

黄麻层压复合材料作为圆柱柱混凝土加固材料的抗拉强度分析——基
于劈裂抗拉试验结果的材料能量吸收法

学士学位论文

作者：

PRAMUDYA ANANTA THUR LUBIS

188130016



机械工程专业

工程学院

University of Medan Area

棉兰

2023 年

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 18/5/26

Access From (repositori.uma.ac.id)18/5/26

黄麻层压复合材料作为圆柱柱混凝土加固材料的抗拉强度分析——基
于劈裂抗拉试验结果的材料能量吸收法

学士学位论文

本论文作为获得 University of Medan Area 工程学院学士学位的条件之一

作者：

PRAMUDYA ANANTA THUR LUBIS

188130016

机械工程专业

工程学院

University of Medan Area

棉兰


2023 年

HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Proposal : Analisis Kekuatan Tarik Komposit Laminat Jute
Sebagai Penguat Beton Kolom Silinder
Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan
Dari Hasil Uji Tarik Belah.
Nama Mahasiswa : Pramudya Ananta Thur Lubis
NIM : 188130016
Fakultas : Teknik

Disetujui Oleh
Komisi Pembimbing


Zulfikar, S.T., M.T.
Pembimbing I


Dr. Iswandi, S.T., M.T.
Pembimbing II


DR. Rahmadsyah, S. Kom, M. Kom
Dekan


Muhammad Idris, S.T., M.T.
Ka. Prodi/WD I

Tanggal Lulus: 21 Maret 2023

HALAMAN PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai norma, kaidah, dan etika penulisan ilmiah. Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila di kemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 21 Maret 2023



Pramudya Ananta Thur Lubis
188130016

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR/SKRIPSI/TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Pramudya Ananta Thur Lubis

NPM : 188130016

Program Studi : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Tugas Akhir/Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul : Analisis Kekuatan Tarik Komposit Laminat Jute Sebagai Penguat Beton Kolom Silinder Berdasarkan Metode Penyerapan Energi Bahan Dari Hasil Uji Tarik Belah.

berserta perangkat yang ada (jika diperlukan) Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir/skripsi/tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Universitas Medan Area

Pada Tanggal : 21 Maret 2023

Yang menyatakan

(Pramudya Ananta Thur Lubis)

摘要

本研究旨在确定圆柱柱混凝土（BKS）材料通过能量吸收法所能够吸收的能量总量（韧性），并分析经黄麻层压复合材料（KLJ）加固后的 BKS 试件劈裂抗拉强度（KTB）与材料韧性能量（EKB）之间的比较关系。该分析基于圆柱柱混凝土（BKS）试件经黄麻层压复合材料（KLJ）加固后的劈裂抗拉试验结果曲线图所得数据。劈裂抗拉强度试验采用 Universal Testing Machine 试验设备进行，试件制作所使用的原材料包括水泥、砂、碎石、水、黄麻布、环氧树脂以及硬化剂。混凝土试件模具依据 ASTM C496 试验标准制作，其尺寸为直径 50 mm、高度 150 mm。本研究共设置 5 种试件变体，分别为：变体 1（无包覆试件）、变体 2（1 层黄麻包覆试件）、变体 3（2 层黄麻包覆试件）、变体 4（3 层黄麻包覆试件）以及变体 5（4 层黄麻包覆试件），且每种变体均设有 3 个重复试件。研究表明，平均最大材料韧性值出现在采用 4 层 KLJ 包覆的试件中，其值达到 810.216 Joule，相较于无包覆试件，其平均韧性能量提高了约 17800%。此外，根据劈裂抗拉强度与材料韧性能量之间的比较结果可知，包覆于圆柱柱混凝土表面的层压材料越多，其劈裂抗拉强度与材料韧性能量也越高。

关键词： 编织黄麻布；材料韧性能量；层压复合材料；劈裂抗拉强度。

ABSTRACT

The purpose of this study is to calculate the amount of energy that can be absorbed (toughness) of the material based on the graph of the results of the split tensile test of cylinder column concrete specimens (BKS) reinforced with laminated jute composite (KLJ) and analysis of the comparison between split tensile strength (KTB) and material toughness from the results split tensile test of BKS specimen reinforced by KLJ. The test specimens were printed based on the ASTM C496 test standard using the Vacuum Bagging method. Specimen variations consist of 1 to 4 layers of KLJ and one variation without KLJ sheath as a control specimen. The split tensile test used the UTM test tool with each variation being carried out with 3 repetitions. Calculation of Material Toughness Energy (EKB) using the Trapezoidal Numerical Integration method. The results of the study showed that giving KLJ boosters to BKS was able to increase EKB up to more than 1000% starting with 2 layers of sheathing. Thus the provision of KLJ to BKS can be recommended as a strengthening material for concrete column structures.

Keywords: *Composite laminated jute; cylindrical column concrete; split tensile strengt; energy toughness of materials.*

个人简历

Pramudya Ananta Thur Lubis 于 2000 年 5 月 8 日出生于印度尼西亚北苏门答腊省 (Provinsi Sumatra Utara) Simalungun 县 (Kabupaten Simalungun) Bosar Maligas 区 (Kecamatan Bosar Maligas) Perdagangan Sei Mangkei, 为家中三兄妹中的第二个孩子, 父亲名为 Fitra Jaya Lubis, 母亲名为 Wartiah。2006 年, 作者进入 SD Negeri 0712 Hutaraja Tinggi 小学就读, 并于 2012 年毕业。同年, 继续就读于 SMP Negeri 1 Sosa 初中, 并于 2015 年毕业。2015 年, 作者进入 SMK Negeri 1 Sosa 高中继续学习, 并于 2018 年毕业。2018 年, 作者进入 University of Medan Area 工程学院机械工程专业继续深造。2021 年 10 月, 作者于 PTPN III Rambutan 棕榈油厂 (PKS Rambutan PTPN III) 完成为期两个月的实习工作。感谢真主的恩典, 作者于 2023 年顺利完成在 University of Medan Area 的学业, 并获得工学学士 (Sarjana Teknik) 学位。

前言

作者谨向全能的真主致以赞美与感谢，因祂所赐予的一切恩典，使本论文得以顺利完成。本研究所选定的主题为复合材料试件的制作与测试，论文题目为《基于劈裂抗拉试验结果材料能量吸收法的黄麻层压复合材料作为圆柱柱混凝土加固材料的抗拉强度分析》。作者在此向导师 Zulfikar, S.T., M.T. 以及 Dr. Iswandi, S.T., M.T. 致以诚挚的谢意，感谢两位导师作为第一导师与第二导师，在本研究进行过程中给予作者大量的建议、指导与宝贵意见。此外，作者亦向同一研究团队的同学以及所有同届朋友表示衷心感谢，感谢他们在研究实施期间给予作者的帮助。同时，作者也向父母及所有家人表达深深的感激之情，感谢他们始终给予祈祷、关怀与支持。作者深知，本毕业论文/学位论文仍存在不足之处，因此作者真诚期待各方建设性的批评与建议，以期使本论文更加完善。最后，作者希望本毕业论文/学位论文不仅能够为教育领域提供益处，也能够对社会有所贡献。谨致谢意。

