

**PENGARUH PENINGKATAN WAKTU PENGUAPAN PELARUT
TWO STEP SELF-ETCH UNIVERSAL ADHESIVE TERHADAP
KEKUATAN IKAT TARIK PADA DENTIN**

*(Effect of Increasing Solvent Evaporation Time on the Tensile Bond Strength of Two
Step Self-Etch Universal Adhesive to Dentin)*



SKRIPSI

*Diajukan Kepada Universitas Hasanuddin Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*

YUSNITA DAMAYANTI

J011201090

**DEPARTEMEN KONSERVASI GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

**PENGARUH PENINGKATAN WAKTU PENGUAPAN PELARUT
TWO STEP SELF-ETCH UNIVERSAL ADHESIVE TERHADAP
KEKUATAN IKAT TARIK PADA DENTIN**

*(Effect of Increasing Solvent Evaporation Time on the Tensile Bond Strength of Two
Step Self-Etch Universal Adhesive to Dentin)*

SKRIPSI

*Diajukan Kepada Universitas Hasanuddin Sebagai Salah Satu Syarat
Untuk Mencapai Gelar Sarjana Kedokteran Gigi*

YUSNITA DAMAYANTI

J011201090

**DEPARTEMEN KONSERVASI GIGI
FAKULTAS KEDOKTERAN GIGI
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2023

LEMBAR PENGESAHAN

Judul : Pengaruh Peningkatan Waktu Penguapan Pelarut *Two Step Self-Etch Universal Adhesive* terhadap Kekuatan Ikat Tarik pada Dentin

Oleh : Yusnita Damayanti / J011201090

Telah Diperiksa dan Disahkan

Pada Tanggal 8 November 2023

Oleh :

Pembimbing

drg. Noor Hikmah, M.KG., Sp.KG Subsp KE(K)

NIP. 19830917 202204 4 001

Mengetahui,

Dekan Fakultas Kedokteran Gigi

Universitas Hasanuddin



drg. Irfan Sugianto, M.Med.Ed., Ph.D

NIP. 19810215 200801 1 009

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan mahasiswa yang tercantum di bawah ini :

Nama : Yusnita Damayanti

NIM : J011201090

Judul : Pengaruh Peningkatan Waktu Penguapan Pelarut *Two Step Self-Etch Universal Adhesive* terhadap Kekuatan Ikat Tarik pada Dentin

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul yang diajukan adalah judul baru dan tidak terdapat di Perpustakaan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin.

Makassar, November 2023

Koordinator Perpustakaan FKG Unhas



Amiruddin, S.Sos

NIP. 19661121 199201 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yusnita Damayanti

NIM : J011201090

Menyatakan bahwa skripsi dengan judul "**Pengaruh Peningkatan Waktu Penguapan Pelarut *Two Step Self-Etch Universal Adhesive* terhadap Kekuatan Ikat Tarik pada Dentin**" benar merupakan karya saya. Judul skripsi ini belum pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi. Jika di dalam skripsi ini terdapat informasi yang berasal dari sumber lain, saya nyatakan telah disebutkan sumbernya di dalam daftar pustaka.

Makassar, 9 November 2023



Yusnita Damayanti

J011201090

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat dan rahmat-Nya lah penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul “**Pengaruh Peningkatan Waktu Penguapan Pelarut *Two Step Self-Etch Universal Adhesive* terhadap Kekuatan Ikat Tarik pada Dentin**”. Penulisan skripsi ini bertujuan untuk memenuhi salah satu syarat mencapai gelar Sarjana Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin. Lebih dari itu, penulis sangat mengharapkan dapat memberikan manfaat bagi para mahasiswa, masyarakat, dan peneliti untuk menambah informasi rasional dalam bidang ilmu kedokteran gigi.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis mengalami beberapa kendala yang dihadapi. Namun, berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai belah pihak penulisan skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, melalui kesempatan ini penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua penulis, **Jamal Abbas** dan **Suriani** serta kakak dan adik (**Ical, Naya, Nailah, Ayra**) yang telah memberikan dukungan baik berupa moral dan materil serta do'a yang tiada hentinya kepada penulis selama ini. Semoga Allah melimpahkan rahmat-Nya serta memberikan kesehatan.
2. **drg. Noor Hikmah, M.KG., Sp.KG Subsp KE(K)**, selaku dosen pembimbing dalam penulisan skripsi ini yang banyak meluangkan waktu untuk memberikan

arahan, bimbingan, dan dukungan untuk memotivasi penulis sehingga penulis mampu berhasil menyelesaikan penelitian dan skripsi ini.

3. **Dr. drg. Maria Tanumihardja, MDSc dan drg. Wahyuni Suci Dwiandhany, Ph.D., Sp.KG Subsp KR(K)** selaku dosen penguji yang telah memberikan masukan-masukan bermanfaat untuk kesempurnaan dalam penyusunan skripsi ini.
4. **drg. Irfan Sugianto, M.Med.Ed., Ph.D,** selaku Dekan Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin yang telah memberikan motivasi kepada seluruh mahasiswa untuk menyelesaikan skripsi tepat waktu.
5. **Seluruh Dosen, Staf Akademik, Staf Tata Usaha, dan Staf Perpustakaan FKG UNHAS serta Staf Departemen Konservasi Gigi** yang telah banyak membantu penulis.
6. Staf Laboratorium Konservasi FKG, **Pak Bambang dan Pak Talle** serta staf Laboratorium Metalurgi Fisik Fakultas Teknik, **Pak Edy** yang telah banyak membantu dalam proses penelitian ini.
7. **Sasa, Dinda, dan Arkan** serta **drg. Aryuni Abd. Gaffar dan drg. Nurlaela Tahir** selaku teman seperjuangan penelitian penulis yang telah memberikan dukungan dan bantuan dari awal hingga akhir penelitian.
8. Dokter residen konservasi terkhusus **drg. Sakiya Mustainah dan drg. Jade** yang telah memberikan banyak masukan dalam penulisan skripsi ini.
9. Teman-teman angkatan **ARTIKULASI 2020** dan secara khusus kepada **Shohwah, Lola, Aqilah, Ummul, Sri, Farhani, Erika, Iky** selaku teman

seperjuangan penulis yang telah kebersamai dan memberikan motivasi serta do'a mulai dari awal hingga akhir perkuliahan kepada penulis

10. **Husnul Khairiyah, Winda Meyzulvina, St. Syaikhatul Islamiyah K, Yolanda Gabriella M.** selaku teman yang selalu memberikan dukungan selama penyusunan skripsi.
11. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, penulis sangat mengharapkan dalam tulisan ini mampu menjadi sumber informasi rasional yang bermanfaat dalam bidang ilmu kedokteran gigi untuk ke depannya. Penulis menyadari dalam penulisan ini sangat jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik untuk membantu menyempurnakan skripsi ini.

Makassar, 14 Oktober 2023

Penulis

ABSTRACT

EFFECT OF INCREASING SOLVENT EVAPORATION TIME ON THE TENSILE BOND STRENGTH OF TWO STEP SELF-ETCH UNIVERSAL ADHESIVE TO DENTIN

Yusnita Damayanti¹

¹Dental Student of Hasanuddin University, Indonesia

*damayantiyusnita26@gmail.com*¹

Background: Solvents are adhesive components that support the co-monomer and initiator mixture transport into the tooth. Evaporation of the solvent within the accurate air-blowing time is very important before polymerization. Inadequate evaporation of the adhesive solvent can cause incomplete resin polymerization, the formation of voids and cracks in the adhesive layer, which can cause a decrease in mechanical properties, especially tensile strength. Solvent evaporation can be achieved by increasing the evaporation time and/or temperature, however the evaporation temperature is not practical to control in the doctor's daily clinical practice. **Objective:** This study aims to evaluate the effect of increasing solvent evaporation time on the tensile bond strength of two step self-etch universal adhesive to dentin. **Method:** The method used is laboratory experimental with a post-test only control group design. Thirty bovine tooth samples that met the inclusion and exclusion criteria were divided into 3 groups (Groups 5 seconds, 10 seconds, and 15 seconds). All samples were prepared, then adhesive was applied with evaporation time according to the group, restored with composite resin, then a tensile bond strength test was performed. Data were analyzed using One way ANOVA and Post hoc test. **Results:** There were significant differences between all treated groups ($p=0.000$). The highest tensile bond strength value was in the 15 second group (70.84 MPa \pm 3.27), the 10 second group (46.69 MPa \pm 2.40), and the lowest was in the 5 second group (37.69 Mpa \pm 2.85). **Conclusion:** Increasing solvent evaporation time can increase the tensile bond strength of two step self-etch universal adhesive on dentin.

