Buku ini merupakan salah satu buku referensi dalam pembahasan tentang metode pemeriksaan DNA bagi ilmu kedokteran forensik. Isi dari buku ini membahas tentang pemeriksaan identifikasi personal dari bahan/spesimen DNA yang mengalami degradasi.

Setelah membaca buku ini diharapkan dapat membantu memecahkan berbagai kasus forensik yang melibatkan pemeriksaan DNA forensik dengan spesimen DNA inti dan mitokondria yang terdegradasi. Dengan adanya informasi tersebut maka diharapkan proses identifikasi korban atau pelaku tindak kriminal atau kasus-kasus mass disaster lainnya akan berjalan lebih cepat, lebih baik dan mempunyai hasil analisis dengan akurasi tinggi.

Akhirnya penulis memohon dengan hormat agar pembaca dapat memberikan kritik yang membangun untuk perbaikan buku di masa-masa mendatang. Semoga buku ini memberi manfaat.

ISBN 978-623-65951-5-9

9 786239 355159

SINTESA

SINTESA BOOK
CV. Sintesa Prophetica
Email:sintesa.book@gmail.com
IG: sintesa_books, HP: +62 852 3294 3564

SINTESA

Pemeriksaan Forensik DNA Tulang dan Gigi : Identifikasi pada DNA Lokus STR CODIS, Y-STRs, dan *mtDNA*

Buku Referensi

Dr. Ahmad Yudianto, dr, Sp.F (K)., SH., M.Kes

Pemeriksaan Forensik DNA Tulang dan Gigi :

Identifikasi pada DNA Lokus STR CODIS, Y-STRs, dan *mtDNA*

Buku Referensi

Pemeriksaan Forensik DNA Tulang dan Gigi :

Identifikasi pada DNA Lokus STR CODIS, Y-STRs, dan *mtDNA*

Dr. Ahmad Yudianto, dr, Sp.F (K)., SH., M.Kes

INTESA

2020

Buku Referensi

Pemeriksaan Forensik DNA Tulang Dan Gigi :
Identifikasi Pada DNA Lokus STR CODIS, Y-Strs, Dan *Mtdna*

© 2020

ISBN: 978-623-93551-5-9
Cetakan Kesatu, Juni 2020

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
All Right Reserved

Penulis:
Dr. Ahmad Yudianto, dr, Sp.F (K)., SH., M.Kes

Editor Isi:
Mala Kurniati, M.Biomed
Editor Bahasa:
Abdul Hadi Furqoni S.Kep., M.Si
Penerbit
CV. Sintesa Prophetica
SINTESA BOOK

Email: sintesa.book@gmail.com
IG: sintesa_books
HP: +62 852 3294 3564

Dilarang mengutip dan memperbanyak tanpa izin tertulis dari penerbit, sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun, baik cetak, photoprint, microfilm dan sebagainya.

PRAKATA

Alhamdulillah penulis sampaikan kepada Allah SWT yang telah memberikan segala nikmatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan Buku Referensi ini dengan baik. Buku ini merupakan salah satu buku referensi dalam pembahasan tentang metode pemeriksaan DNA bagi ilmu kedokteran forensik. Isi dari buku ini membahas tentang pemeriksaan identifikasi personal dari bahan/spesimen DNA yang mengalami degradasi.

Setelah membaca buku ini diharapkan dapat membantu memecahkan berbagai kasus forensik yang melibatkan pemeriksaan DNA forensik dengan spesimen DNA inti dan mitokondria yang terdegradasi. Dengan adanya informasi tersebut maka diharapkan proses identifikasi korban atau pelaku tindak kriminal atau kasus-kasus *mass disaster* lainnya akan berjalan lebih cepat, lebih baik dan mempunyai hasil analisis dengan akurasi tinggi.

Akhirnya penulis memohon dengan hormat agar pembaca dapat memberikan kritik yang membangun untuk perbaikan buku di masa-masa mendatang. Semoga buku ini memberi manfaat.

Ahmad Yudianto

PERSEMBAHAN

Teruntuk
Kedua orang tua, almamater, keluarga.
Para mahasiswa S1 Kedokteran/kesehatan, S2 Kedokteran/Kesehatan/Ilmu Forensik, S3 Kedokteran/Kesehatan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pertama-tama saya ucapkan puji syukur ke hadirat Allah yang Maha Pengasih lagi Penyayang atas rahmat dan karunia-Nya sehingga buku ini dapat diselesaikan. Dengan segala kerendahan hati, perkenankan saya menghaturkan terima kasih yang tulus serta penghargaan setinggi-tingginya kepada yang terhormat, Prof. Dr. Med. HM. Soekry Erfan Kusuma, dr. SpF(K)., DFM, Prof. Retno Handajani,dr., MS., Ph.D dan Prof. Dr. Ni Nyoman Tripuspaningsih, dra., Msi.

DAFTAR ISI

PRAKATA | iii
PERSEMBAHAN | iv
UCAPAN TERIMAKASIH | v
DAFTAR ISI | vi
DAFTAR TABEL | vii
DAFTAR GAMBAR | viii

Bab I. Identifikasi Personal | 1
a. Definisi Identifikasi Personal | 1
b. Metode Identifikasi Personal | 1
c. Sampel identifikasi personal | 2

Bab II. Biologi Molekuler Forensik | 5
a. Peran DNA pada Identifikasi Forensik | 5
b. Analisis DNA pada Identifikasi forensic | 11
c. Kerusakan DNA pada Identifikasi forensik | 15

Bab III. Pemeriksaan Forensik DNA | 21
a. *Autosomal Short Tandem Repeats* (STRs) | 21
b. Y-*ChromosomeSTRs*(Y-STRs) | 27
c. DNA mitokondria (*mtDNA*) manusia | 29
BAB IV Tulang dan Gigi sebagai Sumber DNA | 35

PENUTUP | 40
DAFTAR PUSTAKA | 42
BIOGRAFI PENULIS | 46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Informasi 13 lokus CODIS | 22
Tabel 2.2 Informasi tentang penanda Y-STRs | 29
Tabel 2.3 Perbedaan DNA inti dan *mtDNA* manusia | 31
Tabel 3.1 Kadar DNA berdasarkan jenis sampel | 38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Informasi 13 lokus CODIS | 7
Gambar 2.2 Perubahan warna tulang setelah Pemanasan | 16
Gambar 2.3 Perubahan warna tulang setelah pemanasan selama 1-3 jam | 17
Gambar 3.1 Ilustrasi perulangan *Short Tandem Repeat* (STR) | 23
Gambar 3.2 Lokasi lokus DNA inti pada kromosom Manusia | 24
Gambar 3.3 Ilustrasi pengurangan ukuran *primer* STR | 25
Gambar 3.4 Lokus STR pada kromosom Y | 28
Gambar 3.5 Struktur DNA mitokondria | 30
Gambar 3.6 Pemetaan daerah atau *region mtDNA* | 32
Gambar 4.1 Histologi Tulang | 36
Gambar 4.2 Tingkat keberhasilan pemeriksaan DNA | 37
Gambar 4.3 Struktur Penampang gigi molar | 37

BAB I.
IDENTIFIKASI PERSONAL

a. Definisi Identifikasi Personal

Identifikasi personal merupakan suatu masalah yang terjadi dalam kasus pidana maupun perdata. Menentukan identitas personal dengan tepat sangat penting dalam penyidikan karena adanya kekeliruan dapat berakibat fatal dalam proses peradilan. Identifikasi personal merupakan bagian dalam kedokteran forensik. Salah satu identifikasi personal dalam kedokteran forensik adalah mengidentifikasi korban kejahatan ataupun bencana masal dengan cara membandingkan data *antemortem* (AM) (sebelum kematian) dan data *postmortem* (PM) (setelah kematian). Perbandingan data tersebut memberikan titik terang dalam mengungkap siapakah jasad tersebut.

b. Metode Identifikasi Personal

Metode identifikasi personal dalam kedokteran forensik antara lain metode asosiatif-konvensional yaitu sidik jari (*daktiloskopi*), pemeriksaan *property*, medis, gigi-geligi, serologi dan metode eksklusif. Beberapa kasus kadang sulit dipecahkan melalui penegakan identifikasi asosiatif-konvensional sehingga perlu ditegakkan identifikasi melalui analisis *Deoxy-ribonucleic acid* (DNA). Identifikasi dengan analisis DNA dimulai sejak tahun 1996 di Amerika Serikat. Sejak saat itu analisis DNA dalam identifikasi personal memegang peranan penting dalam memecahkan berbagai kasus. Kasus-kasus yang memerlukan analisis DNA di antaranya adalah kejadian *World Trade Centre* (WTC) Amerika Serikat pada 11 September 2001, di mana lebih dari 26.000 sampel biologi (termasuk 13.000 sampel dari tulang) diambil dari sekitar 2.700 korban.

Di Indonesia berbagai kasus yang memerlukan analisis DNA di antaranya kasus bom Bali I pada tanggal 12 Oktober 2002 yang menelan 182 jiwa meninggal, tragedi kecelakaan bus pariwisata di Situbondo awal Oktober 2003 yang menewaskan 56 penumpangnya, bom hotel *JW Marriott*

Jakarta pada 5 Oktober 2004, bom kedutaan besar Australia di Jakarta pada 11 September 2004, bom Bali II tanggal 1 Oktober 2005, korban bencana Tsunami di Aceh akhir tahun 2005 dan jatuhnya pesawat terbang Mandala Airlines di Medan pertengahan 2005 yang menelan korban 149 jiwa serta korban gempa di Yogyakarta dan Jawa Tengah Juni 2006.

Identifikasi personal melalui analisis DNA merupakan alat diagnostik yang akurat dalam bidang forensik. Analisis DNA tersebut antara lain melalui analisis V*ariable Number of Tandem Repea*t (VNTR) dan *Restriction Fragmen Length Polymorphisms* (RFLP). Analisis DNA melalui VNTR merupakan pemeriksaan DNA yang didasarkan pada perulangan urutan basa tertentu *(core sequences)*. Seiring berjalannya waktu, metode untuk analisis DNA forensik menggunakan daerah ulangan DNA dengan urutan basa kurang 1 kb, dikenal dengan istilah *'microsatellite'* atau disebut dengan *Short Tandem Repeat* (STR).

Metode identifikasi ini dapat digunakan bersama dengan metode lain atau secara sendirian dalam proses identifikasi, misalnya korban masal khususnya jika tubuh korban sudah mengalami mutilasi. Hasil analisis sampel biologis ini dapat berupa ada atau tidaknya hubungan genetik dari korban dengan anggota keluarganya. Setiap potongan dari bagian tubuh harus diidentifikasi dengan metode analisis DNA. Dalam melakukan identifikasi pada korban tentunya terdapat banyak kesulitan yang dihadapi seperti korban yang terbakar sangat parah maupun korban yang telah mengalami pembusukan.

c. Sampel Identifikasi Personal

Tulang dan gigi merupakan bagian keras dari tubuh manusia karena adanya kandungan *hydroxyapatite* pada matriks ekstra seluler yang memberi perlindungan DNA (DNA inti dan DNA mitokondria). Gigi memiliki kandungan *hydroxyapatite* yang lebih tinggi dibandingkan tulang namun tidak dapat memberikan perlindungan yang optimal terhadap DNA yang terdapat di dalamnya. *Armed Forces DNA Identification Laboratory* (AFDIL), sebuah lembaga bidang identifikasi forensik di Amerika Serikat, menyatakan bahwa analisis DNA menggunakan gigi memiliki tingkat keberhasilan

rata-rata sekitar 70%-80% dibandingkan dengan tulang belulang lainnya, contohnya tulang rusuk dengan tingkat keberhasilan sekitar 90%-100%. Sejauh ini identifikasi forensik molekuler pada kerusakan DNA sebagai efek paparan suhu tinggi pada sampel DNA tulang dan gigi molekuler belum banyak diketahui. Paparan suhu panas merupakan salah satu faktor kerusakan DNA. Diawali dengan kerusakan anatomi tubuh manusia, jasad manusia akan terkremasi sempurna pada suhu sekitar 680^0C. Sedangkan jasad manusia yang terbakar hingga menjadi abu pada kisaran suhu 800^0C-1000^0C.

Bahan Rujukan

1. Antonio Alonso, Pablo Martin, Christian Albarrian, Pilar Garcia, Lourdes Fernandez de Simon, Maria Jesus Iturralde, Amparo Fernandez-Rodriguez, Inmaculada Atienza, Javier Capilla, Julia Garcia-Hirshfeld, Pilar Martinez, GloriaVallejo, Oscar Garcia, Emilio Garcia, Pilar Real, David Alvarez, Antonio Leon, Manuel Sancho. 2005. Challenges of DNA profiling in mass disaster investigation. *Croatia Medical Journal;* 46(4). pp. 540-548
2. Bohnert M, Rost T, Pollak S. 1998. The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire. *Journal of International Forensic Science*. Volume 95. Issue 1. 6 July 1998. pp. 11-21
3. Butler, J. M. 2011. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing : Methodology*. U.S.A.
4. Connor M and Ferguson S. 1997. *Essential Medical Genetcs*. Fifth edition Blakwell Science Ltd Australia. pp. 3-29
5. Edson SM, J.P. Ross, M.D. Coble, T.J. Parsons and S.M. Barritt. 2004. Naming the dead-confronting realities of rapid identification of degraded skeletal remains: *Forensic Science Rev.* 16:63. pp. 64-89.
6. Idries Abdul M. 1997. *Pedoman Ilmu Kedokteran Forensik*. Edisi pertama. Bina Rupa Jakarta. hal. 32-40
7. Ishaq M. 1997. DVI di Indonesia. *DOKPOL POLRI* Jakarta. hal 1-5
8. Maeda, K. *et al.* 2015. The case of 2 siblings that identified

not only by DNA profiling, *Forensic Science International*, 5, pp. 555–556. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigss.2015.09.219.
Notosoehardjo I. 1999. Penentuan Jenis Kelamin berdasarkan Pemeriksaan DNA dan Antropometri tulang. *Disertasi Doktor*. Universitas Airlangga, Surabaya. hal. 76-89, 94-96.