作者

(Pramudya Ananta Thur Lubis)

目录 (DAFTAR ISI)

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 18/5/26

Access From (repositori.uma.ac.id)18/5/26

第一章 引言

1.1 背景。

随着印度尼西亚结构工程技术领域的迅猛发展，这一趋势已变得十分显著。目前正在进行的众多建筑工程项目便是明证。在高层建筑、道路、水坝等施工项目中，混凝土仍被广泛使用。由于采用当地原材料，混凝土是一种相对廉价的材料，且易于施工，并可根据需求进行塑形。

一般而言，混凝土是一种复合材料（混合物），其主要成分由水泥、细骨料、粗骨料、水及/或其他掺合料按特定比例混合而成（Asrullah, 2020）。由于混凝土属于复合材料，其延展性很大程度上取决于各组分的质量。混凝土制备材料的规格与配比将影响最终混凝土的质量，例如所用砂子应选用泥含量<5%的砂（工业部，1975）。尽管混凝土具有较高的抗压强度，但在抗拉方面却较为薄弱。鉴于此，笔者旨在通过在混凝土表面覆以黄麻层压板进行测试，因为混凝土抗拉能力较低，导致其容易开裂和断裂。

黄麻纤维是从苧麻属植物（*Corchorus capsularis* 和 *Corchorus olitorius*）的茎皮中提取的纤维。黄麻纤维自古埃及时代，据推测起源于地中海周边地区，随后在亚洲广泛传播。18世纪末，印度首次将黄麻布出口至英国（Suliyanthini *et al.*, 2014）。黄麻织物（黄麻布）质地粗糙，这种麻布由强韧的黄麻纤维制成，黄麻纤维是仅次于棉花、使用最广泛的纤维。黄麻纤维的来源是黄麻植物茎秆的外皮。黄麻植物几乎遍布全球所有热带和亚热带地区，但其物种多样性中心位于非洲大陆。由黄麻植物制成的黄麻布采用粗纤维作为基础材料进行编织，因此不易断裂；黄麻布属于环保面料，因为其成分由100%天然材

料——即黄麻纤维——构成。

环氧树脂本身是一种由环氧树脂聚合而成的化学树脂。这种聚合树脂被称为热固性树脂，在聚合物间形成紧密的分子键结构（Clear、Seba 和 Las，2018）。

热固性树脂是一种通过交联聚合和化学反应转化为固体的液态聚合物，形成三维聚合物链结构。其力学性能取决于构成紧密网络的分子单元以及交联网络的长度

。环氧树脂广泛用于某些结构部件的复合材料中，也常作为包装材料、模具材料及粘合剂的混合原料。环氧树脂非常适合用作黄麻纤维增强复合材料的基体。

在混凝土中使用环氧树脂可加速干燥过程，因为环氧树脂会产生热量，从而有助于加速硬化。

本研究将聚合物混凝土与黄麻布结合，将其加入混凝土混合料中。选择黄麻布是因为该材料在市场上易于获得，经久耐用，不易腐烂，且经济实惠。黄麻布还具有相当高的抗拉强度，因此有望提高混凝土的机械强度。基于上述背景，笔者选用黄麻布、砾石、砂、水泥及与催化剂（固化剂）混合的环氧树脂作为制造该聚合物混凝土的主要原料。

因此，笔者将对经黄麻层压复合材料（黄麻布）加固的混凝土结构进行拉伸强度测试。基于上述组合，所制备的新材料具有与其组成材料不同的性质和特征。测试采用“拉伸劈裂试验中的能量吸收”方法。

1.2 研究问题

本研究将对采用黄麻层压复合材料增强的混凝土进行抗拉强度测试。在测试过程中，将使用水平放置的压机对直径50毫米、高度150毫米的混凝土圆柱试件施加压力，以测定该混凝土试件的韧性能量大小。

1. 如何根据劈裂拉伸试验结果图计算材料所能吸收的能量？
2. 如何根据劈裂拉伸试验结果分析材料的抗拉强度与吸收能量的对比关系？

1.3 研究范围。

本研究的问题限定在于：研究设计仅针对圆柱形混凝土柱的抗拉强度进行测试，因此作者将研究问题限定为：

1. 基于劈拉试验结果图表，分析材料的破坏模式及材料所能吸收的能量。
2. 忽略试件干燥时间的测试。
3. 忽略温度、空气及其他因素的影响。
4. 所用纤维为编织型，包含两个纤维方向/取向：与圆柱形混凝土柱轴线（BKS）同向（ 0° ）及与BKS轴线垂直（ 90° ）。
5. 混凝土骨料配比遵循ASTM C33和SNI 7656-2012标准。

1.4 研究目的。

本研究的目标是：

1. 根据经黄麻层压复合材料（KLJ）加固的圆柱形混凝土柱（BKS）试件的抗劈裂拉伸试验结果图，计算材料所能吸收的能量（韧度）。
2. 分析由黄麻层压复合材料（KLJ）加固的BKS试样劈裂拉伸试验结果中，劈裂拉伸强度（KTB）与材料韧性之间的关系。

1.5 假设。

本研究中，将使用环氧树脂粘合剂和固化剂，在圆柱形混凝土柱试件表面涂覆黄麻层压复合材料。由此，该圆柱形混凝土柱试件的抗劈裂强度将得到提升，为验证这一结论，需进行测试以确定其抗劈裂强度的提升幅度。本次试验采用的测试方法是能量吸收法，并运用数值积分方程进行计算。

1.6 研究意义。

对环氧黄麻层压复合材料作为混凝土结构加固层在抗静压载荷和弯曲载荷下的强度分析，其意义在于：

1. 了解混凝土结构在覆以黄麻层压板后的强度。
2. 对研究人员而言，可增进对复合材料的知识、见解和经验。
3. 对学术界而言，本研究可作为后续混凝土拉裂试验研究的补充参考。

第二章 文献综述

2.1 复合材料

复合材料是一种由两种或多种不同材料混合而成的系统，这些材料在形态和成分上互不相溶 (Surdia and Saito, 1985)。一般而言，复合材料是具有其组成成分单独无法具备的某些特性的材料。从这个意义上讲，这种组合当然不限于基体材料。其中一种非常常见的复合材料实例是现浇混凝土，它由多种材料组成，包括：水泥、砂、碎石、钢筋以及水。可以看出，这些组成材料具有不同的性质，但当按照特定的配比和工艺进行混合时，将产生质量极佳的混凝土，从而使混凝土能够耐受各种气候条件。