Keywords: two step self-etch universal adhesive, tensile bond strength, solvent.

ABSTRAK

PENGARUH PENINGKATAN WAKTU PENGUAPAN PELARUT *TWO STEP SELF-ETCH UNIVERSAL ADHESIVE* TERHADAP KEKUATAN IKAT TARIK PADA DENTIN

Yusnita Damayanti

¹Mahasiswa Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Hasanuddin, Indonesia

damayantiyusnita26@gmail.com¹

Latar belakang: Pelarut merupakan komponen adhesif yang berfungsi untuk membantu transportasi campuran ko-monomer dan inisiator ke dalam gigi. Penguapan pelarut dalam waktu *air-blowing* yang tepat sangat penting dilakukan sebelum polimerisasi. Penguapan pelarut adhesif yang tidak adekuat dapat menyebabkan polimerisasi resin tidak sempurna, terbentuknya celah dan retakan pada lapisan adhesif, sehingga dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik, utamanya kekuatan tarik. Penguapan pelarut dapat dicapai dengan meningkatkan waktu dan/atau suhu penguapan, akan tetapi suhu penguapan tidak praktis untuk dikontrol dalam praktik klinis dokter sehari-hari. **Tujuan:** Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan waktu penguapan pelarut terhadap kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive* pada dentin. **Metode:** Metode yang digunakan adalah eksperimental laboratoris dengan desain penelitian *post-test only control group design*. Tiga puluh sampel gigi sapi yang memenuhi kriteria inklusi dan eksklusi dibagi menjadi 3 kelompok (Kelompok 5 detik, 10 detik, dan 15 detik). Semua sampel dipreparasi, kemudian diaplikasikan adhesif dengan waktu penguapan sesuai kelompok, direstorasi resin komposit, lalu dilakukan uji kekuatan ikat tarik. Data dianalisa dengan *One way ANOVA* dan *Post hoc test*. **Hasil:** Terdapat perbedaan bermakna antara semua kelompok perlakuan ($p=0.000$). Nilai kekuatan ikat tarik tertinggi pada kelompok 15 detik ($70.84 \text{ MPa} \pm 3.27$), kelompok 10 detik ($46.69 \text{ MPa} \pm 2.40$), dan terendah pada kelompok 5 detik ($37.69 \text{ Mpa} \pm 2.85$). **Kesimpulan:** Peningkatan waktu penguapan pelarut dapat meningkatkan kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive* pada dentin.

Kata Kunci: *two step self-etch universal adhesive*, kekuatan ikat tarik, pelarut.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRACT	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.3.1. Tujuan umum.....	3
1.3.2. Tujuan khusus.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.4.1. Manfaat Umum.....	3
1.4.2. Manfaat Khusus.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Klasifikasi <i>Adhesive</i>	5
2.1.1. Berdasarkan Generasi	5
2.1.2. Berdasarkan Tahapan Aplikasi.....	9
2.2 Komposisi <i>Adhesive</i>	12
2.2.1 Monomer	12
2.2.2 Pelarut.....	14
2.2.3 Fotoinisiator.....	15
2.2.4 Filler.....	15
2.3 Jenis Pelarut dalam Bahan <i>Adhesive</i>	16
2.3.1 Air (H ₂ O)	16
2.3.2 Etanol (C ₂ H ₆ O).....	17

2.3.3 Aseton (C ₃ H ₆ O)	17
2.3.4 Isopropanol (C ₃ H ₈ O)	18
2.3.5 Tert-butanol (C ₄ H ₁₀ O)	19
2.4 Efek sisa Pelarut dalam Lapisan Adhesif.....	19
2.4.1. Penurunan Degree of Conversion Resin Monomer	19
2.4.2. Nanoleakage	20
2.4.3. Penurunan Kekuatan Ikatan.....	21
2.5 Teknik Penguapan Pelarut	21
2.5.1. Penggunaan <i>Air-blow</i> dengan Durasi yang Lebih Lama	21
2.5.2. Penggunaan <i>Air-blow</i> dengan Suhu Hangat	22
2.6 Resin Komposit.....	22
2.7 Kekuatan Ikat Tarik (<i>Tensile bond strength</i>).....	23
2.8 Gigi sapi	25
BAB III KERANGKA PENELITIAN.....	26
3.1 Kerangka Teori.....	26
3.2 Kerangka Konsep	27
3.3 Hipotesis	27
BAB IV METODE PENELITIAN.....	28
4.1. Jenis Penelitian.....	28
4.2. Desain Penelitian	28
4.3. Waktu dan Lokasi Penelitian	28
4.3.1. Waktu penelitian.....	28
4.3.2. Lokasi penelitian.....	28
4.4. Sampel Penelitian.....	28
4.5. Kriteria Sampel	29
4.5.1. Kriteria inklusi.....	29
4.5.2. Kriteria eksklusi.....	29
4.6. Besar Sampel	29
4.7. Variabel Penelitian.....	30
4.8. Definisi Operasional	30
4.9. Alat dan Bahan Penelitian.....	31

4.9.1. Alat	31
4.9.2. Bahan	31
4.10. Prosedur Penelitian	33
4.10.1. Persiapan Sampel	33
4.10.2. Aplikasi Bahan <i>Adhesive</i>	33
4.10.3. Uji Kekuatan Ikat Tarik.....	34
4.11. Analisis Data.....	34
4.12. Alur Penelitian.....	35
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	36
5.1 Hasil	36
5.2 Pembahasan.....	39
BAB VI PENUTUP	43
6.1 Kesimpulan.....	43
6.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN.....	50

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1 Klasifikasi adhesive berdasarkan tahapan aplikasi klinis
- Gambar 2.2A *Universal tensile strength testing machine*
- Gambar 2.2B Pengujian TBS spesimen pada UTM
- Gambar 2.2C Ilustrasi pengujian kekuatan ikat tarik
- Gambar 5.1 Rerata kekuatan ikat tarik antara kelompok perlakuan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat-sifat pelarut yang umum digunakan dalam adhesif
Tabel 4.1	Pabrik, komposisi, metode polimerisasi dari bahan adhesif dan komposit yang digunakan dalam penelitian ini
Tabel 5.1	Hasil uji normalitas dan uji homogenitas untuk masing-masing kelompok
Tabel 5.2	Rerata dan simpang baku kekuatan ikat tarik pada setiap kelompok
Tabel 5.3	Analisis Post Hoc rerata kekuatan ikat tarik pada setiap kelompok

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Resin komposit merupakan salah satu jenis bahan restorasi sewarna gigi yang paling populer saat ini karena memiliki keunggulan dalam bidang estetik. Keberhasilan restorasi resin komposit dapat dicapai salah satunya dengan penggunaan bahan adhesif yang dapat membantu perlekatan resin komposit pada struktur gigi. Efektivitas sistem adhesif dapat dipengaruhi oleh perbedaan struktur pada email dan dentin. Kandungan air dan matriks organik pada dentin lebih tinggi dibandingkan email sehingga ikatan bahan adhesif lebih sulit dicapai pada dentin dibandingkan pada email.¹⁻³

Beberapa modifikasi telah dilakukan pada bahan adhesif untuk meningkatkan kekuatan ikatan pada substrat gigi, yang meliputi komposisi kimia, mekanisme ikatan, jumlah tahapan, dan teknik aplikasinya. Berdasarkan mekanisme ikatannya, bahan adhesif diklasifikasikan menjadi *etch-and-rinse adhesive*, *self-etch adhesive*, dan *universal adhesive* yang merupakan generasi adhesif terbaru.⁴