10. Notosoehardjo I. 2002. Isolasi tulang dan gigi. *Lokakarya Metodelogi Laboratorium Biologi Molekuler.* hal 2-6
11. Sosiawan A. 2007. Analisis efek paparan panas suhu ekstrim tinggi terhadap DNA yang berasal dari tulang dan gigi. Disertasi Pasca Sarjana Universitas Airlangga. hal. 34-67.

BAB II.
BIOLOGI MOLEKULER FORENSIK

a. Peran DNA pada Identifikasi Forensik

Sejak ditemukannya struktur molekul *Deoxyribonucleic Acid* (DNA) oleh Watson dan Crick pada tahun 1953, perkembangan biologi molekuler yang secara umum mencakup manipulasi DNA dan RNA (*Ribonucleic Acid*) yang aplikasinya telah merambah ke berbagai bidang kehidupan.

Pemeriksaan sidik jari DNA (*DNA Fingerprinting*) pertama kali diperkenalkan oleh Sir Alex Jefreys pada tahun 1985. Pemeriksaan ini lebih spesifik dan akurat dibandingkan dengan cara konvensional, salah satu contoh adalah pemeriksaan serologi forensik, sehingga pemeriksaan identifikasi memasuki suatu era baru yang sebagian kalangan kedokteran forensik menyebutnya sebagai revolusi ilmu kedokteran forensik. Penemuan ini telah membawa perkembangan teknologi DNA di bidang kedokteran forensik ke arah kemajuan yang menggemparkan sehingga identifikasi personal di bidang forensik bukan merupakan sebuah masalah yang begitu besar.

Dengan identifikasi melalui pemeriksaan analisis DNA pada korban atau barang bukti yang sulit dikenali, maka identifikasi tidak lagi berdasarkan ciri-ciri fisik melainkan berdasar pada daerah (lokus)DNA korban atau barang bukti tersebut. Pemeriksaan ini didasarkan bahwa DNA manusia ternyata bersifat individual dan spesifik. Susunan DNA manusia memiliki khas untuk setiap individu maka dapat untuk digunakan membedakan individu satu dengan lainnya.

DNA merupakan polinukleotida dan Monomernya adalah nukleotida. Setiap nukleotida tersusun oleh tiga komponen, yaitu molekul gula pentosa (*deoxyribose*), gugusan fosfat dan basa nitrogen. Deoksiribosa dan fosfat terdapat di semua nukleotida dengan susunan dan bentuk yang identik. Komponen ketiga (basa nitrogen) merupakan senyawa yang mempunyai bentuk berbeda satu nukleotida dengan nukleotida lainnya. Basa nitrogen DNA adalah adenin dan

guanin yang merupakan senyawa purin serta sitosin dan timin yang merupakan senyawa pirimidin.

Urutan basa nitrogen yang membentuk DNA inilah yang dapat membedakan antara individu satu dengan individu lainnya, karena urutan atau susunan basa-basa tersebut berbeda antara satu orang dengan orang lainnya. Nukleotida saling berikatan melalui ikatan fosfodiester 5'-3', tanda 'digunakan pada pemberian nomor unsur karbon pada posisi deoksiribosa untuk membedakan dari pemberian nomor unsur-unsur pada basa N, antara fosfat pada C_5 dari deoksiribosa suatu nukleotida dengan C_3 dari deoksiribosa nukleotida lain. Dengan aturan ini, maka pada ujung-ujung rantai polinukleotida akan ditemukan fosfat pada ujung 5' dari satu nukleotida dan OH pada ujung 3' nukleotida yang lain. Basa adenin (A) selalu berikatan dengan timin (T) dari untai nukleotida lain, sedangkan basa guanin (G) dengan basa sitosin (C) untai nukleotida lain. Adenin dan timin berikatan dengan dua ikatan hidrogen, sedangkan guanin dan sitosin berikatan dengan tiga ikatan hidrogen, sehingga lebih stabil. Dengan demikian, ikatan G-C lebih kuat sekitar 50%. Karena tambahan kekuatan hidrogen ini dan juga karena interaksi yang saling bersusun, maka daerah-daerah DNA yang kaya akan ikatan G-C jauh lebih resisten terhadap proses denaturasi (proses pemisahan) daripada daerah-daerah yang kaya akan A dan T.

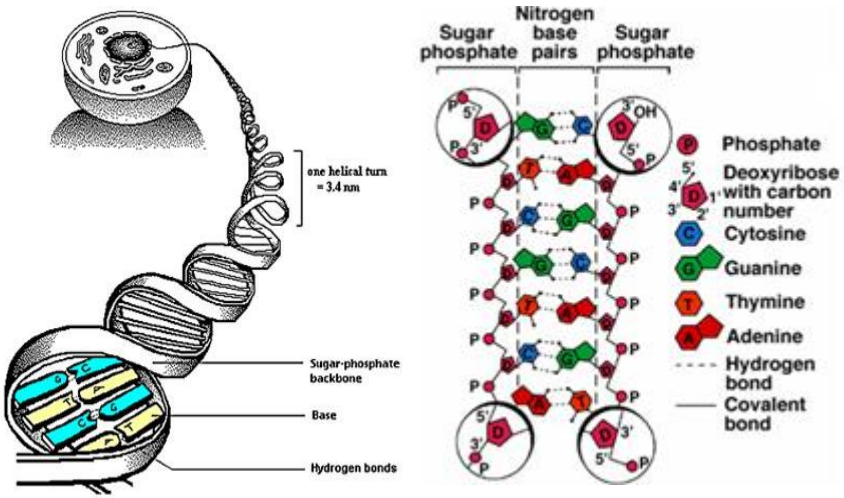
Aturan yang membuat perpasangan A-T serta G-C disebut aturan Chargaff. Watson & Crick pada tahun 1953 menyimpulkan bahwa DNA mempunyai struktur heliks ganda dengan rincian sebagai berikut :

1) DNA disusun oleh 2 rantai polinukleotida yang memiliki basa berpasangan dengan ikatan hidrogen, dengan aturan perpasangan A-T dan G-C.
2) Antara 2 untaian membentuk pasangan anti paralel, yaitu antara kedua untaian terdapat arah berlawanan, ujung 5' P akan berhadapan dengan ujung 3' OH.
3) Antara 2 pasangan basa terdapat jarak sebesar 0,34 nm (3,4 A)
4) Pasangan 2 untaian DNA membentuk suatu pilinan di sekitar suatu sumbu dengan arah pilinan ke kanan atau

searah jarum jam. Setiap 10 *base pair* (34 A) akan membentuk satu pilinan atau perputaran 360^0. Pilinan ini mempunyai diameter 20 A.

Panjang keseluruhan DNA manusia dalam kromosom *haploid* adalah 3.000 *mega base pair* (3 X 10^9*base pair*) dengan jarak antara *base pair* dalam DNA heliks adalah 0,34 nm (3,4 A), sehingga panjang *haploid* DNA jika direntangkan sekitar 1 meter.

Deoxyribonucleid acid yang terdiri dari untaian nukleotida tersebut, di dalam setiap sel manusia memiliki panjang hampir 3 milyar pasang basa. Sebagai konsekuensi dari panjangnya untaian tersebut adalah adanya kemungkinan munculnya variasi dan perubahan-perubahan kecil pada untaian DNA, di mana variasi dan perubahan tersebut dapat berpengaruh pada fungsi DNA. Sifat polimorfisme ini diduga terjadi sebagai akibat dari pertukaran yang tidak sama *(unequal exchange)* pada saat mitosis dan mieosis atau akibat *slippage* DNA selama proses replikasi.



Gambar 2.1 Struktur DNA.

Deoxyribonucleid acid pada jaringan tubuh manusia sebagian besar dijumpai pada nukleus atau inti sel. Oleh sebab itu DNA tersebut dikenal dengan istilah *nuclear* DNA (*nu*-DNA) atau *core*-DNA (DNA inti). Genom manusia diketahui

mengandung banyak sekali urutan DNA berulang, yang bervariasi dalam ukuran maupun panjangnya, disebut DNA satelit. Daerah yang sering kali disebut DNA satelit ini sangat bervariasi antar individu, sehingga dapat digunakan untuk identifikasi individu, terutama dengan menggunakan *Short Tandem Repeat* (STR), dengan unit pengulangan 2-7 *base pair* (bp).

Pemeriksaan STR adalah sebuah teknik pemeriksaan DNA yang didasarkan pada pengulangan urutan basa tertentu yang disebut *core sequences*, yang berulang dengan jumlah pengulangan yang berbeda-beda setiap orang yang sangat efektif digunakan pada pemeriksaan DNA dari bidang forensik.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa *nu*-DNA manusia tersebar di dalam 23 pasang kromosom. *nu*-DNA sel anak merupakan gabungan *nu*-DNA sel ovum (dari ibu) dan *nu*-DNA spermatozoa (dari bapak). Hal ini berakibat, *nu*-DNA anak selalu merupakan kombinasi dari *nu*-DNA ibu dan bapaknya, di mana diturunkan secara parental, yaitu suatu pola penurunan yang kita kenal sebagai hukum *Mendel*. Sebagian besar DNA inti membentuk kromosom, namun juga terdapat DNA ekstra kromosom yang jumlahnya sangat kecil, yang terletak didalam *mitochondria* (*mtDNA*). *Deoxyribonucleid acid* yang terdapat di nukleus tersebut berkelompok menurut sifatnya masing-masing, pada bagian persilangan dari keempat kaki kromosom (*sentromer*) berkumpul DNA yang bersifat *chromosome-specific* dan *species-specific* sedang pada keempat kaki-kaki kromosom (*telomer*) berkumpul DNA yang bersifat *individual specific*.

Sekitar 60.000-70.000 gen terdapat pada DNA manusia. Tidak seluruh DNA menjadi ruas penyandi asam amino protein, hanya bagian DNA yang diapit oleh promotor dan terminator yang menjadi ruas penyandi asam amino protein. Promotor ialah segmen DNA yang mempunyai panjang sekitar 40 bp dan berfungsi sebagai tempat terikatnya enzim polimerase, sedangkan terminator merupakan segmen DNA tempat berakhirnya proses transkripsi.

Pada genom manusia diketahui mengandung banyak sekali urutan DNA berulang, yang bervariasi dalam ukuran

maupun panjangnya. Bagian DNA ini tersebar dalam seluruh genom manusia sehingga merupakan multi lokus dan dimiliki oleh semua orang, tetapi masing-masing individu mempunyai jumlah pengulangan yang berbeda-beda satu sama lain, sehingga kemungkinan dua individu mempunyai fragmen DNA yang sama adalah sangat kecil sekali. Selain itu *repetitive* DNA mempunyai sifat : setiap individu tetap dan diturunkan dari orang tua dan DNA ini bisa ditemukan di sekeliling *sentromer* kromosom.

Tandem repetitive DNA dibagi menjadi *microsatellit, minisatellit* dan *macrosatellit repeat.* Disebut *microsatellit repeat* bila panjangnya kurang dari 1 kb (*kilobase*) dan *repeat motif* yang sering muncul adalah A, AC, AAAN (dimana N bisa nukleotida apa saja), AAN dan AG, biasanya disebut dengan *Short Tandem Repeat* (STR). *Minisatellite* biasanya sepanjang 1-30 kb (*kilobase*) dengan mempunyai *repeat motif* lebih panjang daripada *microsatellit repeat* dan sering disebut *Long Tandem Repeat* (LTR). Sedangkan *macrosatellit repeat* mempunyai panjang sampai *megabase* yang ditemukan di ujung lengan kromosom (*telomere*) dan *sentromere.* Oleh karena banyaknya jumlah alel (pengulangan) yang ada, maka setiap alel yang sama relatif jarang ditemukan dalam populasi, sehingga *polimorfisme* ini amat informatif digunakan sebagai pembeda genetik antar individu.

Microsatellite repeat yang juga disebut dengan 'STR (*Short Tandem Repeat*)' merupakan daerah DNA dengan unit pengulangan (*repeat motif*) umumnya 2 sampai 7 bp. Jadi dengan kata lain, STR adalah *tandem repeat* dengan *repeat motifs* yang amat pendek. Pada setiap lokus STR, setiap individu memiliki 2 fragmen DNA yang masing-masing berasal dari orang tuanya.

