

STUDI BIODEGRADASI LAVR, 2. PENGARUH
pH, RH DAN WAKTU INKUBASI TERHADAP
KUALITAS FILM LAVR

Nikham and Marga Utama

STUDI BIODEGRADASI LAVR, 2. PENGARUH pH, RH DAN WAKTU INKUBASI TERHADAP KUALITAS FILM LAVR

Nikham and Marga Utama

Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Isotop dan Radiasi,
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Jakarta

ABSTRACT

BIODEGRADATION STUDY OF RVNRL, 2. EFFECT OF pH, RH AND INCUBATION TIME ON THE QUALITY OF RVRNL FILM. Biodegradation of radiation vulcanisation natural rubber latex (RVNRL) product by bacteria's of *Alcaligenes faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Clostridium histolyticum* dan *Bacillus subtilis* has been studied. The objective of the investigation is to search for the optimum condition and want to know the degradability of RVNRL film by using of the bacterias's ability. Samples of RVNRL film in the reaction tube which consist of medium and bacteria with the difference condition of pH and relative humidity (RH) were incubated in desicator at room temperature and fixed time. After that the samples were washed, dried and measured of the mechanical properties. The results show that the samples which incubated for 3 months at pH medium 5 and 7, Rh 90 and combination bacteria's of *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis* can decrease the mechanical properties, so condition of the film deterioration very bad.

Key words; Latex, radiation vulcanisation, *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* and *B. subtilis*

ABSTRAK

STUDI BIODEGRADASI LAVR, 2. PENGARUH Ph, RH DAN WAKTU INKUBASI TERHADAP KUALITAS FILM LAVR. Telah dipelajari biodegradasi film lateks alam vulkanisasi radiasi (LAVR) oleh bakteri *Alcaligenes faecalis*, *Staphylococcus epidermidis*, *Clostridium histolyticum* dan *Bacillus subtilis*. Tujuan penelitian yaitu mencari kondisi optimum dan ingin mengetahui degradabilitas film LAVR dengan memanfaatkan kemampuan beberapa bakteri tersebut. Contoh film LAVR dalam tabung reaksi yang berisi media dan bakteri dengan kondisi pH, RH yang berbeda diinkubasi dalam desikator pada suhu ruang dan waktu tertentu. Setelah itu contoh dicuci, dikeringkan, lalu diukur sifat-sifat mekaniknya. Hasilnya menunjukkan bahwa kondisi inkubasi selama 3 bulan, pada pH media 5 dan 9, RH 90, serta kombinasi bakteri *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*, dapat menurunkan sifat-sifat mekanik contoh film sehingga keadaannya menjadi rusak sekali.

Kata kunci; Lateks, vulkanisasi radiasi, *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum*, dan *B. subtilis*

LATAR BELAKANG

Lateks dari karet (*Hevea brasiliensis*) alam segar mengandung sekitar 30 % hidrokarbon karet yaitu cis poliisopren dan 4 – 5 % karet tidak padat terutama protein, lemak, karbohidrat dan garam-garam mineral. Masing-masing partikel lateks diikat oleh membran fofolipid dan protein yang melindungi partikel lateks (1). Protein lateks kebun yang terdiri dari alpa globulin, albumin dan hevein kandungannya sekitar 1 % berat, dimana 20 % protein terserap dalam partikel karet dan sisanya dalam fase serum. Lipid lateks alam kandungannya sekitar 0,5 – 1,6 % berat yang terdiri dari lipid netral (50 %), glikolipid (30 %) dan fosfolipid (20 %). Karbohidrat yang ada dalam lateks adalah *quabrachitol* sekitar 2 % berat dan sukrosa sekitar 0,1 - 1 % berat. Karbohidrat ini dalam serum tercuci selama proses, namun gula dalam glikolipid terutama galaktosa, beberapa glukosa dan inositol masih ada dalam karet. Sedangkan mineral yang ada seperti potassium, magnesium dan fosfat kandungannya sekitar 0,5 % berat (2). Kondisi lateks demikian merupakan media yang dapat mendukung pertumbuhan mikroba.