Universal adhesive umumnya mengandung monomer karboksilat dan/atau fosfat spesifik, fotoinisator, *filler* dan pelarut. Pelarut merupakan komponen yang berfungsi untuk membantu transportasi campuran ko-monomer dan inisiator ke dalam gigi. Selain itu, pelarut juga membantu mengencerkan monomer yang kental dan memfasilitasi infiltrasinya ke dalam dentin yang terdemineralisasi, serta memungkinkan ionisasi lengkap dari monomer asam dalam *self-etch adhesive*. Namun di sisi lain, penguapan pelarut dalam waktu *air-blowing* yang tepat sangat penting

dilakukan sebelum polimerisasi. Penguapan pelarut adhesif yang tidak adekuat dapat menyebabkan polimerisasi resin tidak sempurna, terbentuknya celah dan retakan pada lapisan adhesif, sehingga dapat menyebabkan penurunan sifat mekanik, utamanya kekuatan tarik.⁵⁻⁷

Penguapan pelarut dapat dicapai dengan meningkatkan waktu dan/atau suhu penguapan, akan tetapi suhu penguapan tidak praktis untuk dikontrol dalam praktik klinis dokter sehari-hari. Oleh karena itu dalam penelitian ini peningkatan waktu penguapan pelarut digunakan sebagai variabel dependen. Hal ini sejalan dengan penelitian Luque-Martinez, dkk. (2014) yang menunjukkan bahwa kekuatan ikatan *universal adhesive* pada dentin dapat ditingkatkan dengan menambah durasi penguapan pelarut dari waktu yang diinstruksikan pabrik.⁸⁻¹⁰

Penelitian terkait pengaruh waktu penguapan pelarut adhesif terhadap kekuatan ikat tarik pada dentin telah banyak dipublikasikan, namun belum ditemukan penelitian yang mengkaji pengaruh peningkatan waktu penguapan pelarut terhadap kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive* pada dentin. Penelitian ini penting untuk mengetahui waktu penguapan pelarut yang dibutuhkan untuk mendapatkan ikatan resin komposit dengan dentin yang optimal. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh peningkatan waktu penguapan pelarut terhadap kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive* pada dentin.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dapat dirumuskan masalah sebagai berikut:

Bagaimana pengaruh peningkatan waktu penguapan pelarut *two step self-etch universal adhesive* terhadap kekuatan ikat tarik pada dentin?

1.3 Tujuan Penelitian

1.3.1. Tujuan umum

Mengevaluasi pengaruh peningkatan waktu penguapan pelarut terhadap kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive* pada dentin.

1.3.2. Tujuan khusus

1. Mengevaluasi kekuatan ikat tarik bahan *two step self-etch universal adhesive* pada dentin dalam waktu penguapan pelarut 5 detik.
2. Mengevaluasi kekuatan ikat tarik bahan *two step self-etch universal adhesive* pada dentin dalam waktu penguapan pelarut 10 detik.
3. Mengevaluasi kekuatan ikat tarik bahan *two step self-etch universal adhesive* pada dentin dalam waktu penguapan pelarut 15 detik.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1. Manfaat Umum

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan pengetahuan mengenai waktu penguapan pelarut sebagai salah satu variabel yang dapat mempengaruhi kekuatan ikatan *two step self-etch universal adhesive* pada dentin.

1.4.2. Manfaat Khusus

Memberikan informasi ilmiah di bidang konservasi kedokteran gigi mengenai waktu optimal untuk penguapan pelarut *two step self-etch universal adhesive*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi *Adhesive*

Adhesive saat ini dapat diklasifikasikan berdasarkan generasi, jumlah tahapan aplikasi, dan mekanisme adhesinya. Adapun klasifikasi *adhesive* berdasarkan generasinya antara lain¹¹

2.1.1. Berdasarkan Generasi

Bahan adhesif dapat dikategorikan secara kronologis berdasarkan generasi, yaitu sistem identifikasi historis yang biasa digunakan oleh produsen adhesif. Generasi mengacu pada kapan dan dalam urutan apa jenis adhesif ini dikembangkan oleh industri. Perkembangan adhesif kedokteran gigi dimulai pada tahun 1955 oleh Buonocore dengan penggunaan etsa asam. Dengan perkembangan teknologi, adhesif telah berevolusi dari sistem tanpa etsa menjadi *total etch* (generasi ke-4 dan ke-5) dan sistem *self-etch* (generasi ke-6, ke-7 dan ke-8). Setiap generasi dikembangkan untuk mengurangi jumlah botol yang digunakan, untuk meminimalkan jumlah langkah prosedural, untuk memberikan teknik aplikasi yang lebih singkat dan untuk memberikan sifat kimia yang lebih baik untuk memfasilitasi ikatan yang lebih kuat.¹²

a. Generasi Pertama hingga Generasi Ketiga

Sistem bonding generasi pertama dikembangkan oleh Buonocore pada tahun 1956, yang mendemonstrasikan bahwa penggunaan resin yang mengandung *glycerophosphoric acid dimethacrylate* (NPG-GMA) dapat berikatan dengan

dentin etsa asam. *Bonding agent* ini dirancang untuk ikatan ionik dengan hidroksiapatit atau untuk ikatan kovalen (ikatan hidrogen) dengan kolagen. Secara keseluruhan, generasi ini menyebabkan hasil klinis yang sangat buruk serta kekuatan ikatan yang rendah dalam kisaran 1-3 MPa.¹²

Pada akhir 1970-an dan awal 1980-an, resin bonding email dan dentin (generasi kedua) digunakan, dan di-*light curing*. Etsa tidak diaplikasikan pada dentin, sehingga resin bonding yang diaplikasikan pada dentin hanya melekat pada *smear layer*. Ikatan yang dihasilkan ke dentin adalah ikatan yang sangat lemah (2 sampai 6 MPa). Kemudian pada tahun 1980-an, ditemukan bahwa *smear layer* mengganggu kemampuan resin bonding untuk berikatan dengan dentin. Komponen asam dari sistem bonding (generasi ketiga) digunakan untuk menghilangkan *smear layer*, tetapi dentin tidak dietsa dengan adekuat lalu dikeringkan. Sehingga, resin bonding tidak menembus permukaan dentin dengan efektif. Oleh karena itu, kekuatan ikatan masih relatif rendah (kekuatan ikatan 12 sampai 15 MPa).¹³

b. Generasi Keempat

Generasi keempat menggunakan etsa asam dentin untuk menghilangkan *smear layer*. Generasi ini dikenal dengan teknik “*total-etch*” atau *etch-and-rinse*. Teknik ini terdiri atas 3 (tiga) tahap, yaitu: penggunaan asam fosfat, aplikasi primer yang berisi monomer hidrofilik reaktif yang terlarut dalam etanol/aseton/air, aplikasi bahan *bonding* resin yang mengandung atau tidak mengandung filler. Teknik untuk *bonding* dentin ini populer di tahun 1990-an hingga saat ini. Kekuatan ikatan adhesif ini kurang lebih 20 MPa dan secara signifikan mengurangi *marginal*

leakage dibandingkan generasi sebelumnya, namun generasi ini cukup memakan waktu dengan banyaknya botol dan tahapan aplikasi.^{12,14}

c. Generasi Kelima

Sistem adhesif generasi kelima berusaha menyederhanakan proses adhesi generasi keempat dengan mengurangi langkah klinis yang menghasilkan pengurangan waktu kerja. Generasi ini dikenal dengan istilah *two-step etch-and-rinse adhesives* atau sistem “*one bottle*”. Istilah “*one bottle*” digunakan skarena primer dan bahan *bonding* berada dalam satu botol. Etsa asam fosfat tetap diperlukan dan digunakan terpisah. Beberapa studi jangka panjang menunjukkan bahwa adhesif gigi generasi ke-5 mencapai kekuatan ikatan klinis yang tinggi, mencapai 25 MPa.¹²

d. Generasi Keenam

Bahan *adhesive* generasi keenam diperkenalkan di akhir tahun 1990, yang dikenal dengan istilah *two-step self-etch systems* atau *self etching-primer* (SEP). *Self-etching-primer* mengkombinasikan etsa dan primer, memungkinkan monomer resin menembus (penetrasi) substrat dentinal melalui *smear layer* tanpa membilas etsa dan pengeringan, sehingga mengurangi kemungkinan *over-wetting* atau *overdrying* yang berpengaruh terhadap adhesi. Data menunjukkan bahwa adhesif generasi ke-6 berikatan dengan baik pada dentin (41 MPa dalam 24 jam), sedangkan ikatan ke enamel lebih lemah setidaknya 25% terhadap enamel dibandingkan dengan *adhesive* generasi ke-4 dan ke-5 dalam studi data gabungan.^{12,14}