Variasi urutan basa dalam DNA di dalam setiap sel manusia merupakan suatu *polimorfisme*. *Polimorfisme* merupakan suatu istilah yang digunakan untuk menunjukkan adanya suatu bentuk yang berbeda dari struktur dasar yang sama. *Polimorfisme* ini diduga akibat adanya pertukaran yang tidak sama (*unequal exchange*) pada proses mitosis dan meiosis, sehingga menunjukkan variasi setiap individu yang dapat memberikan keuntungan karena dapat untuk

membedakan satu orang dengan yang lainnya. Hal inilah dimanfaatkan dalam dunia kedokteran forensik sebagai dasar bagi identifikasi individu melalui analisis DNA. *Polimorfisme* DNA tersebut dapat berupa perubahan urutan basa nukleotidanya maupun adanya perbedaan panjang fragmen DNA hasil pemotongan dengan enzim restriksi.

Keunggulan dari analisis sidik jari DNA di antaranya karena DNA memiliki kestabilan pada sel somatik yang artinya gambaran DNA dari darah, sperma, rambut, organ dan sebagainya identik, sehingga cocok untuk digunakan sebagai bahan identifikasi. Analisis sidik jari DNA antara lain analisis melalui VNTR (*Variable Number of Tandem Repea*t) dan RFLP *(Restriction Fragmen Length Polymorphism). Variable Number of Tandem Repea*t (VNTR) analisis adalah pemeriksaan DNA yang didasarkan pada perulangan urutan basa tertentu *(core sequences),* yang berulang dengan jumlah perulangan yang berbeda-beda antara seseorang dengan orang lain.

Sejak diketemukan *Polymerase Chain Reaction* (PCR) oleh Kary Mullis pada tahun 1986, perkembangan biologi molekuler menjadi semakin cepat, juga dalam dunia kedokteran forensik karena dengan metode PCR ini hanya membutuhkan jumlah DNA yang sedikit. Dengan jumlah DNA yang sedikit tersebut, PCR mampu menggandakan DNA berlipat-lipat jumlahnya, sehingga dapat divisualisasi dan selanjutnya dilakukan analisis DNA. Dengan memperbanyak DNA jutaan sampai milyaran kali, maka memungkinkan sampel/spesimen forensik yang jumlahnya amat minim, dapat dianalisis contohnya analisis kerokan kuku (cakaran korban pada pelaku), baju korban atau pelaku, bercak sperma, puntung rokok dan sebagainya. Kelebihan lain dari pemeriksaan dengan PCR adalah kemampuan PCR untuk menganalisis bahan yang sudah terdegradasi sebagian. Adanya metode PCR, bagian DNA yang ingin diperbanyak dapat diamplifikasi dengan menggunakan *primer* yang telah diketahui urutan basanya, sehingga pemeriksaan DNA dengan menggunakan analisis STR ini dapat dilakukan secara mudah dan cepat. *Primer* ini adalah urutan nukleotida tertentu yang sudah diketahui yang digunakan untuk mengawali saja proses pemanjangan rantai nukleotida dalam amplifikasi menggunakan PCR. *Polymerase Chain*

Reaction mampu menggandakan DNA berlipat-lipat jumlahnya untuk kemudian dilakukan analisis sidik jari DNAnya.

Lokus (area/daerah) STR memiliki ukuran alel yang kecil (kurang dari 300 *basepair*), maka dengan PCR akan mudah diamplifikasi dan pada sampel yang mengalami degradasi pun dapat dianalisis. Pada pemeriksaan dengan analisis STR, mengingat DNA merupakan sebuah rangkaian genetik yang sangat panjang, maka pemeriksaan yang dilakukan hanya pada beberapa lokus (daerah) DNA saja. Analisis STR dapat dikerjakan dalam waktu yang lebih singkat, sehingga analisis STR tersebut paling sering digunakan dalam pemeriksaan identifikasi forensik. Di samping itu, analisis STR merupakan alat yang bagus dan efisien dalam *forensic stain typing* dari kasus kriminal dan paternitas. Sekitar 13 lokus yang ada pada analisis STR ini, pada beberapa laboratorium hanya memakai paling sedikit 3 lokus (daerah) (Sosiawan, 2004). Menggunakan 5–6 lokus, maka kemungkinan kesamaan DNA *polymorfisme* antar individu 1 berbanding 100 milyar.

b. Analisis DNA pada Identifikasi forensik

Pada prinsipnya identifikasi personal korban meninggal di bidang kedokteran forensik merupakan serangkaian tindakan pembandingan data hasil pemeriksaan terhadap mayat (*data postmortem*) dengan data tersangka atau korban saat masih hidup (*data antemortem*). Data tersebut kemudian akan dibandingkan dengan data milik orang yang di duga sebagai korban. Data yang diperoleh dari keluarga, rekam medis, rekam medis gigi, data polisi, dan lain sebagainya. Dengan adanya kesesuaian antara data *antemortem* dan data *postmortem*, akan mempersempit jumlah orang yang diduga sebagai korban. Dengan demikian hal ini akan semakin memperkuat dugaan bahwa korban/pelaku kejahatan adalah benar-benar orang yang telah diduga selama ini.

Dalam kasus kematian yang diakibatkan oleh kebakaran ataupun ledakan yang disertai dengan kebakaran hebat, sering kali mengakibatkan korban sulit untuk dapat dikenali dengan pemeriksaan forensik konvensional biasa. Hal ini disebabkan tubuh korban mengalami kerusakan yang begitu hebat, yang membawa akibat bagi hilangnya tanda-tanda fisik korban yang

bersifat personal, yang membedakannya dengan individu lainnya.

Ditemukannya sidik jari DNA oleh Sir Alec J Jeffreys pada pertengahan tahun delapan puluhan, maka penemuan ini telah membawa perkembangan teknologi DNA di bidang kedokteran forensik ke arah kemajuan yang menggembirakan dan identifikasi korban di bidang forensik bukan lagi merupakan sebuah masalah yang begitu besar. Hal ini mengingat bahwa pemeriksaan DNA pada korban yang sulit dikenali tersebut, tidak lagi berdasarkan ciri-ciri fisik korban, melainkan pada daerah *(locus)* DNA korban. Pemeriksaan ini didasarkan pada sebuah fakta bahwa DNA manusia ternyata bersifat individual dan spesifik. Hal ini mengandung arti bahwa susunan DNA manusia adalah khas untuk setiap individu, sehingga dapat digunakan untuk membedakan individu satu dengan lainnya. Meskipun demikian pemeriksaan DNA sebagai alat bantu dalam proses identifikasi forensik bukanlah tanpa kelemahan. Hal ini didasarkan pada suatu realita bahwa DNA akan mengalami kerusakan (*damage*) bila terpapar oleh paparan abnormal, yang dapat menimbulkan kerusakan DNA. Contoh paparan sebagai berikut bahan kimia, pH, suhu maupun paparan lainnya.

Identifikasi forensik pada korban yang sulit dilaksanakan dengan metode identifikasi konvensional, dapat disebabkan oleh karena derajat kerusakan yang sangat bervariasi sifatnya. Pada dasarnya kerusakan yang ada pada tubuh korban sehingga sulit untuk dikenali, dapat dibedakan menjadi 3 kategori, yakni: tercabiknya otot maupun tulang yang patah atau hancurnya tubuh korban, terjadinya lubang-lubang akibat pecahan proyektil (efek proyektil) dan terjadinya luka bakar pada tubuh korban.

Sebagai adalah contoh pada kecelakaan bus pariwisata di Situbondo awal Oktober 2003 lalu, bus yang mengangkut 57 orang tersebut terbakar, dan mengakibatkan korban di dalamnya ikut hangus terbakar pula. Pada kondisi tersebut proses identifikasi forensik korban sangat sulit untuk dilakukan. Hal ini mengingat para korban cenderung berada pada satu bagian dari bus, yang menurut perhitungan mereka dapat digunakan untuk jalan keluar dari kendaraan yang

mereka naiki. Akibatnya dapat diduga, jasad mereka tercampur antara satu dengan yang lainnya, sehingga identifikasi korban menjadi sebuah hal yang sangat sulit untuk dilakukan.

Berdasarkan hal tersebut, maka sampel pemeriksaan DNA pada korban yang sulit untuk diidentifikasi didasarkan pada kondisi relatif masing-masing tempat kejadian perkara (TKP). Misalnya pada kasus ledakan bom, identifikasi yang menggunakan sampel pemeriksaan DNA didasarkan pada kategori dari efek ledakan, di mana pada korban yang tubuhnya masih utuh, sampel DNA-nya dapat diambil dari darah, otot, organ dalam, tulang, serta gigi. Sedang pada korban yang hangus terbakar, yang masih mungkin dilakukan adalah dengan mengambil bahan DNA dari jaringan yang belum terlalu terbakar, seperti dari gigi, tulang, dan mungkin juga otot panggul bagian dalam. Adapun khusus pada keadaan korban sudah berupa serpihan jaringan hangus, pengambilan sampel bahan DNA dapat dilakukan bagian tengah jaringan masih lunak dan belum hangus.

Adapun pada kasus korban yang sudah terkubur lama maupun yang terbakar, biasanya yang tersisa adalah tulang dan gigi. Namun pada kondisi tertentu tulang tidak dapat digunakan sebagai sumber bagi sebuah analisis DNA, contohnya karena adanya invasi kuman/ bakteri pengurai yang menyebabkan oleh frakturnya tulang, atau tulang mengalami degradasi dan kerusakan DNA karena faktor lingkungan atau kontaminasi bahan-bahan kimia tertentu. Sebagai alternatif dapat menggunakan gigi sebagai bahan analisis DNA menggantikan tulang. Hal ini disebabkan karena gigi mempunyai kandungan *hydroxyapatite* yang lebih tinggi dibandingkan dengan tulang, sehingga gigi tidak mudah terpengaruh oleh faktor lingkungan ataupun kontaminasi bahan-bahan kimia. Dengan demikian DNA pada gigi terlindungi dari pengaruh-pengaruh yang datangnya dari luar, sehingga gigi memiliki stabilitas kimia DNA yang lebih baik dibandingkan DNA pada tulang.

Armed Forces DNA Identification Laboratory (AFDIL) sebagai sebuah institusi yang memiliki kompetensi dalam bidang identifikasi forensik yang berkedudukan di Amerika

Serikat, menyatakan bahwa pemeriksaan gigi hanya memiliki tingkat keberhasilan rata-rata sekitar 70-79%, ketika digunakan dalam analisis DNA dibandingkan dengan tulang belulang lainnya, seperti tulang rusuk, yang memiliki tingkat keberhasilan sekitar 90-100%.

Pada pemeriksaan DNA di bidang forensik, ada beberapa patokan yang dapat dijadikan penuntun bagi sebuah hasil yang optimal, sebagai berikut :

1. Sampel DNA haruslah diambil sebanyak mungkin. Hal ini perlu dilakukan untuk mengimbangi mutu sampel yang kemungkinan jelek akibat adanya efek bakar yang menyebabkan putusnya fragmen-fragmen DNA.
2. Metode pemeriksaan DNA yang digunakan harus berbasis pada metode *Polymerase Chain Reaction (PCR)*, yang dapat menganalisis DNA berukuran lebih pendek, karena terfragmentasi oleh efek panas.
3. Pemeriksaan sebaiknya dilakukan terhadap fragmen DNA pendek, contohnya *Short Tandem Repeats (STR)*, yang tetap dapat dianalisis meskipun sampelnya sudah terdegradasi sekalipun.
4. Sebaiknya pemeriksaan dilakukan terhadap beberapa *lokus* DNA sehingga dapat dihasilkan kesimpulan yang akurat.

Identifikasi korban yang sulit dikenali seperti halnya korban ledakan bom, biasanya kondisi korban hanya berupa potongan-potongan tubuh, maka pemeriksaan DNA dapat dilakukan melalui tiga tahap yaitu :

1. Mula-mula dilakukan pemeriksaan DNA atas potongan tubuh korban tersebut secara keseluruhan. Kemudian hasil pemeriksaan DNA yang berupa pita DNA tersebut dibandingkan antara satu dengan yang lainnya, di mana pola pita DNA yang sama menunjukkan bahwa potongan tubuh korban berasal dari individu yang sama.
2. Pemeriksaan DNA untuk menentukan jenis kelamin korban. Pada tahapan ini dilakukan pemeriksaan DNA pada *lokus amelogenin*. *Amelogenin* adalah suatu *konstituen mayor* dari protein pembentukan matriks enamel gigi, yang terdapat di dua tempat, yakni satu

terdapat pada kromosom X dan yang lainnya terdapat pada kromosom Y. Pada manusia gen ini terletak pada regio p22 (p: lengan pendek dari kromosom) pada kromosom X maupun pada kromosom Y yang telah dipetakan. Untuk kromosom X dan Y *primer* yang digunakan berbeda. Kerusakan tingkat DNA ditandai adanya: *strand dissociation, strand breakage*, sehingga terjadi disosiasi purin dan pirimidin yang merupakan komponen utama struktur DNA, *baseless sites, intermolecular crosslink.* Akibatnya dapat terjadi degradasi DNA inti dan mitokondria secara total maupun *partial/fragmented,* sehingga bila di PCR menghasilkan fragmen DNA dengan panjang nukleotida yang berbeda, dengan pita/*band* DNAnya berbeda posisinya pada elektroforesis. Hasil dari pemeriksaan ini dapat berupa dua pita (pita X dan pita Y), yang artinya korban adalah pria . Sedang apabila hasil pemeriksaan DNA memunculkan hanya satu pita (pita X), maka korban yang diidentifikasi adalah wanita.