Lateks alam vulkanisasi radiasi (LAVR) yaitu ikatan silang karet alam (*cis-1,4-polyisoprene*) yang terdispersi dalam media cair. Lateks alam umumnya digunakan dalam pembuatan barang-barang karet. Barang-barang karet seperti sarung tangan dan kondom tidak dapat dibuat tanpa vulkanisasi. LAVR dapat dicapai tanpa adanya bahan pemeka atau bahan kimia untuk mereduksi dosis vulkanisasi (Dv) (3). Dv lateks karet alam tanpa bahan pemeka lebih dari 300 kGy, dosis yang terlalu tinggi untuk diaplikasikan dalam industri. Namun demikian penelitian tentang pengaruh bahan pemeka (sering disebut akselerator atau *agent* ikatan silang) pada LAVR seperti n-butil akrilat (n-BA) terbukti bahwa Dv secara nyata direduksi dibandingkan dengan yang tidak menggunakan bahan pemeka. Misalnya seperti yang dilaporkan oleh CHEN dan MAKUUCHI bahwa Dv 15 kGy digunakan untuk radiasi LAVR dengan bahan pemeka 5 phr n-butil akrilat (n-BA) (4). Sampai sekarang n-BA dianggap bahan pemeka yang sangat efektif berkenaan dengan efisiensi vulkanisasi radiasi misal Dv rendah dan tegangan putus maksimalnya tinggi. Tetapi n-BA mempunyai beberapa kelemahan seperti baunya tidak enak dan stabilitas lateks tidak tinggi, karena itu akhirnya tegangan putus maksimum film LAVR tidak selalu konsisten. Namun demikian LAVR mempunyai banyak keuntungan melebihi lateks

konvensional yang divulkanisasi dengan sulfur, seperti tidak ada nitrosamin, sitotoksisnya sangat rendah, gas emisinya rendah ketika dibakar dan degradabilitasnya baik (5, 6).

Untuk membuktikan bahwa contoh tersebut degradabilitasnya baik maka dalam penelitian ini telah dicoba menggunakan bakteri *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*. Telah diketahui bahwa *A. faecalis* merupakan bakteri yang berperan sebagai dekomposer bahan-bahan organik. *S. epidermidis* adalah bakteri yang mampu menghasilkan lipase (gliserol ester hidrolase) suatu enzim dapat memecah lemak menjadi di atau monogliserida dan asam-asam lemak. *Cl. histolyticum* adalah bakteri yang mampu menghasilkan enzim proteinase, suatu enzim yang dapat menghidrolisis molekul protein menjadi senyawa yang lebih sederhana (7). Sedangkan *B. subtilis* adalah bakteri yang mampu menghasilkan enzim amilase dan proteinase. Enzim proteinase biasanya diaplikasikan dalam bidang industri obat-obatan, pengawetan kulit, protein hidrolitik, makanan dan pengolahan limbah (8).

Persyaratan untuk pertumbuhan mikroba harus mempunyai beberapa faktor seperti kondisi kimia, fisika dan nutrisi serta bebas dari gangguan kompetitor musuhnya. Kondisi ini di habitat alam jarang diperoleh kondisi yang mendukung untuk pertumbuhan optimal, pengembang biakan mikroba pada kecepatan pertumbuhan maksimal. Namun di laboratorium kecepatan reproduksi dapat meningkat atau menurun dengan memanipulasi kondisi fisik dan nutrisi (9). Dalam penelitian ini telah dicoba inkububasi sampel film karet dan bakteri yang dibiakkan dalam tabung reaksi pada berbagai kondisi seperti pH, RH dan waktu penyimpanan.

Hipotesa penelitian ini bahwa film LAVR adalah bahan yang mudah didegradasi secara biologi dan kombinasi bakteri *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis* mampu mendegradasi film karet. Tujuan dari penelitian untuk membuktikan hipotesa dengan menginkubasikan film dalam media yang dibiaki oleh bakteri tersebut.