e. Generasi Ketujuh

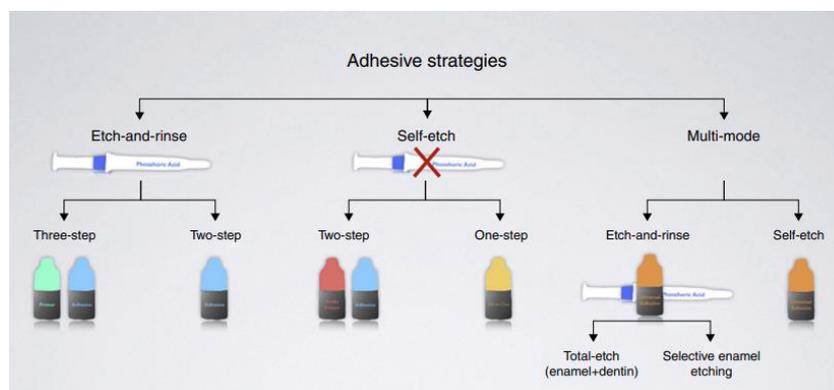
Generasi ini diperkenalkan di akhir tahun 2002 dan dikenal dengan istilah *one-step self-etch adhesives* atau “*all-in-one*”. Generasi ini mengkombinasikan etsa, primer dan bahan *bonding* dalam satu larutan agar aplikasinya lebih efisien. *All-in-one adhesives* mengandung *uncured ionic monomers* sehingga dapat berkontak dengan restorasi resin komposit secara langsung. Tipe ini bersifat seperti membran semi permeabel sehingga dapat memicu degradasi hidrolitik ikatan resin dentin. Beberapa monomer resin yang digunakan terlalu bersifat hidrofilik sehingga rentan terhadap degradasi.¹⁴

f. Generasi Kedelapan (*Universal Adhesive*)

Perkembangan terbaru bahan adhesif di bidang kedokteran gigi adalah *universal adhesive*. Generasi ini dikenal sebagai bahan *adhesive* “Multi mode” atau “Multipurpose” karena dapat digunakan dengan teknik *etch-and-rinse*, *self-etch* atau *selective etch* tergantung dari kondisi klinisnya. *Universal adhesive* pada dasarnya adalah *one step self-etch adhesive* yang dapat digunakan dengan strategi *adhesive* yang berbeda. Meskipun *universal adhesive* memiliki komposisi yang hampir sama dengan *one step self-etch adhesive* konvensional, sebagian besar *universal adhesive* juga mengandung monomer karboksilat dan/atau fosfat spesifik yang berikatan secara ionik dengan kalsium dalam hidroksiapatit dalam bentuk *nanolayering*.^{14,15}

2.1.2. Berdasarkan Tahapan Aplikasi

Adhesive saat ini dibedakan menjadi *etch-and-rinse adhesive* yang memiliki langkah pengetsaan dan pembilasan terpisah sebelum tahap *priming* dan *bonding*, *self-etch adhesive* yang menghilangkan prosedur pembilasan setelah etsa dengan menggunakan monomer asam untuk mengetsa dan *primer* dentin secara bersamaan, serta *universal adhesive* yang dapat digunakan dengan teknik *etch-and-rinse* maupun *self-etch*. Sistem ini kemudian disubklasifikasikan berdasarkan jumlah tahapan aplikasi yang digunakan menjadi *three step* dan *two step etch-and-rinse adhesive* serta *two step* dan *one step self-etch adhesive*.¹⁶



Gambar 2.1 Klasifikasi *adhesive* berdasarkan tahapan aplikasi klinis¹⁶

a. *Etch-and-rinse Adhesive*

Etch-and-rinse adhesive, atau yang dikenal sebagai *total-etch adhesive*, menggunakan asam fosfat 35-37% untuk mengetsa email dan dentin, yang diikuti dengan pembilasan air menyeluruh pada permukaan yang telah dietsa. Pada email, asam menghilangkan *smear layer* dari permukaan email dan mendemineralisasi hidroksiapatit superfisial untuk mengekspos prisma email yang telah dietsa. Bahan adhesif kemudian menembus prisma email yang telah dietsa untuk membentuk resin mikrotag yang *interlock* dengan porositas email superfisial yang terbentuk

dari prosedur pengetsaan. Pada dentin, asam akan mendemineralisasi hidroksiapatit superfisial dan menghilangkan *smear layer* dan *smear plugs* untuk membuka fibril kolagen yang melekat pada dentin yang terdemineralisasi di bawahnya dan membuka tubulus dentin.¹⁷

1. *Three step etch-and-rinse adhesive*

Pada *three step etch-and-rinse adhesive*, primer kaya pelarut (monomer fungsional hidrofilik) diaplikasikan setelah etsa asam fosfat dan dibilas dengan air, kemudian dikeringkan dengan udara, diikuti oleh aplikasi resin adhesif (resin *cross-linker* hidrofobik) yang harus dipolimerisasi.¹⁸

2. *Two step etch-and-rinse adhesive*

Pada *two step etch-and-rinse adhesive*, primer dan bonding (primer hidrofilik dan resin hidrofobik dicampur dalam satu larutan) diaplikasikan secara bersamaan pada dentin dan enamel setelah aplikasi etsa, kemudian dibilas dengan air dan diikuti dengan pengeringan udara dan polimerisasi.¹⁸

b. *Self-etch Adhesive*

Untuk mengatasi masalah yang terkait dengan kedalaman dentin demineralisasi dan infiltrasi resin pada *etch-and-rinse adhesive*, diperkenalkan sistem *self-etch adhesive* dengan pendekatan *user-friendly* dan lebih minim sensitif dengan tujuan untuk penyederhanaan dan pengurangan waktu aplikasi.¹⁸

Dalam sistem *adhesive self-etch* tidak diperlukan langkah pengetsaan terpisah, karena adhesif telah mengandung monomer fungsional asam yang secara bersamaan mengetsa dan melapisi substrat gigi untuk *bonding*. Monomer fungsional asam dalam *adhesive self-etch* melarutkan *smear layer* dan

demineralisasi substrat gigi di bawahnya untuk menciptakan zona interdifusi tipis, yang terdiri dari zona permukaan dari hibridisasi *smear layer* dan *hibrid layer* di bawah permukaan. *Adhesive self-etch* mendemineralisasi sebagian dentin dan dapat membentuk interaksi kimia dengan kristal hidroksiapatit, sehingga meningkatkan daya tahan ikatan jangka panjang.^{19,20}

1. *Two step self-etch adhesive*

Pada sistem adhesif ini enamel dan dentin secara bersamaan diaplikasikan dengan primer asam *self-etching*, diikuti dengan aplikasi resin adhesif (resin hidrofobik), yang harus dipolimerisasi.¹⁸

2. *One step self-etch adhesive*

Pada *one step self-etch adhesive* primer asam dan resin adhesif hidrofobik digabung dalam satu larutan etsa tersendiri. Larutan ini kemudian mengetsa, primer, kemudian menginfiltrasi ke dalam substrat sebelum polimerisasi.¹⁸

c. *Universal Adhesive atau Multi-mode*

Universal adhesive merupakan generasi terbaru *adhesive* yang mengombinasikan primer dan resin *adhesive* untuk menyederhanakan prosedur klinis dengan sensitivitas yang relatif rendah. *Universal adhesive* juga dikenal sebagai adhesif “*multi-mode*” atau “*multi-purpose*” karena dapat digunakan sebagai *self-etch adhesive*, *etch-and-rinse adhesive*, atau sebagai *self-etch* pada dentin dan *etch-and-rinse* pada enamel (teknik yang biasa disebut sebagai *selective enamel etching*).²¹

Selective-etch mengacu pada teknik etsa konvensional dimana hanya tepi enamel preparasi yang dietsa dengan asam fosfat dan kemudian dibilas. Primer

asam atau *all-in-one self-etching adhesive* kemudian diaplikasikan pada dentin. *Smear layer* tidak dihilangkan, melainkan dimodifikasi karena permukaan tidak dibilas setelah aplikasi primer. Dalam teknik ini *bonding agent* memodifikasi *smear layer* dan menggabungkannya dalam proses bonding. Berdasarkan hal tersebut, *smear layer* bertindak sebagai *natural barrier* pulpa, melindunginya dari penetrasi bakteri dan juga membatasi aliran keluar cairan dentin yang dapat menghambat proses bonding.¹⁶