2.1.1 复合材料的种类

总体而言，根据所使用的增强材料，复合材料主要分为三类，即颗粒复合材料、纤维复合材料和结构复合材料。关于复合材料按增强材料分类的示意图，可参见图2.1 (Iskandar Fajri和Sugiyanto, 2013)

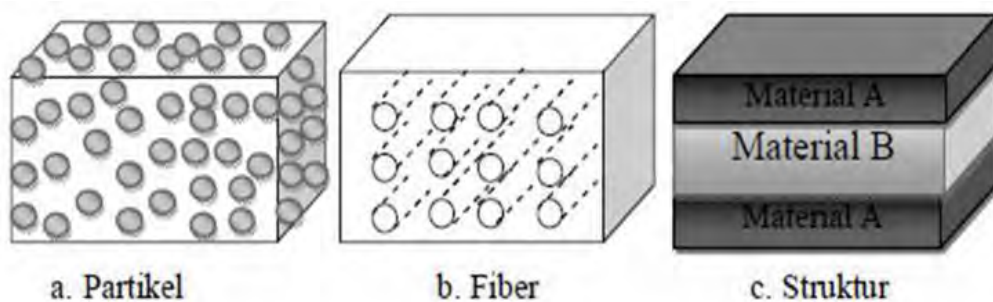


图2.1. 复合材料的种类

1. 颗粒复合材料

使用颗粒状增强材料。颗粒在颗粒复合材料中的作用是分散载荷，使其在材料中均匀分布，并抑制颗粒间隙中基体材料的塑性变形。颗粒可分为以下几种类型：

- a. 颗粒 长径比小于5微米
- b. 球形 与颗粒状相似，直径甚至小于1微米
- c. 片状 呈片状，直径与厚度之比大于2微米
- d. 短纤维（毡状）：呈圆柱形，长径比大于5微米
- e. 晶须 呈细长的单晶体，长径比大于10微米。

2. 纤维复合材料

复合材料中的纤维作为主要受力部件，因此复合材料的强度大小很大程度上取决于所使用的纤维（Iskandar Fajri 和 Sugiyanto, 2013）。因为施加在最初由基体承受，随后传递至纤维，因此纤维将承受载荷直至达到最大载荷。因此，纤维的抗拉强度和弹性模量必须高于构成复合材料的基体。复合材料中纤维的参数如下：

- a. 分布
- b. 浓度
- c. 取向
- d. 形状
- e. 尺寸

3. 结构复合材料

此类复合材料通常由均质材料构成，其性能不仅取决于材料成分，还取决于结构单元的几何设计。该类型可进一步细分为：

- a. 层状复合材料由具有高强度方向的二维薄片组成，如木材中常见的情况。各层被堆叠并同时粘合，因此其高强度方向的取向各不相同。
- b. 夹芯板由两层坚固的外层（即面板）构成，中间夹有密度较低、刚度和强度较低的夹芯层。面板承担大部分面内载荷，以及横向弯曲应力（Callister, 2009）。

2.1.2 复合材料的构成

一般而言，复合材料由两种构成材料组成。第一种构成材料称为基体，起到粘合剂的作用。第二种构成材料是增强体，具有增强功能，如图2.2所示。复合材料的性质和特征由增强体的性质和特征、增强体与基体的比例以及增强体在复合材料中的几何形状或取向决定。



图2.2. 复合材料的构成材料

复合材料中的粘合剂（基体）可以是聚合物、陶瓷和金属材料。广泛使用的粘合剂类型是聚合物基复合材料，与其他类型的粘合剂相比，这种复合材料在制造过程中更容易，且所需成本更低。复合材料中的增强材料（reinforcement）可呈现多种形态。增强材料可为颗粒状、纤维状（细纤维、连续纤维、短纤维、编织纤维）以及结构化增强体（层状结构）。常用的增强材料是纤维增强复合材料。

与其他形式的复合材料相比，此类复合材料更易于制造。纤维增强复合材料在传

递载荷方面的能力也优于颗粒或粒子增强复合材料。复合材料中的纤维增强材料分为两类，即无机或合成纤维与有机或天然纤维。合成纤维是人造工程材料，如玻璃纤维、钢粉、尼龙等。天然纤维则是自然界中存在的材料（未经化学混合处理），如植物纤维、谷壳、竹子、砂砾、动物壳等。

2.1.3 影响复合材料性能的因素

在研究纤维与基体复合材料时，必须关注以下影响纤维-基体复合材料性能的因素：

1. 纤维因素

纤维是用于改善基体所不具备的特性和结构的填料，此外，填料还被期望能够作为复合材料中基体的增强材料，以承受所产生的力。

2. 纤维取向

在复合材料制造过程中，纤维在基体中的位置和取向会影响复合材料的力学性能，其位置和取向可直接影响复合材料的强度。根据纤维的布局和取向，可将其分为以下三类：

- a. 一维增强，具有强度和弹性模量。
- b. 二维增强，在两个方向或纤维取向的各个方向上均具有强度。
- c. 三维增强材料，其各向同性强度高于前两种类型。

在纤维混合与取向方面具有若干优势：若纤维取向越随机，其单向力学性能将越弱；若各纤维方向分散，其强度也将向各个方向分散，从而提高整体强度。

3. 纤维长度

在基体中制造纤维复合材料时，纤维长度对强度影响很大。复合材料混合物中主要使用两种纤维：短纤维和长纤维。长纤维比短纤维更强。天然纤维的每根长

度与直径并不均匀。因此，长度和直径对复合材料的强度影响很大。纤维长度与直径之比常被称为长径比。长径比越大，该复合材料中纤维的抗拉强度就越高。

长纤维（连续纤维）在铺放效率上优于短纤维。然而，短纤维的铺放比长纤维更为简便。纤维长度影响纤维复合材料的加工性能。一般而言，长纤维的处理比短纤维更为容易。

从理论上讲，长纤维能够将载荷和应力从应力集中点向其他纤维方向传递。在理想的连续纤维结构中，纤维将处于无应力状态或具有相同的应力。但在制造过程中，部分纤维会承受高应力，而其他纤维可能不受应力作用，因此上述理想状态无法实现。

4. 纤维形状

用于制造复合材料的纤维形状对复合材料强度影响不大，真正起决定作用的是纤维直径。通常，纤维直径越小，复合材料的强度越高。除纤维直径外，纤维含量也会影响复合材料的强度。