BAHAN DAN METODA

Bahan. Lateks karet alam yang dipakai dalam penelitian ini diperoleh dari Sukabumi, Jawa Barat dengan kandungan total solid (TSC) sekitar 61 % and kandungan karet kering sekitar 60 %. Lateks dilarutkan dengan larutan ammonia sekitar 1,6 % hingga mencapai 50 %. Monomer n-butil akrilat (n-BA) dipakai sebagai sensitizer. Media *Tryptone Soya Agar* (TSA) dipakai untuk membiakan bakteri. Bahan-bahan kimia K_2HPO_4 , $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ dan $ZnSO_4$ sebagai media untuk menginkubasi

film dan bakteri. Bahan-bahan tersebut adalah teknis dan dipakai secara langsung tanpa pemurnian dan semuanya buatan Merck. Sampel bakteri seperti *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* diperoleh dari Pusat Penelitian dan Pengembangan, Balai Penelitian Veteriner Bogor dan *B. subtilis* berasal dari Laboratorium Mikrobiologi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bogor.

Peralatan. Iradiator lateks ^{60}Co dengan kapasitas 190.000 Curie digunakan sebagai sumber radiasi. *Instron Testing Machine* dipakai untuk mengukur sifat mekanik film LAVR. Desicator digunakan untuk menginkubasi film LAVR yang dibiaki bakteri.

Pemekatan Lateks. 100 kg lateks yang baru disadap dari pohon karet dibubuhi 1 % cairan ammonia sebagai pengawet primer, kemudian dibawa ke pabrik pemekatan lateks. Lateks dimasukkan ke dalam alat pemusing untuk dipekatkan dengan kecepatan 7.000 rpm selama 2 jam. Lateks pekat lalu dikeluarkan dari alat pemusing dan langsung dibubuhi bahan pengawet, sambil diaduk pelan-pelan. Jenis bahan pengawet yang dipakai adalah, ammonium laurat 0,2 phr (*per hundred rubber*) dan ammonia 0,7 % berat lateks. Selanjutnya lateks diberi bahan pengawet sekunder, lalu dimasukkan ke dalam kantong plastik dan dapat disimpan selama 1 – 2 bulan (10).

Proses Vulkanisasi Radiasi Lateks Alam. Sekitar 2 liter lateks alam pekat yang diberi bahan pengawet, dan kemudian diberi bahan pemeka nBA, sebanyak 2 phr dalam bentuk emulsi. Setelah itu diaduk pelan-pelan dan diiradiasi pada dosis 35 kGy dan dosis 2 kGy/jam. Selama radiasi lateks dalam kondisi tertutup dan tidak diaduk.

Persiapan Sampel. LAVR sekitar 4,2 liter dituang ke dalam kaca berukuran 40 x 80 cm untuk mendapatkan film karet dengan ketebalan film sekitar 1,01 – 1,60 mm yang akan diukur sifat mekaniknya. Setelah dikeringkan pada suhu ruang, film dicuci dalam air mendidih untuk menghilangkan ammonia yang masih tertinggal, dan kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 70 °C selama 1 jam. Sedangkan sampel bakteri yang dipakai dalam penelitian ini dibiakkan pada media Tryptone Soya Agar (TSA), dan kemudian diinkubasi dalam inkubator pada suhu optimal selama 24 jam. Selanjutnya sel-sel dipanen dan dicuci dengan akuades steril dan dipusingkan pada kecepatan 3.000 rpm selama 30 menit. Sel-sel yang telah dicuci kemudian diatur konsentrasinya sekitar 10^8

sel/ml dan kemudian dipakai dalam proses biodegradasi film LAVR. Sampel media yang dipakai dalam penelitian ini mula-mula ditimbang, dilarutkan dalam akuades dan dipanaskan pemanas listrik. Media yang telah larut dimasukkan ke dalam tabung reaksi, masing-masing tabung diisi media sekitar 50 ml dan kemudian disterilkan dalam otoklaf pada suhu 121 °C selama 15 menit.