2.2 Komposisi Adhesive

Meskipun *adhesive* diklasifikasikan menjadi tiga kelompok (ERA, SEA, dan universal) dan terdiri dari berbagai jumlah tahapan, semua sistem adhesif memiliki komponen yang serupa, seperti monomer, inisiator, dan pelarut. Terlepas dari klasifikasi *adhesive*, ada kesamaan dalam komposisi kimianya; monomer hidrofilik, dengan afinitas untuk komponen organik dari substrat gigi, dan monomer hidrofobik, yang mendukung ikatan dengan komposit resin restoratif yang ditempatkan di atas lapisan *adhesive*. Selain itu, terdapat pelarut, foto dan/ atau kimia inisiator, dalam beberapa komposisi, terdapat sejumlah kecil partikel *filler*.²²

2.2.1 Monomer

Untuk membentuk ikatan kovalen yang baik antara *adhesive* dan komposit resin, *adhesive* mengandung monomer resin yang mirip dengan resin komposit. Monomer bertindak sebagai bahan utama yang memberikan kontinuitas struktural dan dengan demikian memberikan sifat mekanik seperti kekuatan. Monomer adalah konstituen utama *adhesive*. Dua jenis monomer dapat dibedakan: *cross linking*

(memiliki dua gugus yang dapat dipolimerisasi) dan monomer fungsional (umumnya hanya memiliki satu gugus yang dapat dipolimerisasi).¹⁶

Kerapatan monomer *cross-linking adhesive* secara signifikan mempengaruhi sifat mekanik dan integritas ikatan antarmuka. Dengan *cross-linking* yang lebih sedikit, polimer menunjukkan sifat mekanik yang berkurang, fleksibilitas yang lebih tinggi, dan peningkatan kerentanan terhadap degradasi pelarut. Akibatnya, monomer mono- dan multifungsi digunakan sebagai agen *cross-linking*, dan monomer basa memberikan polimer yang lebih kaku dan stabil untuk meningkatkan ikatan. Contoh monomer dasar yang banyak digunakan dalam *adhesive* saat ini termasuk *2-hidroksietil metakrilat* (HEMA); *bisphenol-A-diglycidylmethacrylate* (Bis-GMA), *triethyleneglycol-dimethacrylate* (TEGDMA) dan *uretan dimetakrilat* (UDMA).²²

Kelompok monomer fungsional yang mendukung adhesi dirancang untuk memungkinkan demineralisasi dan ikatan kimia ke substrat yang berbeda, seperti jaringan gigi, dan dalam kasus resin *cement*, juga ke permukaan keramik dan *alloy*. Gugus fungsional seperti karboksil, fosfat dan fosfonat memiliki sifat hidrofilik dan mudah terionisasi, meningkatkan kemampuan ikatan monomer dengan komponen anorganik jaringan gigi. Adapun monomer fungsional yang banyak digunakan adalah *4-methacryloyloxyethyl trimellitate anhydride* (4-META), *glycero-phosphate dimethacrylate* (GPDM) dan *10-methacryloyloxy-decyl-dihydrogen-phosphate* (10-MDP), yang ditambahkan ke rantai metil metakrilat.²²

2.2.2 Pelarut

Pelarut memungkinkan resin untuk menembus air pada dentin dan tubulus dentin, dan untuk menembus sekitar serat kolagen dan ke dalam porositas pada permukaan gigi yang terbentuk setelah pengaplikasian etsa. Pelarut dalam *adhesive* yaitu aseton, etanol (etil alkohol), atau kombinasi etanol dan air. Secara umum, pelarut adalah kandungan terbesar dari bahan adhesif, yang menyusun sekitar 60% atau lebih dari bahan. Semua botol *bonding agent* harus ditutup kembali segera setelah bahan dikeluarkan, untuk mencegah penguapan pelarut, yang menyebabkan penebalan resin secara bertahap sehingga mengurangi kemampuan untuk menembus dentin.¹³

Meskipun air dan pelarut organik merupakan komponen penting dari *adhesive*, pelarut dikeringkan secara optimal selama aplikasi klinis *adhesive*. Pelarut yang tersisa dalam *adhesive* dapat mempengaruhi polimerisasi dan dapat menyebabkan rongga dan meningkatkan permeabilitas lapisan *adhesive* yang telah *dicuring*. Hal ini dapat mempengaruhi ikatan resin-dentin. Dan sebaliknya, konsentrasi pelarut yang tinggi dalam lapisan adhesif sebelum polimerisasi dapat mencegah pencapaian polimer *cross-linking* yang tinggi dan membentuk rongga di antara lapisan antarmuka.^{10,23}

Jenis pelarut mempengaruhi tingkat penguapan di dalam mulut. Aseton menguap dengan cepat dan membutuhkan waktu pengeringan terpendek di mulut. Etanol menguap lebih lambat dan membutuhkan waktu pengeringan sedang. Air menguap sangat lambat dan membutuhkan waktu pengeringan paling lama.¹²

2.2.3 Fotoinisiator

Fotopolimerisasi adalah salah satu prosedur penting sebelum pengaplikasian komposit, untuk mendapatkan tingkat konversi yang optimal, sehingga kekuatan mekanik yang baik dari lapisan *adhesive*, dan untuk mencegah penipisan lapisan resin adhesif yang berlebihan dengan penerapan komposit. Penggunaan sistem fotoinisiator digunakan untuk menyerap insiden UV, dan/atau radiasi tampak, untuk mengubah monomer/pa-polimer menjadi polimer linier atau jaringan *crosslinked*.^{16,24}

Fotoinisiator merupakan senyawa dapat berdisosiasi menjadi radikal bebas setelah penyerapan energi cahaya, seperti *camphorquinone* (CQ), *1-phenyl-1,2-propanedione* (PPD), dan *phosphine oxide* (TPO). Fotoinisiator yang paling umum dalam bahan kedokteran gigi saat ini adalah CQ, yang memiliki aktivitas maksimum sekitar 470 nanometer. Aktivasi fotoinisiator terjadi pada panjang gelombang tertentu, dengan kata lain, efisiensi optimum diperoleh ketika absorptivitas puncak fotoinisiator sesuai dengan emisi spektral dari *light curing unit*.^{16,25}

2.2.4 Filler

Filler adalah bahan yang ditambahkan untuk memodifikasi kekuatan dan viskositas *adhesive*. Partikel silika berukuran nanometer telah ditambahkan ke beberapa *adhesive* untuk memperkuat *adhesive* dan dengan demikian menghasilkan kekuatan ikatan yang lebih tinggi. Partikel pengisi penguat berukuran sekitar 40-nm. Alasan lain untuk penambahan *filler* adalah untuk secara efektif memodifikasi *adhesive* menjadi lebih kental, dengan konsistensi seperti pasta untuk menghasilkan

lapisan ikatan yang lebih tebal yang dapat meningkatkan kekuatan ikatan dengan mencegah inhibisi oksigen. Selain itu, lapisan *adhesive* yang tebal dapat mengurangi *shrinkage stress* karena lebih sesuai, yang mengurangi tekanan akibat penyusutan, dibandingkan dengan komposit restoratif. Beberapa jenis partikel *filler* yang digunakan dalam kedokteran gigi yaitu *colloidal silica*, hidroksiapatit, *ytterbium trifluoride*, *tantalum oxide*, *glass* dan zirkonia.^{2,12,26}

2.3 Jenis Pelarut dalam Bahan *Adhesive*

Beberapa jenis pelarut yang umumnya digunakan dalam *adhesive* yaitu air, etanol, aseton, isopropanol, dan tert-butanol (Tabel 2.1).

