyai enzim *cutinase* dan *lactase* yang dapat menghidrolisis ikatan karbon menjadi sederhana.

2.8.1 Mekanisme Bakteri Hidrokarbonoklastik Pengurai Minyak

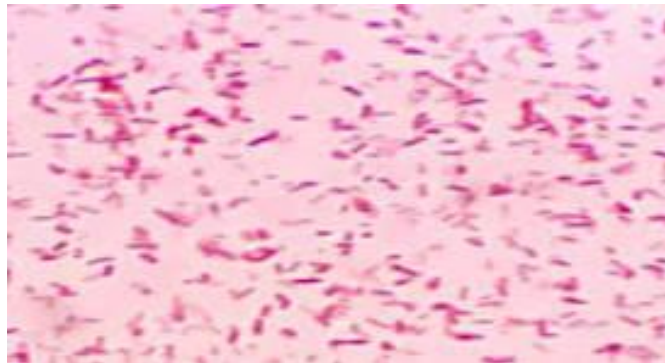
Mekanisme yang digunakan oleh bakteri ini dalam mendegradasi hidrokarbon meliputi beberapa tahapan, seperti adsorpsi, oksidasi, dan mineralisasi. Bakteri ini menggunakan enzim-enzim khusus untuk menguraikan hidrokarbon menjadi senyawa-senyawa yang lebih sederhana (Sujadi, 2019).

2.8.2 *Pseudomonas aeruginosa*

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* merupakan bakteri yang berbentuk batang dan merupakan bakteri gram negatif. Klasifikasi dari bakteri *P. aeruginosa* berdasarkan ITIS adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 5 Klasifikasi bakteri *P. aeruginosa*

Kingdom	<i>Bacteria</i>
Phylum	<i>Proteobacteria</i>
Class	<i>Gammaproteobacteria</i>
Order	Pseudomonadales
Family	Pseudomonadales
Genus	Pseudomonadaceae
Species	<i>Pseudomonas</i>



Gambar 2. 4 *Pseudomonas aeruginosa* (Yosias dkk., 2022)

P. aeruginosa mempunyai ciri motilitas dan bentuk batang berukuran kira-kira $0,6 \times 2 \mu\text{m}$. Mereka biasanya memiliki garis kutub, tetapi terkadang 2-3garis. Bakteri gram negatif dan terdapat sebagai bakteri tunggal, berpasangan dan kadang membentuk rantai pendek. Struktur dinding selnya sama dengan famili Enterobacteriaceae. Strain yang diisolasi dari bahan klinis seringkali memiliki pili untuk menempel pada permukaan sel dan memainkan peran penting dalam resistensi terhadap fagositosis. *P.aeruginosa* memiliki pili. Pili (*fimbriae*) memanjang dari permukaan sel dan membantu menempel pada sel epitel inang. Lipopolisakarida yang terdapat pada banyak imunoti pemerupakan faktor virulensi dan juga melindungi sel dari mekanisme pertahanan inang. *P. aeruginosa* dapat diklasifikasikan berdasarkan imunotipe polisakarida dan sensitivitasnya terhadap pyocin (bakteriosin).

Produk ekstraseluler yang dihasilkan berupa enzim yaitu elastase, protease dan dua hemolisin, fosfolipase C tahan panas dan rhamnolipid (Laksmi, 2015). Koloni *Pseudomonas* biasanya berwarna krem atau hampir tidak berwarna karena bakteri ini tidak selalu berpigmen (Nanda, 2021). Untuk dapat mengidentifikasi bakteri ini dapat dilakukan uji biokimia, adapun uji biokimianya meliputi TSIA dan SIM, berdasarkan penelitian (Nanda, 2021) didapatkan hasil penelitian sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Hasil Uji Biokimia *Pseudomonas aeruginosa*