Pengukuran sifat mekanik lateks alam dan film karet. Untuk mengukur tegangan putus, modulus dan perpanjangan putus dengan menggunakan *Instron Testing Machine* buatan Toyoseiki Co. Ltd., Japan, pada kecepatan *crosshead* 100 mm/menit dan pada suhu 25 °C. Standard pengujian disesuaikan dengan metoda ASTM D 412-87. (11, 12).

Pengujian Biodegradabilitas. Film karet yang telah dikeringkan disterilkan pada sinar gamma dengan dosis 25 kGy, setelah itu ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam tabung reaksi dengan diameter 25 mm yang berisi 50 ml media dan 0.2 ml sel bakteri. Adapun komposisi media adalah K_2HPO_4 1,5 g, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,05 g, $CaCl_2$ 0,05 g, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 0,015 g, $ZnSO_4$ 0,005 g dalam 1 liter akuades (13), dan pH 7. Setelah itu sampel film karet dan bakteri diinkubasi dalam desikator pada suhu ruang selama waktu tertentu. Sampel film karet yang telah diinkubasi, kemudian dikeluarkan dari tabung reaksi dan selanjutnya dicuci dengan akuades dan metanol, dikeringkan dalam oven vakum pada suhu 40 °C selama 24 jam. Selanjutnya film LAVR ditimbang, diukur tegangan putus, perpanjangan putus, modulus 300 % dan modulus 600 %.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Salah satu faktor yang harus dipenuhi untuk perbembangbiakan bakteri adalah pH dan pada saat pertumbuhan bakteri, konsentrasi ion hydrogen (pH) dalam media mempengaruhi protein (enzim dan sistem transpor) yang terdapat pada membran sel. Struktur protein dapat berubah bila pH dalam media berubah. Bakteri memiliki enzim yang berfungsi sempurna pada pH tertentu. Bila terjadi penyimpangan pH, pertumbuhan dan metabolisme bakteri dapat terhenti. Pada umumnya bakteri tumbuh dengan baik pada pH sekitar 7 meskipun dapat tumbuh pada pH sekitar 5 – 8. Untuk melihat pengaruh pH, bakteri ditumbuhkan pada berbagai pH (14).

Hasil perubahan tegangan putus film LAVR setelah diinkubasi selama 0 – 3 bulan dalam media dengan pH, RH yang berbeda dan dibiaki oleh bakteri *A. faecalis*, *S.*

epidermidis, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*, dapat dilihat pada Tabel 1. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa pengaruh pengerasan film LAVR dalam media selama 3 bulan baik pada pH 5, maupun 9 dan RH ruang, serta dibiaki bakteri *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis* tegangan putusnya cenderung menunjukkan adanya penurunan. Jika dihitung penurunan tegangan putus film, kontrol yang diinkubasi selama 3 bulan sekitar 6,47 dan 6,07 MPa atau 67,94 dan 69,92 % jika dibandingkan dengan kontrol yang sebelum diinkubasi, sedang yang dibiaki bakteri (kombinasi BCD) sekitar 5,45 dan 5,04 MPa atau 72,99 dan 75,02 %. Hal yang sama untuk sampel yang diinkubasi pada RH 60 cenderung menunjukkan adanya gejala penurunan. Jika dihitung penurunan film, kontrolnya sekitar 5,94 dan 5,75 MPa atau 70,56 dan 71,51 % dan yang dibiaki bakteri tersebut sekitar 4,18 dan 5,34 MPa atau 79,29 dan 73,54 %, jadi cenderung menunjukkan penurunan. Namun film yang diinkubasi pada RH 75, tegangan putusnya sudah banyak yang menurun, ditandai terjadi kerusakan fisik film misalnya lembek, lengket dan rusak sama sekali. Jika dihitung penurunan tegangan putus film, kontrolnya sekitar 2,86 dan 2,90 MPa atau 85,83 dan 85,63 % sedang yang dibiaki bakteri sekitar 4,30 dan 1,85 MPa atau 85,83 dan 90,83 %, disini menunjukkan perbedaan penurunan yang cukup berarti. Demikian juga yang diinkubasi pada RH 90 baik pada pH 5, maupun 9 sudah banyak yang mengalami kerusakan dan keadaan ini lebih jelas lagi setelah diinkubasi selama 3 bulan. Jika dihitung penurunan film, kontrolnya sekitar 3,89 dan 3,47 MPa atau 80,72 dan 82,80 % sedang yang dibiaki bakteri tak dapat diukur karena kondisi fisik film sudah rusak, jadi hal ini juga menunjukkan penurunan film sekitar 100% suatu kerusakan yang cukup nyata.