3. Pemeriksaan identifikasi personal dari korban, di mana pada setiap individu korban dilakukan perbandingan pita DNA dengan pita DNA dari orang yang mengaku sebagai ayah dan ibu korban, atau anak dan istri korban.

   Cara kerja pemeriksaan terhadap tiga bahan DNA ini adalah dengan melalui pelacakan asal pita DNA dari ibu dan bapak ke korban atau dari korban dan istri ke anak. Jika dari berbagai *lokus DNA* yang diperiksa didapatkan secara tegas pola penurunan pita yang sesuai, maka dapat dipastikan bahwa korban adalah orang yang dimaksud.

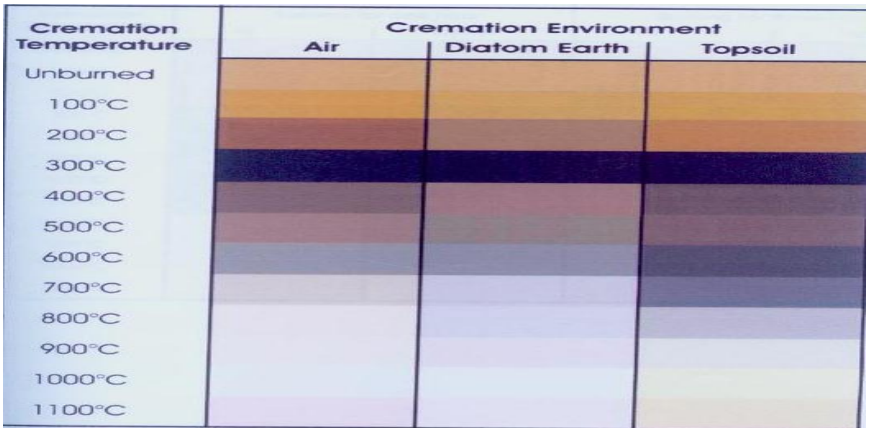
c. Kerusakan DNA pada identifikasi forensik

Seringkali dalam proses pemeriksaan pada analisis DNA dihadapkan pada kondisi bahan atau spesimen pemeriksaan DNA yang tidak seperti diharapkan, contohnya spesimen tidak dalam kondisi segar atau *fresh* dikenal dengan istilah *DNA degraded* untuk dilakukan DNA *typing*. Kondisi degradasi DNA terutama dijumpai pada kasus dengan jenazah terbakar hebat atau kasus yang cukup lama sehingga jenazah

mengalami pembusukan yang terjadi pada jaringan lunak misalnya otot.

Tingkat proses kerusakan tubuh yang sangat parah pada manusia dengan paparan panas api, diketemukan pada suhu antara 670^0C-810^0C karena tulang mampu menahan panas sampai pada suhu 600^0C. Pengaruh paparan suhu tinggi pada tulang maupun gigi terlihat pada perubahan warna.

Kerusakan tubuh manusia yang mengalami paparan panas dengan temperatur yang sangat tinggi setelah kurang lebih 10 menit menunjukkan kondisi "*pugilistic attitude*". Setelah 20 menit *calvaria* (tulang tengkorak kepala) "terbebas" dari jaringan-jaringan lunak yang membungkusnya, hingga pada akhirnya nampak *fisure-fisure* dari *tabula externa*. Tubuh akan terbakar sempurna pada tenggang waktu sekitar 2-3 jam paparan dan kondisi ini dinamakan "*complete incineration*".

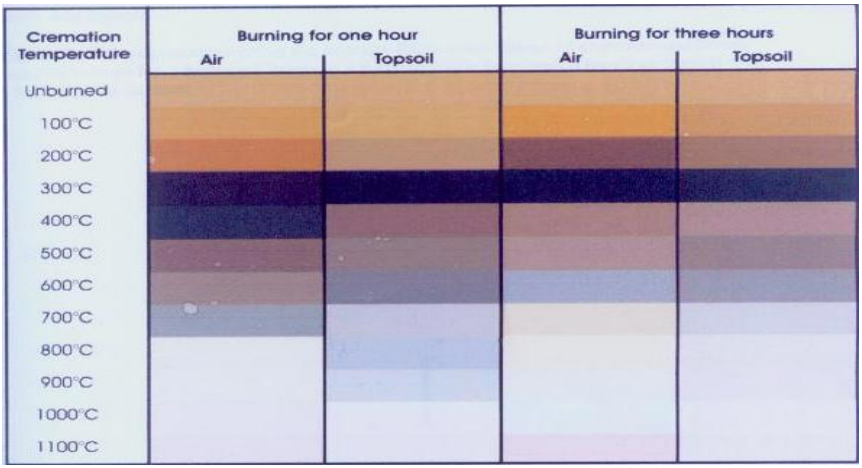


Gambar 2.2. Perubahan warna tulang setelah dilakukan pemanasan berdasarkan lingkungan sekitarnya.

Pada kerusakan DNA akibat paparan suhu tinggi, terjadi kerusakan purin-pirimidin pada DNA yang merupakan komponen utama pada struktur DNA, sehingga terjadi proses *strand dissociation* dan degradasi DNA (kerusakan DNA). Kerusakan oleh karena paparan suhu tinggi menurut Corrier, 1997 melalui 4 tahap: dehidrasi, dekomposisi, inversi dan fusi.

Kerusakan DNA yang disebabkan oleh paparan yang abnormal seperti suhu yang tinggi disebabkan oleh rusaknya

ikatan hidrogen (*hydrogenbond)* DNA yang *irreversible*. Kondisi ini mengakibatkan kerusakan pasangan purin-primidin pada DNA, di mana pasangan purin-primidin ini merupakan komponen utama pada struktur DNA.



Gambar 2.3. Perubahan warna tulang setelah dilakukan pemanasan selama 1-3 jam berdasarkan lingkungan sekitarnya.

Kerusakan DNA (*DNA damage*) yang disebabkan oleh paparan sinar-X, *chemical agents*, *spontaneous instability*, ataupun oleh suhu yang sangat tinggi atau suhu ekstrim yang mengakibatkan banyak tipe kerusakan. Tipe kerusakan DNA tersebut yaitu kerusakan rantai (*strand*) DNA (*doublestrand* maupun *singlestrand*), *basedamage* (kerusakan basa DNA), *sugar damage*, bahkan terjadinya DNA *crosslinks* maupun DNA-protein *crosslinks*.

Pada dasarnya kerusakan DNA dibagi 2 tipe, yaitu; Pertama: kerusakan dari dalam atau *endogenous damage*, seperti halnya kerusakan yang disebabkan oleh *reactive oxygen species* (ROS) akibat proses *oxidative phosphorylation*. Kedua: kerusakan DNA yang disebabkan oleh faktor luar atau *exogenous damage*, misalnya radiasi UV, *X-ray*, *gamma ray* serta *thermal disruption.* Kerusakan DNA dari faktor luar lainnya seperti bahan-bahan kimia, pH, suhu.

Bahan Rujukan

1. Muladno. 2002. *Seputar teknologi rekayasa genétika*. Bogor. Pustaka Wirausaha Muda, Edisi pertama. hal. 45-51, 66-68
2. Notosoehardjo I. 2003. Perkembangan Ilmu Kedokteran Kehakiman menuju Ilmu Kedokteran Forensik. *Pidato Ilmiah pengukuhan Guru Besar* bidang Ilmu Kedokteran Forensik UNAIR.
3. Kusuma Soekry E. 2004. Perkembangan mutakhir deteksi paterniyas dengan teknolgi DNA. *Pidato pengukuhan guru besar* ilmu kedokteran forensik UNAIR
4. Zahir S A. 1990. DNA sebagai materi genetik pengkode protein : Struktur, fungsi dan sifat biologis. *Kumpulan simposium HKKI*. hal. 35-38.
5. Jusuf. 2001. *Genetika I: Struktur & Ekspresi Gen*. Sagung Seto Jakarta. hal. 45-50
6. Notosoehardjo I. 2001. DNA Forensic ;Paternity test, past, present, and future. *Forensic Scienece Journal*. VIII. pp. 34-45
7. Muray R. 2006. Harper's Ilustrated Biochemistry. 27th Edition. *Mc Graw Hill Lange.* pp. 366-370
8. Javed, R. and Mukesh (2010) 'Current research status, databases and application of singke nucleotide polymorphism', *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(13), pp. 657–663.
9. Shastry, B. S. (2003) 'SNP alleles in human disease and evolution', *B. Jochimsen*, 47, pp. 561–566.
10. Sudoyo Herawati. 2003. DNA sebagai marka antropologi dan kedokteran forensik, Kumpulan *Makalah Mitochondrial medicine* Unibraw, Malang. hal. 35-46
11. Rudin Norah and Keith Inman. 2002. *An Introduction to Forensic DNA Análisis.* Second Edition. CRC Press. pp 65-90
12. Kirby LT. 1990. *DNA Fingerprinting.* An Introduction. Stokton Press, New York. pp. 56-67
13. Yuwono, T. (2008). *Biologi Molekuler*. Jakarta: Erlangga. Pp. 75-92
14. Connor M and Ferguson S.1997. *Essential Medical Genetcs*. Fifth edition Blakwell Science Ltd Australia. pp. 3-29
15. Robert FW. 2005. *Molecular Biology*. 3rd Ed,McGraw Hill,Toronto pp. 28-81
16. Muladno. 2010. *Teknologi rekayasa genetika*. Edisi Kedua. IPB Press. Bogor. hal. 61-72
17. Walker Philip L, Kevin W.P.Miller and Rebecca Richman. 2003. Time, temperature and oxygen availability: an experimental study of the effects of environmental conditions on the color

and organic content of cremated bone. In press in: *Burned Bone*.C.W.Schmidt (ed).Elsivier Press. pp. 345-354.

18. Atmaja DS. 2005. Peranan sidik jari DNA pada bidang kedokteran forensik, Materi Workshop DNA fingerprinting. *Universitas Gadjah Mada.* Yogyakarta. hal. 25-28
19. Bohnert M, Rost T, Pollak S. 1998. The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire. *Journal of International Forensic Science*. Volume 95. Issue 1. 6 July 1998. pp. 11-21
20. Notosoehardjo I. 1999. Penentuan Jenis Kelamin berdasarkan Pemeriksaan DNA dan Antropometri tulang. *Disertasi Doktor*. Universitas Airlangga, Surabaya. hal. 76-89, 94-96.
21. Ginther C. 1992. Identifying individual by sequencing mitochondrial DNA from teeth. *Nature Genetic* ;2(2): pp.135 - 138.
22. Butler, J. M. (2011) *Advanced Topics in Forensic DNA Typing : Methodology*. U.S.A.
23. Butler, J. M. and Borsuk, L. (2017) 'Autosomal STR Markers and Interpretation', in *International Society for Forensic Genetics*. seoul.
24. Connor, K. L. O. and Ph, D. (2011) 'Interpretation of DNA Typing Results for Kinship Analysis', *Presentation at the 21st International Symposium on Human Identification*.
25. Pagare, S. (2011) 'Understanding the Basics of DNA Fingerprinting in Forensic Science', *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*, 23(4), pp. 613–616. doi: 10.5005/jp-journals-10011-1233.
26. Tahaa, T. *et al.* (2018) 'Genetic Variation for Nine Autosomal Short Tandem Repeat (STRs) in Egyptian Population Journal of Forensic Medicine', 3(1), pp. 3–6. doi: 10.4172/2472-1026.1000123.
27. Nidom CA. 2005. Teknik Biomolekuler untuk penentuan 'DNA profil". *Kumpulan makalah seminar sehari*, tentang ditinjau dari berbagai aspek TDC Unair, Nov 2004
28. Ishaq M. 1997. DVI di Indonesia. *DOKPOL POLRI* Jakarta. hal 1-5
29. Farley A Mask. 1991. *Forensic DNA Technology*. Michigan. *lewis Publishers* Inc. USA. pp. 124-132
30. Melcher NM. 2000. Development of a human DNA quantitation system, promega corporation. *croatia medical journal*. 42.pp. 336 - 339

31. Svensson.K, 2002. A proposal of an investigation of the reliability of mitochondrial DNA as a tool in *forensic dentistry*. Institute of Odontology, Karolinska Institutet, Huddings, Sweden. pp. 345-349.
32. Edson SM, J.P. Ross, M.D. Coble, T.J. Parsons and S.M. Barritt. 2004. Naming the dead-confronting realities of rapid identification of degraded skeletal remains: *Forensic Science Rev.* 16:63. pp. 64-89.
33. Corrier M .1997. Fire Modification of bone : A Review of literature in WD Haghund and MH Sorg (eds), *For Taphonomy the postmortem of human remains*. Boca Raton *CRC Press.* pp. 275-293

BAB III.
PEMERIKSAAN FORENSIK DNA

Genom *eukariotik,* dalam hal ini genom manusia, dalam DNA inti bisa mengandung unit-unit pengulangan panjang ratusan hingga ribuan daerah berulang. Daerah DNA dengan panjang unit-unit pengulangan (*core sequence*) kurang dari 1 kb (*kilobase)* disebut *microsatellit* atau *short tandem repeat* (STR) atau *simple sequence repeat* (SSR). *Short Tandem Repeat* (STR) menjadi penanda pengulangan DNA yang populer karena berbagai lokus STR memiliki ukuran alel yang kecil (kurang dari 1 kb dan rata-rata terbanyak 300 bp) maka dapat diamplifikasi dengan mudah dengan PCR dan sampel yang telah terdegradasi pun dapat dianalisis. Jumlah pengulangan dalam penanda STR bisa sangat beragam di antara individu yang bersifat spesifik sehingga efektif untuk tujuan identifikasi manusia.