5. 基体因素

复合材料中的基体起着将纤维粘合为一个结构单元的作用，保护其免受外部破坏，并将外部载荷传递或转移到纤维与基体之间的剪切面，从而使基体与纤维相互连接。

制造纤维复合材料需要纤维与基体之间形成强有力的表面结合。此外，基体还必须具有良好的化学相容性，以避免两者接触表面发生不良反应。在选择基体时，需关注其各项性能，例如耐热性、耐候性和抗冲击性，这些通常是选择基体材料时需要考虑的因素。

2.2 混凝土

混凝土是一种以水泥为粘结剂的建筑材料，其骨料包括：砂和石（砾石）（Hendrianyah 和 Ria Pangaribuan, 2013）。混凝土主要由三种材料组成，即：水泥、水和骨料；如有需要，还需添加掺合料（admixture）来改变相关混凝土的特定性能。水泥是一种与水接触后会发生化学反应的混合材料（Mulyadi and Sanutra, 2017）。水与水泥混合后会形成水泥浆，起到粘结剂的作用，而细骨料和粗骨料则作为填充料。细骨料的作用是填充粗骨料之间的空隙。材料应根据现有规定进行选择，按特定比例混合，并加以适当处理，以制成所需的混凝土。建筑材料的特性包括耐候、坚固且价格低廉。质量。材料的选择将影响混凝土，因为对混凝土有许多要求，即在形状、质量和性能方面，同时还需要均匀的混合。均匀混合的材料将具有均质性，即在进行混凝土浇筑和成型时，所有材料之间相互结合并填充。

目前，混凝土主要由波特兰水泥、粗细骨料（即石料和砂）以及水制成。掺合料是指添加到混凝土混合物中的化学物质，用于控制其硬化特性，主要在极端环境（如高温或低温、大风等）下浇筑混凝土时使用（Muzakir, Zulfikar and Siahaan, 2022）。

在制作混凝土时，需考虑若干因素，包括骨料类型（细骨料或粗骨料）、骨料级配、骨料含水量、骨料取地、水泥种类及制作方法等。用于混凝土配制的骨料通常由砂和砾石组成。

混凝土的质量等级分为多个级别，从K-100到K-500（Mulyadi and Sanutra, 2017），具体如下：

2.2.1 I级混凝土

I级混凝土适用于非结构性工程。施工无需特殊技能。质量监督仅限于对材料质量的轻度检查，且不要求对抗压强度进行检测。I级混凝土包括K-100、K-125、K-150、K-175、K-200。

2.2.2 II级混凝土

II级混凝土适用于一般结构工程。施工需具备相当的专业技能，并须在专家指导下进行。II级混凝土分为B1、K 125、K 175和K 225四个标准等级。在B1等级中，质量监督仅限于对原材料质量的监督，而对抗压强度则不要求进行检测。在K 125和K 175等级中，必须根据试件检测结果持续检查混凝土的抗压强度。

2.2.3 III级混凝土

III级混凝土适用于高于K 225级别的结构工程。其施工需具备专业技能，并须在专家指导下进行。必须配备设备齐全的混凝土实验室，并由能够持续进行混凝土质量监控的专家团队负责。

以下是混凝土质量等级表：

表 2.1. 混凝土强度与质量

等级	等级	对压实集料强度的		用途	监督	
		(kg/cm^2)	(kg/cm^2)			
I	B_0	-	-	非结构性	轻型	无
	B_1	-	-	结构性	中等	无
II	K 125	125	200	结构	紧凑	连续
	K 175	175	250	结构	严格	连续

	K 225	225	200	结构	严格	连续
III	K > 225	> 225	> 300	结构	严格	连续

混凝土具有以下优点：

- a. 强度高，且可根据需求进行调整。
- b. 易于成型。
- c. 耐高温，因此发生火灾时安全。
- d. 比钢材更便宜。
- e. 原材料易于获取。
- f. 具有很高的抗压强度。
- g. 使用寿命长。

除了混凝土的优点外，它也存在一些缺点，包括：

- a. 混凝土是一种密度为2400千牛/平方厘米的材料
- b. 其抗拉强度仅为抗压强度的9%至15%。

2.3 黄麻布

黄麻是从苧麻 (*Corchorus capsularis*) 和苧麻 (*Corchorus olitorius*) 的茎皮中提取的纤维。黄麻纤维自古埃及时代便已为人所知，据推测起源于地中海周边地区，随后在亚洲广泛传播。18世纪末，印度首次将黄麻布出口至英国 (Suliyanthini *et al.*, 2014)。用于采收纤维的黄麻植株茎干细小、高大且笔直。黄麻植株平均高3米，茎干直径1-2厘米，叶片主要分布在植株上部。

黄麻是一种在冲积土上生长良好、适宜潮湿热带气候的植物。通常在播种后约120天即可收割。迄今为止，尚未制定出各方都能接受的黄麻分级标准。纤维质量受生长区域、种类、颜色、光泽、清洁度、纤维长度和手感等因素影响，且只能由经验丰富的专家来判定。黄麻单纤维长度在1 - 5毫米之间，直径为23微米。其横截面呈多边形，棱角分明，细胞壁厚，管腔宽且呈椭圆形。管腔呈不规则的细长形状，靠近纤维基部处变宽，靠近顶端处变窄，纤维顶端呈锥形。黄麻纤维的细丝呈螺旋状排列，具有旋转方向，因此当纤维被润湿时，从自由端观察，其会顺时针旋转；而在干燥时则逆时针旋转。这一特性可用于黄麻纤维的鉴定 (Suliyanthini 等, 2014)。

2.4 环氧树脂与催化剂/固化剂

市面上的环氧树脂（又称环氧材料）是热固性聚合物家族中的一种。环氧树脂是由环氧树脂聚合而成的化学树脂，这种聚合树脂被称为热固性树脂，在聚合物间结构中形成紧密的分子键 (Clear、Sebagai 和 Las, 2018)。构成环氧树脂的体系在初始形成过程中呈蜂蜜状液体，硬化后则形成非常脆的固体。环氧聚合物具有极高的机械强度。它具备一般固体化学元素所具有的抗变化特性。其高粘合性是在从液态向固态转化的过程中形成的。

环氧聚合物的性质因树脂中的基础化学成分而异。因此，环氧树脂具有各不相同的优势和功能。环氧树脂广泛用于结构部件的复合材料，同时也作为包装材料、模具材料和粘合剂的混合原料。

环氧树脂具有以下优点：

1. 对纤维和树脂具有良好的粘合性。

2. 收缩率低，尺寸稳定性好。
3. 耐化学腐蚀且耐酸性强。
4. 柔韧性高且强度大。
5. 耐腐蚀。

环氧树脂在固化过程中需要添加固化剂，通常称为硬化剂。这种固化剂可能是胺基的。这与聚酯树脂或乙烯基酯树脂不同，后者仅需少量催化剂进行催化。环氧树脂通常需要以远高于1:1或2:1的树脂与固化剂比例添加固化剂