Perubahan perpanjangan putus film LAVR setelah diinkubasi selama 0 – 3 bulan dalam media dengan pH, RH yang berbeda dan dibiaki oleh bakteri *A. faecalis*, *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*, dapat dilihat pada Tabel 2. Pada Tabel tersebut terlihat bahwa film yang diinkubasi selama 3 bulan, pada pH 5, 9, dan RH 90, yang dibiaki bakteri *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*, perpanjangan putusnya menunjukkan adanya penurunan dan ditandai perubahan fisik seperti lembek, lengket dan rusak.

Kondisi yang sama terjadi pula pada modulus 300 % dan 600 % seperti terlihat pada Tabel 3 dan 4. Jika dihitung penurunan modulus 300 %, kontrolnya sekitar 0,44 dan 0,41 MPa atau 68,57 dan 70,71 % sedang yang dibiaki bakteri tak dapat diukur karena contoh filmnya sudah rusak. Namun untuk modulus 600 %, kontrolnya sekitar 1,23 dan 1,27 MPa atau 54,44 dan 52,96 % sedang yang diinkubasi dengan dibiaki bakteri juga tak

dapat diukur karena kondisi fisik filmnya sudah rusak. Hal ini dimungkinkan karena bakteri tersebut terutama *B. subtilis* dapat berkembang baik pada kondisi pH 5 - 8,6 (15). Di samping itu bakteri tersebut mungkin cocok berkembangbiak pada RH 90, sehingga mampu berperan aktif dalam menyerang contoh film sebagai media untuk mempertahankan kelangsungan hidupnya.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa contoh film yang kondisi inkubasi selama 3 bulan, pada pH media 5 dan 9, RH 90, serta kombinasi bakteri *S. epidermidis*, *Cl. histolyticum* dan *B. subtilis*, dapat menurunkan sifat fisik dan mekanik film karet LAVR, dengan kata lain LAVR adalah bahan *biodegradable*.

DAFTAR PUSTAKA

1. GOMEZ, J. B. and MOIR, G. F. J., The ultracytology of latex vessels in *Hevea brasiliensis*, Malay Rubber Res. Dev. Bd. Monogram, no. 4 (1979).
2. NADARAJAH, M., Chemistry of natural rubber latex, RCA/IAEA/UNDP, RTC on Radiation Vulcanization of Natural Rubber Latex, CAIR-BATAN Jakarta (1991) 1-33.
3. PONDER, D. W., Britania Patent 853.926 (1956).
4. CHEN, Z. and MAKUUCHI, K., Proceeding International Symposium Radiation Vulcanization Natural Rubber Latex, JAERI-M89-228 (1989) 326.
5. MAKUUCHI, K., YOSHII, F., HYAKUTAKE, F., KUME, K. and SUZUKI, K., Journal Society Rubber Ind. Japan, 68 (1995) 263.
6. MAKUUCHI, K. and TSUSHIMA, K., Journal Society Rubber Industry, Japan, 61 (1995) 71.
7. SMITH, D. T., CONANT, N. F. and OVERMAN, J. R., Microbiology 13 th. Ed., Appleton-Century-Crofts, Inc. New York (1964) 1214.
8. RAHMAN, A. Teknologi Fermentasi Industrial II, Penerbit Arcan, Jakarta (1992) 127.
9. McKANE, L. and KANDEL, J., Microbiology Essentials and Applications, McGraw-Hill Book Company, New York (1986) 109.
10. UTAMA, M., Pengaruh bahan pengawet sekunder pada kestabilan lateks alam iradiasi, Risalah Pertemuan Ilmiah, Proses Radiasi Dalam Industri Sterilisasi Radiasi, dan Aplikasi Teknik Nulkir Dalam Hidrologi, PAIR-BATAN, Jakarta (1988) 297 - 306.