No	Media	Hasil Uji Biokimia
1	TSIA	
	H ₂ S	-
	Fermentasi	M/K
2	SIM	
	Indol	-
	Motil	+
	H ₂ S	-
3	Urea	+
4	Citrat	+
5	MR	-
6	VP	-
7	PAD	-
8	Glukosa	+
9	Laktosa	-
10	Sukrosa	-

2.9 Bakteri Non-Hidrokarbonoklastik

Bakteri non hidrokarbonoklastik adalah bakteri yang tidak memiliki kemampuan untuk memecah atau mendegradasi senyawa hidrokarbon. Senyawa hidrokarbon adalah komponen utama minyak bumi dan produk turunannya, seperti bensin, diesel, dan bahan bakar lainnya, yang terdiri dari atom karbon dan hidrogen. Berbeda dengan bakteri hidrokarbonoklastik, yang dapat menggunakan hidrokarbon sebagai sumber energi dan karbon, bakteri non hidrokarbonoklastik tidak memiliki enzim atau jalur metabolik yang diperlukan untuk memecah hidrokarbon. Sebaliknya, mereka mungkin mendegradasi bahan organik lain atau hidup dalam lingkungan yang tidak mengandung hidrokarbon. Contoh-contoh bakteri non hidrokarbonoklastik termasuk banyak spesies dari berbagai genus seperti:

1. **Escherichia coli** - Sebagian besar strain E. coli tidak mampu mendegradasi hidrokarbon dan lebih sering ditemukan dalam lingkungan usus manusia dan hewan.

2. **Lactobacillus** - Genus bakteri yang umumnya ditemukan dalam produk susu fermentasi dan usus manusia, yang memetabolisme gula dan bahan organik lainnya, bukan hidrokarbon.
3. **Staphylococcus** - Genus bakteri yang sering ditemukan pada kulit manusia dan mamalia, serta lingkungan non-hidrokarbon (Ibrohim, 2021).

2.9.1 *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan salah satu jenis bakteri gram positif, berbentuk bulat (kokus) yang bergerombol seperti anggur, bersifat aerob fakultatif, dengan diameter sekitar 0,8- 1,0 μm dan ketebalan dinding sel 20-80 nm. Lapisan penyusun dinding sel bakteri *Staphylococcus aureus* terdiri dari lapisan makromolekul peptidoglikan yang tebal dan membran sel selapis yang tersusun oleh protein dan lipid dan asam teichoic. Asam teichoic berfungsi untuk mengatur fungsi elastisitas, porositas, kekuatan tarikan dan sifat elektrostatis dinding sel (Pingkan dkk., 2022)

Bakteri *Staphylococcus aureus* merupakan flora normal pada manusia yang terdapat pada kulit dan selaput mukosa pada manusia. *Staphylococcus aureus* mengandung polisakarida dan protein yang berfungsi sebagai antigen dan struktur dinding sel. Bakteri ini tidak memiliki flagel, tidak motil dan tidak membentuk spora. Bakteri ini dapat tumbuh dengan baik pada suhu 37°C dengan waktu inkubasi yang relatif pendek yaitu 1-8 jam. Bakteri *Staphylococcus aureus* juga dapat tumbuh pada pH 4,5-9,3 optimumnya yaitu pH 7,0-7,5. *Staphylococcus aureus* adalah salah satu bakteri patogen penting yang berkaitan dengan virulensi toksin, invasif, dan ketahanan terhadap antibiotik. Bakteri *S. aureus* dapat menyebabkan terjadinya berbagai jenis infeksi mulai dari infeksi kulit ringan, keracunan makanan sampai dengan infeksi sistemik. Infeksi yang terjadi misalnya keracunan makanan karena *Staphylococcus*, salah satu jenis faktor virulensi yaitu *Staphylococcus enterotoxin*. Gejala keracunan makanan akibat *Staphylococcus* adalah kram perut, muntah-muntah yang kadang-kadang di ikuti oleh diare (Pingkan dkk., 2022).