Ukuran alel STR yang kecil tersebut membuat penanda STR yang sering digunakan dalam kasus-kasus forensik, terutama pada kondisi banyak DNA yang terdegradasi. Amplifikasi PCR dari sampel DNA yang terdegradasi bisa visualisasikan dengan lebih baik pada ukuran produk/penanda yang kecil.

a. *Autosomal Short Tandem Repeats* (STRs)

Federal Bureau Investigation (FBI) dan komunitas ahli forensik dunia telah mendesain 13 lokus sebagai sistem identifikasi forensik nasional dengan bersinergis dengan *Combined DNA Index System* (*CODIS*) database. Lokus *STR* tersebut meliputi TH01, TP0X, CSF1PO, vWA, FGA, D3S1358, D5S818, D7S820, D13S317, D16S539, D8S1179, D18S51, danD21S11.

Lokus-lokus STR tersebut seperti Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 : Informasi 13 lokus CODIS berdasarkan nama, letak atau lokasi pada kromosom, pola pengulangan nukleotidanya dari tiap lokus serta kode akses pada GenBank.

Locus Name	Chromosomal Location	Repeat Motif ISFH format	GenBank Accession	Allele in GenBank	Allele Range	Number of Alleles Seen*
CSF1PO	5q33.3-34	TAGA	X14720	12	6-16	15
FGA	4q28	CTTT	M64982	21	15-51.2	69
TH01	11p15.5	TCAT	D00269	9	3-14	20
TPOX	2p23-pter	GAAT	M68651	11	6-13	10
VWA	12p12-pter	[TCTG][TCTA]	M25858	18	10-24	28
D3S1358	3p	[TCTG][TCTA]	NT_005997	18	9-20	20
D5S818	5q21-31	AGAT	G08446	11	7-16	10
D7S820	7q11.21-22	GATA	G08616	12	6-15	22
D8S1179	8	[TCTA][TCTG]	G08710	12	8-19	13
D13S317	13q22-31	TATC	G09017	13	5-15	14
D16S539	16q24-qter	GATA	G07925	11	5-15	10
D18S51	18q21.3	AGAA	L18333	13	7-27	43
D21S11	21q21	Complex [TCTA][TCTG]	AP000433	29	24-38	70

* *Butler, Forensic DNA Typing, Appendix 1*

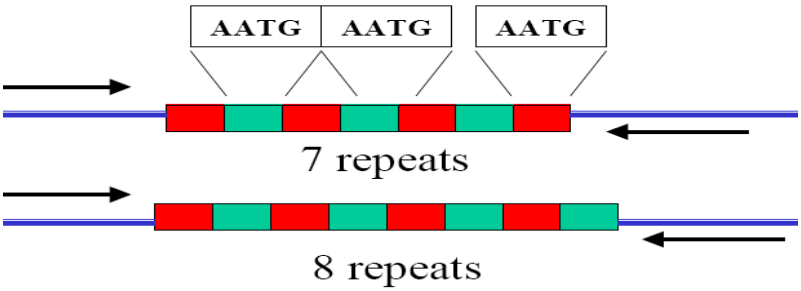
Pada tabel 2.1 menunjukkan lokasi dari 13 lokus STR CODIS pada tiap kromosom manusia.

1. TPOX terletak pada kromosom 2
2. Lokus D3S1358 terletak pada kromosom 3
3. Lokus FGA pada kromosom 4
4. Lokus CSF1PO dan D5S818 terletak pada kromosom 5
5. Lokus D7S820 pada kromosom 7
6. Lokus D8S1179 pada kromosom 8
7. Lokus THO1 pada kromosom 11
8. Lokus vWA pada kromosom 12
9. Lokus D13S317 pada kromosom 13
10. Lokus D16S53 pada kromosom 16
11. Lokus D18S51 pada kromosom 18
12. Lokus D21S11 pada kromosom 21

Pemberian tata nama disesuaikan dengan nama gen yang ada di dalamnya namun juga ada berdasarkan letak dalam kromosom, misalnya pada lokus D7S820 yang mempunyai arti :

D : DNA,
7 : merupakan nomor kromosom (7: kromosom 7),
S : *single copy sequence*,
820 : menunjukkan deskripsi lokus ke 820 pada kromosom tersebut.

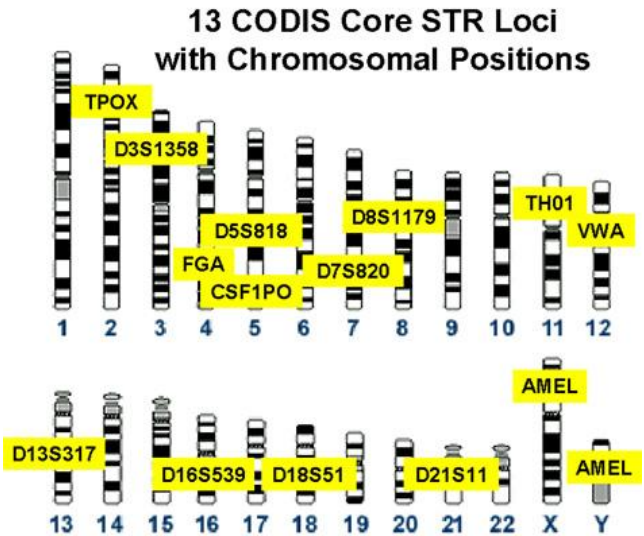
Di antara beberapa jenis penanda STR, pengulangan tetranukleotida (*core sequence* 4 bp misalnya AATG pada gambar 3.1) menjadi lebih populer daripada dinukleotida atau trinukleotida .



Gambar 3.1. Ilustrasi perulangan pada lokus *Short Tandem Repeat* (STR).

Jumlah pengulangan dalam penanda STR itu sendiri sangatlah beragam dan spesifik di antara individu, sehingga sangat efektif untuk digunakan sebagai alat identifikasi manusia. S*hort Tandem Repeat* (STR) mempunyai beberapa kelebihan jika digunakan sebagai identifikasi forensik yaitu dapat digunakan pada DNA yang terdegradasi akibat dipengaruhi kondisi dan faktor lain yang ada di tempat kejadian perkara. Kelebihan ini disebabkan karena fragmen DNA yang dibutuhkan lebih pendek, jumlah sampel yang digunakan sedikit dari sampel dan dapat di amplifikasi (melalui PCR), proses analisis cepat, jumlah lokus yang potensial dianalisis jauh lebih besar dan kit analisis sudah tersedia .

Tiga belas (13) lokus tersebut sebagai sistem identifikasi forensik nasional ditambah dengan marker gen A*melogenin* yang digunakan untuk menentukan jenis kelamin korban.

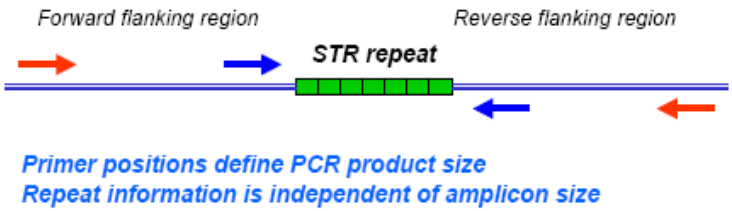


Gambar 3.2. Lokasi lokus DNA inti pada kromosom manusia.

European DNA Profiling Group (EDNAP) dan rekomendasi *European Network of Forensic Science Institute* (ENSFI), pada pertemuan kerja Interpol tahun 1997, mengemukakan empat standar lokus STR yang digunakan, yakni: HUMTH01 (human THO1), HUMVWFA31, D21S11 dan HUMFIBRA/FGA, ditambah dengan lokusD3S21358, D8S1179 dan D18S51. Lokus *VNTR* yang direkomendasikan dalam pemeriksaan meliputi: D1S80, D17S5, APO-B, D16S83 dan D17S766 (Kusuma, 2004). Kedua sistem tersebut di atas (CODIS dan EDNAP), dapat digunakan untuk keperluan identifikasi DNA forensik maupun untuk keperluan pemeriksaan paternitas atau *paternity testing*. Hal ini mengingat kedua keperluan tersebut memiliki prinsip yang sama, yakni didasarkan pada hukum Mendel tentang pewarisan sifat pada individu yang diidentifikasi maupun yang akan ditentukan status keayahannya.

Pada kondisi DNA yang telah mengalami degradasi, maka dibutuhkan sebuah terobosan agar sampel yang tidak dalam kondisi bagus tersebut, masih dapat digunakan dalam proses analisis DNA. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah melalui desain *primer* pada lokus STR dengan produk amplifikasi pasangan basa yang lebih kecil, yang dikenal dengan *mini primer* STR *design*.

Desain *mini primer* STR dirancang untuk sampel *degraded DNA* ini, didasarkan pada pengurangan ukuran dari produk PCR, menggeser posisi *primer* ke arah yang lebih dekat daerah perulangan STR, seperti pada gambar 3.3. Cara ini ternyata berhasil memperoleh produk amplifikasi dengan ukuran yang lebih kecil, sebagai produk PCR dari STR *marker.*



Gambar 3.3. Ilustrasi pengurangan ukuran *primer* STR. Panah warna merah merupakan *primer* eksternal yang umum digunakan sedangkan panah warna biru merupakan *primer* internal untuk *mini primer* STR.

Mini primer set dirancang berdasar desain *primer* dengan menggunakan kriteria-kriteria sebagai berikut :

1. Panjang primer antara 17–28 basa;
2. Efisiensi meningkat, jika *primer* berhenti pada (3') G atau C, atau CG atau GC;
3. Komposisi basa: (G+C)= 50-60%;
4. Suhu *annealing* antara 55^0C-80^0C;
5. Hindari perulangan tiga atau lebih dari basa C atau G pada ujung 3' *primer*, karena akan memicu terjadinya *mispriming* pada sekuensing yang kaya akan G atau C;
6. Ujung 3' dari *primer* tidak saling berkomplementer karena menimbulkan *primer-dimer* dan hindari *primerself-complementarity* .

Salah satu keuntungan dari metode ini adalah sampel DNA yang sudah terdegradasi, masih dapat diamplifikasi dengan PCR. Dengan demikian identifikasi forensik, masih dapat dilakukan. Hanya saja tidak semua STR *marker* yang ada selama ini dapat dikembangkan menjadi *mini primer* STR *set*.

Berbagai lokus STR dibagi empat kategori yaitu:

1. Pengulangan sederhana yang mengandung satu rangkaian pengulangan: TPOX, CSF1PO, D5S818, D13S317, D16S539
2. Pengulangan sederhana dengan alel *non-consensus*: THO1, D18S51, D7S820
3. Pengulangan campuran dengan alel *non-consensus*: vWA, FGA, D3S1358, D8S1179 dan
4. Pengulangan kompleks: D21S11.

CSF1PO merupakan pengulangan tetranukleotida yang ditemukan dalam *c-fms proto-oncogene* untuk reseptor CSF-1 pada lengan panjang kromosom 5 (5q33.3-34). Lokus ini berukuran antara 295–327 *basepair*. Umumnya alel ini mengandung pengulanganurutan inti (*core sequence repeat)* T-A-G-A dan berjumlah 7 hingga 15 kali.

Lokus FGA merupakan pengulangan tetranukleotida campuran yang ditemukan dalam intron ketiga dari *Human Alpha Fibrinogen* pada lengan panjang kromosom 4 (4q28). FGA juga disebut sebagai FIBRA atau HUMFIBRA. Lokus tersebut mengandung pengulangan C-T-T-T. Berjumlah 15 hingga 35 kali pengulangan.

Lokus THO1 merupakan pengulangan tetranukleotida sederhana yang ditemukan dalam intron 1 dari gen *tyrosine hydroxylase* pada lengan pendek kromosom 11 (11p15.5). THO1 memiliki rangkaian sederhana dengan motif pengulangan T-C-A-T. Lokus ini berukuran antara 179 sampai 203 *basepair* dengan pola pengulangan berjumlah 5 sampai 11 kali (Promega Corp, 2000; (Krenke *et al.*, 2002; Butler, 2011)).

Pada lokus TPOX merupakan pengulangan tetranukleotida sederhana yang ditemukan dalam intron 10 dari gen *thyroid peroxidase* pada lengan pendek kromosom 2 (2p23-pter). TPOX memiliki rangkaian motif pengulangan G-A-A-T. Lokus ini berukuran antara 224 sampai 252 *basepai*r dengan jumlah pola pengulangan antara 6 sampai 13 kali.

Lokus vWA merupakan pengulangan tetranukleotida campuran yang ditemukan dalam intron 40 dari gen *von Willebrand Factor* pada lengan pendek kromosom 12 (12p12-pter). vWA memiliki motif pengulangan(T-C-G-T)(T-C-T-A).

Lokus ini memiliki rentang ukuran 139 sampai 167 *basepair* dengan pola pengulangan sejumlah antara 13 sampai 20 kali.