11. NOVAL, J. J. and NICKERSON, W. J., Decomposition of native keratine by *Streptomyces fradiae*, Journal Bacteriology 77 (1959) 251 - 263.
14. LAY, B. W., Analisis Mikroba di Laboratorium , Manajemen P T Raja Grafindo Persada, Jakarta (1994)
15. BREE, R.S., MURRAY, E.G.D. nad SMITH, N.R., Bergey's Manual of Determinative Bacteriology, 7 th. Ed., The Williams & Willems Company, Baltimore (1957).

Tabel 1. Perubahan tegangan putus (MPa) film LAVR setelah diinkubasi selama 3 bulan dalam media (pH 5 - 9) yang dibiaki bakteri *A. faecalis* (A), *S. epidermidis* (B), *C. histolyticum* (C) dan *B. subtilis* (D) dalam kondisi kelembaban (RH) ; ruang, 60, 75 dan 90

Waktu inkubasi (bulan)	pH	RH : ruang				RH : 60			
		Kombinasi bakteri							
		Kontrol	ABD	ACD	BCD	Kontrol	ABD	ACD	BCD
0		20,18							
	5	17,68	5,55	7,95	8,78	7,89	4,13	6,97	6,44
	7	17,54	5,48	8,89	8,80	6,67	6,78	6,22	6,43
	9	11,80	6,67	8,22	9,10	6,48	4,89	5,56	5,74
1	5	6,00	5,58	5,78	5,77	5,10	5,00	4,20	4,46
	7	4,90	4,50	4,10	4,56	4,93	4,67	4,13	4,85
	9	4,85	4,67	4,24	4,45	6,96	6,15	6,18	6,80
2	5	6,57	5,61	6,09	6,00	6,63	6,46	6,13	1,25b
	7	5,59	5,21	4,88	4,14	8,21	6,07	6,92	6,30
	9	6,18	5,58	5,66	5,13	5,92	5,22	5,47	4,98
3	5	6,47	5,22	5,80	5,45	5,94	4,86	3,93a	4,18
	7	5,54	5,17	4,17	4,06	5,67	5,00	5,45	5,49
	9	6,07	5,94	5,22	5,04	5,75	5,12	5,48	5,34
		RH : 75				RH : 90			
0	5	17,68	8,97	7,14	9,36	12,11	11,37	8,98	7,27
	7	12,16	4,36	7,55	8,00	9,32	5,38	8,85	8,24
	9	12,06	7,27	7,02	9,30	10,00	6,67	7,12	6,08
1	5	6,20	6,64	6,52	6,06	4,36	4,81	4,80	4,00
	7	4,48	4,47	4,62	4,00	4,38	3,85	3,73	2,93
	9	6,48	6,28	6,00	5,52	4,90	3,83	3,17	3,78
2	5	5,95	5,66	5,36	5,63	4,67	4,08	4,13b	3,82b
	7	3,60a	2,00	2,20	2,13	3,13a	2,59	- d	2,62b
	9	3,79a	2,57	2,44	2,34	3,36a	2,88b	2,23a	2,20a
3	5	2,86	2,33c	- d	4,30b	3,89a	- d	2,23	- d
	7	2,41	1,33c	1,33c	2,30c	3,12a	2,75b	2,06	1,30c
	9	2,90a	2,17c	2,66c	1,85c	3,47a	2,38c	2,03	- d

Keterangan; a = lunak, b = lunak dan lengket, c = lengket dan rusak, d = rusak sekali

Tabel 2. Perubahan perpanjangan putus (MPa) film LAVR setelah diinkubasi selama 3 bulan dalam media (pH 5 - 9) yang dibiaki bakteri *A. faecalis* (A), *S. epidermidis* (B), *C. histolyticum* (C) dan *B. subtilis* (D) dalam kondisi kelembaban (RH) ; ruang, 60, 75 dan 90.