Tabel 2.1 Sifat-sifat pelarut yang umum digunakan dalam *adhesive*^{22,27,28}

Pelarut	Momen dipol	Konstanta dielektrik	Titik didih	Tekanan uap (mmHg pada 25°C)	Kemampuan membentuk ikatan hidrogen
Air	1.85	80	100	23.8	Tinggi
Etanol	1.69	24.3	78.5	54.1	Sedang
Aseton	2.88	20.7	56.2	200	Rendah
Isopropanol	1.66	18.3	82.3	45.4	Rendah
Tert-butanol	1.7	12.5	82.4	46	Sedang

2.3.1 Air (H₂O)

Air adalah pelarut polar dengan potensi tinggi untuk memutuskan ikatan hidrogen di antara fibril kolagen, memungkinkan reekspansi dan infiltrasi resin lebih lanjut, yang sangat penting untuk pembentukan *hybrid layer* pada *etch-and-rinse adhesive*. Karakteristik penting lain dari pelarut ini, adalah kemampuan untuk mengionisasi monomer asam yang terdapat dalam *self-etch adhesive*, yang bertanggung jawab atas adhesi kimia dari sistem ini. Namun demikian, tekanan uap

air yang rendah membuatnya sulit dihilangkan dari lapisan adhesif. Oleh karena itu, kombinasi dengan pelarut lain direkomendasikan untuk memberikan penguapan yang lebih baik, dan dengan tingkat konversi *adhesive* yang lebih tinggi dan *hybrid layer* dengan kualitas yang lebih baik, sehingga meningkatkan ikatan.^{22,29}

2.3.2 Etanol (C₂H₆O)

Etanol merupakan zat polar yang membentuk ikatan hidrogen dengan zat yang kompatibel, seperti air. Konsentrasi ideal etanol dalam sistem adhesif yaitu 20% atau lebih rendah, yang cukup untuk mengurangi viskositas resin, meningkatkan mobilitas molekul dan konversi polimer. Dalam konsentrasi yang lebih tinggi dapat membahayakan sifat mekanik *adhesive* dan mendorong pemisahan fase komponen hidrofobik/hidrofilik.^{22,28}

Etanol dapat memperluas dan meningkatkan kekakuan matriks kolagen dentin, memfasilitasi infiltrasi monomer melalui jaringan kolagen dentin demineralisasi. Namun, etanol yang digunakan dalam SEA, dikombinasikan dengan monomer yang memiliki gugus karboksil (seperti 10-MDP), dapat mempengaruhi kemampuan untuk mengetsa permukaan gigi karena esterifikasi gugus karboksilat oleh gugus hidroksil etanol. Selain itu, kelebihan etanol yang tersisa setelah pengeringan udara dapat meningkatkan penyerapan air dan kelarutan *adhesive*, meningkatkan degradasi hidrolitik, serta meningkatkan potensi sitotoksitas pada sel pulpa.²²

2.3.3 Aseton (C₃H₆O)

Dengan aseton, momen dipol dan konstanta dielektrik memungkinkan campuran senyawa polar/nonpolar, berguna untuk *single-bottle adhesive* yang menggabungkan monomer hidrofobik dan hidrofilik. Karena momen dipolnya yang

tinggi dan kemampuan evaporasinya yang tinggi, aseton memiliki efek *after chasin* yang membantu menghilangkan kelebihan air dari permukaan gigi. Namun, tekanan uapnya yang tinggi meningkatkan volatilitas dibandingkan dengan etanol, dan oleh karena itu diperlukan peningkatan konsentrasi pelarut, yang mengurangi konsentrasi monomer dan biasanya membutuhkan penerapan setidaknya dua lapisan ikatan untuk meningkatkan kekuatan ikatan yang optimal. volatilisasi aseton yang lebih tinggi dibandingkan dengan pelarut lain cenderung mengurangi umur simpan dan dapat mempengaruhi penggunaannya oleh beberapa produsen.^{22,29}

2.3.4 Isopropanol (C₃H₈O)

Isopropanol adalah pelarut yang relatif baru digunakan dalam *bonding* dentin. Isopropanol digabungkan bersama dengan air sebagai co-solvent dalam salah satu *one step self-etch adhesive* komersial. Penelitian menunjukkan bahwa *one step self-etch adhesive* dengan isopropanol dapat menghasilkan ikatan yang stabil hingga 6 bulan. Propanol memiliki tekanan uap yang tinggi, hampir sama dengan etanol. Namun, dentin yang diaplikasikan dengan primer HEMA/propanol memiliki kekuatan ikatan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan primer HEMA/air, HEMA/metanol dan HEMA/etanol. Selain itu, tingkat pengerasan propanol (0,5 MPa/menit) juga jauh lebih rendah dari aseton (0,9 MPa/menit) dan etanol (0,8 MPa/menit). Hal ini dapat meningkatkan *shrinkage* demineralisasi matriks dan mengurangi ruang antara kolagen fibril untuk infiltrasi resin.²⁸

2.3.5 Tert-butanol (C₄H₁₀O)

Tert-butanol atau 2-metil-2-propanol memiliki rantai molekul dengan hidrogen lebih sedikit dan berat molekul lebih tinggi dibandingkan dengan alkohol lainnya. Struktur molekul terdiri dari 4 karbon, dengan satu gugus alkohol dikelilingi oleh tiga gugus metil, memberikan stabilitas dan kompatibilitas yang lebih tinggi dengan air dan resin polimerisasi dibandingkan dengan sistem berbasis etanol. Titik didih tert-butanol yang lebih rendah dibandingkan dengan etanol dan aseton, menghasilkan penguapan yang lebih lambat, waktu kerja yang lebih lama dan penyusutan matriks kolagen dentin yang lebih sedikit, meningkatkan ketahanan *hybrid layer* pada dentin kering ataupun basah. Terlepas dari indikasi *adhesive* berbasis butanol untuk pendekatan '*wet-bonding*' dan '*dry*', penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kekuatan ikatan yang lebih besar pada dentin basah daripada dentin kering.²²

2.4 Efek sisa Pelarut dalam Lapisan Adhesif

Beberapa efek yang ditimbulkan akibat adanya sisa pelarut dalam lapisan adhesif antara lain penurunan *degree of conversion* resin monomer, *nanoleakage*, dan penurunan kekuatan ikatan.

2.4.1. Penurunan Degree of Conversion Resin Monomer

Konversi monomer menjadi polimer berperan penting dalam keberhasilan ikatan dentin. *Degree of conversion* (DC) yang tinggi berkorelasi dengan sifat mekanik yang lebih baik dalam bahan resin, serta biokompatibilitas yang lebih tinggi. DC yang tidak memadai dari monomer *adhesive* dapat menyebabkan

penurunan sifat material, yang dapat menyebabkan penurunan daya tahan restorasi.³⁰

Peningkatan kandungan pelarut akan menghasilkan dilusi fotoinisiator, yang menyebabkan penurunan laju konversi monomer/ko-monomer resin. Penelitian menunjukkan bahwa *degree of conversion* (DC) berkorelasi dengan kandungan pelarut campuran co-monomer. Penelitian menunjukkan bahwa DC dari monomer resin dalam *adhesive* dapat turun menjadi 10% -17%, ketika konsentrasi sisa pelarut melebihi 20% berat.²⁸

2.4.2. Nanoleakage

Nanoleakage didefinisikan sebagai kebocoran ion dan molekul secara internal melalui celah berukuran nanometer, biasanya di sekitar fibril kolagen pada *hybrid layer* pada antarmuka resin-gigi. *Nanoleakage* dapat menyebabkan difusi mikroorganisme, produk bakteri, dan cairan oral di sepanjang antarmuka resin-dentin. Hal ini akan menyebabkan kerusakan “hidrolitik” resin pada bonding agent dan kolagen yang terdapat pada *hybrid layer*. Dengan demikian, melemahkan kekuatan ikatan antarmuka resin-dentin, yang selanjutnya dapat mempengaruhi retensi restorasi yang secara langsung berdampak pada keberhasilan perawatan, dan dalam jangka waktu tertentu dapat mempengaruhi kesehatan pulpa dan vitalitas gigi.³¹

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika *hybrid layer* atau lapisan adhesif pada antarmuka resin-dentin memiliki sisa air dalam jumlah berlebih, akan menyebabkan degradasi hidrolitik ikatan karena penyerapan air, sehingga mempengaruhi integritas ikatan yang dapat menyebabkan *nanoleakage*.³¹

Sisa pelarut dapat menjadi sumber pengenceran komponen yang mencegah reaksi komponen reaktif sebelum *setting*. Selain itu, sisa pelarut juga dapat menghambat polimerisasi komponen resin reaktif, dan memungkinkan terjadinya *nanoleakage*.⁸