Lokus D13S317 merupakan lokus dengan pengulangan tetranukleotida sederhana yang ditemukan pada lengan panjang kromosom 13 (13q22-31). Memiliki motif pengulangan T-A-T-C. Lokus ini memiliki ukuran 165 sampai 197 *basepair* dengan pola pengulangan sejumlah 7 sampai 15 kali.

Lokus D7S820 merupakan pengulangan tetranukleotida sederhana yang ditemukan pada lengan panjang kromosom 7 (7q11.21-22), memiliki motif pengulangan G-A-T-A. Lokus ini memiliki rentang ukuran 215 sampai 247 *basepair* dengan jumlah pola pengulangan 6 sampai 14 kali.

Lokus D16S539 merupakan pengulangan tetranukleotida yang ditemukan pada kromosom 16 (16q24-qter), memiliki motif pengulangan G-A-T-A. Lokus ini memiliki rentang ukuran 264 sampai 304 *basepair* dengan pola pengulangan sejumlah antara 5,8 sampai 15.

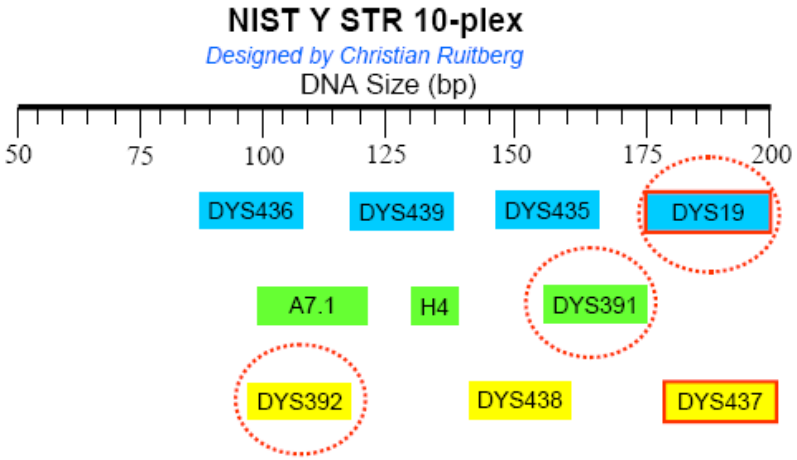
Lokus D21S11 yang merupakan pengulangan tetranukleotida kompleks dengan motif pengulangan (T-C-T-A)(T-C-T-G) pada kromosom 21. Lokus ini sering digunakan dalam penegakan diagnostik pada kelainan *Down Syndrome* pada anak-anak.

b. Y-*ChromosomeSTRs* (Y-STRs)

Sebagaimana pemeriksaan STR lainnya, pemeriksaan Y-*Chromosom STRs* merupakan pemeriksaan DNA yang menggunakan dasar perulangan nukleotida dari intron. Karena hanya saja perulangan yang terletak pada intron kromosom Y yang diperiksa, maka pemeriksaan ini disebut dengan pemeriksaan Y-STRs.

Pada kasus perkosaan di mana jumlah sel sperma yang kemungkinan tertinggal dalam vagina korban dalam jumlah sedikit pada waktu dilakukan *vaginal swab*, maka peran pemeriksaan kromosom Y sangat menentukan untuk membuktikan pelaku pemerkosaan yang sebenarnya. Kelemahan dari kromosom Y ini terletak pada sifat kromosom ini yang tidak bersifat individual sebagaimana pemeriksaan STR lainnya, di mana pada pemeriksaan kromosom Y tidak

dapat dibedakan apakah DNA tersebut berasal dari bapak, anak atau saudara laki-laki dari pelaku. Kasus terkenal yang diperiksa dengan menggunakan analisis kromosom Y adalah kasus Thomas Jefferson yang diduga memiliki anak hasil hubungan gelapnya dengan seorang budak.



Gambar 3.4. Lokus STR pada kromosom Y

The international Society of Forensic Genetic (ISFG) merekomendasikan melalui Komisi DNA yakni 8 lokus untuk pemeriksaan Y-STRs yakni DYS19, DYS385a, DYS385b, DYS389I, DYS389II, DYS390, DYS392 dan DYS393.

Pada tabel 2.2. di bawah ini menunjukkan letak lokus-lokus *Y-STRs* serta pola pengulangan nukleotidanya dari setiap lokus dan besar rentang ukuran *base pairs* (bp). Alell range DYS19: 10-19, DYS389I: 9-17 dan DYS390: 17–28.

Tabel 2.2. Informasi tentang penanda Y-STRs

STR Marker	Position (Mb)	Repeat Motif	Allele Range	PCR Product Size	STR Diversity
DYS393	3.04	AGAT	8–16	104–136 bp	0.363
DYS19	9.44	TAGA	10–19	232–268 bp	0.498
DYS391	13.41	TCTA	6–13	90–118 bp	0.552
DYS437	13.78	TCTA	13–17	183–199 bp	0.583
DYS439	13.83	AGAT	8–15	203–231 bp	0.639
DYS389I/II	13.92	TCTG TCTA	10–15/24–34	148–168 bp/256–296 bp	0.538 /0.675
DYS438	14.25	TTTTC	8–12	101–121 bp	0.594
DYS390	16.52	TCTA TCTG	18–27	191–227 bp	0.701
DYS385 a/b	20.00, 20.04	GAAA	7–25	243–315 bp	0.838
DYS392	21.78	TAT	7–18	294–327 bp	0.596

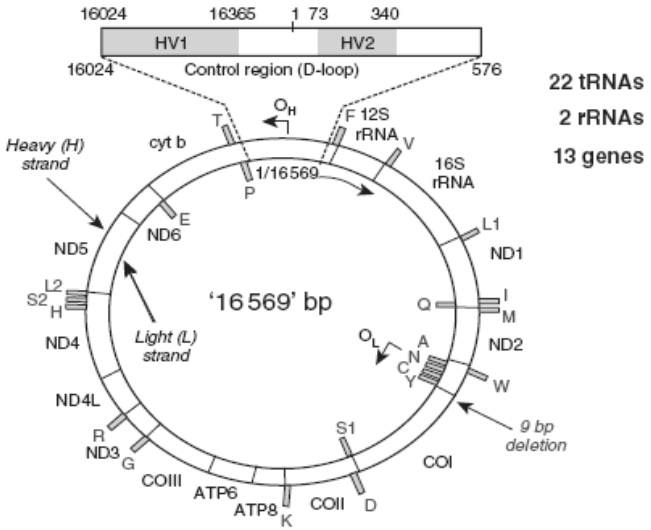
c. DNA mitokondria (*mtDNA*) manusia

Ketika DNA inti mengalami degradasi sehingga terdapat dalam jumlah terbatas, maka alternatif pemeriksaan yang digunakan adalah dengan menggunakan DNA yang terdapat pada mitokondria atau yang dikenal dengan nama *mitochondria DNA (mtDNA)*. *Mitochondria DNA* ini sangat efektif bila digunakan pada pemeriksaan DNA pada sisa jaringan lama yang mengalami dekomposisi atau skeletonisasi.

DNA mitokondria (*mtDNA*) merupakan DNA beruntai ganda berbentuk lingkaran tertutup yang telah diketahui urutan nukleotidanya secara lengkap serta hampir tidak memiliki *intron*. DNA mitokondria yang terdapat pada organel sel, dikenal dengan sebutan "*power house*" dari sel dan memiliki ukuran sebesar 16.569 *base pairs*.

mtDNA menyandi 37 gen (*coding region*) yang terdiri dari 13 *polipetida* untuk protein kompleks rantai respirasi, 22 tRNA, dan 2rRNA yang berfungsi dalam proses sintesis protein mitokondria, serta daerah yang tidak menyandi (*non coding region*), yang disebut dengan *displacement loop* (*D-loop*), yang memiliki panjang 1100 bp. *D-loop* merupakan daerah *mtDNA* yang tidak mengkode polipeptida, memiliki laju mutasi yang

tinggi (5-10 kali) dibandingkan dengan DNA inti sehingga memiliki kemampuan diskriminasi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena *mtDNA* memiliki mekanisme reparasi yang terbatas, tidak mempunyai protein histon sebagai pelindung.



Gambar 3.5. Struktur DNA mitokondria.

Disamping itu juga *D-loop* berperan dalam regulasi ekspresi genetik *mtDNA*. Daerah ini memiliki makna yang sangat besar bagi pemeriksaan forensik, karena *sekuens* yang terdapat pada *D-loop* ini cenderung bervariasi (*polimorphism*) pada masing-masing individu, yaitu pada daerah HVR1 (nt 16024-16365) dan HVR2 (nt 73-340). *D-loop* merupakan struktur DNA beruntai ganda yang mengandung bagian rantai H *(heavy)* yang berupa 7S DNA, di mana basa nukleotidanya berpasangan dengan rantai L *(light)*. *D-loop* meliputi *sekuens* DNA sepanjang 118 bp antara *nukleotida* 16028-577 yang dibatasi oleh gen tRNA *phe* dan tRNA *pro*.

Perbedaan penting antara DNA inti dengan DNA mitokondria terletak pola pewarisan. Berbeda dengan sistem genetik DNA inti yang mengikuti hukum *Mendel*, *mtDNA* diwariskan secara maternal. Seorang ibu akan mewariskan *mtDNA*nya pada seluruh keturunannya dan anak-anak perempuannya akan meneruskan ke generasi berikutnya.

Pada DNA inti dapat terjadi rekombinasi dan bersifat *diploid*, sedangkan *mtDNA* bersifat *haploid*.

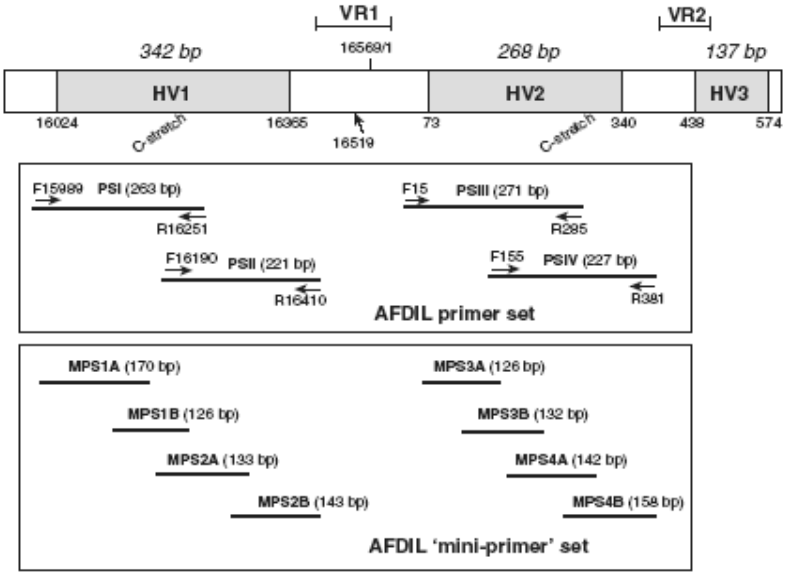
DNA mitokondria berbentuk sirkular, di mana dengan bentuk ini menjadikan *mtDNA* lebih stabil dan resisten terhadap pengaruh yang berasal dari luar. *Inner strand* dari *mtDNA* disebut dengan *the light (L) strand,* sedang *strand* bagian luar atau *outer strand* disebut dengan *the heavy (H) strand.*

Dibandingkan dengan DNA inti, *mtDNA* memiliki kelebihan yang sangat berguna bagi sebuah proses identifikasi. Kelebihan tersebut berupa: setiap sel terdapat sekitar 1.000-10.000 copi *mtDNA*. *mtDNA* berstruktur sirkular sehingga membuat stabil serta *resistent* terhadap bahaya degradasi, m*tDNA* bersifat *haploid* sehingga mempermudah untuk dilakukan *direct sequencing* selama analisis dan adanya *highly polymorphic region* dalam *D-loop*, yang membuat *mtDNA* sangat cocok untuk keperluan forensik.

Tabel 2.3. Perbedaan DNA inti dan *mtDNA* manusia

Karakteristik	DNA inti	*mtDNA*
Ukuran	3 milyar pb	16.569 pb
Kopi/Sel	2	Bisa> 1000
Struktur	Linier	Sirkular
Penurunan	Hukum Mendel	Maternal
Rekombinasi	Ya	Tidak
Laju Mutasi	Rendah	Tinggi
Sekuens	Human Genom Project	Anderson *et al* 1981

Dalam identifikasi forensik terutama pada kasus dengan degradasi DNA, AFDIL telah menetapkan *standard primer set* bagi amplifikasi DNA mitokondria yang rata-rata mempunyai *amplicon size* berada pada kisaran 300 *base pairs*. Adapun produk amplifikasi dengan *mini primer set* dari AFDIL berada pada kisaran produk PCR 150 bp.



Gambar 3.6. Pemetaan daerah atau *region* dari DNA mitokondria pada *D-loop* yang digunakan sebagai dasar disain *mini primer* DNA mitokondria.

Pada F15971/R16410 dan F15/R389, daerah primer dirancang pada *hypervariable* (HV) yang dipilih tergantung pada degradasi *mtDNA* yang terjadi pada sampel dan posisi *amplicon* yang diharapkan. Secara teoritis dengan menurunkan *amplicon size*, maka jumlah *degraded mtDNA* yang dapat diamplifikasi dan sensitivitas reaksi akan meningkat.