Waktu inkubasi (bulan)	pH	RH : ruang				RH : 60			
		Kombinasi bakteri							
		Kontrol	ABD	ACD	BCD	Kontrol	ABD	ACD	BCD
0		1070							
	5	1050	1200	1050	1100	1150	1000	1000	900
	7	1050	1000	950	900	1100	1100	1150	950
	9	900	850	800	850	1100	1050	1050	950
1	5	1050	900	900	950	950	950	900	950
	7	900	850	900	900	900	900	950	800
	9	1000	950	950	950	950	950	900	900
2	5	950	950	950	900	950	850	850	800
	7	900	950	900	950	950	900	900	950
	9	950	950	900	950	900	950	950	850
3	5	950	950	900	950	900	900	900	900
	7	900	900	900	900	900	900	950	900
	9	950	900	950	900	900	900	900	900
		RH : 75				RH : 90			
0	5	1200	1100	1050	900	1300	1250	1050	950
	7	1150	1050	1050	950	1250	1050	1050	950
	9	1250	1250	1000	1050	1150	1050	1000	900
1	5	900	950	900	900	900	900	850	850
	7	950	900	850	850	950	950	900	900
	9	900	900	900	950	850	800	850	800
2	5	950	950	900a	950	850	800	800b	950
	7	900a	900	950	900	800a	850	- d	800b
	9	900a	850a	850a	900	800a	850b	800a	750b
3	5	900	900c	- d	900b	700a	- d	700b	- d
	7	950	850c	800c	800c	700a	650b	700b	750a
	9	850a	750c	700c	700c	700a	700c	650b	- d

Keterangan; a = lunak, b = lunak dan lengket, c = lengket dan rusak, d = rusak sekali

Tabel 3. Perubahan modulus 300 % (Mpa) film LAVR setelah diinkubasi selama 3 bulan dalam media (pH 5 – 9) yang dibiaki bakteri *A. faecalis* (A), *S. epidermidis* (B), *C. histolyticum* (C) dan *B. subtilis* (D) dalam kondisi kelembaban (RH) ; ruang, 60, 75 dan 90

Waktu inkubasi (bulan)	pH	RH : ruang				RH : 60				
		Kombinasi bakteri								
		Kontrol	ABD	ACD	BCD	Kontrol	ABD	ACD	BCD	
0		1,40								
	5	1,62	0,99	1,36	0,76	1,36	1,03	1,07	0,79	
	7	1,82	1,50	1,36	1,52	1,48	1,11	0,98	1,05	
	9	1,68	1,06	0,74	1,49	1,87	1,10	1,11	0,86	
	1	5	1,58	1,00	0,74	0,61	1,46	0,99	1,23	0,73
		7	1,44	0,99	1,21	0,68	1,04	1,01	0,82	0,73
9		1,15	0,94	0,68	0,68	1,10	0,97	0,87	0,70	
2	5	0,91	1,61	0,89	0,74	1,44	0,98	0,82	0,39	
	7	1,12	1,44	0,67	0,74	0,97	0,82	0,73	0,71	
	9	1,12	1,81	1,19	1,03	1,06	0,78	0,66	0,45	
3	5	1,09	0,97	1,01	0,73	0,94	0,67	0,57a	0,62	
	7	1,00	0,92	0,97	0,88	0,97	0,48	0,48	0,55	
	9	0,96	0,89	0,83	0,78	0,95	0,55	0,71	0,74	
		RH : 75				RH : 90				
0	5	1,44	1,20	1,40	1,24	1,48	1,36	1,17	1,38	
	7	1,29	1,21	1,11	1,13	1,32	0,73	1,08	0,74	
	9	1,30	1,25	1,23	1,20	1,29	0,88	0,91	0,65	
1	5	1,22	1,03	0,82	1,05	1,47	1,05	0,74	1,00	
	7	1,14	0,91	1,06	0,68	0,99	0,91	0,69	0,60	
	9	1,07	0,93	0,63	0,65	0,93	0,82	0,79	0,84	
2	5	1,03	0,93	0,91a	0,74	0,91	0,81	0,65b	0,59b	
	7	0,95a	0,88	0,86	0,84	0,92	0,65	- d	0,47b	
	9	1,04a	0,95a	0,70a	0,93	0,94	0,47b	0,35a	0,47b	
3	5	0,94	0,48c	- d	0,43b	0,94	- d	0,62b	- d	
	7	0,89	0,84c	0,63	0,62c	0,94	0,79b	0,72b	- d	
	9	0,95a	0,72c	0,71c	0,65c	0,91	0,90c	0,72b	- d	