2.4.3. Penurunan Kekuatan Ikatan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa adanya sisa pelarut setelah *air blowing* dalam waktu yang singkat (5 detik) memicu degradasi dan menyebabkan kekuatan ikatan yang lebih rendah. Adanya sisa pelarut dapat mencegah infiltrasi resin ke dalam dentin yang mengalami demineralisasi, mengencerkan monomer, dan meningkatkan kemungkinan degradasi ikatan resin. Adanya sisa pelarut yang tidak menguap juga dapat mengganggu polimerisasi monomer resin, membentuk ruang dalam antarmuka *adhesive* yang dapat menjadi inisiator *defect* yang menyebabkan penurunan kekuatan ikatan.^{9,32,33}

2.5 Teknik Penguapan Pelarut

Penguapan pelarut *adhesive* sangat penting dilakukan sebelum polimerisasi. Penguapan pelarut dapat dicapai dengan *air-blowing* menggunakan *three-way syringe* dengan durasi yang lebih lama atau dengan menggunakan suhu hangat.³²

2.5.1. Penggunaan Air-blow dengan Durasi yang Lebih Lama

Pengaplikasian *adhesive* tanpa *air-blow* dapat menyebabkan *over wet* dengan menyisakan air pada lapisan adhesif yang dapat bertindak sebagai inhibitor pada polimerisasi resin bonding. Sedangkan waktu *air-blow* yang singkat dapat

menyebabkan air yang terkandung dalam *adhesive* mencapai ambang konsentrasi tertentu sehingga tidak dapat dipolimerisasi secara adekuat oleh monomer.^{3,8}

Beberapa penelitian menunjukkan hasil *bond strenght* yang lebih tinggi setelah penambahan durasi *air-blow* bila dibandingkan dengan durasi *air-blow* sesuai instruksi pabrik. Hal ini menunjukkan bahwa penguapan pelarut *adhesive* lebih efektif dengan penambahan durasi *air-blow*.⁸

2.5.2. Penggunaan *Air-blow* dengan Suhu Hangat

Penelitian menunjukkan hasil *microtensile bond strength* yang lebih besar pada penggunaan *air-blow* dengan suhu yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena suhu yang lebih tinggi meningkatkan tekanan uap pelarut sehingga meningkatkan penguapan pelarut, serta meningkatkan energi molekul yang menyebabkan penguapan lebih cepat. Selain itu, peningkatan suhu akan menyebabkan penurunan viskositas bahan dan peningkatan kemampuan alirnya, sehingga meningkatkan penetrasi ke dalam dentin. Suhu yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan energi bebas permukaan, menurunkan sudut kontak cairan permukaan dan memfasilitasi difusi dan infiltrasi cairan.^{9,34}

2.6 Resin Komposit

Resin komposit terdiri dari tiga komponen utama yaitu matriks resin polimer *crosslinked* tinggi; dispersi kaca, silika, kristal, oksida logam, *resin-reinforcing*, fiber atau kombinasinya sebagai *filler*; dan *filler coupling agent bondings*. Selain itu, terdapat sistem aktivator-inisiator yang mengubah *filler* yang lunak dan mudah dibentuk menjadi restorasi yang keras dan tahan lama, serta terdapat kombinasi

pigmen yang sesuai dengan warna struktur gigi. Bahan lainnya termasuk UV *absorbers* untuk meningkatkan stabilitas warna; inhibitor untuk memperpanjang masa penyimpanan dan meningkatkan waktu kerja untuk resin *chemical activated*; dan komponen untuk meningkatkan kinerja, penampilan, dan daya tahan.²

Sifat mikrostruktur komposit memberikan pengaruh yang signifikan pada sifat dan kinerja bahan ini. Kegagalan restorasi resin komposit umumnya disebabkan karena rekurensi kerusakan gigi di sekitar restorasi yang ada dan dari fraktur bahan restorasi. Kedua hal ini dapat dipengaruhi oleh formulasi bahan, yang mempengaruhi faktor-faktor seperti *shrinkage*, ikatan terhadap struktur gigi, ketahanan terhadap retak, dan daya tahan, yang tergantung pada struktur mikro komposit.³⁵

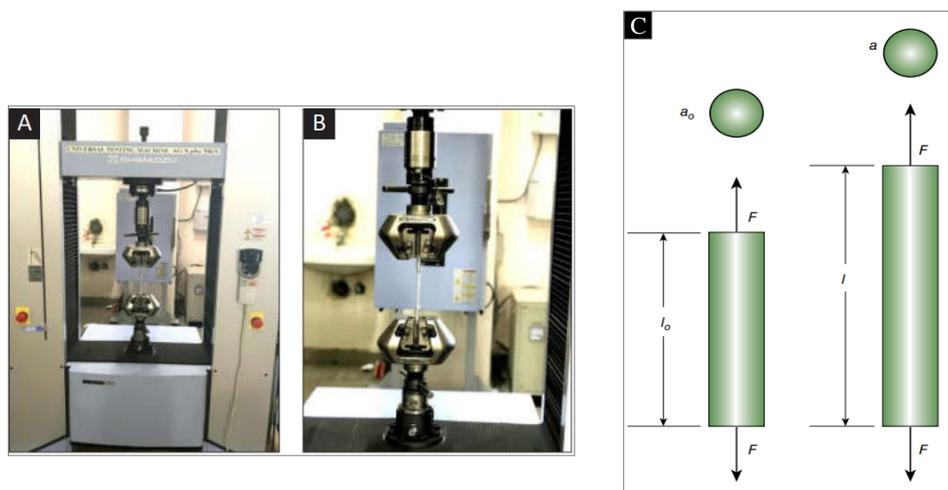
Sistem klasifikasi yang digunakan untuk komposit didasarkan pada ukuran partikel pengisi dan distribusi ukuran. Komposit gigi juga dapat diklasifikasikan berdasarkan metode *curing*, karakteristik manipulasi, aplikasi, karakteristik khas, dan kombinasinya. Berdasarkan ukuran partikelnya, resin komposit dibedakan menjadi *macrofilled* (10-100 μm), *microfilled* (sekitar 0.04 μm), *nanofilled* (5-75 nm), *hybrid* (0.04-4 μm), *microhybrid* (0.01-1 μm), dan *nanohybrid* (0.005-0.02 μm).¹³

2.7 Kekuatan Ikat Tarik (*Tensile bond strength*)

Kekuatan ikat tarik atau *tensile bond strength* adalah besar beban tarik yang dapat diterima jaringan gigi dan restorasi yang dihitung dengan menggunakan alat uji tarik *Electronic System Universal Testing Machine*. Besar beban dalam Newton dihitung dari saat restorasi dan jaringan gigi masih melekat hingga kedua komponen

terlepas. Nilai yang lebih besar memberikan gambaran kekuatan ikat tarik yang lebih baik.³⁶

Kekuatan ikatan tarik (MPa) diperoleh dengan membagi beban maksimum yang tercatat pada kegagalan (N) dengan luas permukaan *adhesive* (mm²). Nilai tegangan-regangan menentukan kurva, mencirikan kinerja material di bawah uji tarik. Berdasarkan kurva ini, nilai modulus elastisitas, kekuatan tarik, ketahanan dan kekuatan suatu bahan dapat dinilai. Pengujian tarik biasanya diterapkan pada material yang ditempatkan di bawah beban yang umumnya diterapkan dalam arah yang berbeda.^{37,38}



Gambar 2.2 A: *universal tensile strength testing machine*; B: Pengujian TBS spesimen pada UTM; C: ilustrasi pengujian *tensile bond strength*^{37,39}

Dalam uji kekuatan ikat tarik, beban diberikan pada kedua sisi benda uji. Spesimen dapat dipegang dengan metode mencengkeram aktif atau pasif. Metode mencengkeram aktif melibatkan perlekatan spesimen secara mekanis ke alat penjepit, seperti lem atau klem, sedangkan dalam metode pegangan pasif, spesimen ditempatkan di alat uji tanpa bantuan lem atau pegangan mekanis. Pengujian ini

dapat digunakan untuk mengukur, misalnya, kekuatan ikatan semen dengan bahan keras seperti keramik dan *alloy*.³⁵