Bahan Rujukan

1. Butler, J. M. (2007) 'Short tandem repeat typing technologies used in human identity testing.', *BioTechniques*, 43(4). doi: 10.2144/000112582.
2. Butler, J. M. (2011) *Advanced Topics in Forensic DNA Typing : Methodology*. U.S.A.
3. Butler, J. M. and Borsuk, L. (2017) 'Autosomal STR Markers and Interpretation', in *International Society for Forensic Genetics*. seoul.

4. Krenke, B. E. *et al.* (2002) 'Validation of a 16-Locus Fluorescent Multiplex System *', 47(4), pp. 1–13.
5. Kusuma Soekry E. 2004. Perkembangan mutakhir deteksi paterniyas dengan teknolgi DNA. *Pidato pengukuhan guru besar* ilmu kedokteran forensik UNAIR
6. Muladno. 2002. *Seputar teknologi rekayasa genétika*. Bogor. Pustaka Wirausaha Muda, Edisi pertama. hal. 45-51, 66-68
7. Muladno. 2010. *Teknologi rekayasa genetika*. Edisi Kedua. IPB Press. Bogor. hal. 61-72
8. Coble MD, CR Hill, PM Vallone, JM Butler. 2006. Characterization and performance of new MiniSTR loci for typing degraded samples.*International Congress Series* .1288. pp. 504-506
9. Innis MA, Gelfrand DH, 1990. Optimization of PCRs. In : *PCR Protocols*. Academics Press, New York. Pp. 3-12
10. Yuwono T. 2006. Teori dan Aplikasi Polymerase Chain Reaction. *Panduan eksperimen PCR untuk memecahkan masalah biologi terkini*. Penerbit Andi. Jakarta. hal. 34-56.
11. Leat Neil. 2004. Developments in the use of Y-chromosome markers in forensic genetics. *African Journal of Biotechnology*.Vol 3 (12) December 2004. pp.637-642.
12. Gill P. 2001. DNA Commision of the International Society of Forensic Genetics: recommendations on forensic analysis using Y-chromosome STRs. *International Journal Legal Med*.114: pp. 305 - 309
13. Anderson S. 1999. A validation study for the extraction and analysis of DNA from human nail material and its application to forensic casework. *Forensic Science Journal.* 44. pp.1053-56
14. Sudoyo Herawati. 2003. DNA sebagai marka antropologi dan kedokteran forensik, Kumpulan *Makalah Mitochondrial medicine* Unibraw, Malang. hal. 35-46
15. Sullivan KM, Hopgood R, Gill P. 1992. Identification of human remains by amplification and automated sequencing of mitochondrial DNA, *International Journal Legal Medicine;* 105. pp. 83-86.

16. Robin ED, Wong R. 1998. Mitochondrial DNA moleculer and number of mitochondrial per cell in mamillian cells. *Journal Cellular Physiology*; 136. pp.507-513
17. Edson SM, J.P. Ross, M.D. Coble, T.J. Parsons and S.M. Barritt. 2004. Naming the dead-confronting realities of rapid identification of degraded skeletal remains: *Forensic Science Rev.* 16:63. pp. 64-89.

BAB IV.
TULANG DAN GIGI
SEBAGAI SUMBER DNA

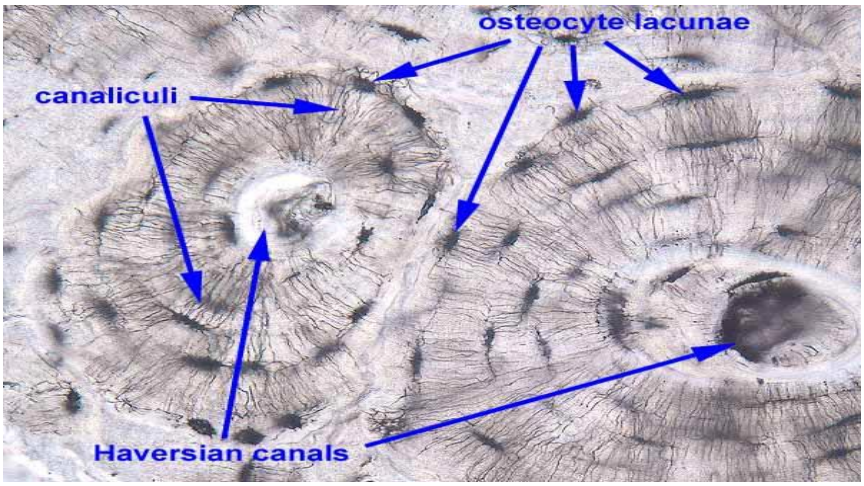
Pada kasus-kasus kriminal biasanya tidak didapatkan barang bukti yang dapat dijadikan sebagai sumber pemeriksaan DNA dalam jumlah yang besar, melainkan terbatas jumlahnya. Yakni dalam bentuk bercak darah, bercak keringat, bercak sperma, maupun bercak cairan lainnya. Hal ini tentu saja memerlukan penanganan yang seksama, termasuk dalam hal ini adalah cara pengambilan, penyimpanan dan pengiriman sampel yang dapat digunakan sebagai sumber pemeriksaan DNA.

Analisis terhadap sampel pemeriksaan DNA sangat memerlukan penanganan seksama, mengingat sangat menentukan keberhasilan pemeriksaan DNA selanjutnya. Jika penanganan sampel DNA tidak dilakukan dengan seksama, maka dikhawatirkan kualitas sampel DNA yang akan digunakan sebagai bahan pemeriksaan DNA forensik, akan mengalami kerusakan atau dengan kata lain akan mengalami *degraded DNA* atau *fragmented DNA*. Hal ini tentu saja akan menyulitkan pemeriksaan DNA selanjutnya, yang bila DNA yang digunakan rusak terlalu parah akan mengakibatkan kegagalan dalam *DNA profiling*, meski sekarang telah berkembang pemeriksaan DNA berbasis (PCR) dengan menggunakan *mini primer set*.

Tulang dan gigi merupakan jaringan terkuat dari keseluruhan organ tubuh manusia, yang dapat digunakan sebagai sumber identifikasi forensik dengan menggunakan analisis DNA. Kedua jaringan memiliki kandungan DNA yang berbeda-beda tergantung struktur serta komposisi selnya. Jaringan dengan banyak sel berinti dan sedikit jaringan ikat umumnya memiliki kadar DNA tinggi. Pemilihan organ yang akan dipilih guna isolasi DNA pada kasus forensik sangatlah penting. Pada keadaan jenazah yang sudah membusuk lanjut atau apabila hanya tinggal tulang belulang saja maka hanya tulang dan gigi saja yang masih dapat diperiksa.

Sel-sel tulang yang dinamakan dengan *osteosit*, berada di antara *lamellae* atau bahkan kadang-kadang terdapat dalam *lamellae*, berada dalam *lacunae* yang dikelilingi oleh suatu matriks yang terinfiltrasi dengan garam anorganik, menyebabkan sifat tulang jadi *rigid* dan tidak fleksibel. Bagian luarnya merupakan jaringan fibrus disebut *periosteum* yang kaya pembuluh darah. Jenis sel ini merupakan komponen sel utama dalam jaringan tulang.

Osteosit memiliki peran penting dalam pembentukan matriks tulang disekitarnya, di samping juga bersama dengan osteoblas menghasilkan *alkali fosfatase*, yang sangat diperlukan diperlukan dalam pembentukan garam kalsium. Jumlah osteosit sekitar 20.000-26.000/mm3.

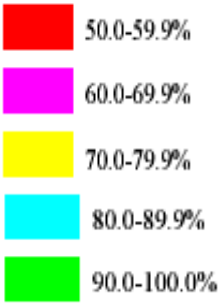


Gambar 4.1. Histologi Tulang

Matriks tulang terdiri dari bahan organik-osteoid yaitu Kolagen tipe I 95%, GAGs (mengandung *chondroitin 4-sulfate*, *chondroitin 6-sulfate*, *keratin sulfate*) dan *glycoprotein*. Bahan anorganiknya terdiri dari kristal *hydroxyapaptite* dari *calcium* dan fosfor, *carbonate, magnesium, flouride, sulfate*. Komponen anorganik merupakan 50% dari berat tulang.

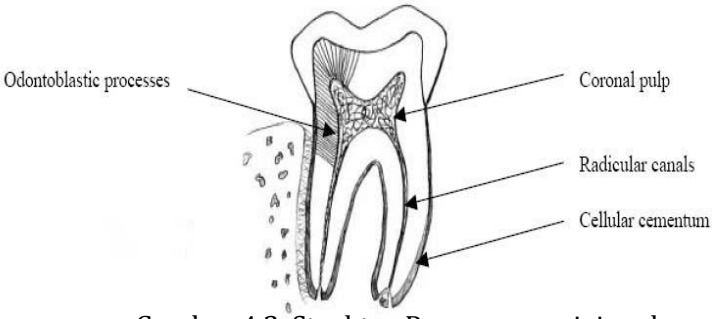
Bahan tulang maupun gigi merupakan bahan yang potensial serta stabil dalam pemeriksaan analisa DNA. Pemilihan tulang rusuk dan gigi dalam penelitian ini sebagai bahan penelitian adalah berdasarkan referensi AFDIL yang

menyatakan tulang rusuk memiliki tingkat keberhasilannya tinggi (90%-100%) dan gigi 70%-80% pada analisis DNA.



Gambar 4.2. Tingkat keberhasilan pemeriksaan DNA

Gigi manusia dibagi menjadi atas 2 regio, yakni: bagian akar gigi yang berfungsi menopang gigi dan terletak dalam rahang yang terdiri dari *cementum* dan mahkota gigi. *Cementum* merupakan jaringan gigi yang mengalami kalsifikasi. Mahkota gigi terdiri dari email (bagian terluar) dan dentin (bagian dalam), di mana email berfungsi membentuk struktur terluar yang resisten bagi mahkota gigi, sehingga gigi tahan terhadap tekanan dan abrasi mastikasi. Pulpa adalah jaringan ikat longgar yang menempati bagian tengah ruang pulpa pada akar gigi. Pulpa ini mengandung elemen vaskular dan neural, yang memberikan nutrisi dan fungsi sensoris pada dentin, di mana saraf dan pembuluh darah pada pulpa tersebut masuk ke dalam gigi melalui *foramen apical* yang terletak pada ujung akar atau apeks gigi.



Gambar 4.3. Struktur Penampang gigi molar

Dalam struktur gigi banyak didapatkan DNA inti dan *mtDNA*, sebagaimana sel yang lain. Pada dentin banyak sekali terdapat *mtDNA*, tepatnya pada perbatasan antara dentin dan ruang pulpa, di mana pada perbatasan tersebut terdapat lapisan *odontoblast,* yakni lapisan sel pembentuk dentin. *Odontoblast* juga ditemukan pada bagian lain dari gigi, seperti pada *cellular cementum*. Gigi molar memiliki kekerasan paling tinggi jika dibandingkan dengan yang lain dalam fungsi sebagai mastikasi, sehingga gigi molar ini tidak mudah rusak dan cocok digunakan sebagai materi sampel untuk analisis DNA dalam penelitian ini.

Jumlah sel berinti dari bahan juga sangat berperan dalam kadar DNA yang dikandung oleh bahan tersebut, seperti tabel di bawah tentang kadar DNA pada berbagai jenis bahan sampel :

Tabel 3.1. Kadar DNA berdasarkan jenis sampel

TypeofSample	*Amountof DNA*
Liquidblood	20000-40000 ng/ml
Bloodstain	250-500 ng/cm^2
Liquid semen	150000-300000 ng/ml
Postcoital vaginal swab	10-3000 ng/swab
Pluckedhairwithroot	1-750 ng/root
Shedhairwithroot	1-10 ng/root
Liquid saliva	1000-10000 ng/ml
Oral swab	100-1500 ng/swab
Urine	1-20 ng/ml
Bone	3-10 ng/mg
Tissue	50-500 ng/mg

Metode isolasi DNA pada bahan jaringan pada prinsipnya sama dengan metode isolasi sampel darah atau cairan tubuh lainnya, kecuali pada tahap awal jaringan tersebut harus dihancurkan lebih dahulu dan jaringan ikatnya dibuang. Sel-sel yang terdapat pada tulang dan gigi dikelilingi oleh suatu matriks yang terdiri dari garam-garam anorganik *crystal hydroxyapatite* tersusun oleh kalsium dan fosfor. Sehingga

yang perlu diperhatikan dalam isolasi DNA dari kedua bahan tersebut yakni proses dekalsifikasi.

Ada beberapa cara dan bahan untuk dekalsifikasi, antara lain *Ethylenediamine TetraceticAcid* (EDTA) dalam bentuk garamnya merupakan bahan *chelating* yang paling umum digunakan dalam proses digunakan. Bahan tersebut bekerja menangkap ion metalik (kalsium) dan bekerja hanya pada lapisan luar bagian tulang maupun gigi (kristal apatit).

Bahan Rujukan

1. Atmaja DS. 1996. Pemeriksaan DNA pada Kedokteran Forensik. Materi Kuliah Ilmu Kedokteran Forensik. *Indonesian University Press.* hal. 35-45
2. Atmaja DS. 2005. Peranan sidik jari DNA pada bidang kedokteran forensik, Materi Workshop DNA fingerprinting. *Universitas Gadjah Mada.* Yogyakarta. hal. 25-28
3. Edson SM, J.P. Ross, M.D. Coble, T.J. Parsons and S.M. Barritt. 2004. Naming the dead-confronting realities of rapid identification of degraded skeletal remains: *Forensic Science Rev.* 16:63. pp. 64-89.