催化剂是一种在特定温度下能加速化学反应速率，但自身不发生变化且数量不减少的物质。催化反应发生在固体流体的广阔表面上，因此适用于多孔固体材料。

在化学反应中，催化剂既不作为化学反应物，也不作为产物。常用的催化剂是金属离子，通过浸渍法在还原过程中产生零价态和酸位点。催化剂的作用是提高固体材料的催化性能。树脂和催化剂的形态如图2.3所示。



图2.3. 环氧树脂与催化剂/固化剂

2.5 抗劈裂强度

混凝土抗劈裂强度是圆柱形混凝土试件的间接抗拉强度值，通过将试件水平放置于试验机压板表面并施加压力后获得（Pratama, 2016）。抗劈裂强度是直接抗

拉强度的替代方法，后者需通过直接施加轴向力进行抗拉强度试验。用于抗拉强度试验的试件与抗压试验一样，通常采用圆柱体或立方体形状，通常采用圆柱形试件。混凝土是一种抗拉强度较弱的材料。其抗拉强度的决定因素与抗压强度相同，但普通混凝土的抗拉强度通常仅为抗压强度的9%至15%（Supit、Pandaleke和Dapas，2016）。抗拉强度是混凝土强度的重要参数之一。劈裂抗拉强度的数值是通过实验室抗压试验获得的，具体方法是对每个圆柱形试件施加侧向载荷，直至达到其最大强度（Regar, Renaldo Glantino; Sumajouw, Marthin D J; Dapas, 2014）。因此，在测试过程中，将直径50毫米、高度150毫米的混凝土圆柱试件置于水平位置，使用抗压试验机进行加压，以测定其抗劈裂拉伸强度。

该混凝土抗劈裂拉伸强度试验采用 UTM 试验机，将试样放置于支座上。随后在试样保持水平位置的情况下施加垂直载荷。该过程的示意图如图 2.4 所示。

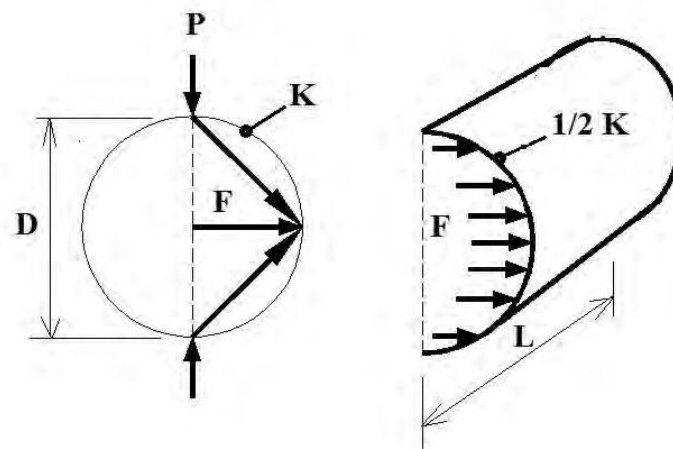


图2.4. 抗剪拉强度测试过程中的加载模拟

万能试验机（UTM）是一种用于测试材料强度并了解其结构的测试设备。该设备可对铁、金属和钢等材料进行测试。该测试方法采用垂直或水平方向对待测材料

施加压缩/压力，例如对圆柱形混凝土试样进行测试。从待测材料中取样，然后将样品以水平或垂直方向进行压缩/加压，直至样品发生裂纹。通过这种加压过程，即可测得材料的抗拉强度。抗拉强度的计算公式如式 (2.1) 所示

$$\sigma = \frac{2F}{\pi LD} \dots\dots\dots 2.1$$

说明：

σ = 抗劈裂强度 (Mpa) F = 载荷 (N)

L = 长度 (mm) D = 直径 (mm)

2.6 能量吸收

能量吸收或韧性是指材料在不造成破坏的情况下吸收能量的能力。也可以理解为在特定条件下使工件断裂所需的能量量 (Suarsana, 2017)。

本研究中的能量吸收计算采用数值积分方程的导数，即使用梯形规则。梯形规则是牛顿-科茨闭合积分公式中的第一种方法，其工作原理是将函数 $f(x)$ 曲线下的区域近似为梯形并计算其面积 (Chapra, S.C. 和 Canale, 2015)。这适用于方程中的多项式为一阶的情况，如方程 2.2 所示：

$$I = \int_a^b f(x)dx = \int_a^b f_1(x)dx \dots\dots\dots (2.2)$$

直线方程可表示为式 (2.3)：

$$f_1(x) = f(a) + \frac{f(b)-f(a)}{b-a}(x - a) \dots\dots\dots (2.3)$$

该直线下方面积的面积是函数 $f(x)$ 在区间 $[a, b]$ 内的积分近似值，如公式

2.4 所示:

$$I = \int_a^b [f(a) + \frac{f(b)-f(a)}{b-a}(x-a)]dx \dots\dots\dots(2.4)$$

其积分结果如式(2.5)所示:

$$I = (b-a) \frac{f(a)+f(b)}{2} \dots\dots\dots(2.5)$$

从几何角度看, 梯形法则相当于估算图5中连接 $f(a)$ 和 $f(b)$ 的直线下方梯形的面积。根据几何知识, 计算梯形面积的公式为: 高 \times 底边平均高度。在此情况下, 概念相同, 但梯形位于侧面。因此, 积分的近似值可表示为方程 2.6:

$$I = \text{width} \times \text{average height} \quad (2.6)$$

或用方程 2.7 表示

$$I = (b-a) \times \text{average height} \quad (2.7)$$

其中, 对于梯形规则, 平均高度是函数在端点的平均值, 即 $[f(a)+f(b)]/2$ 。

所有牛顿-科茨闭式公式均可表示为通用形式。事实上, 它们仅在平均高度的表述上有所不同, 而梯形规则的图形如图2.5所示。

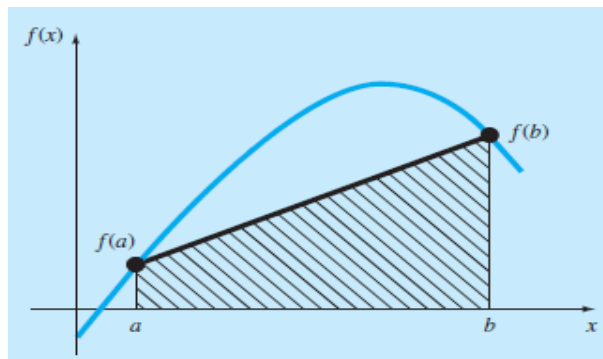


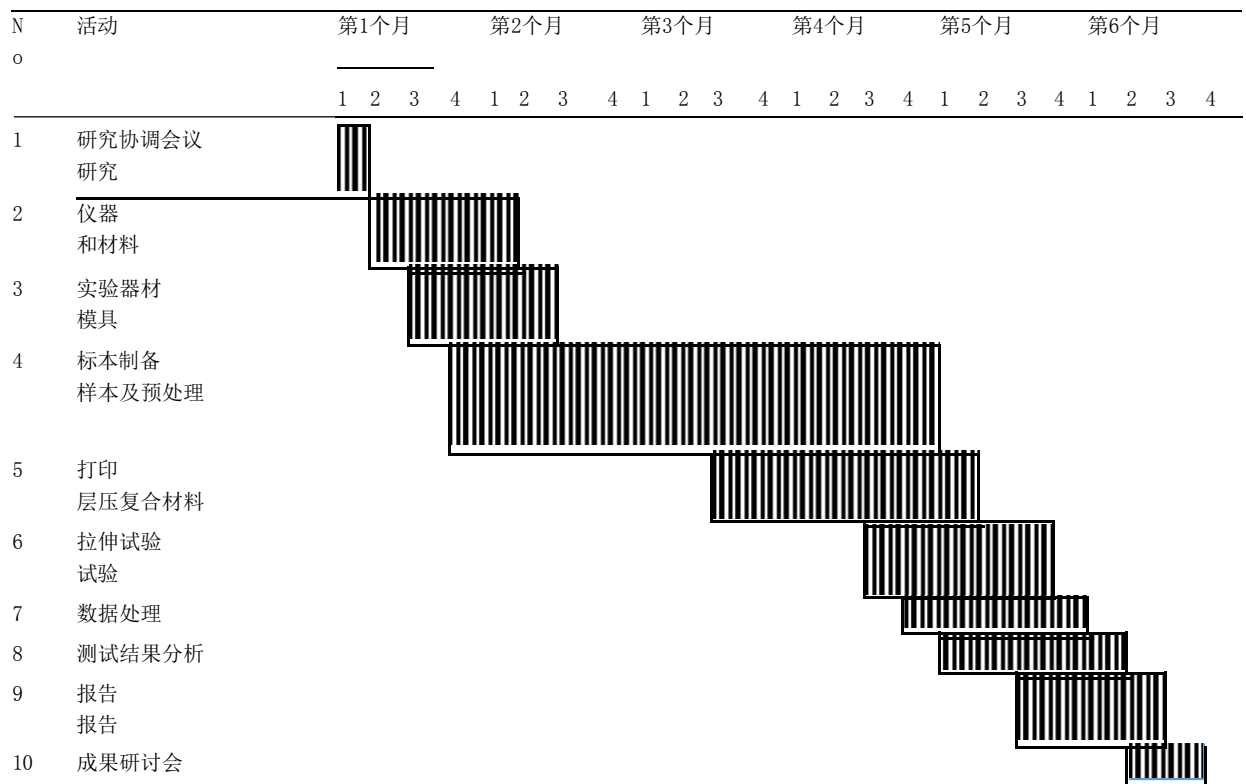
图2.5. 梯形规则图

第三章 研究方法

3.1. 地点与时间。

研究活动在棉兰地区大学机械工程实验室进行，为期6个月。研究活动的时间安排见表3.1。

表 3.1. 研究日程



3.2. 仪器与材料

本研究中使用的仪器和材料是根据对黄麻层压复合材料加固混凝土试样韧性能的研究需求而选定的。

3.2.1. 仪器

本研究使用的设备如下：

a. ASTM C496 试件模具

混凝土试件模具符合ASTM C496测试标准，内径为50毫米，高度为150毫米。试件模具的形状如图3.1所示。



图 3.1. 抗压试验试件模具

b. 电子秤

数字秤用于测量本研究过程中所用材料的质量。所使用的数字秤型号为SF-400，最大称量范围为10 kg，精度为1 g。数字秤的外观如图3.2所示。



图 3.2. 电子天平

c. 万能试验机

万能试验机（UTM）是一种用于测试材料在特定载荷作用下抗拉强度和抗劈裂强度的测试设备。该设备可用于多种类型的测试载荷，包括：压缩、拉伸、弯曲和疲劳载荷。本研究使用的UTM测试设备为WEW-300D型液压UTM，额定载荷为300 kN。该UTM测试设备的照片如图3.3所示。



图3.3. 万能试验机

d. 笔记本电脑

笔记本电脑作为运行辅助软件的设备，用于分析处理测试结果数据。笔记本电脑如图3.4所示，其规格见表3.2。



图 3.4. 笔记本电脑

表 3.2. 规格

功能	技术规格
处理器	4 MB 缓存; 最高 3.40 GHz
内存	4GB
存储	256GB SSD
屏幕类型	防眩光, 14英寸高清 (1366x768)
显卡详情	英特尔UHD显卡
电池	41 Wh
操作系统	Windows 10 家庭版

e. 软件 *Ms. Excel*。

Microsoft Excel 是一款电子表格软件，在本研究中用于辅助统计数据计算，例如计算某种材料的强度，并能绘制材料强度的数据结果图表，从而获得更准确、更高效的结果。*Ms. Excel*软件的界面如图3.5所示。