2.8 Gigi sapi

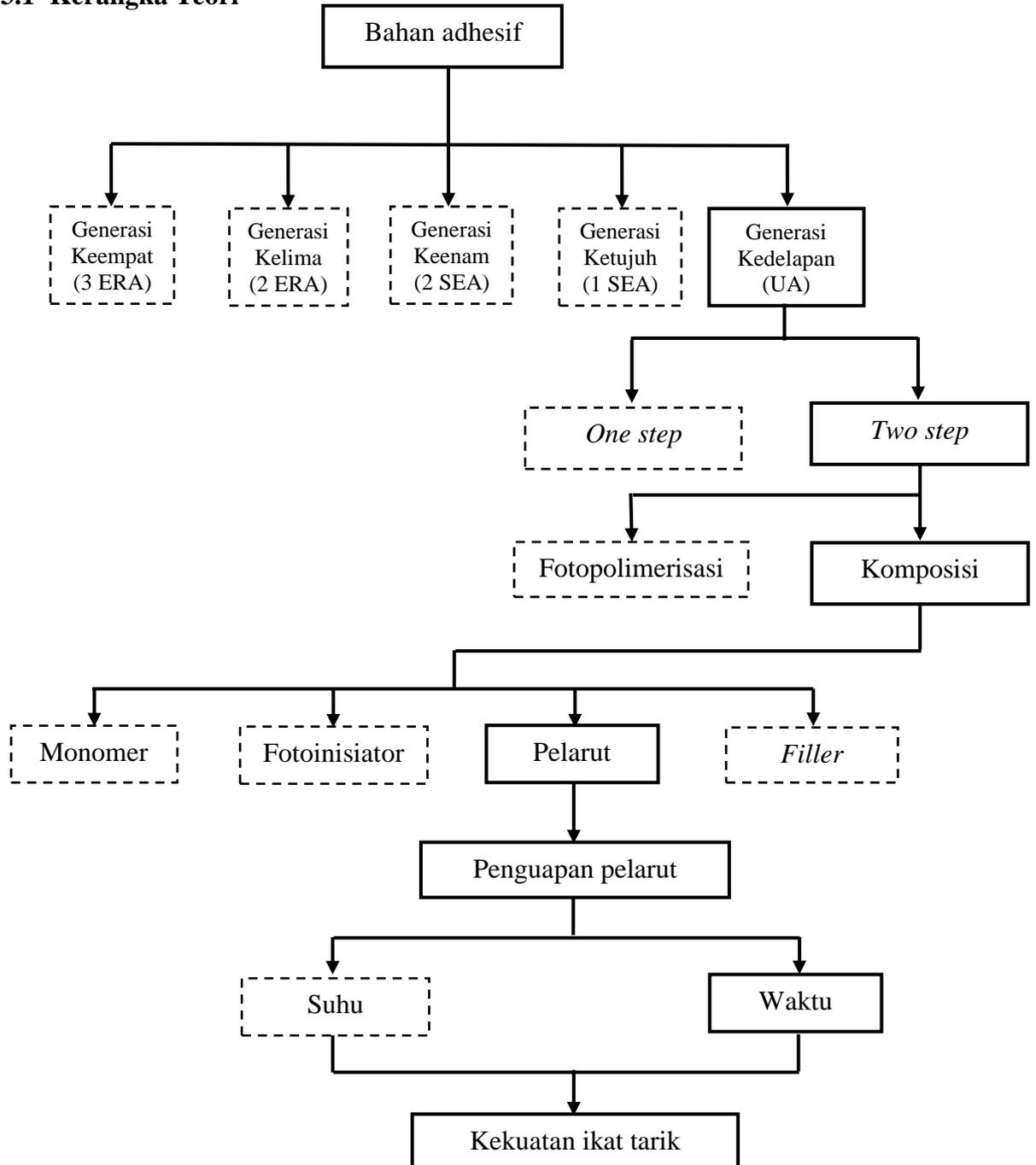
Sebagian besar pengujian *in vitro* bahan kedokteran gigi dilakukan pada gigi manusia post ekstraksi. Namun, penggunaan gigi manusia memiliki beberapa keterbatasan yaitu seringkali sulit diperoleh dalam jumlah dan kualitas yang memadai, sulit untuk menetapkan homogenitas sampel karena sulit untuk mengontrol sumber dan usia gigi; serta meningkatnya kesadaran akan bahaya infeksi dan masalah etika lainnya telah menyebabkan meningkatnya pembatasan penggunaan gigi manusia sebagai bahan pengujian. Beberapa jenis gigi alternatif, seperti gigi primata, *bovine* (sapi), *swine* (babi), *ovine* (domba) dan *equine* (kuda), telah digunakan sebagai substrat untuk penelitian gigi secara *in vitro*. Kriteria utama pemilihan gigi hewan adalah karakteristik fisiko-kimia, struktural, dan biologis yang serupa dengan gigi manusia.⁴⁰

Analisis kandungan karbon nitrogen, *Thermogravimetric Analysis linked to Mass Spectrometry* (TG-MS) dan *X-ray fluorescence spectrometry* (XRF) menunjukkan bahwa email dan dentin gigi manusia memiliki kemiripan terbesar dengan email dan dentin gigi sapi bila dibandingkan dengan *swine* dan *ovine*. Oleh karena itu, berdasarkan komposisi kimianya, gigi sapi dapat menjadi pilihan pertama sebagai pengganti gigi manusia dalam penelitian.⁴¹

BAB III

KERANGKA PENELITIAN

3.1 Kerangka Teori

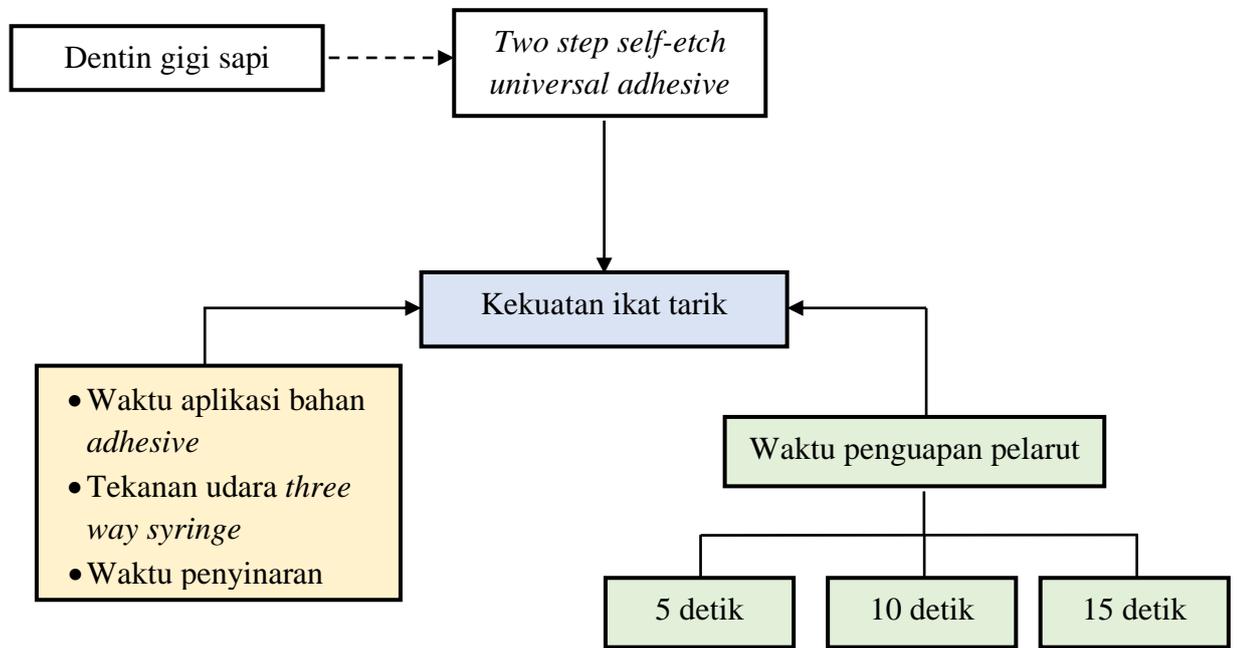


Keterangan:

: Variabel yang diteliti

: Variabel yang tidak diteliti

3.2 Kerangka Konsep



Keterangan:

: Variabel Independen

: Variabel Dependen

: Variabel kontrol

3.3 Hipotesis

Peningkatan waktu penguapan pelarut dapat meningkatkan kekuatan ikat tarik *two step self-etch universal adhesive*.