   Notosoehardjo I. 1999. Penentuan Jenis Kelamin berdasarkan Pemeriksaan DNA dan Antropometri tulang. *Disertasi Doktor*. Universitas Airlangga, Surabaya. hal. 76-89, 94-96.

   Notosoehardjo I. 1999. Penentuan Jenis Kelamin berdasarkan Pemeriksaan DNA dan Antropometri tulang. *Disertasi Doktor*. Universitas Airlangga, Surabaya. hal. 76-89, 94-96.

6. Stimson et al, 1997. *Forensic Dentrisry*. CRC.Press, Boca Raton New York. pp. 3-15
7. Subowo. 2002. *Histologi Umum*. Penerbit Bumi Aksara. PAU ITB. hal. 35-40

PENUTUP

Pada prinsipnya identifikasi personal korban meninggal di bidang kedokteran forensik merupakan serangkaian tindakan pembandingan data *postmortem* dengan data *antemortem*. Adanya kesesuaian antara data *antemortem* dan data *postmortem*, akan mempersempit jumlah orang yang diduga sebagai korban.

Saat ini pemeriksaan DNA pada korban yang sulit dikenali tidak lagi berdasarkan ciri-ciri fisik korban, melainkan pada daerah *(locus)* DNA korban. Pemeriksaan didasarkan pada sebuah fakta bahwa DNA manusia ternyata bersifat individual dan spesifik, artinya susunan DNA manusia adalah khas untuk setiap individu, sehingga dapat digunakan untuk membedakan individu satu dengan lainnya. Namun pemeriksaan DNA dalam proses identifikasi forensik bukanlah tanpa kelemahan.

Seperti diketahui bahwa DNA yang berasal dari jaringan yang "berumur" atau jaringan yang sudah terdegradasi contohnya pada jaringan yang terbakar seringkali DNA yang didalamnya mengalami fragmentasi. Jaringan yang terdegradasi oleh bakteri dapat autolisis dan depurinasi spontan. Paparan abnormal dari bahan-bahan kimia, pH, temperatur, maupun paparan lainnya dapat menyebabkan DNA mengalami kerusakan (*damage*).

Buku ini diharapkan dapat membantu memecahkan berbagai kasus forensik yang melibatkan pemeriksaan DNA forensik dengan spesimen DNA inti dan mitokondria yang terdegradasi contohnya akibat efek paparan suhu tinggi, serta memberi informasi ketahanan tulang dan gigi dalam melindungi DNA. Dengan demikian kita dapat mengetahui daerah/bagian DNA yang dapat digunakan pada pemeriksaan DNA forensik pada kondisi tertentu, baik untuk kepentingan identifikasi individu pada korban bencana masal, maupun kepentingan pengungkapan kasus kejahatan yang disertai dengan upaya penghilangan barang bukti yang berasal dari korban maupun tersangka. Dengan adanya informasi tersebut maka diharapkan proses identifikasi korban atau pelaku

tindak kriminal atau kasus-kasus *mass disaster* lainnya akan berjalan lebih cepat, lebih baik dan mempunyai hasil analisis dengan akurasi tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Anderson S. 1999. A validation study for the extraction and analysis of DNA from human nail material and its application to forensic casework. *Forensic Science Journal.* 44. pp.1053-56

Antonio Alonso, Pablo Martin, Christian Albarrian, Pilar Garcia, Lourdes Fernandez de Simon, Maria Jesus Iturralde, Amparo Fernandez-Rodriguez, Inmaculada Atienza, Javier Capilla, Julia Garcia-Hirshfeld, Pilar Martinez, GloriaVallejo, Oscar Garcia, Emilio Garcia, Pilar Real, David Alvarez, Antonio Leon, Manuel Sancho. 2005. Challenges of DNA profiling in mass disaster investigation. *Croatia Medical Journal;* 46(4). pp. 540-548

Atmaja DS. 2005. Peranan sidik jari DNA pada bidang kedokteran forensik, Materi Workshop DNA fingerprinting. *Universitas Gadjah Mada.* Yogyakarta. hal. 25-28

Bohnert M, Rost T, Pollak S. 1998. The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire. *Journal of International Forensic Science*. Volume 95. Issue 1. 6 July 1998. pp. 11-21

Butler, J. M. 2011. *Advanced Topics in Forensic DNA Typing : Methodology*. U.S.A.

Butler, J. M. and Borsuk, L. (2017) 'Autosomal STR Markers and Interpretation', in *International Society for Forensic Genetics*. seoul.

Coble MD, CR Hill, PM Vallone, JM Butler. 2006. Characterization and performance of new MiniSTR loci for typing degraded samples.*International Congress Series* .1288. pp. 504-506

Connor, K. L. O. and Ph, D. (2011) 'Interpretation of DNA Typing Results for Kinship Analysis', *Presentation at the 21st International Symposium on Human Identification*.

Connor M and Ferguson S. 1997. *Essential Medical Genetcs*. Fifth edition Blakwell Science Ltd Australia. pp. 3-29

Corrier M .1997. Fire Modification of bone : A Review of literature in WD Haghund and MH Sorg (eds), *For Taphonomy the postmortem of human remains*. Boca Raton *CRC Press.* pp. 275-293

Edson SM, J.P. Ross, M.D. Coble, T.J. Parsons and S.M. Barritt. 2004. Naming the dead-confronting realities of rapid identification of degraded skeletal remains: *Forensic Science Rev.* 16:63. pp. 64-89.

Farley A Mask. 1991. *Forensic DNA Technology*. Michigan. *lewis Publishers* Inc. USA. pp. 124-132

Gill P. 2001. DNA Commision of the International Society of Forensic Genetics: recommendations on forensic analysis using Y-chromosome STRs. *International Journal Legal Med*.114: pp. 305 - 309

Ginther C. 1992. Identifying individual by sequencing mitochondrial DNA from teeth. *Nature Genetic* ;2(2): pp.135 - 138.

Idries Abdul M. 1997. *Pedoman Ilmu Kedokteran Forensik*. Edisi pertama. Bina Rupa Jakarta. hal. 32-40

Ishaq M. 1997. DVI di Indonesia. *DOKPOL POLRI* Jakarta. hal 1-5

Innis MA, Gelfrand DH, 1990. Optimization of PCRs. In : *PCR Protocols*. Academics Press, New York. Pp. 3-12

Javed, R. and Mukesh (2010) 'Current research status, databases and application of singke nucleotide polymorphism', *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 13(13), pp. 657–663.

Jusuf. 2001. *Genetika I: Struktur & Ekspresi Gen*. Sagung Seto Jakarta. hal. 45-50

Krenke, B. E. *et al.* (2002) 'Validation of a 16-Locus Fluorescent Multiplex System *', 47(4), pp. 1–13.

Kirby LT. 1990. *DNA Fingerprinting.* An Introduction. Stokton Press, New York. pp. 56-67

Kusuma Soekry E. 2004. Perkembangan mutakhir deteksi paterniyas dengan teknolgi DNA. *Pidato pengukuhan guru besar* ilmu kedokteran forensik UNAIR

Leat Neil. 2004. Developments in the use of Y-chromosome markers in forensic genetics. *African Journal of Biotechnology*.Vol 3 (12) December 2004. pp.637-642.

Maeda, K. *et al.* 2015. The case of 2 siblings that identified not only by DNA profiling, *Forensic Science International*, 5, pp. 555–556. doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.fsigss.2015.09.219.

Melcher NM. 2000. Development of a human DNA quantitation system, promega corporation. *croatia medical journal*. 42.pp. 336 - 339

Muladno. 2002. *Seputar teknologi rekayasa genétika*. Bogor. Pustaka Wirausaha Muda, Edisi pertama. hal. 45-51, 66-68

Muladno. 2010. *Teknologi rekayasa genetika*. Edisi Kedua. IPB Press. Bogor. hal. 61-72

Muray R. 2006. Harper's Ilustrated Biochemistry. 27th Edition. *Mc Graw Hill Lange.* pp. 366-370

Nidom CA. 2005. Teknik Biomolekuler untuk penentuan 'DNA profil". *Kumpulan makalah seminar sehari*, tentang ditinjau dari berbagai aspek TDC Unair, Nov 2004

Notosoehardjo I. 2001. DNA Forensic ;Paternity test, past, present, and future. *Forensic Scienece Journal*. VIII. pp. 34-45

Notosoehardjo I. 2002. Isolasi tulang dan gigi. *Lokakarya Metodelogi Laboratorium Biologi Molekuler.* hal 2-6

Notosoehardjo I. 2003. Perkembangan Ilmu Kedokteran Kehakiman menuju Ilmu Kedokteran Forensik. *Pidato Ilmiah pengukuhan Guru Besar* bidang Ilmu Kedokteran Forensik UNAIR

Notosoehardjo I. 1999. Penentuan Jenis Kelamin berdasarkan Pemeriksaan DNA dan Antropometri tulang. *Disertasi Doktor*. Universitas Airlangga, Surabaya. hal. 76-89, 94-96.

Pagare, S. (2011) 'Understanding the Basics of DNA Fingerprinting in Forensic Science', *Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology*, 23(4), pp. 613–616. doi: 10.5005/jp-journals-10011-1233.

Robin ED, Wong R. 1998. Mitochondrial DNA moleculer and number of mitochondrial per cell in mamillian cells. *Journal Cellular Physiology*; 136. pp.507-513

Robert FW. 2005. *Molecular Biology*. 3rd Ed,McGraw Hill,Toronto pp. 28-81

Rudin Norah and Keith Inman. 2002. *An Introduction to Forensic DNA Análisis.* Second Edition. CRC Press. pp 65-90

Shastry, B. S. (2003) 'SNP alleles in human disease and evolution', *B. Jochimsen*, 47, pp. 561–566.

Sudoyo Herawati. 2003. DNA sebagai marka antropologi dan kedokteran forensik, Kumpulan *Makalah Mitochondrial medicine* Unibraw, Malang. hal. 35-46

Sosiawan A. 2007. Analisis efek paparan panas suhu ekstrim tinggi terhadap DNA yang berasal dari tulang dan gigi. Disertasi Pasca Sarjana Universitas Airlangga. hal. 34-67.

Sullivan KM, Hopgood R, Gill P. 1992. Identification of human remains by amplification and automated sequencing of mitochondrial DNA, *International Journal Legal Medicine;* 105. pp. 83-86.

Svensson.K, 2002. A proposal of an investigation of the reliability of mitochondrial DNA as a tool in *forensic dentistry*. Institute of Odontology, Karolinska Institutet, Huddings, Sweden. pp. 345-349.

Tahaa, T. *et al.* (2018) 'Genetic Variation for Nine Autosomal Short Tandem Repeat (STRs) in Egyptian Population Journal of Forensic Medicine', 3(1), pp. 3–6. doi: 10.4172/2472-1026.1000123.

Walker Philip L, Kevin W.P.Miller and Rebecca Richman. 2003. Time, temperature and oxygen availability: an experimental study of the effects of environmental conditions on the color and organic content of cremated bone. In press in: *Burned Bone*.C.W.Schmidt (ed).Elsivier Press. pp. 345-354.

Yuwono, T. (2008). *Biologi Molekuler*. Jakarta: Erlangga. Pp. 75-92

Yuwono T. 2006. Teori dan Aplikasi Polymerase Chain Reaction. *Panduan eksperimen PCR untuk memecahkan masalah biologi terkini*. Penerbit Andi. Jakarta. hal. 34-56.

Zahir S A. 1990. DNA sebagai materi genetik pengkode protein : Struktur, fungsi dan sifat biologis. *Kumpulan simposium HKKI*. hal. 35-38.

BIOGRAFI PENULIS

Ahmad Yudianto, lahir 30 Mei 1973 di Sumenep Madura, pendidikan : S1-Profesi Dokter FK Universitas Airlangga [Unair] 1997, S1 Hukum Universitas Merdeka Surabaya 2004, Spesialis Forensik FK Unair 2005, S2 Ilmu Kedokteran Dasar Pascasarjana Unair 2006, S3 Ilmu Kedokteran Pascasarjana Unair 2010, Konsultan Sero-Biomol Forensik – Kolegium Kedokteran Forensik Indonesia 2017. Saat ini sebagai SMF Kedokteran Forensik RSUD dr Soetomo & Dosen FK Unair [2008-sekarang]. Mata kuliah yang diampu : Ilmu kedokteran forensik, ilmu forensik, dvi, serologi forensik, DNA Forensik. Sebagai pengajar Ilmu Kedokteran Forensik pada beberapa FK PTS Jawa Timur. Saat ini menjabat KPS S2 Ilmu Forensik Sekolah Pascasarjana Unair [2010-Sekarang] & Kps Ppds-1 Ilmu Kedokteran Forensik & Studi Medikolegal FK Unair 2015-sekarang], peneliti di Kelompok Studi Human Genetik Institut Tropical Desease Unair, publikasi nasional dan internasional, buku-buku karangannya : Identifikasi Pada Kerangka Tidak Dikenal [2012], Panduan Praktis Serologi Forensik [2013], Panduan Laboratorium Dna Forensik [2015], Pemeriksaan Identifikasi;Forensik Molekuler [2015]