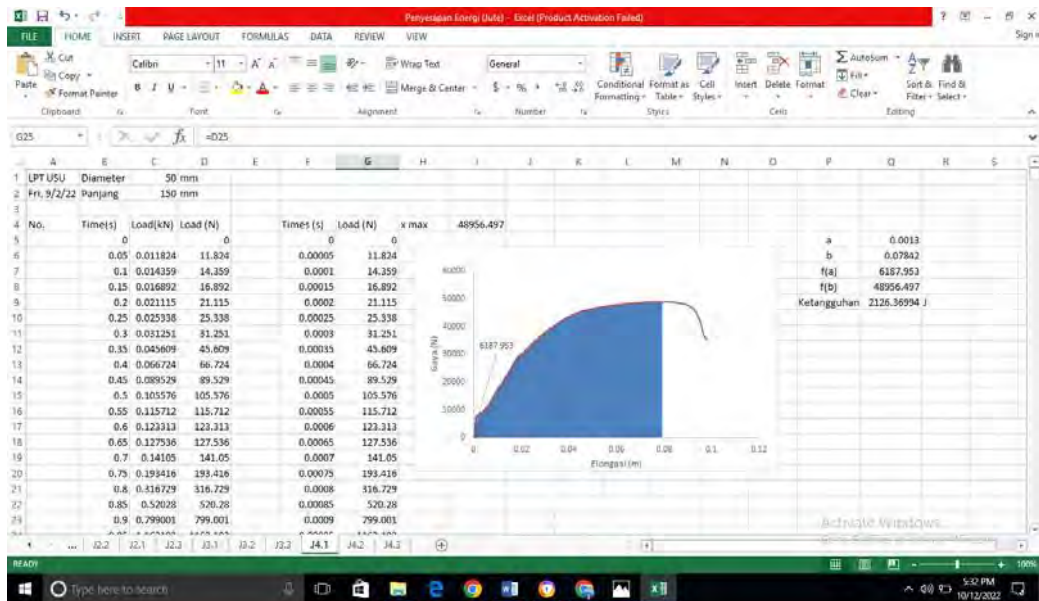


图 3.5. Microsoft Excel 工作表界面

3.2.2. 材料

a. 黄麻布

在本研究中，黄麻布用作圆柱形混凝土结构的加固材料。图3.6展示了本研究中常用的黄麻纤维。



图 3.6. 黄麻布

b. 环氧树脂及其固化剂

本研究中使用的环氧树脂及其固化剂为双酚A-环氧氯丙烷型。环氧树脂及其固化剂的外观如图3.7所示。



图3.7. 环氧树脂复合材料基体及催化剂（固化剂）

c. 水泥

本研究中使用的水泥为符合SNI 7064:2014标准的复合波特兰水泥。所用水泥如图3.8所示，其规格见表3.3。



图 3.8. 复合波特兰水泥

表 3.3. SNI 7064:2014 波特兰水泥规格

编号	项目	单位	要求
1	细度	m ² /kg	≥ 280
2	高压釜处理后的形状稳定性	%	最大 0.80
	- 膨胀	%	最大 0,20
	- 收缩率		
3	维卡法凝结时间	分钟 分钟	45分钟
	- 初凝时间		最大 375
	- 最终凝结		
	抗压强度	Kg/cm ² Kg/cm ²	最小 130
4	- 3天	Kg/cm ²	最小 200
	- 7天龄		最小 280
	- 28天龄		
5	假粘结	%	最小 50
	- 最终渗透		
6	砂浆中的空气含量	体积百分比	最大 12

d. 混凝土骨料

混凝土骨料由水泥、砂、砾石和水组成。所用砂和砾石的形状如图3.9所示。



(a)



(b)

图3.9. (a) 砂和 (b) 砾石

本研究中的材料数据还包括由层压黄麻复合材料加固的圆柱形混凝土柱抗劈裂强

度试验所得的数据。这些数据来源于Hidayat（2022）已完成的试验结果。试验所得的数据包括各试件的受力情况及长度变化。受力与长度变化是基于在容量为300 kN的UTM（万能试验机）WEW-300D型拉伸试验机上直接测量的结果，并存储在其数据采集器的内存中（Hidayat, 2022）。

3.3 研究方法

本研究的方法包括制备试样、计算能量吸收量，以及分析材料抗裂拉伸强度（KTB）与韧性能量（EKB）之间的对比。

3.3.1 试件制备

首先准备制作直径50 mm、长度150 mm的试件所需的工具和材料。在所有材料和模具准备就绪后，按照以下步骤进行圆柱形混凝土试件的制备：

- a. 将混凝土骨料按水泥、砂和碎石1:2:3的比例混合。在此过程中，笔者混合了1千克水泥、2千克砂和3千克碎石，用于填充现有的八个试件模具。
- b. 随后进行搅拌，确保所有骨料混合均匀。该过程如图3.10所示。



图3.10. 混凝土骨料混合物的搅拌

混合均匀后，将混凝土骨料倒入模具中，如图3.11所示。



图 3.11. 混凝土骨料浇入模具

后续步骤包括让试件养护7天，待试件硬化后脱模。制成的试件随后需浸泡在清洁水中28天。浸泡28天后，在露天环境中晾干28天。此过程符合ASTM C496标准对测试试件的处理要求。

后续步骤包括清洁试件表面，并用黄麻层压复合膜（KLJ）对试件表面进行包覆。包覆过程如下：

- a. 使用砂纸和抹布清洁试样表面。
- b. 将环氧树脂与固化剂按1:1的比例混合，搅拌至均匀。该混合物标记为C1。
- c. 将C1均匀涂覆于试样表面。
- d. 将预先准备好的黄麻布贴附于试样表面，确保完全覆盖。
- e. 再次将C1均匀涂抹在黄麻布表面。
- f. 准备好真空泵及其真空容器。
- g. 在真空容器内壁涂抹润滑油，以便在拆卸过程中轻松分离试样与容器。
- h. 将已用黄麻布包裹的试样放入真空容器中。

- i. 使用绝缘胶带将真空容器密封，以进行抽真空。
- j. 启动真空泵，将真空容器内的空气抽出。
- k. 当真空罐达到真空状态（真空泵压力表显示为0巴）后，将真空罐捆扎严实，并断开真空泵。

样本干燥过程需时1（一）天，之后样本即可拆封。

3.3.2. 数据处理程序

本研究的数据处理程序如下：

1. 能量吸收计算

以下是针对由黄麻层压复合材料加固的圆柱形混凝土试件进行能量吸收分析的计算程序：

- a. 将测试结果数据输入到Ms. Excel电子表格中。根据处理方式及每种处理方式的重复次数输入测试数据。这些数据包括：试件编号、伸长率（m）以及测试过程中产生的力（N）。
- b. 使用公式（2.8）计算每个试件的韧性能量/能量吸收量。
- c. 根据各试样生成的数据绘制能量吸收曲线图。
- d. 计算每种处理方式下的平均能量吸收值。
- e. 分析上述计算结果，以获得最大韧性值。

2. KTB与韧性的比较分析

在本研究中，KTB值基于Hidayat（2022）的研究结果获得。将KTB值与材料的韧性值进行比较，以观察这两个变量之间是否存在密切关系。比较的数值包括各KLJ变体在劈裂拉伸强度试验中测得的机械应力（单位：MPa），以及材料在试验过程中吸收的能量（单位：焦耳）。由此可揭示这两个变量之间的关联现象。