Keterangan; a = lunak, b = lunak dan lengket, c = lengket dan rusak, d = rusak sekali

Tabel 4: Perubahan modulus 600 % (MPa) film LAVR setelah diinkubasi selama 3 bulan dalam media (pH 5 - 9) yang dibiaki bakteri *A. faecalis* (A), *S. epidermidis* (B), *C. histolyticum* (C) dan *B. subtilis* (D) dalam kondisi kelembaban (RH) ; ruang, 60, 75 dan 90

Waktu inkubasi (bulan)	pH	RH : ruang				RH : 60				
		Kombinasi bakteri								
		Kontrol	ABD	ACD	BCD	Kontrol	ABD	ACD	BCD	
0		2,70								
	5	2,47	1,74	2,06	1,32	2,85	1,78	2,21	2,14	
	7	2,54	2,17	2,35	2,31	2,59	1,94	2,03	2,12	
	9	2,16	2,04	1,95	1,93	2,86	1,91	1,94	1,87	
	1	5	2,29	2,16	1,94	1,60	2,54	2,18	1,98	1,90
		7	2,51	2,17	2,09	1,77	2,26	2,20	2,15	1,90
9		2,51	2,04	1,77	1,77	2,39	2,21	2,16	1,83	
2	5	2,36	2,13	2,09	1,94	2,51	2,21	2,21	1,68	
	7	2,43	2,18	1,98	1,93	2,54	2,03	2,21	2,16	
	9	2,43	2,15	2,28	2,11	2,33	2,08	1,99	2,03	
3	5	2,36	2,11	1,96	1,88	2,04	1,48	1,66	1,41	
	7	2,28	1,99	2,09	1,88	2,12	1,24	1,59	1,62	
	9	2,16	2,11	1,99	2,02	2,06	1,44	1,96	1,61	
		RH : 75				RH : 90				
0	5	2,83	2,39	2,35	2,47	2,69	2,59	2,36	2,40	
	7	2,58	2,21	2,16	2,07	2,96	2,23	2,23	2,27	
	9	2,41	2,01	1,82	2,11	2,91	2,20	2,24	1,68	
1	5	2,79	2,62	1,76	2,49	2,54	2,16	1,94	1,74	
	7	2,56	2,24	2,21	1,77	2,14	1,81	1,74	1,69	
	9	2,32	2,24	2,20	2,11	2,01	1,76	1,73	1,54	
2	5	2,11	1,85	1,68a	1,93	2,20	1,92	1,71b	1,80	
	7	2,06	1,76	1,72	1,67	2,20	1,75	- d	1,27b	
	9	1,81	1,67a	1,55a	1,52	2,13	1,97b	1,70a	0,66b	
3	5	1,42	1,10c	- d	1,22b	1,23	- d	1,20b	- d	
	7	1,68	1,46c	1,11c	1,10c	1,23	1,38c	1,24c	0,39c	
	9	1,65	1,20c	1,24c	1,13c	1,27	1,57c	1,24c	- d	

Keterangan; a = lunak, b = lunak dan lengket, c = lengket dan rusak, d = rusak sekali