3.4 流程图

本研究将进行的流程步骤如图3.12所示的流程图所示。

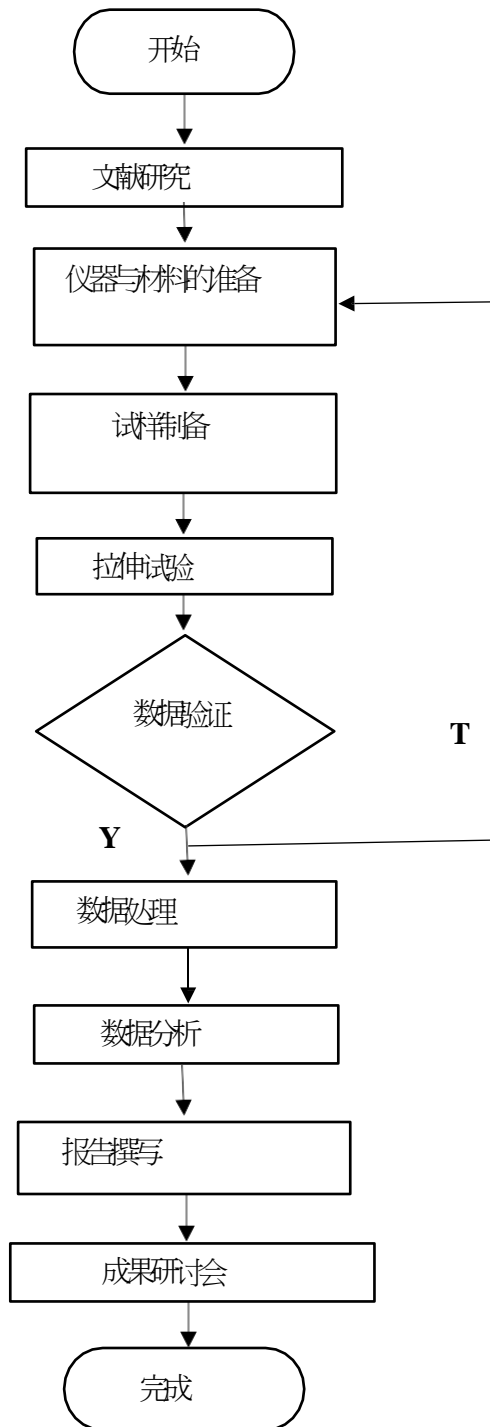


图 3.12. 研究流程图

第五章 结论与建议

5.1. 结论

根据对已完成的实验数据分析结果，得出以下结论：

1. 在4层层压板结构下，材料韧性能量（EKB）平均值达到810.22焦耳，这一数值与未包覆试样仅4.51焦耳的平均EKB值相比，差距极为显著。因此，在BKS试件表面添加KLJ已被证实可将混凝土的EKB提高超过17800%。由此可见，施加KLJ包覆层有望增强混凝土结构的韧性。
2. 对材料抗劈裂强度（KTB）与EKB之间对比关系的分析结果表明，混凝土试件的层数越多，其抗劈裂强度和EKB的吸收能力就越高。

5.2. 建议

基于本研究的成果与结论，建议后续研究：

1. 为了进一步研究，建议增加超过4层的黄麻层，因为本研究中出现的一种现象是，在4层时数值出现了非常显著的提升层时，数值出现了显著的提升。因此，增加4层以上的黄麻层，旨在获得更佳的数值。
2. 在后续研究中，建议在混凝土骨料配比时更注重各材料之间的比例，从而制备出性能最优的混凝土试件。
3. 在试件养护过程中，应确保塑料膜内不再残留空气，以最大限度地促进混凝土的硬化过程。

参考文献

DAFTAR PUSTAKA

- Asrullah, A. (2020) 'Analisa Kuat Tekan Beton Dengan Menggunakan Sika Concrete Refair Mortar Dan Tempurung Kelapa Pada Campuran Beton K 300', *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), pp. 10–15. doi: 10.36546/tekniksipil.v9i1.264.
- Callister, William D. (2009) *Materials Science And Engineering An Introduction*. 8th edn. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.,
- Chapra, S.C. dan Canale, R. . (2015) *Numerical Methods for Engineers*. 7th Ed. New York: McGraw-Hill Education.
- Clear, K., Sebagai, N. F. and Las, P. (2018) 'Analisa Kekuatan Tarik Dan Tekuk Pada Sambungan Pipa Baja Dengan Menggunakan Kanpe Clear Suralis 1208 Uwe Sebagai Pengganti Las', *Jurnal Teknik Perkapalan*, 6(1), pp. 716–725.
- Departemen Perindustrian (1975) *Pasir Untuk Aduk Dan Beton*. Perpustakaan BBKB Yogyakarta: Departemen Perindustrian, Jakarta, 1975.
- hendrianyah and Ria Pangaribuan, M. (2013) 'Pengaruh Batu Cadas (Batu Trass) Sebagai Bahan Pembentuk Beton Terhadap Kuat Tekan Beton', *Jurnal Inersia*, 5(2), pp. 11–19.
- Hidayat, N. (2022) *Analisis metode split tensile test komposit laminat jute terhadap kekuatan tarik belah beton kolom silinder*. Universitas Medan Area.
- Iskandar Fajri, R. and Sugiyanto, D. (2013) 'Studi Sifat Mekanik Komposit Serat Sansevieria Cylindrica Dengan Variasi Fraksi Volume Bermatrik Polyester', *Prof.Sumantri Brojonegoro*, 1(2), p. 704947.
- Mulyadi, A. and Sanutra, A. (2017) 'Analisis Limbah Pecahan Keramik Sebagai Pengganti Agregat Kasar Terhadap Kuat Tekan Beton K.200', *Teknik Sipil*, 11(1), pp. 8–14.
- Muzakir, A. T., Zulfikar, A. J. and Siahaan, M. Y. R. (2022) 'Analisis Kekuatan Tekan Beton Kolom Silinder Diperkuat Komposit Hibrid

Laminat Jute E-Glass Epoksi’, *JCEBT (Journal of Civil Engineering, Building and Transportation)*, 6(1), pp. 12–19.

Pratama, E. (2016) ‘55825-ID-kajian-kuat-tekan-dan-kuat-tarik-belah-b’, 4, pp.

28–38.

Regar, Renaldo Glantino; Sumajouw, Marthin D J; Dapas, S. O. (2014) ‘Nilai Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Ukuran Dimensi Benda Uji’, *Nilai Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Ukuran Dimensi Benda Uji*, 2(5), pp. 269–276.

Suarsana, I. K. (2017) ‘Pengetahuan Material Teknik Universitas Udayana’, pp. 01–71.

Suliyanthini, D. *et al.* (2014) ‘Modification Recycle Jute Fibre Waste For Bullet Proof Vests By. Dewi Suliyanthini, Dr. Riza. W. Jonathan MM, Dr Tinuk, and Aam. MSi. *)’, *Jurnal Green Growth Dan Lingkungan*, 3(1)(<http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/jgg/issue/view/224>), pp. 1–13.

Supit, F. V., Pandaleke, R. and Dapas, S. O. (2016) ‘Pemeriksaan Kuat Tarik Belah Beton Dengan Variasi Agregat Yang Berasal Dari Beberapa Tempat Di Sulawesi Utara’, *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 6(2), pp. 476–484.

Surdia, T. and Saito, S. (1985) *Pengetahuan Bahan Teknik*. 4th edn. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.